



ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ & ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ  
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ  
ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

# **“Κατασκευή και λειτουργία δύο συστημάτων προσκολλημένης ανάπτυξης για την επεξεργασία υγρών αποβλήτων”**

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: **Διαμαντόπουλος Ευάγγελος**

**Παρασκάκη Αργυρώ**  
**2013**

## Ευχαριστίες

Με την ολοκλήρωση της μεταπτυχιακής μου διατριβής, η οποία υλοποιήθηκε στο Εργαστήριο Τεχνολογίας & Διαχείρισης Περιβάλλοντος, του τμήματος Μηχανικών Περιβάλλοντος, του Πολυτεχνείου Κρήτης, θα ήθελα να ευχαριστήσω εκείνους που συνέβαλλαν στη διεκπεραίωση της.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον επιβλέπων καθηγητή μου κ. Ευάγγελο Διαμαντόπουλο που μου έδωσε την ευκαιρία να ασχοληθώ και να εμβαθύνω στο συγκεκριμένο αντικείμενο της επεξεργασίας υγρών αποβλήτων και μου άνοιξε νέους ορίζοντες με την μετάδοση των γνώσεων και με την καθοδήγηση του.

Τις ιδιαίτερες ευχαριστίες μου θα ήθελα να εκφράσω στην υποψήφια διδάκτωρ Ελευθερία Λουπασάκη για την υπομονή που επέδειξε, τον χρόνο που μου αφιέρωσε καθώς και για τις υποδείξεις και τις συμβουλές που με κατεύθυναν καθ' όλη τη διάρκεια της παρούσας εργασίας. Η συνεργασία μαζί της υπήρξε άψογη και έπαιξε καθοριστικό ρόλο στην ολοκλήρωση της διατριβής μου.

Την κα Ελισάβετ Κουκουράκη, υπεύθυνη του Εργαστηρίου Τεχνολογίας & Διαχείρισης Περιβάλλοντος, την ευχαριστώ για την πολύτιμη συμβολή της κατά τη διενέργεια των πειραματικών μου μετρήσεων και το ευχάριστο και φιλικό κλίμα που διαμόρφωσε στο χώρο του εργαστηρίου.

Τέλος, ευχαριστώ τον υποψήφιο διδάκτωρ Νίκο Βακόνδιο, καθώς και τα υπόλοιπα μέλη του εργαστηρίου για την αρμονική συνεργασία και τη βοήθεια που μου προσέφεραν.

## Περιεχόμενα

Ευχαριστίες .....	1
Περιεχόμενα.....	2
Κατάλογος Σχημάτων .....	3
Κατάλογος Πινάκων .....	4
Περίληψη .....	5
1. Εισαγωγή .....	6
2. Θεωρητικό Μέρος.....	7
2.1. Υγρά Απόβλητα .....	7
2.1.1. Αστικά Λύματα.....	7
2.1.2. Απόβλητα Ελαιουργείων .....	8
2.2. Κεντρικά Συστήματα Επεξεργασίας Λυμάτων.....	11
2.2.1. Συστήματα Αιωρούμενης Βιομάζας .....	11
2.2.1.1. Συστήματα Τύπου Ενεργού Ιλύος .....	11
2.3. Αποκεντρωμένα Συστήματα Επεξεργασίας Λυμάτων .....	12
2.3.1. Βιολογικοί Αντιδραστήρες Ρευστοποιημένης Κλίνης.....	16
2.3.2. Αερόβιες Περιστρεφόμενες Μονάδες Προσκολλημένης Βιομάζας .....	17
2.3.3. Αντιδραστήρες Προσκολλημένης Βιομάζας Σταθερής Κλίνης.....	18
2.3.3.1. Αερόβιοι βιολογικοί αντιδραστήρες προσκολλημένης βιομάζας.....	19
2.3.3.2. Αναερόβιοι βιολογικοί αντιδραστήρες προσκολλημένης βιομάζας.....	22
2.3.4. Φυσικά Συστήματα Επεξεργασίας.....	23
3. Πειραματικό Μέρος.....	27
3.1. Χαρακτηριστικά Λυμάτων.....	27
3.2. Πειραματική Διάταξη .....	27
3.3. Πειραματική Διαδικασία-Συνθήκες Λειτουργίας .....	29
3.4. Αναλυτικές Μέθοδοι.....	30
4. Αποτελέσματα-Συζήτηση .....	31
5. Συμπεράσματα-Προτάσεις.....	42
6. Βιβλιογραφικές Αναφορές.....	43
7.1. Παράρτημα 1.....	46
7.2. Παράρτημα 2.....	48

## Κατάλογος Σχημάτων

Σχήμα 1: Αερόβιοι και αναερόβιοι αντιδραστήρες ρευστοποιημένης κλίνης .....	16
Σχήμα 2: Μονάδες με περιστρεφόμενα μέσα επαφής .....	17
Σχήμα 3: Βιολογικοί αντιδραστήρες με προσκολλημένη βιομάζα .....	18
Σχήμα 4: Σταλαγματικό φίλτρο .....	20
Σχήμα 5: Πληρωτικά υλικά.....	21
Σχήμα 6: Διάγραμμα ροής συστήματος επεξεργασίας .....	27
Σχήμα 7: Σχάρα-βάση γεωφάσματος και γεωφύσμα .....	28
Σχήμα 8: Διογκωμένη άργιλος.....	29
Σχήμα 9: Χαρακτηριστικά εισερχομένων υγρών αποβλήτων στα Συστήματα I και II ....	32
Σχήμα 10: Συμπεριφορά συστημάτων προσκολλημένης βιομάζας ως προς % απομάκρυνση συγκέντρωσης COD .....	33
Σχήμα 11: Συμπεριφορά συστημάτων προσκολλημένης βιομάζας ως προς % απομάκρυνση συγκέντρωσης BOD .....	34
Σχήμα 12: Συμπεριφορά συστημάτων προσκολλημένης βιομάζας ως προς % απομάκρυνση συγκέντρωσης DOC .....	34
Σχήμα 13: Συμπεριφορά συστημάτων προσκολλημένης βιομάζας ως προς % απομάκρυνση συγκέντρωσης ολικών στερεών.....	35
Σχήμα 14: Συμπεριφορά συστημάτων προσκολλημένης βιομάζας ως προς % απομάκρυνση συγκέντρωσης ολικού αζώτου.....	36
Σχήμα 15: Συμπεριφορά συστημάτων προσκολλημένης βιομάζας ως προς % απομάκρυνση συγκέντρωσης αμμωνίας.....	36

## Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 1: Τυπική σύσταση ανεπεξέργαστων οικιακών λυμάτων .....	7
Πίνακας 2: Συνήθη είδη και αριθμός μικροοργανισμών στα αστικά λύματα .....	8
Πίνακας 3 : Γενικά χαρακτηριστικά υγρών αποβλήτων ελαιοτριβείων .....	9
Πίνακας 4 : Εκτίμηση ποσότητας αποβλήτων ελαιουργείων που παράγονται στην Ευρώπη .....	10
Πίνακας 5: Τυπικοί τρόποι επεξεργασίας για συστήματα ενεργού ιλύος.....	12
Πίνακας 6: Τυπικοί τρόποι επεξεργασίας για μικρά αποκεντρωμένα συστήματα .....	14
Πίνακας 7: Χαρακτηριστικές περιπτώσεις επαναχρησιμοποίησης και απόρριψης για μικρά αποκεντρωμένα συστήματα.....	15
Πίνακας 8: Συγκεντρωτικός πίνακας τεχνικών χαρακτηριστικών συστημάτων επεξεργασίας λυμάτων .....	25
Πίνακας 9: Σύσταση και μέση φόρτιση ανά στάδιο πειραμάτων .....	29
Πίνακας 10: Συγκεντρωτικά αποτελέσματα απομάκρυνσης φορτίου ανά στάδιο για το Σύστημα Ι (γεωύφασμα) .....	31
Πίνακας 11: Συγκεντρωτικά αποτελέσματα απομάκρυνσης φορτίου ανά στάδιο για το Σύστημα ΙΙ (διογκ. άργιλος).....	31
Πίνακας 12: Συγκριτικός πίνακας συμπεριφοράς συστημάτων προσκολλημένης βιομάζας αερόβιας επεξεργασίας λυμάτων με φυσικό ή τεχνητό αερισμό .....	38
Πίνακας Π 1.1: Τεχνικά χαρακτηριστικά MacTex μη υφαντών γεωυφασμάτων από πολυπροπυλένιο .....	46
Πίνακας Π 2.1: Χαρακτηριστικά εκροής συστημάτων προσκολλημένης βιομάζας (1 <sup>ο</sup> στάδιο επεξεργασίας).....	48
Πίνακας Π 2.2: Χαρακτηριστικά εκροής συστημάτων προσκολλημένης βιομάζας (2 <sup>ο</sup> στάδιο επεξεργασίας).....	49
Πίνακας Π 2.3: Χαρακτηριστικά εκροής συστημάτων προσκολλημένης βιομάζας (3 <sup>ο</sup> στάδιο επεξεργασίας).....	50

## Περίληψη

Λόγω ανάγκης επεξεργασίας υγρών αποβλήτων σε επίπεδο μικρών οικισμών, με χαμηλό κόστος επεξεργασίας, δημιουργήθηκε η ανάγκη μελέτης εναλλακτικών συστημάτων επεξεργασίας. Τέτοια συστήματα είναι και αυτά της προσκολλημένης βιομάζας. Κατά την εκπόνηση της συγκεκριμένης εργασίας σχεδιάστηκαν, κατασκευάστηκαν και μελετήθηκαν 2 συστήματα προσκολλημένης βιομάζας με διαφορετικά πληρωτικά υλικά, γεώφασμα και διογκωμένη άργιλο. Κατά τη διάρκεια της μελέτης, πραγματοποιήθηκε επεξεργασία αστικού λύματος, και λύματος σε ανάμιξη με απόβλητα ελαιουργείου σε διαφορετικές φορτίσεις. Η διοχέτευση του φορτίου γινόταν περιοδικά, σε ίσα χρονικά διαστήματα, 3 φορές την ημέρα. Η οργανική φόρτιση κυμάνθηκε από 195 mg/l COD έως 7.150 mg/l COD. Σε γενικές γραμμές, το σύστημα με το γεώφασμα ως πληρωτικό υλικό κρίνεται πιο αποτελεσματικό, αφού παρουσίασε τα μεγαλύτερα ποσοστά απομάκρυνσης ως συγκέντρωση, με τιμές που αγγίζουν το 70% για το BOD, το 85% για το COD, το 90% για τα TSS και το 68% για το DOC.

## 1. Εισαγωγή

Η βιομηχανική ανάπτυξη της χώρας και η παραγωγή μεγάλων ποσοτήτων αστικών αποβλήτων σε παράκτιες και άλλες περιοχές, δημιούργησαν σοβαρές περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Η κατασκευή συμβατικών έργων επεξεργασίας αστικών αποβλήτων, θεωρήθηκε ότι θα αντιμετώπιζε οριστικά το πρόβλημα. Όμως στις αρχές της δεκαετίας του '90 άρχισαν να αναφέρονται σοβαρά προβλήματα κόστους, λειτουργίας και γενικά διαχείρισης αυτών των έργων.

Επιπλέον, σύμφωνα με την ισχύουσα νομοθεσία (Οδηγία 91/271/ΕΟΚ ) τα κράτη μέλη της Ε.Ε. από 31/12/2005, οφείλουν να μεριμνούν ώστε τα αστικά λύματα που διοχετεύονται σε αποχετευτικά δίκτυα, να υποβάλλονται πριν την απόρριψη τους σε δευτεροβάθμια ή ισοδύναμη επεξεργασία. Η παραπάνω οδηγία αφορά σε όλους τους οικισμούς από 10.000 ι.π. και πάνω, καθώς και τους οικισμούς με ι.π. από 2.000 έως 10.000, των οποίων τα λύματα αποβάλλονται σε γλυκά νερά και σε εκβολές ποταμών.

Το σύστημα ενεργού ιλύος είναι το συνηθέστερα χρησιμοποιούμενο σύστημα βιολογικής επεξεργασίας λυμάτων τόσο διεθνώς, όσο και στην Ελλάδα. Ωστόσο, τα τελευταία χρόνια, αναπτύσσεται με πολύ γρήγορους ρυθμούς η τεχνολογία που αφορά στα μικρά αποκεντρωμένα συστήματα επεξεργασίας αστικών αποβλήτων. Τα συστήματα αυτά, έχουν σχεδιαστεί κατάλληλα για να εξυπηρετήσουν περιοχές που βρίσκονται μακριά από αποχετευτικό δίκτυο ή ένα κεντρικό βιολογικό καθαρισμό, ή μικρούς απομακρυσμένους οικισμούς. Επομένως, προκειμένου να εφαρμοστεί η οδηγία του 1991 η χρήση τέτοιων συστημάτων καθίσταται αναγκαία.

Για τέτοιες εφαρμογές θεωρούνται ιδανικά τα συστήματα προσκολλημένης ανάπτυξης, που χαρακτηρίζονται από την ύπαρξη βιοφίλμ, το οποίο αναπτύσσεται πάνω στο πληρωτικό υλικό και αποτελείται από μικροοργανισμούς αιωρούμενο οργανικό υλικό κ.α.. Αυτά τα συστήματα είναι ιδιαίτερα αποτελεσματικά αφού επιτυγχάνουν την ταυτόχρονη απομάκρυνση του οργανικού φορτίου, των αιωρούμενων στερεών καθώς και αζώτου και φωσφόρου.

Στόχος αυτής της διατριβής είναι η μελέτη και σύγκριση δύο τέτοιων συστημάτων προσκολλημένης βιομάζας, με πληρωτικό υλικό διογκωμένη άργιλο και γεωφάσμα. Συγκεκριμένα, μελετήθηκε η επεξεργασία αστικών λυμάτων καθώς και λυμάτων σε ανάμιξη με υγρά απόβλητα ελαιουργείων (κατσίγαρος) σε διαφορετικές φορτίσεις. Η παροχή φορτίου ήταν διακοπτόμενη και ο αερισμός των συστημάτων φυσικός και πραγματοποιούνταν μεταξύ των διαστημάτων τροφοδοσίας.

## 2. Θεωρητικό Μέρος

### 2.1. Υγρά Απόβλητα

#### 2.1.1. Αστικά Λύματα

Ο κάθε άνθρωπος, στις ανεπτυγμένες χώρες, παράγει κατά μέσο όρο 200 l λυμάτων ανά ημέρα.

Ενδεικτικά, τα ποιοτικά χαρακτηριστικά των αποβλήτων είναι:

- Βιολογικά (παθογόνοι και μη μικροοργανισμοί – σαπροφυτικοί μικροοργανισμοί)
- Στερεές ουσίες (αιωρούμενες/ διαλυμένες, θολότητα/χρώμα)
- Τοξικές ουσίες (βαρέα μέταλλα, κυανιούχες ενώσεις, φαινόλες, αλογονομένοι υδρογονάνθρακες)
- Οργανικό ρυπαντικό φορτίο
- Αμμωνία και ενώσεις του αζώτου
- Ενώσεις του φωσφόρου

Στον πίνακα που ακολουθεί φαίνεται η τυπική συγκέντρωση των κυριότερων ρύπων σε mg/l αστικών λυμάτων.

**Πίνακας 1:** Τυπική σύσταση ανεπεξέργαστων οικιακών λυμάτων [1]

Ρύποι	Συγκέντρωση (mg/l)		
	Χαμηλή	Μέση	Υψηλή
Στερεά, ολικά	350	720	1200
Διαλυμένα στερεά, ολικά	250	500	850
Πτητικό κλάσμα	105	200	325
Αιωρούμενα στερεά	100	220	350
Πτητικό κλάσμα	80	164	275
Καθιζάνοντα στερεά	5	10	20
BOD <sub>5</sub>	110	220	400
TOC	80	160	290
COD	250	500	1000
Άζωτο, ολικό	20	40	85
Οργανικό άζωτο	8	15	35
Αμμωνία	12	25	50
Νιτρώδη	0	0	0
Νιτρικά	0	0	0
Φώσφορος, ολικός	4	8	15
Οργανικός φώσφορος	1	3	5
Ανόργανος φώσφορος	3	5	10



Η επεξεργασία των οικιακών λυμάτων αποτελεί σχετικά πρόσφατη εξέλιξη. Στο παρελθόν έχουν εκδηλωθεί διάφορες ασθένειες που ταλαιπώρησαν την ανθρωπότητα υπό μορφή επιδημιών, μιας και μόλις πριν 100 περίπου χρόνια αναγνωρίστηκε το γεγονός ότι το πόσιμο νερό πρέπει να είναι απαλλαγμένο από κάθε μορφής ρύπους. Το πόσιμο νερό δεν λαμβάνεται μόνο από προστατευμένους υπόγειους υδατικούς πόρους αλλά και από επιφανειακά νερά, τα οποία αποτελούν συχνά πρόσφορους αποδέκτες υγρών αποβλήτων. [2]

Στη συνέχεια, φαίνεται ο τύπος και ο αριθμός των μικροοργανισμών που απαντάται συνήθως ανά ml ανεπεξέργαστων αστικών αποβλήτων.

**Πίνακας 2:** Συνήθη είδη και αριθμός μικροοργανισμών στα αστικά λύματα [1]

Μικροοργανισμός	Συγκέντρωση (ανά ml)
Total coliform	$10^5$ - $10^6$
Fecal coliform	$10^4$ - $10^5$
Fecal streptococci	$10^3$ - $10^4$
Enterococci	$10^2$ - $10^3$
Shigella	Present
Salmonella	$10^0$ - $10^2$
Clostridium perfringens	$10^1$ - $10^3$
Giardia cysts	$10^{-1}$ - $10^2$
Cryptosporidium cysts	$10^{-1}$ - $10^1$
Helminth ova	$10^{-2}$ - $10^1$
Enteric virus	$10^1$ - $10^2$

Η επεξεργασία των λυμάτων που προέρχονται από μία πόλη είναι αναγκαία, ώστε να προστατευτεί το περιβάλλον και η δημόσια υγεία από επιβαρυντικούς ανθρωπογενείς παράγοντες. Μετά την απομάκρυνση ρύπων και παθογόνων μικροοργανισμών, τα προϊόντα που παράγονται (νερό, ιλύς) πρέπει να μπορούν είτε να επαναχρησιμοποιηθούν, είτε να απορριφθούν ασφαλώς στον κατάλληλο αποδέκτη.

### 2.1.2. Απόβλητα Ελαιουργείων

Η Ελλάδα είναι η τρίτη ελαιοπαραγωγός χώρα στον κόσμο, μετά την Ισπανία και την Ιταλία, με ετήσια παραγωγή 300-400.000 τόνους. Κατά την κατεργασία του ελαιοκάρπου στα ελαιουργεία, παράλληλα με το ελαιόλαδο 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 ελαιοκαρπο, καθώς και μια σημαντική σε όγκο και οργανικό φορτίο ποσότητα υγρών αποβλήτων, που είναι γνωστά ως **κατσίγαρος**. Στα τριφασικά ελαιουργεία για κάθε kg λάδι παράγεται 1,7 kg υγρών αποβλήτων.

Τα απόβλητα ελαιουργείων αποτέλεσαν πηγή ρύπανσης εδώ και χιλιάδες χρόνια. Ωστόσο, στις μέρες μας ο περιβαλλοντικός τους αντίκτυπος είναι περισσότερο ευδιάκριτος.

Αν και η χημική σύνθεση των υγρών αποβλήτων των ελαιουργείων ποικίλλει ανάλογα με το έδαφος της καλλιεργήσιμης περιοχής, το είδος της καλλιέργειας, τον τρόπο συλλογής και ελαιοτρίβησης του καρπού, είναι χαρακτηριστικό το υψηλό οργανικό τους φορτίο (το χημικά απαιτούμενο οξυγόνο, COD, κυμαίνεται από 80 έως 160 g/l ). 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 σε συγκεντρώσεις που κυμαίνονται μεταξύ 3 και 11 g/l.

Στον Πίνακα 3 φαίνεται η τυπική συγκέντρωση των υγρών αποβλήτων ελαιουργείου.

**Πίνακας 3 :** Γενικά χαρακτηριστικά υγρών αποβλήτων ελαιοτριβείων [3]

Παράμετροι	Τιμές
pH	4,5-6
Αγωγιμότητα EC <sub>25</sub> (dS/m)	8-22
BOD5 (mg/l)	35.000-100.000
COD (mg/l)	40.000-195.000
Λιπίδια (mg/l)	300-23.000
Οργανικό κλάσμα (g/l)	40-165
Ανόργανο κλάσμα (g/l)	5-14
Πολυφαινόλες (mg/l)	3.000-24.000
N (g/l)	5-15
P (g/l)	0,3-1,1
K (g/l)	2,7-7,2
Ca (g/l)	0,12-0,75
Mg (g/l)	0,10-0,40
Na (g/l)	0,04-0,90
Στερεά %	5,5-17,6

Η άμεση επίπτωση του κατσίγαρου στο περιβάλλον είναι η αισθητική υποβάθμιση που προκαλεί και η οποία οφείλεται στην έντονη οσμή του και στο σκούρο χρώμα του. Παράλληλα, εξ αιτίας 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 στον χρόνο (χαμηλή οξύτητα) ως φυσικό συντηρητικό, αφού έχουν αντιβακτηριδιακή δράση. 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.

Στις Μεσογειακές χώρες, Ισπανία, Ιταλία, Πορτογαλία, Μαρόκο κ.α., παράγονται αρκετές χιλιάδες τόνοι αποβλήτων ελαιουργείων κάθε χρόνο, τα οποία αποτελούν ένα από τα μεγαλύτερα περιβαλλοντικά προβλήματα για την βιομηχανία του ελαιόλαδου. [4]

**Πίνακας 4 :** Εκτίμηση ποσότητας αποβλήτων ελαιουργείων που παράγονται στην Ευρώπη

Χώρες	Εκατ. Τόνοι/έτος
Ισπανία	8
Ιταλία	9
Ελλάδα	2
Σύνολο	15-20

Το υψηλό οργανικό φορτίο του κατσίγαρου σε συνάρτηση με την παρουσία των πολυφαινολών δεν επιτρέπει την απευθείας διάθεσή του στο περιβάλλον, αλλά καθιστά αναγκαία την επεξεργασία του. Για την επεξεργασία και διάθεσή του κατσίγαρου έχουν δοκιμαστεί διάφορες μέθοδοι τόσο σε εργαστηριακή όσο και σε πραγματική κλίμακα. Παρόλα αυτά, οι διάφορες τεχνικές παρουσιάζουν ορισμένα μειονεκτήματα και δεν έχουν καταφέρει να λύσουν ικανοποιητικά το πρόβλημα. [4]

Συγκεκριμένα, ιδιαίτερα διαδεδομένα είναι η διάθεση των υγρών αποβλήτων σε λίμνες εξάτμισης, σε λάκκους ή στο έδαφος, μέθοδος που απαιτεί μεγάλες εκτάσεις για τη διάθεση των αποβλήτων και συχνά δημιουργεί τόσο αισθητικά προβλήματα εξαιτίας της κακής διαστασιολόγησης και κατασκευής των συστημάτων αυτών, όσο και ρύπανση του εδάφους πλησίον των λιμνών και κίνδυνο ρύπανσης των υπογείων υδάτων [5].

Ακόμη, έχουν εφαρμοστεί χημική οξείδωση και αναερόβια χώνευση του κατσίγαρου, τεχνικές με υψηλό λειτουργικό και κατασκευαστικό κόστος αντίστοιχα. Αρκετά αποτελεσματική έχει αποδειχτεί η επεξεργασία του κατσίγαρου μέσω τεχνητού υγροβιότοπου [6], ενώ τα ποσοστά απομάκρυνσης ρυπαντικού φορτίου αυξάνονται αισθητά σε περίπτωση διαδοχικής επεξεργασίας με χρήση τεχνητού υγροβιότοπου και ηλεκτροχημική οξείδωση [6]. Έχει δοκιμαστεί επίσης, η συνεπεξεργασία του κατσίγαρου με αστικά λύματα σε τεχνητούς υγρότοπους ή σε μονάδες ενεργού ιλύος, τεχνική που προαπαιτεί σημαντική αραίωση του κατσίγαρου, αλλά αποφέρει σημαντική μείωση της φυτοτοξικότητας [8]. Τέλος, έχει δοκιμαστεί και η απομάκρυνση των ρύπων μίγματος κατσίγαρου με αστικά λύματα μέσω αμμόφιλτρου, μέθοδος με ιδιαίτερα ενθαρρυντικά αποτελέσματα [9].

Τα τελευταία χρόνια έχει επιτευχθεί σε εργαστηριακή κλίμακα η ανάκτηση των πολυφαινολών από τον κατσίγαρο με χρήση μεμβρανών, ώστε να χρησιμοποιηθούν στη βιομηχανία αρωμάτων και φαρμάκων. Η εκμετάλλευση των αποβλήτων με την παραπάνω μέθοδο φαίνεται ότι είναι τεχνικά δυνατή, αλλά είναι νωρίς για να είναι εφικτή η εφαρμογή της σε μεγάλη κλίμακα.[10]

Πρέπει να σημειωθεί ότι, εξαιτίας, της μεγάλης διακύμανσης στα χαρακτηριστικά των ελαιουργείων, αλλά και στην ποιότητα και ποσότητα των παραγόμενων αποβλήτων δεν φαίνεται να υπάρχει, επί του παρόντος, μία λύση άμεσα εφαρμόσιμη σε όλα τα ελαιουργεία.

Στη συνέχεια γίνεται μια σύντομη αναφορά στα πιο συνηθισμένα συστήματα βιολογικής επεξεργασίας υγρών αποβλήτων.

## **2.2. Κεντρικά Συστήματα Επεξεργασίας Λυμάτων**

### **2.2.1. Συστήματα Αιωρούμενης Βιομάζας**

Στα συστήματα αιωρούμενης βιομάζας γίνεται αφαίρεση οργανικού υλικού και θρεπτικών συστατικών (αζώτου και φωσφόρου). Η αφαίρεση αυτή επιτυγχάνεται από μία μικτή καλλιέργεια μικροοργανισμών. Στην καλλιέργεια αυτή ανήκουν ετερότροφοι μικροοργανισμοί που μπορούν να χρησιμοποιούν ως δέκτη ηλεκτρονίων τόσο διαλυμένο μοριακό οξυγόνο, όσο και νιτρικό άζωτο, αυτότροφοι νιτροποιητικοί μικροοργανισμοί, καθώς και μικροοργανισμοί που έχουν την ιδιότητα να συσσωρεύουν στο κυτταρόπλασμά τους αυξημένες ποσότητες πολυφωσφορικών.

Σήμερα έχουν αναπτυχθεί διεργασίες που επιτυγχάνουν μόνο αφαίρεση οργανικού υλικού, αφαίρεση οργανικού υλικού και φωσφόρου, αφαίρεση οργανικού υλικού και αζώτου και αφαίρεση οργανικού υλικού με παράλληλη αφαίρεση τόσο αζώτου, όσο και φωσφόρου.

Η αφαίρεση θρεπτικών συστατικών είναι απαραίτητη, διότι το αμμωνιακό άζωτο είναι τοξικό στα ψάρια, ενώ το άζωτο και ο φώσφορος προκαλούν ευτροφισμό στους υδάτινους αποδέκτες. Το περιοριστικό θρεπτικό συστατικό είναι ο φώσφορος στα γλυκά νερά και το άζωτο στα θαλασσινά. [11]

Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα συστήματος αιωρούμενης βιομάζας είναι το σύστημα ενεργού ιλύος που περιγράφεται παρακάτω.

#### **2.2.1.1. Συστήματα Τύπου Ενεργού Ιλύος**

Η ενεργός ιλύς είναι το συνηθέστερα χρησιμοποιούμενο σύστημα βιολογικής επεξεργασίας λυμάτων τόσο διεθνώς όσο και στην Ελλάδα. Στην Ελλάδα το 90% των εγκαταστάσεων ακολουθεί αυτό το σύστημα, εξυπηρετώντας περίπου 8.000.000 κατοίκους. Στον πίνακα που ακολουθεί φαίνονται τα στάδια και το είδος επεξεργασίας σε συστήματα ενεργού ιλύος.

**Πίνακας 5:** Τυπικοί τρόποι επεξεργασίας για συστήματα ενεργού ιλύος

Στάδιο Επεξεργασίας	Είδος Επεξεργασίας	Παραδείγματα
Πρωτοβάθμια επεξεργασία	Απομάκρυνση άμμου-λίπους- αιωρούμενων στερεών	Εσχάρισμα- Πολτοποίηση- Αμμοσυλλογή- Πρωτοβάθμια καθίζηση
Βιολογική ή δευτεροβάθμια επεξεργασία	Απομάκρυνση οργανικών συστατικών και εξουδετέρωση παθογόνων μ.ο. με απολύμανση	Δεξαμενές αερισμού- Δευτεροβάθμια καθίζηση (Αερόβια- Αναερόβια επεξεργασία)
Τριτοβάθμια επεξεργασία	Απομάκρυνση θρεπτικών στοιχείων φωσφόρου και αζώτου, βαρέων μετάλλων ή τοξικών	Κροκίδωση- Συσσωμάτωση- Φίλτραυση- Χημική καθίζηση- Προσρόφιση- Αντίστροφη όσμωση
Επεξεργασία ιλύος	Χώνευση, απομάκρυνση υγρασίας	Πάχυνση- Χώνευση- Μεταπάχυνση- Αφυδάτωση
Απολύμανση	Πλήρης απομάκρυνση παθογόνων πριν την απόρριψη	Χλωρίωση- Υπεριώδης ακτινοβολία- Οζόνωση
Επαναχρησιμοποίηση επεξεργασμένης εκροής		Άρδευση, Εμπλουτισμός υπόγειου υδροφορέα, Βιομηχανικό νερό

### 2.3. Αποκεντρωμένα Συστήματα Επεξεργασίας Λυμάτων

Τα αποκεντρωμένα συστήματα επεξεργασίας λυμάτων σε πολλές περιπτώσεις αποτελούν την βέλτιστη λύση στην αντιμετώπιση του προβλήματος της επεξεργασίας και διάθεσης υγρών αποβλήτων μικρών οικισμών. Συγκρίνοντας τα με κεντρικές μονάδες επεξεργασίας διαπιστώνεται ότι:

- ✓ έχουν φθηνότερο κόστος κατασκευής και λειτουργίας, επίσης ελάχιστο κόστος συντήρησης
- ✓ δεν απαιτούν συνήθως αντλιοστάσια, τα δε δίκτυα προσαγωγής είναι πολύ μικρότερου μήκους
- ✓ δεν επιφέρουν μεγάλη συγκέντρωση λυμάτων, ενώ περιορίζονται στο ελάχιστο τα οσμάεiria και οι διαβρώσεις
- ✓ είναι απλά στη λειτουργία και συντήρησή τους
- ✓ επιτρέπουν την αποκεντρωμένη διάθεση των επεξεργασμένων λυμάτων, η δε διασπορά αυτή σχετίζεται με την οικιστική ανάπτυξη των απομακρυσμένων οικιστικών περιοχών (άρδευση χώρων πρασίνου). [12]

Τα αποκεντρωμένα συστήματα επεξεργασίας λυμάτων αποτελούνται από: (1) προεπεξεργασία, (2) συλλογή λυμάτων, (3) επεξεργασία λυμάτων, (4) επαναχρησιμοποίηση εκροής ή απόρριψη, και (5) διαχείριση βιοστερεών και ιλύος. Παρόλο που τα στάδια είναι τα ίδια με τα μεγάλα κεντρικά συστήματα, η διαφορά είναι

στην εφαρμογή της τεχνολογίας. Σημειώνεται ότι όλα τα παραπάνω στάδια δεν περιλαμβάνονται σε κάθε αποκεντρωμένο σύστημα. [13]

#### **Προεπεξεργασία Λυμάτων**

Ο στόχος της προεπεξεργασίας είναι η απομάκρυνση στερεών, λιπών και ελαίων, καθώς και άλλων αιωρούμενων ή καθιζάνοντων σωματιδίων, ώστε το εναπομείναν λύμα να μπορεί να επεξεργαστεί αποτελεσματικά και να επαναχρησιμοποιηθεί ή να απορριφθεί ασφαλώς. Για παράδειγμα, η χρήση ξεχωριστών σηπτικών δεξαμενών στην έναρξη της επεξεργασίας μπορεί να θεωρηθεί βασικό κομμάτι των αποκεντρωμένων συστημάτων, διότι η διαχείριση των στερεών γίνεται ξεχωριστά από τη δεξαμενή βιολόγησης του λύματος.

#### **Συλλογή Λυμάτων**

Όταν η πυκνότητα του λύματος έχει αυξηθεί τόσο ώστε η χρήση ξεχωριστών επιτόπιων συστημάτων επεξεργασίας και διάθεσης λυμάτων δεν είναι εφικτή, είναι απαραίτητη κάποια μορφή μεταφοράς και συλλογής των λυμάτων. Αν και η χρήση συμβατικών υπονόμων φυσικής ροής συνεχίζει να είναι ο κανόνας για την αποχέτευση των λυμάτων, εναλλακτικά συστήματα συλλογής που είναι συμβατά με τα αποκεντρωμένα συστήματα γίνονται όλο και πιο δημοφιλή.

#### **Επεξεργασία Λυμάτων**

Αντιπροσωπευτικά παραδείγματα μικρών αποκεντρωμένων εγκαταστάσεων επεξεργασίας λυμάτων φαίνονται στον Πίνακα 6. Στο παρελθόν, η απομάκρυνση του βιοχημικά απαιτούμενου οξυγόνου (BOD), των αιωρούμενων στερεών και των παθογόνων ήταν στο επίκεντρο της επεξεργασίας. Σήμερα, η απομάκρυνση θρεπτικών ουσιών, τοξικών και η επαναχρησιμοποίηση είναι αυξανόμενης σημασίας.

**Πίνακας 6:** Τυπικοί τρόποι επεξεργασίας για μικρά αποκεντρωμένα συστήματα

Είδος Επεξεργασίας	Παραδείγματα	Τύπος Συστήματος	
		Μικρό	Αποκεντρωμένο
Συλλογή λυμάτων	Καταθλιπτικοί αγωγοί χωρίς γραναζωτές αντλίες	✓	✓
	Καταθλιπτικοί αγωγοί με γραναζωτες αντλίες	✓	✓
	Αγωγοί μικρής διαμέτρου μεταβλητής κλίσης	✓	✓
	Αγωγοί κενού	✓	✓
Προεπεξεργασία	Χονδροεσχάρες	✓	
	Λεπτές εσχάρες	✓	
	Αμμοσυλλογή	✓	
	Λιποσυλλογή	✓	✓
Πρωτοβάθμια	Σηπτικές δεξαμενές	✓	✓
	Δεξαμενές Imhoff	✓	✓
	Περιστροφικά Φίλτρα	✓	
Εξελιγμένη πρωτοβάθμια	Σηπτική δεξαμενή με φίλτρανση εκροής	✓	✓
	Σηπτική δεξαμενή προσκολλημένης ανάπτυξης		✓
Δευτεροβάθμια	Αερόβια συστήματα	✓	✓
	Αερόβια / αναερόβια	✓	✓
	Ασυνεχή φίλτρα άμμου	✓	✓
	Χαλικοδιυλιστήρια	✓	✓
	Φίλτρα άνθρακα		✓
	Λίμνες	✓	
	Τεχνητοί υγροβιότοποι	✓	✓
	Υδρόβια επεξεργασία	✓	
Εξελιγμένη	Επεξεργασία εδάφους	✓	✓
	Φίλτρα σταθερής κλίνης, ασυνεχούς λειτουργίας και επανακυκλοφορίας	✓	✓
	Ταχεία φίλτρανση	✓	
	Τεχνητοί υγροβιότοποι	✓	✓
	Απολύμανση, χλωρίωση, UV	✓	✓
	Επανακαθαρισμός (μεμβράνες και προσρόφηση με ενεργό άνθρακα)	✓	✓
	Συστήματα ανακύκλωσης		
	Καζανάκια		✓
	Πότισμα εξωτερικών χώρων		✓

### Επαναχρησιμοποίηση ή απόρριψη

Οι μέθοδοι επαναχρησιμοποίησης και απόρριψης παρουσιάζονται στον Πίνακα 7. Καθώς αυξάνεται το επίπεδο επεξεργασίας, η προοπτική για ευεργετική επαναχρησιμοποίηση της επεξεργασμένης εκροής αυξάνεται επίσης, αφού πρέπει να πληρούνται συγκεκριμένα ποιοτικά κριτήρια. Για αποκεντρωμένα συστήματα που βρίσκονται σε αγροτικές περιοχές, η άρδευση γεωργικών καλλιεργειών είναι η πιο πιθανή μορφή επαναχρησιμοποίησης, ενώ σε περιοχές με συχνές βροχοπτώσεις, η πιο συνηθισμένη είναι ο εμπλουτισμός του εδάφους.

Στις αστικές περιοχές, έχουν αναπτυχθεί συστήματα ανακύκλωσης νερού που παίρνουν το λύμα από τα κτίρια, το επεξεργάζονται και επιστρέφουν το μεγαλύτερο μέρος της επεξεργασμένης εκροής για επαναχρησιμοποίηση στα καζανάκια σε τουαλέτες. Παρόλο που αυτή η πρακτική είναι ακριβή, έχει χρησιμοποιηθεί για κτίρια γραφείων τα οποία βρίσκονται σε περιοχές χωρίς αποχετευτικό σύστημα, και όπου το νερό για οικιακή χρήση είναι περιορισμένο.

**Πίνακας 7:** Χαρακτηριστικές περιπτώσεις επαναχρησιμοποίησης και απόρριψης για μικρά αποκεντρωμένα συστήματα

Περίπτωση	Παράδειγμα
Τεχνητοί υδροβιότοποι	Ελεύθερη επιφάνεια νερού Υποεπιφανειακή ροή
Εκφόρτιση σε μεγάλες μάζες νερού	Λίμνες, ρυάκια, ταμιευτήρες, κόλποι, ποτάμια, ωκεανοί
Συστήματα εξάτμισης	Κλίνες εξατμισοδιαπνοής Λίμνες εξάτμισης
Εφαρμογή στο έδαφος	Εφαρμογή στην επιφάνεια Εφαρμογή με ψεκασμό Εφαρμογή με σταγόνες
Επαναχρησιμοποίηση	Άρδευση γεωργικών καλλιεργειών Άρδευση εξωτερικών χώρων Εμπλουτισμός υπογείων υδάτων Φυσικοί Υδροβιότοποι Παροχή μη πόσιμου Παροχή σε βιομηχανίες Λίμνες ψυχαγωγίας Αύξηση αποθεμάτων νερού
Απόρριψη αποβλήτων	Συστήματα απορρόφησης αποβλήτων Συμβατικά συστήματα διήθησης Άρδευση με σταγόνες Κλίνες ποτίσματος Συστήματα με σειράδια Συστήματα πλήρωσης Διαβαθμισμένα συστήματα

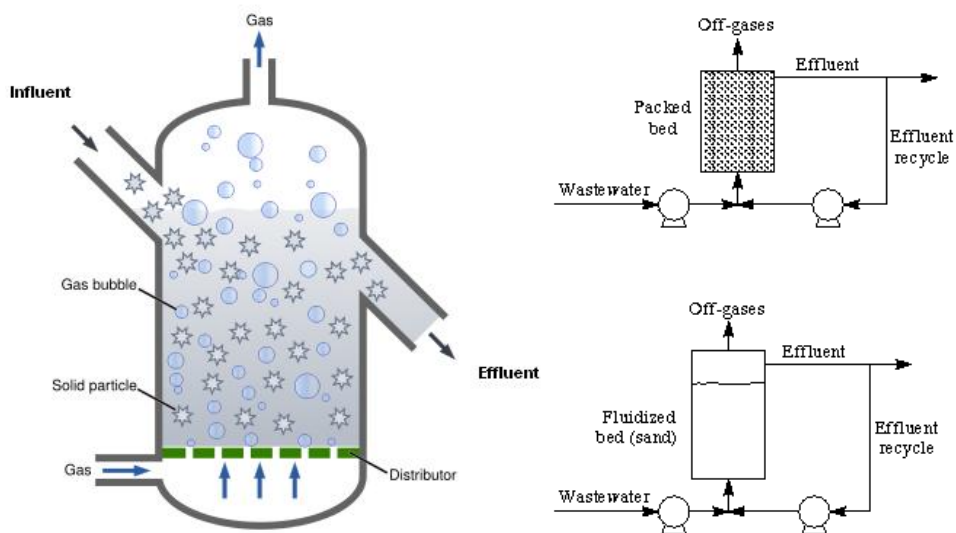
#### Διαχείριση βιοστερεών και ιλύος

Τα στερεά που απομακρύνονται από το λύμα απαιτούν σταθεροποίηση που ακολουθείται από απόρριψη ή επαναχρησιμοποίηση. Η ιλύς που εξάγεται από τις δεξαμενές πάχυνσης, απαιτεί επίσης περαιτέρω σταθεροποίηση πριν από την απόρριψη ή την επαναχρησιμοποίηση της. Συνήθως, η επαναχρησιμοποίηση της ιλύος γίνεται με κομποστοποίηση και εφαρμογή στο έδαφος. [13]



### 2.3.1. Βιολογικοί Αντιδραστήρες Ρευστοποιημένης Κλίνης

Πρόκειται για αντιδραστήρες με βυθισμένο πληρωτικό υλικό μικρών διαστάσεων, στην επιφάνεια του οποίου αναπτύσσεται προσκολλημένη βιομάζα. Χρησιμοποιούνται διάφορα είδη πληρωτικών υλικών, όπως πυριτική άμμος ή κοκκώδης ενεργός άνθρακας. Τα μικρά σωματίδια του πληρωτικού υλικού παρέχουν μεγάλη επιφάνεια ανά μονάδα όγκου για την προσκόλληση βιοφίλμ. Τα τεμάχια του πληρωτικού υλικού μετατρέπονται τελικά σε τεμάχια φορείς βιομάζας και κρατώνται σε αιώρηση με κατάλληλη ρύθμιση της ανοδικής ροής του ρεύματος που αποτελείται από τα τροφοδοτούμενα υγρά απόβλητα και από ανακυκλοφορούμενη εκροή του αντιδραστήρα. Με την πάροδο του χρόνου προσκολλάται όλο και περισσότερη βιομάζα στα σωματίδια φορείς και έτσι ενώ αυξάνει η διάμετρος τους μειώνεται το μέσο ειδικό βάρος τους με αποτέλεσμα από ένα σημείο και μετά να παρασύρονται από το ανοδικό ρεύμα στην εκροή. Η εκροή από τον αντιδραστήρα οδηγείται σε μία διάταξη κατακράτησης και πλύσης των τεμαχιδίων του πληρωτικού υλικού και από τη διάταξη αυτή λαμβάνονται τρία ρεύματα εξόδου: Το πρώτο αντιστοιχεί στην επεξεργασμένη εκροή, το δεύτερο στην περίσσεια βιομάζας και το τρίτο στο πλυμένο πληρωτικό υλικό, το οποίο επιστρέφει στον αντιδραστήρα. Η ρευστοποίηση της κλίνης του πληρωτικού υλικού έχει ως αποτέλεσμα την απώλεια στήριξης κάθε σωματιδίου πάνω σε άλλα σωματίδια και τη βελτίωση της μεταφοράς μάζας από το υγρό στο βιοφίλμ. Η ρευστοποίηση οδηγεί σε διαστολή του αρχικού ύψους της κλίνης του πληρωτικού υλικού και για το λόγο αυτό οι αντιδραστήρες αυτού του τύπου ονομάζονται και αντιδραστήρες διεσταλμένης κλίνης. [11]



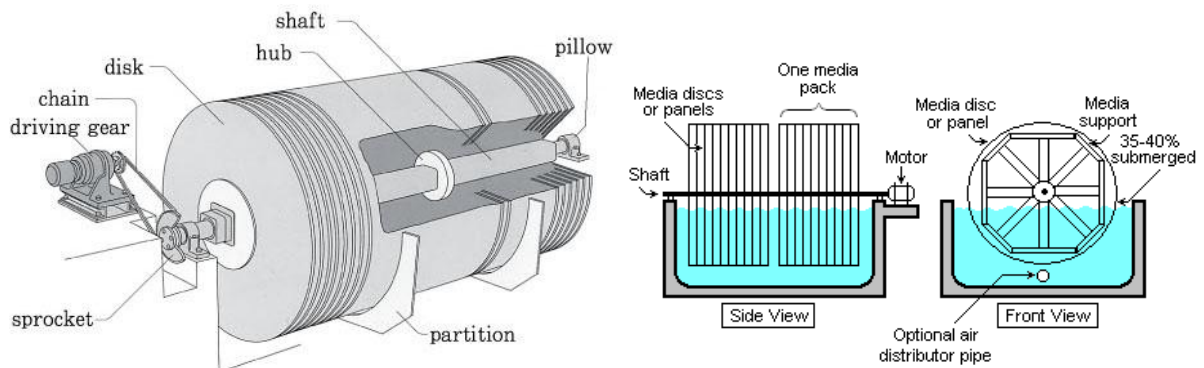
**Σχήμα 1:** Αερόβιοι και αναερόβιοι αντιδραστήρες ρευστοποιημένης κλίνης

### 2.3.2. Αερόβιες Περιστρεφόμενες Μονάδες Προσκολλημένης Βιομάζας

Στις αερόβιες περιστρεφόμενες μονάδες προσκολλημένης βιομάζας, το πληρωτικό μέσο δεν παραμένει ακίνητο, αλλά υποβάλλεται σε περιστροφική κίνηση, ώστε κατά διαστήματα να έρχεται σε επαφή με τα λύματα (καθώς βυθίζεται σε μία σκάφη που βρίσκεται κάτω από τον άξονα περιστροφής) και κατά διαστήματα να έρχεται σε επαφή με τον ατμοσφαιρικό αέρα.

Το πληρωτικό μέσο, στις περιστρεφόμενες μονάδες προσκολλημένης βιομάζας πρέπει να έχει μεγάλη ειδική επιφάνεια και παράλληλα να διαμορφώνεται επαρκής διάκενος χώρος, ώστε να μην προκαλούνται εμφράξεις κατά την ανάπτυξη της βιομάζας, που παρεμποδίζουν την κυκλοφορία τόσο των λυμάτων, όσο και του ατμοσφαιρικού αέρα.

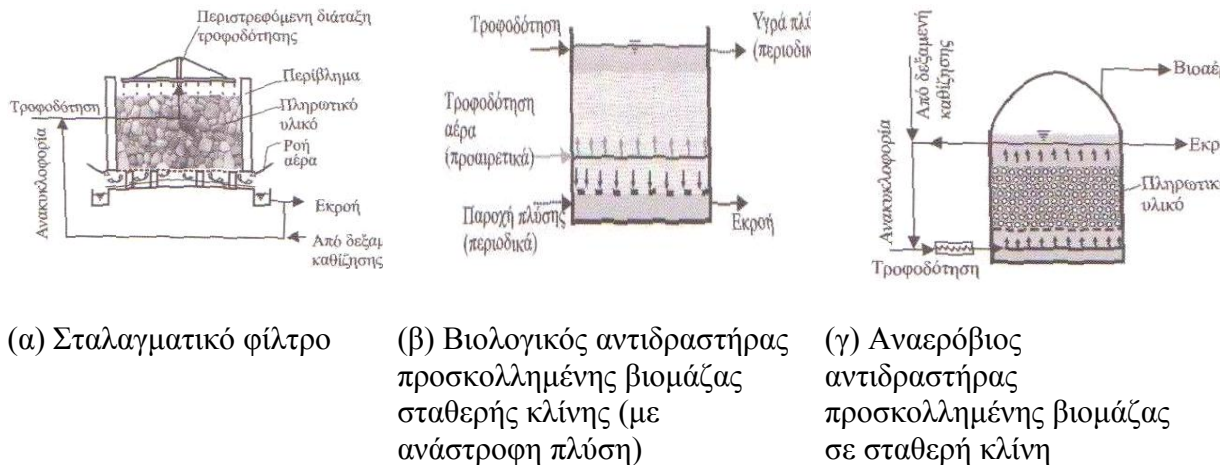
Στους αντιδραστήρες με περιστρεφόμενους δίσκους, που αποτελούν το συνηθέστερο μέσο επαφής, καθώς περιστρέφεται ο άξονας, περιοχές των δίσκων βρίσκονται κατά διαστήματα βυθισμένες μέσα στο μικτό υγρό ή εκτός του μικτού υγρού σε επαφή με τον ατμοσφαιρικό αέρα. Στην επιφάνεια των δίσκων προσκολλώνται μικροοργανισμοί και δημιουργείται το βιοφίλμ. Η περιστροφική κίνηση δημιουργεί διατμητικές δυνάμεις στο βιοφίλμ και έτσι προκαλείται αποκοπή υλικού με τελικό αποτέλεσμα να διαμορφώνεται ένα σχετικό σταθερό πάχος στρώματος προσκολλημένης βιομάζας κάτω από μόνιμες συνθήκες λειτουργίας. Η εκροή από τη σκάφη οδηγείται σε μία δεξαμενή δευτεροβάθμιας καθίζησης. Οι αντιδραστήρες αυτού του τύπου σχεδιάζονται συνήθως για αφαίρεση διαλυτού οργανικού υλικού καθώς και για νιτροποίηση απονιτροποίηση.[11]



**Σχήμα 2:** Μονάδες με περιστρεφόμενα μέσα επαφής

### 2.3.3. Αντιδραστήρες Προσκολλημένης Βιομάζας Σταθερής Κλίνης

Διακρίνουμε δύο βασικές κατηγορίες τέτοιων συστημάτων. Η μία αντιστοιχεί σε συστήματα με μη πλημμυρισμένο πληρωτικό υλικό και η άλλη σε πλημμυρισμένο πληρωτικό υλικό. Τα συστήματα με μη πλημμυρισμένο πληρωτικό υλικό σχεδιάζονται κυρίως για αερόβια επεξεργασία και μάλιστα με φυσικό αερισμό. Τα συστήματα με βυθισμένο (πλημμυρισμένο) πληρωτικό υλικό αναφέρονται σε ανοξικό ή σε αναερόβιο περιβάλλον και μπορεί επίσης να αναφέρονται και σε αερόβιο περιβάλλον (έμφυση αέρα για πρόσδοση οξυγόνου).



**Σχήμα 3:** Βιολογικοί αντιδραστήρες με προσκολλημένη βιομάζα

Στο Σχήμα 3(α) δίνεται το λειτουργικό διάγραμμα για ένα σταλαγματικό φίλτρο (μη πλημμυρισμένο πληρωτικό υλικό). Η τροφοδότηση κάθε συγκεκριμένου τμήματος επιφάνειας του πληρωτικού υλικού είναι διακοπτόμενη και επαναλαμβάνεται κατά τακτά διαστήματα. Τα τροφοδοτούμενα λύματα κατέρχονται περιλούοντας το πληρωτικό υλικό και εξέρχονται από τον πυθμένα του φίλτρου. Η στάθμη του υγρού βρίσκεται κάτω από τον πυθμένα του πληρωτικού υλικού και αφήνεται επαρκής διάκενος χώρος για την κυκλοφορία του ατμοσφαιρικού αέρα. Σε κάποιους σχεδιασμούς γίνεται ανακυκλοφορία εκροής ή καθιζήμενης εκροής. Όταν το πάχος της βιομάζας αυξηθεί πέρα από μια τιμή, γίνεται αποκοπή και συμπαρασυρμός στη ροή που εξέρχεται από τον πυθμένα του φίλτρου.

Στο Σχήμα 3(β), φαίνεται ένα φίλτρο με βυθισμένη κλίνη πληρωτικού υλικού. Η κλίνη αποτελείται από πληρωτικό υλικό μικρών διαστάσεων και η λειτουργία του είναι παρόμοια με τα φίλτρα διήθησης (δυλιστήρια) που χρησιμοποιούνται για την επεξεργασία του νερού. Το φίλτρο αυτό πρέπει να τροφοδοτείται με ασθενή υγρά απόβλητα που να περιέχουν μικρές συγκεντρώσεις αιωρούμενου υλικού. Συνήθως προβλέπεται ανάστροφη πλύση για να μη βουλώνουν τα διάκενα του πληρωτικού

υλικού. Το σύστημα αυτό ενδείκνυται για τριτοβάθμια αερόβια επεξεργασία αστικών λυμάτων.

Στο Σχήμα 3(γ) φαίνεται ένα αναερόβιο φίλτρο με βυθισμένη κλίνη. Το πληρωτικό υλικό πρέπει να είναι τέτοιων διαστάσεων ώστε να αποφεύγονται οι εμφράξεις. Το αναερόβιο φίλτρο ενδείκνυται για επεξεργασία αποβλήτων που περιέχουν μικρό ποσοστό αιωρούμενου υλικού. [11]

Στο πληρωτικό υλικό αυτών των συστημάτων σχηματίζεται στρώμα βιομάζας, το οποίο είναι σε επαφή με τον ατμοσφαιρικό αέρα. Η εγγενής τάση των μικροοργανισμών να προσκολλώνται και να αναπτύσσονται σε επιφάνειες που βρίσκονται σε επαφή με νερό, είναι η βασική αρχή σχηματισμού βιοφίλμ. Το βιοφίλμ αποτελείται από μικροοργανισμούς, αιωρούμενο οργανικό υλικό και άλλα συστατικά μεταξύ των οποίων και εξωκυτταρικό κολλώδες υλικό. Η ανάπτυξή του ευνοείται από μεγάλη ηλικία λάσπης, υψηλές συγκεντρώσεις οργανικού φορτίου, και σταθερότητα στις συνθήκες λειτουργίας. [14]

Η ανάπτυξη του βιοφίλμ στο υπόστρωμα είναι αποτέλεσμα: α) μεταφοράς κυττάρων και θρεπτικών στο υπόστρωμα μέσω διάχυσης και μεταγωγής, β) προσρόφησης κυττάρων στο υπόστρωμα και σχηματισμό βιοφίλμ, γ) ανάπτυξης και άλλων μεταβολικών διαδικασιών μέσα στο βιοφίλμ, δ) αποκόλλησης τμημάτων του βιοφίλμ. [15]

Στα συστήματα προσκολλημένης βιομάζας, η κινητική της βιολογικής διεργασίας ελέγχεται κυρίως από το ρυθμό διάχυσης εντός του βιοφίλμ και επηρεάζει ιδιαίτερα όταν πρόκειται για τη μεταφορά διαλυμένου οξυγόνου.

Όταν οι συνθήκες στην κύρια ροή είναι αερόβιες το εξωτερικό τμήμα του βιοφίλμ είναι αερόβιο, αλλά καθώς προχωρούμε εντός του βιοφίλμ οι συνθήκες μετατρέπονται σε αναερόβιες καθώς πλησιάζουμε προς τη διεπιφάνεια βιοφίλμ-πληρωτικού υλικού. [11]

Η παρουσία αερόβιων, ανοξικών και αναερόβιων περιοχών εντός του στρώματος του βιοφίλμ δίνει τη δυνατότητα στα συστήματα αυτά να επιτυγχάνουν αφαίρεση του οργανικού άνθρακα, φωσφόρου και αζώτου. [15]

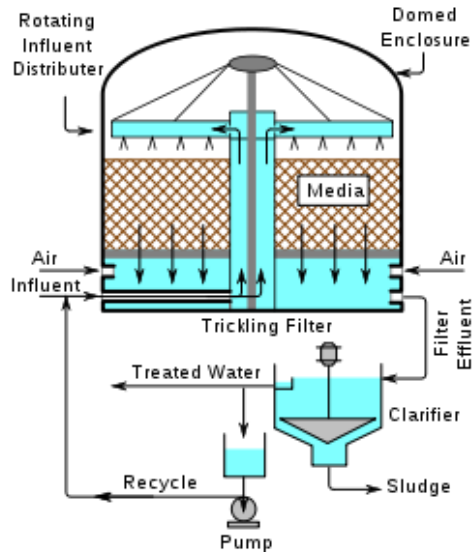
### **2.3.3.1. Αερόβιοι βιολογικοί αντιδραστήρες προσκολλημένης βιομάζας**

Οι αερόβιοι βιολογικοί αντιδραστήρες (σταλαγματικά φίλτρα) έχουν χρησιμοποιηθεί σε μία πληθώρα εφαρμογών και είναι κατάλληλοι για επεξεργασία τόσο αστικών, όσο και βιομηχανικών λυμάτων και επαναχρησιμοποίηση.

Σε έναν τέτοιο αντιδραστήρα, το πληρωτικό υλικό παίζει σημαντικό ρόλο και έχει δοκιμαστεί πληθώρα υλικών, με πιο κοινά τα χαλίκια και την άμμο. Επειδή όμως η άμμος μπορεί να αποδειχτεί ακριβή ή μη διαθέσιμη σε κάποιες περιοχές, εξετάζονται εναλλακτικά μέσα [16]. Κάποια από αυτά είναι κονιορτοποιημένο ή τεμαχισμένο γυαλί [16,17], τύρφη [16,18] κονιορτοποιημένα ορυκτά [19], κύβοι πολυουρεθάνης [20], ζεόλιθος [21], φύλλα πολυστυρενίου [22,23], πλαστικά καπάκια μπουκαλιών [24], δακτύλιοι Kaldnes [24], κύβοι πετροβάμβακα [24] ή ακόμα και κελύφη στρειδιών [25]. Στο Σχήμα 5 φαίνονται διάφορα είδη πληρωτικών υλικών, όπως τεμαχισμένο γυαλί, κύβοι πολυουρεθάνης, γεωύφασμα κ.α..

Στην παρούσα εργασία, τα μέσα επαφής που εξετάστηκαν είναι διογκωμένη άργιλος [21,26,27], και γεωύφασμα. [14,15,16,28,29]

Το πληρωτικό υλικό αποτελεί το μέσο αναχαιτίσης των στερεών, και διαχωρισμού υγρού-στερεών και φέρει το βιοφίλμ. Τα χαρακτηριστικά του μέσου επαφής του φίλτρου έχουν μεγάλο αντίκτυπο στην απόδοση της επεξεργασίας, ενώ παράλληλα, καθορίζουν την αρχική κατασκευαστική επένδυση καθώς και το λειτουργικό κόστος. [21]

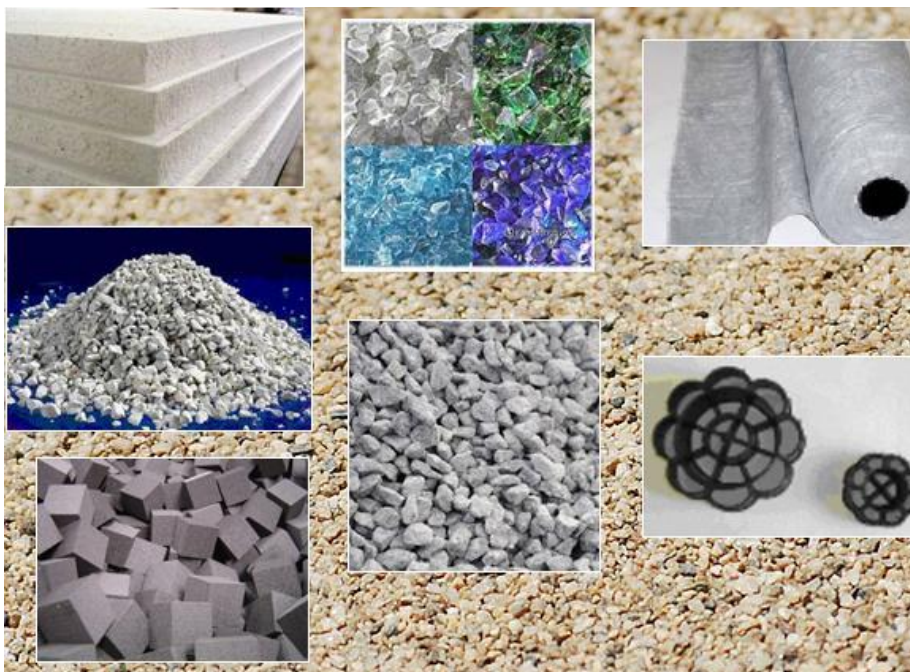


**Σχήμα 4:** Σταλαγματικό φίλτρο

Στην περίπτωση που χρησιμοποιείται πληρωτικό υλικό, με μεγάλη ειδική επιφάνεια, τα ανοίγματα των διακένων χώρων είναι αντίστοιχα μικρά και αύξηση του πάχους του στρώματος του βιοφίλμ πάνω από μια τιμή έχει ως συνέπεια μείωση της ειδικής αερόβιας επιφάνειας. Η μείωση αυτή οφείλεται κυρίως στην επαφή των βιοφίλμ που αναπτύσσονται σε παρακείμενες επιφάνειες πληρωτικού υλικού. Σημειώνεται ότι μια τέτοια εξέλιξη οδηγεί στο βούλωμα των διάκενων χώρων, λόγω βιολογικής ανάπτυξης. Η περιοχή τιμών ειδικής επιφάνειας που θεωρείται η πιο αποτελεσματική είναι  $88-105 \text{ m}^2/\text{m}^3$ , όταν πρόκειται για αφαίρεση οργανικού υλικού και νιτροποίηση. Όταν πρόκειται μόνο για νιτροποίηση (σε στάδιο επεξεργασίας που έπεται της αφαίρεσης οργανικού φορτίου) η παραπάνω περιοχή τιμών είναι  $135-150 \text{ m}^2/\text{m}^3$  (αντιστοιχεί σε μικρή παραγωγή νιτροποιητικής βιομάζας και κατά συνέπεια υπάρχει δυνατότητα μικρότερου ανοίγματος διάκενων χώρων). [31]

Ο κύριος στόχος των συστημάτων αυτών είναι να επιτύχουν την ταυτόχρονη βιολογική οξείδωση του οργανικού άνθρακα, τη φυσική φίλτρανση των αιωρούμενων στερεών, και τη νιτροποίηση του αμμωνιακού αζώτου, μιας και υψηλές συγκεντρώσεις αμμωνίας είναι τοξικές για τα ψάρια και τους υπολοίπους υδρόβιους οργανισμούς [15]. Επίσης, πρέπει να αποφεύγεται ο εμπλουτισμός των αποδεκτών με νιτρικό άζωτο, αφού η παρουσία του στο πόσιμο νερό μπορεί να προκαλέσει βρεφική μεθαιμοσφαιριναιμία και καρκίνους στο γαστρεντερικό σύστημα. Επομένως, είναι επιθυμητή και η απομάκρυνση του ολικού αζώτου [28]. Τα τελευταία χρόνια, έχουν αναπτυχθεί πολλές τεχνολογίες που συνδυάζουν απομάκρυνση οργανικού φορτίου, αζώτου και φωσφόρου.





**Σχήμα 5:** Πληρωτικά υλικά

Ο αερισμός σε φίλτρα με μικρό βάθος πληρωτικού υλικού γίνεται συνήθως με φυσική μεταφορά αέρα λόγω ρευμάτων κυκλοφορίας που επάγονται από τη διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ λυμάτων-ατμοσφαιρικού αέρα. Όταν όμως το βάθος του φίλτρου αυξάνεται (και αντίστοιχα και το οργανικό φορτίο ανά μονάδα επιφάνειας), τότε δεν επαρκεί η φυσική κυκλοφορία και επιβάλλεται τεχνητός αερισμός είτε με έμφυση ή με αναρρόφηση ατμοσφαιρικού αέρα. [30]

Σε πολλά από τα συστήματα προσκολλημένης ανάπτυξης απαιτείται κάποιου είδους προεπεξεργασία (πρωτοβάθμια καθίζηση ή δεξαμενή Imhoff) η οποία οδηγεί σε παραγωγή πρωτοβάθμιας ιλύος. Ωστόσο, τα συστήματα αυτά μπορούν να δεχτούν και απευθείας ανεπεξέργαστα λύματα, επιτρέποντας έτσι την εύκολη διαχείριση της παραγόμενης ιλύος. [24]

Στην περίπτωση των αντιδραστήρων με φυσικό αερισμό η διαδικασία της επεξεργασίας χωρίζεται σε δύο φάσεις, τη φάση τροφοδοσίας και τη φάση ανάπαυλας. Η μονάδα επεξεργασίας λαμβάνει το σύνολο του οργανικού φορτίου κατά τη διάρκεια της φάσης τροφοδοσίας, πριν από τη φάση ανάπαυλας (η οποία διαρκεί συνήθως διπλάσιο χρόνο). Αυτές οι εναλλασσόμενες φάσεις παίζουν θεμελιώδη ρόλο στον έλεγχο της ανάπτυξης της προσκολλημένης βιομάζας στην επιφάνεια του μέσου, συμβάλλοντας στη διατήρηση αερόβιων συνθηκών εντός της κλίνης και στερεοποιώντας τα οργανικά υπολείμματα που δημιουργούνται από τα αιωρούμενα στερεά που περιέχονται στο ανεπεξέργαστο λύμα και κατακρατούνται στην επιφάνεια των φίλτρων. [24]

Τα πλεονεκτήματα συστημάτων προσκολλημένης βιομάζας έναντι των συστημάτων αιωρούμενης βιομάζας περιλαμβάνουν μεταξύ άλλων: υψηλή απομάκρυνση οργανικού φορτίου, δυνατότητα επεξεργασίας μεγαλύτερων παροχών, μειωμένη παραγωγή ιλύος, μεγάλη ηλικία λάσπης, η οποία ευνοεί τα αργά αναπτυσσόμενα βακτήρια όπως τα νιτροποιητικά, απονιτροποίηση στις ανοξικές ζώνες στο βάθος του βιοφίλμ, μεγάλη σταθερότητα στη διεργασία ανεξάρτητα από τις διακυμάνσεις στην εισροή και κατάληψη

μικρότερου χώρου από τον αντιδραστήρα εξαιτίας μεγαλύτερης συγκέντρωσης βιομάζας και υψηλότερων ειδικών ρυθμών απομάκρυνσης. Ένα σημαντικό μειονέκτημα αυτών των συστημάτων είναι ο κίνδυνος εμφράξεων, ιδιαίτερα σε φίλτρα άμμου και τύρφης. [15,27,24]

Τα γεωφάσματα είναι λεπτά, ανθεκτικά, διαπερατά υφάσματα κατασκευασμένα από ίνες ή φιλμ πολυπροπυλενίου και πολυεστέρα. Έχουν πορώδη δομή με πορώδες 0,7-0,9 και ειδική επιφάνεια 500-5.000 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>.

Το γεωφάσμα έχει εξεταστεί ως πληρωτικό υλικό σε συστήματα προσκολλημένης βιομάζας από πληθώρα ερευνητών για την επεξεργασία αστικών και βιομηχανικών αποβλήτων. Σε αυτές τις μελέτες, τα πλεονεκτήματα του γεωφάσματος περιλαμβάνουν βελτίωση στην ποιότητα της εκροής κυρίως λόγω κατακράτησης των TSS, μεγαλύτερη επιφάνεια προσκόλλησης των μικροοργανισμών και ανάπτυξη της βιοποικιλότητας τους. [14]

Οι Roy et al [29] εξέτασαν τη χρήση μη-υφαντού γεωφάσματος σε φίλτρα μονοστρωματικά και πολυστρωματικά. Τα πειράματα διεξήχθησαν σε υδραυλικές φορτίσεις που κυμάνθηκαν από 0,2 έως 1,8 m/d. Παρατηρήθηκε ότι το BOD και το TSS στην εκροή ήταν χαμηλότερα από 10mg/l σε φόρτιση 0,2 έως 0,6 m/d, στα μονοστρωματικά και πολυστρωματικά φίλτρα.

Η ανάπτυξη συστημάτων με γεωφάσμα φαίνεται να είναι πολλά υποσχόμενη στον τομέα της επεξεργασίας αποβλήτων σε αποκεντρωμένα συστήματα. Ωστόσο, υπάρχει ακόμα η ανάγκη για περαιτέρω έρευνα και βελτιστοποίηση τέτοιων φίλτρων.

Στην περίπτωση που ως πληρωτικό χρησιμοποιείται κοκκώδες ανόργανο υλικό, η διογκωμένη άργιλος έχει αποδειχτεί ιδιαίτερα αποτελεσματική σε σχέση με άλλα μέσα, όπως άμμο, γυαλί, και πλαστικά ιδίων διαστάσεων. [27]

Επιπλέον, η διογκωμένη άργιλος οδηγεί σε καλύτερη απόδοση της οξυγόνωσης από κλίνες με πολυστυρένιο ίδιας διαμέτρου, εξαιτίας μικρότερου πορώδους της κλίνης, όταν αυτή περιέχει πιο σφαιρικά σωματίδια.

### **2.3.3.2. Αναερόβιοι βιολογικοί αντιδραστήρες προσκολλημένης βιομάζας**

Τα τελευταία χρόνια υπάρχει αυξανόμενο ενδιαφέρον για την αναερόβια επεξεργασία, σε αντίθεση με τα συστήματα αερόβιας επεξεργασίας, γιατί μέσω αυτής επιτυγχάνεται μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης, πράγμα ιδιαίτερα επιθυμητό εξαιτίας του προβλήματος της κλιματικής αλλαγής. Η αναερόβια επεξεργασία παράγει μεθάνιο το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί και ως ανανεώσιμο καύσιμο. Επίσης, οι αναερόβιοι αντιδραστήρες κερδίζουν έδαφος εξαιτίας της μειωμένης παραγωγής στερεών υπολειμμάτων σε σχέση με άλλους και έχουν σχετικά μικρό υδραυλικό χρόνο παραμονής. Από τα πληρωτικά υλικά που έχουν εξεταστεί για αυτούς επικρατέστερα είναι τα πολυμερή.

Τα πειραματικά αποτελέσματα καταδεικνύουν ότι η υφή της επιφάνειας του μέσου επαφής και το πορώδες παίζουν σημαντικό ρόλο στην απόδοση του αντιδραστήρα.[32]

### 2.3.4. Φυσικά Συστήματα Επεξεργασίας

Φυσικά συστήματα επεξεργασίας αποβλήτων ονομάζονται τα συστήματα που η επεξεργασία των αποβλήτων διενεργείται με φυσικά μέσα και διεργασίες φυσικές, χημικές και βιολογικές με την αλληλεπίδραση του νερού, του εδάφους, της ατμόσφαιρας, των φυτικών και των ζωικών οργανισμών. Τα φυσικά συστήματα χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες:

- Τα **συστήματα που βασίζονται στο έδαφος** (Εδαφικά συστήματα επεξεργασίας).

Μετά την εφαρμογή στην επιφάνεια του εδάφους προεπεξεργασμένων υγρών αποβλήτων, επιτυγχάνεται περαιτέρω επεξεργασία τους διά μέσου των φυσικών, χημικών και βιολογικών διεργασιών που συμβαίνουν στο έδαφος σε βαθύτερους γεωλογικούς σχηματισμούς. Τα υδραυλικά φορτία εφαρμογής των λυμάτων πρέπει να είναι συμβατά με το δυναμικό του κάθε συστήματος. Οι κύριοι τύποι συστημάτων επεξεργασίας υγρών αποβλήτων με εφαρμογή στο έδαφος και σε βαθύτερους γεωλογικούς σχηματισμούς είναι οι:

- (α) Βραδεία Εφαρμογή.
- (β) Ταχεία Διήθηση.
- (γ) Επιφανειακή Ροή.
- (δ) Συνδυασμένοι Τύποι. [30, 31]

- Τα **συστήματα που βασίζονται στα υδροχαρή φυτά**.

Τέτοια είναι οι φυσικοί και τεχνητοί υγροβιότοποι και συστήματα επιπλεόντων υδροχαρών φυτών.

Στα συστήματα με επιπλέοντα υδροχαρή φυτά, με τα φύλλα των φυτών καλύπτεται η επιφάνεια του νερού, οπότε με τη σκιά τους αποφεύγεται η ανάπτυξη αλγών στις δεξαμενές. Επιπρόσθετα, το εκτεταμένο ριζικό σύστημα των φυτών δημιουργεί ένα υπόστρωμα για την ανάπτυξη μικροοργανισμών, οι οποίοι αποικοδομούν ακόμα περισσότερο τους ρύπους των λυμάτων, επιτυγχάνοντας έτσι την καλύτερη δυνατή επεξεργασία τους.

Τα συστήματα τεχνητών υγροβιότοπων επεξεργασίας λυμάτων χρησιμοποιούνται για περαιτέρω επεξεργασία προεπεξεργασμένων λυμάτων, όπως και τα προηγούμενα φυσικά συστήματα. Αποτελούνται από λεκάνες μικρού βάθους, στις οποίες τοποθετείται μια εδαφική στρώση και καλλιεργούνται διάφορα υδροχαρή φυτά. Σημειώνεται ότι στα συστήματα αυτά, με την ανάπτυξη στις ρίζες των φυτών ειδικών πληθυσμών βακτηρίων, επιτυγχάνεται επιπρόσθετα ένα φιλτράρισμα και μια προσρόφηση διαφόρων συστατικών των λυμάτων, μεταφέρεται οξυγόνο στη μάζα του νερού και περιορίζεται η ανάπτυξη αλγών εξαιτίας της αναπτυσσόμενης βλάστησης, με την οποία επιτυγχάνεται έλεγχος της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας. Τα συστήματα των τεχνητών υγροβιότοπων είναι δύο τύπων: α) τα συστήματα με λεκάνες ελεύθερης υδατικής επιφάνειας και β) τα συστήματα υπόγειας ροής. Και στα δύο αυτά συστήματα οι λεκάνες βρίσκονται κάτω από συνθήκες συνεχούς κατάκλισης.[30, 31]



- Τα συστήματα των σηπτικών δεξαμενών ή βόθρων ή επιτόπια συστήματα.

Τα συστήματα αυτά είναι τα πλέον διαδεδομένα για αραιοκατοικημένους μικρούς ή μεγαλύτερους οικισμούς, καθώς και για παραθεριστικές κατοικίες, όταν υπάρχει ικανοποιητικός κατάλληλος χώρος στο οικόπεδο κάθε κατοικίας. Σήμερα για λόγους μεγαλύτερης προστασίας των υπόγειων νερών, τα συστήματα αυτά έχουν αντικατασταθεί από στεγανούς βόθρους και εφαρμόζονται για πολύ μικρές παροχές λυμάτων. Η μελέτη και κατασκευή τους γίνεται με βάση τον εξυπηρετούμενο πληθυσμό και τις τοπικές συνθήκες, που αφορούν κυρίως στη διαπερατότητα των εδαφών.[ 30, 31]

Στη συνέχεια παρατίθεται συγκεντρωτικός πίνακας με τεχνικά χαρακτηριστικά διαφόρων συστημάτων επεξεργασίας υγρών αποβλήτων. Συγκεκριμένα, στον Πίνακα 8 φαίνεται η απόδοση τόσο κεντρικών συστημάτων επεξεργασίας (αιωρούμενης βιομάζας), όσο και αποκεντρωμένων συστημάτων αναερόβιας, αερόβιας επεξεργασίας με φυσικό και τεχνητό αερισμό, καθώς και φυσικών συστημάτων επεξεργασίας.

**Πίνακας 8:** Συγκεντρωτικός πίνακας τεχνικών χαρακτηριστικών συστημάτων επεξεργασίας λυμάτων [24,32]

Πληρωτικό Υλικό	Είδος Αντιδραστήρα	Τροφοδοσία	Ροή	Χρόνος Παραμονής	Οργανικά		Θρεπτικά	
					Φόρτιση	Ποσοστό Απομάκρυνσης	Φόρτιση	Ποσοστό Απομάκρυνσης
Ενεργός Ιλύς	Παρατεταμένος αερισμός	Αστικά λύματα	-	>24 h	450 mg/l COD	94%	50 mg/l TN	84%
Τύρφη	Στήλη (Αερόβια επεξεργασία με φυσικό αερισμό)	Οικιακά απόβλητα πριν την καθίζηση	Κάθετη	93h ή 101h	312±133 mg L <sup>-1</sup> COD	63% ή 50%	14-15 mg L <sup>-1</sup> NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N	64% ή 93%
Πολυεστέρας σε σχήμα πρίσματος-πορώδεις δίσκοι ουρεθάνης	Βιοαντιδραστήρας με πορώδεις δίσκους (Αερόβια επεξεργασία με φυσικό αερισμό)	Συνθετικά οικιακά λύματα υψηλής αντοχής	Καθοδική	40 min	2,4 kg COD m <sup>-3</sup> d <sup>-1</sup>	92% DOC	17 mg L <sup>-1</sup> NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N 3,1 mg L <sup>-1</sup> TP	54,8% TN 87,4% TP
Άμμος	Φίλτρο άμμου	Εκροή δευτεροβάθμιας επεξεργασίας	Κάθετη	-	32±58 mg L <sup>-1</sup> COD	11,7-35% (για άμμο διαμέτρου 0,5 mm) 33,4-40,4% (για άμμο διαμέτρου 0,2 mm)	3,9-4,9 mg TN L <sup>-1</sup>	45-67%
Υπολείμματα καύσης και τεμάχια ανακυκλωμένου πλαστικού	Φίλτρο Διήθησης	Εκροή πρωτοβάθμιας καθίζησης, οικιακών αποβλήτων	Κάθετη	23,3-95,0 h  23,0-69,0 h	0,28 kg BOD m <sup>-3</sup> d <sup>-1</sup> 0,63 kg BOD m <sup>-3</sup> d <sup>-1</sup> 0,85 kg BOD m <sup>-3</sup> d <sup>-1</sup>	87,7±3,0% 87,2±2,3% 74,5±3,6%	0,05±0,01 kg N m <sup>-3</sup> d <sup>-1</sup> 0,08±0,02 kg N m <sup>-3</sup> d <sup>-1</sup> 0,11±0,01 kg N m <sup>-3</sup> d <sup>-1</sup>	45±6,7% 32,4±9,1% 8,5±6,5%
Ανακυκλωμένο γυαλί (μεγάλα κομμάτια, μεσαία και μικρά)	Φίλτρο (Αερόβια επεξεργασία με τεχνητό αερισμό)	Εκροή δευτεροβάθμιας επεξεργασίας	Καθοδική	-	51-143 mg L <sup>-1</sup> COD	28,9% (μέγεθος 1,5-2,5 mm) 15,8%(μέγεθος 0,5-1,45 mm) 23,2%(μέγεθος 0,2-1 mm)	-	-
Αφρός πολυουρεθάνης ή σωματίδια από βιοδιασπώμενο πολυμερές πολυκαπρολακτόνης (PCL)	Αντιδραστήρας βιοφίλμ κινούμενης κλίνης (Αερόβια επεξεργασία με τεχνητό αερισμό)	Συνθετικά λύματα	-	14 h	200-401 mg L <sup>-1</sup> COD	90% TOC ή 72% TOC	49,8±8,5 mg L <sup>-1</sup> TN	42,6% ή 60,1%
Δακτύλιοι Pall	Αντιδραστήρας αερόβιας επεξεργασίας με τεχνητό αερισμό	Εκροή πρωτοβάθμιας επεξεργασίας	-	290 min	20 kg COD m <sup>-2</sup> d <sup>-1</sup>	84%	4,0 mg L <sup>-1</sup> NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N	85%
Διογκωμένη Άργιλος (Filtralite)	Βιολογικό φίλτρο αερόβιας επεξεργασίας με τεχνητό αερισμό	Εκροή καθίζησης	Καθοδική	2,44 h	3,7-8 kg COD <sub>tot</sub> m <sup>-3</sup> d <sup>-1</sup>	35±5% COD <sub>F</sub>	0,78±0,12 kg NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N m <sup>-3</sup> d <sup>-1</sup>	91±2%
Κόκκοι ενεργού άνθρακα	Αναερόβιος αντιδραστήρας ρευστοποιημένης κλίνης	Συνθετικά λύματα	Ανοδική	1,33 h	4,2 kg COD m <sup>-3</sup> d <sup>-1</sup>	72%	-	-
Χρησιμοποιούμενα ελαστικά αυτοκινήτων	Αναερόβιος αντιδραστήρας σταθερής κλίνης	Προσομοιωμένα οικιακά λύματα	Ανοδική-καθοδική	8h ή 12h	1000 mg L <sup>-1</sup> COD	50%	9,7±5,1 mg L <sup>-1</sup> NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N	-

	πέντε σταδίων							
Αυλακωμένοι πλαστικοί δακτύλιοι	Αναερόβιο φίλτρο ανοδικής ροής	Συνθετικά οικιακά λύματα	Ανοδική	17,1-10,0h	0,99-1,71 g COD <sub>T</sub> L <sup>-1</sup> d <sup>-1</sup>	≈80%	-	-
Ελαφρόπετρα	Βιοαντιδραστήρας ρευστοποιημένης κλίνης (αερόβια + αναερόβια επεξεργασία)	Αστικά λύματα	Ανοδική-καθοδική	2,3 h	4,3±0,5 kg COD m <sup>-3</sup> d <sup>-1</sup>	87%	0,51 kg N m <sup>-3</sup> d <sup>-1</sup> 0,06 kg P m <sup>-3</sup> d <sup>-1</sup>	84,5±1,3% N 55,0±8,0% P
Καλάμια Phragmites Australis	Τεχνητός Υγροβιότοπος	Λύματα campus Πολυτεχνείου Κρήτης	Κάθετη	-	70 g m <sup>-2</sup> d <sup>-1</sup> COD 50 g m <sup>-2</sup> d <sup>-1</sup> COD 30 g m <sup>-2</sup> d <sup>-1</sup> COD	77,4% 83,9% 79,6%	-	38,1% TN, 36,9% NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N 48,6% TN, 42,3% NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N 52,0% TN, 54,4% NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N

### 3. Πειραματικό Μέρος

#### 3.1. Χαρακτηριστικά Λυμάτων

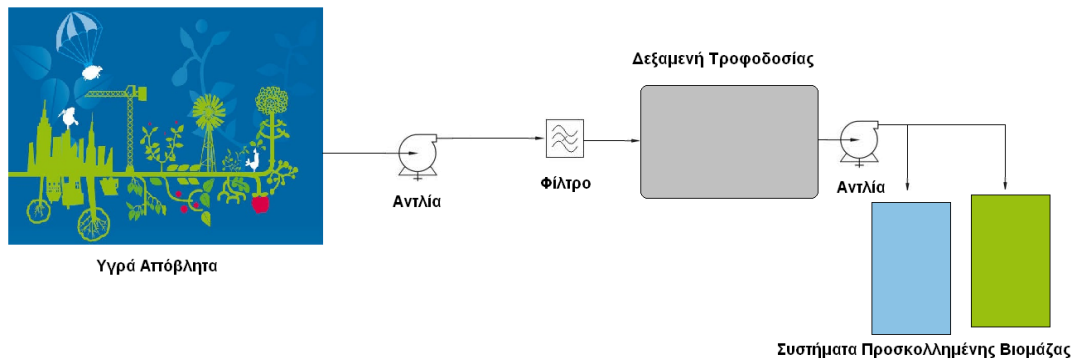
Η παρούσα μελέτη πραγματοποιήθηκε σε τρία στάδια με τρεις διαφορετικές συστάσεις τροφοδοσίας και φορτίσεις.

Τα λύματα προς επεξεργασία προήλθαν από το φρεάτιο εισόδου της εγκατάστασης του βιολογικού καθαρισμού που εξυπηρετεί αποκλειστικά το χώρο του Πολυτεχνείου Κρήτης. Η μέση φόρτισή τους ήταν περίπου 450 mg/L COD, ενώ παρατηρήθηκαν και κάποιες υψηλές φορτίσεις της τάξης των 700-900 mg/L COD. Το pH των λυμάτων ήταν σταθερά κοντά στο 7,5.

Τα απόβλητα ελαιουργείου που υπέστησαν επεξεργασία προήλθαν από το ελαιουργείο Ξαμουδοχωρίου-Κυπαρίσσου, το οποίο είναι ένα τυπικό τριφασικό ελαιουργείο. Η μέση φόρτιση του κασιόγαρου ήταν περίπου 88.000 mg/L COD.

#### 3.2. Πειραματική Διάταξη

Κατά το πρώτο στάδιο, τα λύματα από το φρεάτιο εισόδου της εγκατάστασης του βιολογικού καθαρισμού του Πολυτεχνείου Κρήτης διέρχονται από μία χονδροεσχάρα που βρίσκεται στο φρεάτιο εισόδου του βιολογικού καθαρισμού. Κατόπιν, διοχετεύονται σε φίλτρο (Biotube, Orenco<sup>TM</sup>), ώστε να απομακρυνθούν τα στερεά διαμέτρου μεγαλύτερης των 4mm, προς αποφυγήν αποφράξεων των αντλιών και σωληνώσεων του συστήματος (Σχήμα 6). Στη συνέχεια αποθηκεύονται προσωρινά σε μία δεξαμενή τροφοδοσίας χωρητικότητας 1m<sup>3</sup>, από όπου αντλούνται 3 φορές την ημέρα και οδηγούνται στις δύο δεξαμενές επεξεργασίας διαστάσεων 0.80x0.80x1.20m (ΠxΜxΥ), οι οποίες φέρουν διαφορετικό πληρωτικό υλικό η καθεμία, όπως φαίνεται στο σχήμα που ακολουθεί. Η είσοδος των λυμάτων στις δεξαμενές επεξεργασίας γίνεται μέσω ενός συστήματος διανομής που βρίσκεται στο πάνω μέρος, διηθούνται μέσω του πληρωτικού υλικού, ενώ στο κάτω μέρος τους υπάρχει αποστραγγιστικό σύστημα και υπόστρωμα με χαλίκι, συγκεκριμένης κοκκομετρίας (8-18 mm), ύψους 5cm. Η τελική εκροή του συστήματος γίνεται 10cm πάνω από την αποστράγγιση.



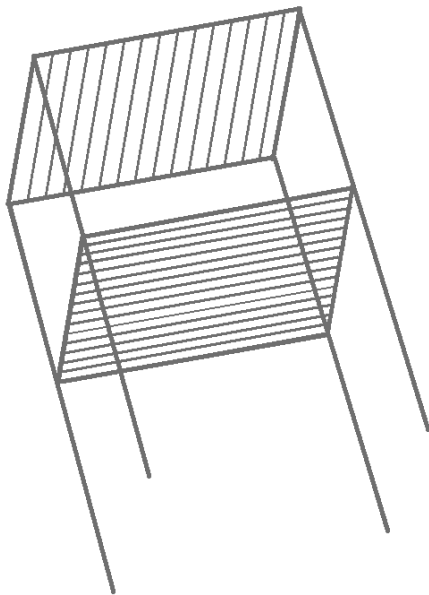
Σχήμα 6: Διάγραμμα ροής συστήματος επεξεργασίας

Στην πρώτη δεξαμενή επεξεργασίας (**Σύστημα Ι**) τοποθετήθηκε γεωφάσμα σε μεταλλική σχάρα (Σχήμα 7) σε κάθετη και οριζόντια διάταξη, ώστε να εξασφαλίζεται όσο το δυνατόν μεγαλύτερη επιφάνεια επαφής των υγρών αποβλήτων με το μέσο.

Για τις ανάγκες του πειράματος χρησιμοποιήθηκε μη υφαντό γεωφάσμα Mactex H20.1 της εταιρείας MACCAFERRI, από υψηλής αντοχής ίνες πολυπροπυλενίου (PP). Τα βασικά χαρακτηριστικά του γεωφάσματος είναι τα εξής:

- Διαπερατότητα κάθετα στο επίπεδο:  $k_n = 1,8 \text{ s}^{-1}$
- Μέγεθος πόρων:  $O_{90} = 75 \pm 30 \text{ }\mu\text{m}$
- Βάρος:  $140 \text{ gr/m}^2$

Αναλυτικότερα τα χαρακτηριστικά του γεωφάσματος παρουσιάζονται στο Παράρτημα 1.



**Σχήμα 7:** Σχάρα-βάση γεωυφάσματος και γεωφάσμα

Στην δεύτερη δεξαμενή (**Σύστημα ΙΙ**), ως πληρωτικό υλικό χρησιμοποιήθηκαν 250 l διογκωμένη άργιλος Hydroton της εταιρείας Liapor (Σχήμα 8) πάνω από το υπόστρωμα χαλικιών συνολικού πάχους 40 cm. Η άργιλος προέρχεται από σχιστόλιθο και είναι σφαιρικού σχήματος με διάμετρο μεταξύ 8-16 mm.

Τα συγκεκριμένα πληρωτικά υλικά επιλέχθηκαν λόγω του υψηλού πορώδους και ειδικής επιφάνειας που διαθέτουν καθώς και εξαιτίας της διαθεσιμότητας και του κόστους τους.



**Σχήμα 8:** Διογκωμένη άργιλος

Η έναρξη της λειτουργίας των συστημάτων έγινε στις 4 Νοέμβριου του 2011. Αρχικά, πραγματοποιήθηκε τροφοδοσία των συστημάτων με λύμα 50 L ανά ημέρα, ώστε να αναπτύξουν ενεργή βιομάζα και να φτάσουν σε μόνιμες συνθήκες. Η φάση προσαρμογής και σταθεροποίησης τους διήρκεσε περίπου ένα μήνα. Οι μετρήσεις αυτής της περιόδου δεν λήφθηκαν υπόψη.

### 3.3. Πειραματική Διαδικασία-Συνθήκες Λειτουργίας

Καθ' όλη τη διάρκεια των πειραμάτων η τροφοδοσία των συστημάτων ήταν διακοπτόμενη και επαναλαμβανόταν ανά 8h. Η παροχή λυμάτων ανά σύστημα ήταν περίπου 58 l/d. Τα συστήματα επεξεργασίας θεωρούνται σταθερής κλίνης, διακοπτόμενης λειτουργίας, με φυσικό αερισμό και λειτουργούν σε θερμοκρασία περιβάλλοντος. Μελετήθηκαν τρεις διαφορετικοί τρόποι τροφοδοσίας (Πίνακας 9), που μεταβαλλόταν η σύσταση και το είδος την υγρών αποβλήτων, καθώς και η μέση φόρτιση, ενώ διατηρούνταν σταθερή η συχνότητα και η ποσότητα των λυμάτων που διοχετευόταν στα συστήματα.

Στο πρώτο στάδιο, η τροφοδοσία ήταν αποκλειστικά αστικό λύμα με μέση φόρτιση περίπου 450 mg/L COD και pH περίπου ίσο με 7,5. Κατά το δεύτερο στάδιο των πειραμάτων, πραγματοποιήθηκε αραιώση του κατσίγαρου με λύμα με σκοπό να επιτευχθεί σταθερή φόρτιση κοντά στα 1.200 mg/L COD. Κατά το τρίτο στάδιο, πραγματοποιήθηκε αραιώση κατσίγαρου με νερό και επετεύχθη φόρτιση περίπου 3.300 mg/L COD. Το pH στα δύο αυτά στάδια ήταν το πιο όξινο με μέσο όρο 5,85.

**Πίνακας 9:** Σύσταση και μέση φόρτιση ανά στάδιο πειραμάτων

Στάδιο	Σύσταση Τροφοδοσίας	Μέσο COD (mg/l)
1 <sup>ο</sup>	Λύμα	464
2 <sup>ο</sup>	Λύμα/Κατσίγαρος	1.260
3 <sup>ο</sup>	Νερό/Κατσίγαρος	3.323

### **3.4. Αναλυτικές Μέθοδοι**

Για την ολοκλήρωση της παρούσας διατριβής, πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις των παραμέτρων COD, BOD, TSS, TN και  $\text{NH}_4^+$  με μεθόδους βασισμένες στο Standard Methods [33]. Παράλληλα, μετρήθηκε το pH, καθώς και το DOC με τη βοήθεια αναλυτή οργανικού άνθρακα (TOC Analyzer) της εταιρίας Shimadzu μοντέλο 5000A.

## 4. Αποτελέσματα-Συζήτηση

Στους Πίνακες 10 και 11 φαίνονται τα αποτελέσματα της επεξεργασίας στα δύο συστήματα ανά στάδιο επεξεργασίας, δηλαδή για τροφοδοσία με αστικό λύμα μέσης φόρτισης 450 mg/L COD (1<sup>ο</sup> στάδιο), για τροφοδοσία με κασσίγαρο σε ανάμειξη με λύμα και φόρτιση 1.200 mg/L COD (2<sup>ο</sup> στάδιο) και για τροφοδοσία με κασσίγαρο αραιωμένο με νερό και φόρτιση 3.300 mg/L COD.

Συγκεκριμένα, παρουσιάζονται οι % απομακρύνσεις των φορτίων (BOD, COD, DOC, TSS) ως συγκέντρωση.

**Πίνακας 10:** Συγκεντρωτικά αποτελέσματα απομάκρυνσης φορτίου ανά στάδιο για το Σύστημα Ι (γεωύφασμα)

% απομάκρυνση ως συγκέντρωση	Ελάχιστη εκατοστιαία μείωση (βάσει ΚΥΑ 5673/40/5.3.1997)	1 <sup>ο</sup> στάδιο	2 <sup>ο</sup> στάδιο	3 <sup>ο</sup> στάδιο
<b>BOD</b>	70-90	63,1	63,3	70,2
<b>COD</b>	75	64,8	69,9	84,3
<b>DOC</b>	-	42,1	52,2	67,6
<b>TSS</b>	70-90*	60,3	78,4	89,9

**Πίνακας 11:** Συγκεντρωτικά αποτελέσματα απομάκρυνσης φορτίου ανά στάδιο για το Σύστημα ΙΙ (διογκ. άργιλος)

% απομάκρυνση ως συγκέντρωση	Ελάχιστη εκατοστιαία μείωση (βάσει ΚΥΑ 5673/40/5.3.1997)	1 <sup>ο</sup> στάδιο	2 <sup>ο</sup> στάδιο	3 <sup>ο</sup> στάδιο
<b>BOD</b>	70-90	56,3	51,1	64,3
<b>COD</b>	75	56,0	58,9	80,0
<b>DOC</b>	-	29,8	54,2	60,8
<b>TSS</b>	70-90*	59,6	60,9	92,1

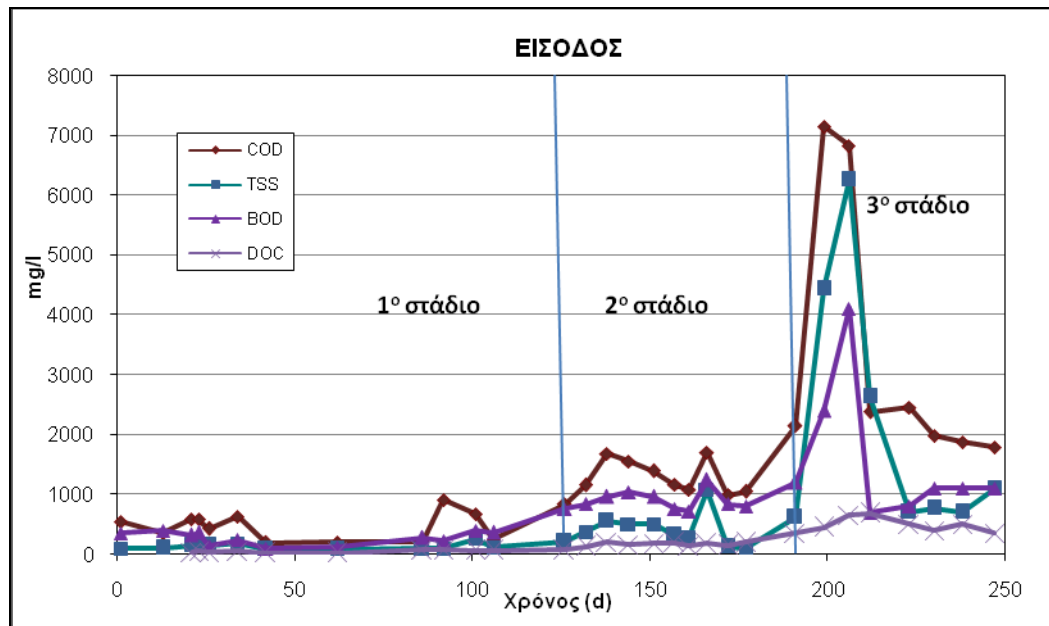
\* 90 άνω των 10.000 ι.π.  
70 για 2.000-10.000 ι.π.

Στη συνέχεια παρατίθενται σχηματικά τα αποτελέσματα των αναλύσεων για τα δύο συστήματα, ανά παράμετρο για κάθε πειραματικό στάδιο.

Όπως φαίνεται στο Σχήμα 9, κατά το 1<sup>ο</sup> στάδιο, η φόρτιση των εισερχομένων λυμάτων είναι σταθερή, ενώ κατά το 2<sup>ο</sup> και 3<sup>ο</sup> στάδιο παρατηρούνται διακυμάνσεις στις τιμές εισόδου σε όλες τις μετρούμενες παραμέτρους. Επίσης στο 3<sup>ο</sup> στάδιο



παρατηρούνται κάποιες φορτίσεις-σοκ της τάξης των 400.000 mg/d σε όρους COD. Αυτές οι διακυμάνσεις οφείλονται στην ποιότητα του κατσιγάρου, η οποία δεν ήταν σταθερή, αλλά παρουσιάζει μεγάλες αυξομειώσεις.



**Σχήμα 9:** Χαρακτηριστικά εισερχομένων υγρών αποβλήτων στα Συστήματα I και II

Οι τιμές των παραμέτρων στην εκροή διατηρήθηκαν χαμηλές σε όλα τα στάδια και για τα δύο συστήματα, ενώ φαίνεται ότι και τα δύο παρουσιάζουν παρόμοια συμπεριφορά.

Το σύστημα επεξεργασίας με γεώφασμα αποδεικνύεται πιο αποτελεσματικό από αυτό με τη διογκωμένη άργιλο σε όλα τα στάδια, αφού επιτυγχάνει μεγαλύτερη απομάκρυνση του οργανικού φορτίου και των στερεών στην εκροή.

Κατά τη διάρκεια του 1<sup>ου</sup> σταδίου, η μέση απομάκρυνση της συγκέντρωσης COD, στο σύστημα με το γεώφασμα ήταν **64,8%**, ενώ για το σύστημα με τη διογκωμένη άργιλο η μέση απομάκρυνση ήταν **56,0%**.

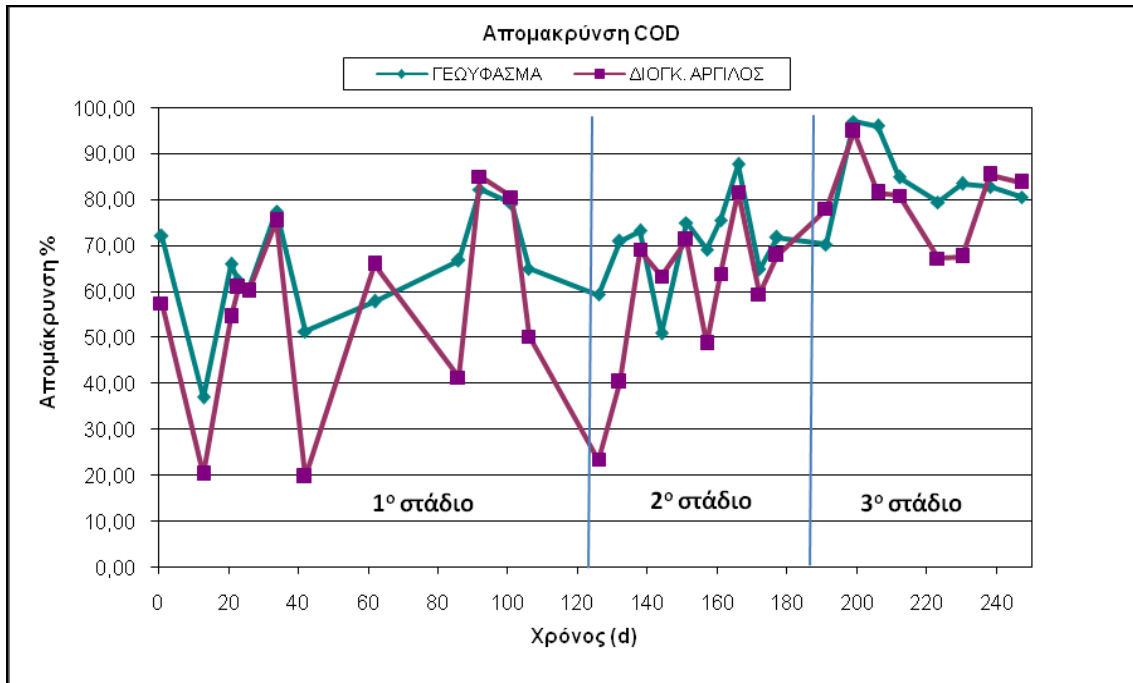
Κατά το 2<sup>ο</sup> στάδιο τα ποσοστά ήταν **69,9%** για το Σύστημα I και **58,9%** για το Σύστημα II. Τέλος, για το 3<sup>ο</sup> στάδιο ήταν **84,3%** και **80,0%** αντίστοιχα.

Όπως προκύπτει από τα παραπάνω, και τα δύο συστήματα βελτιώνουν την απόδοσή τους σε σχέση με την πρώτη περίοδο, ανεξάρτητα από την ποιότητα των εισερχόμενων λυμάτων. Συγκεκριμένα, παρατηρείται σημαντική αύξηση απόδοσης και στα δύο συστήματα κατά το τρίτο στάδιο με τις υψηλότερες φορτίσεις.

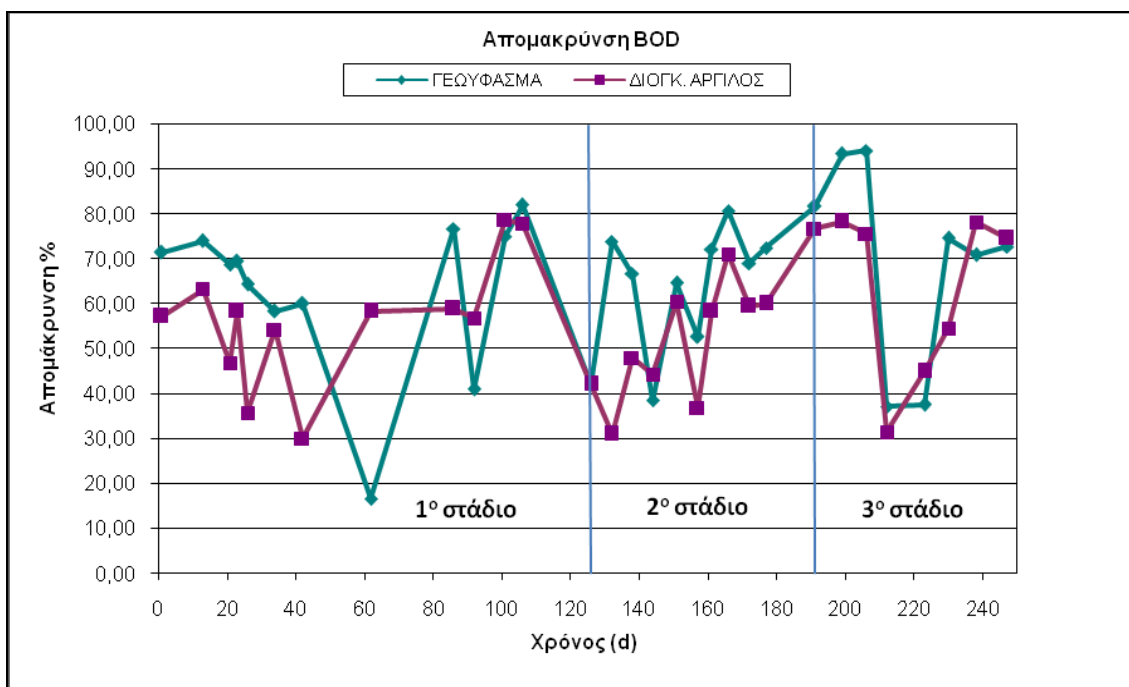
Αντίστοιχα, τα μέσα ποσοστά απομάκρυνσης συγκέντρωσης BOD είναι για το 1<sup>ο</sup> στάδιο, Σύστημα I: **63,1%** και Σύστημα II: **56,3%**, για το 2<sup>ο</sup> στάδιο, Σύστημα I: **63,3%** και Σύστημα II: **51,1%**, και για το 3<sup>ο</sup> στάδιο Σύστημα I: **70,2%** και Σύστημα II: **64,3%**. Κατά το 2<sup>ο</sup> στάδιο και στα δύο συστήματα παρατηρείται είτε διατήρηση της μέσης απομάκρυνσης BOD στα ίδια επίπεδα με το 1<sup>ο</sup> είτε μείωσή της, πράγμα

που μπορεί να οφείλεται σε καθυστέρηση ανταπόκρισης και προσαρμογής των συστημάτων στη νέα υψηλότερη φόρτιση.

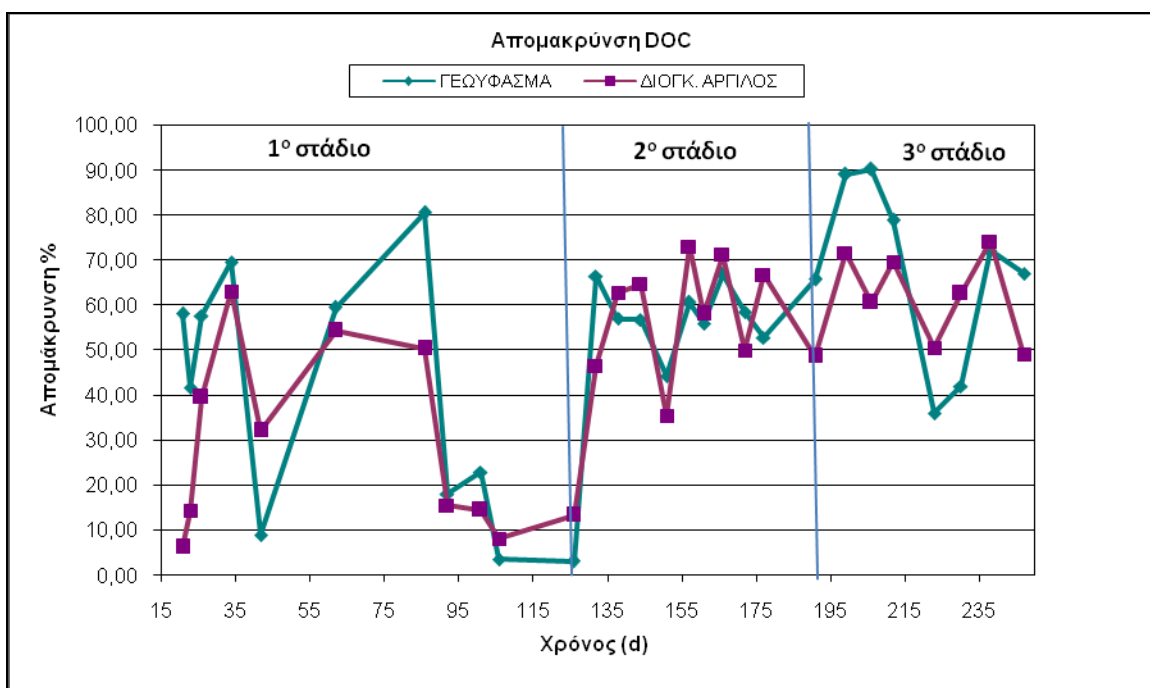
Όπως φαίνεται στους Πίνακες 10 και 11 η μέση απομάκρυνση της συγκέντρωσης του DOC είναι χαμηλότερη από αυτή των παραμέτρων που προαναφέρθηκαν και στα δύο συστήματα. Πιο αναλυτικά, τα ποσοστά είναι για το 1<sup>ο</sup> στάδιο, Σύστημα Ι: **42,1%** και Σύστημα ΙΙ: **29,8%**, για το 2<sup>ο</sup> στάδιο, Σύστημα Ι: **52,2%** και Σύστημα ΙΙ: **54,2%**, και για το 3<sup>ο</sup> στάδιο Σύστημα Ι: **67,6%** και Σύστημα ΙΙ: **60,8%**.



**Σχήμα 10:** Συμπεριφορά συστημάτων προσκολλημένης βιομάζας ως προς % απομάκρυνση συγκέντρωσης COD

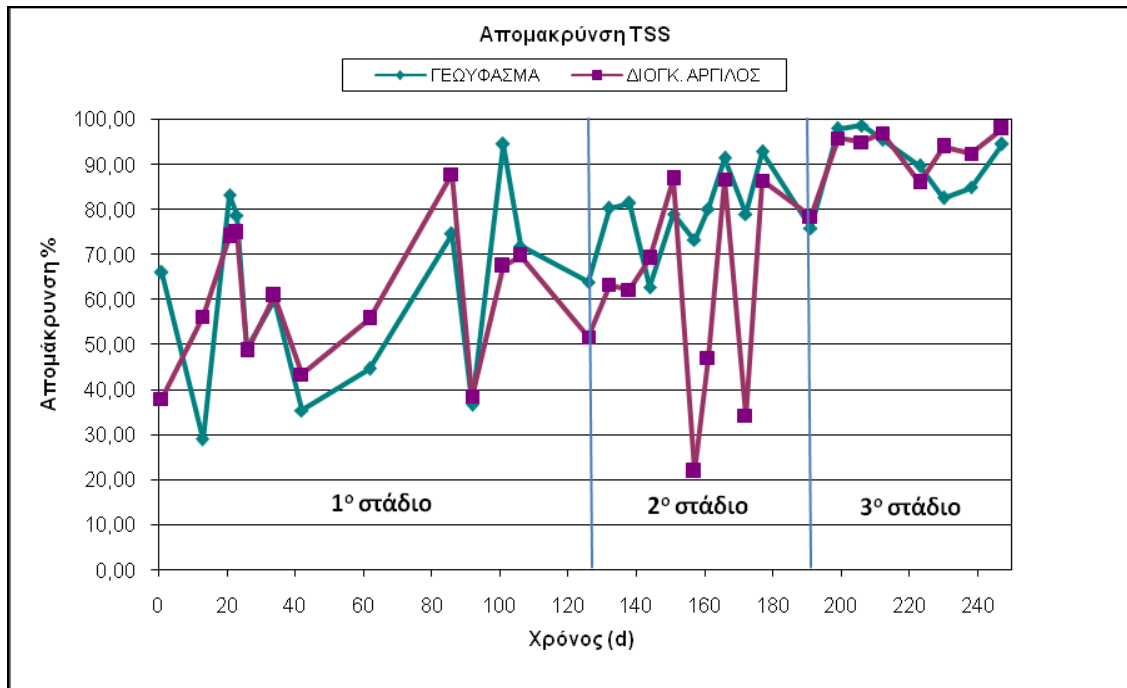


**Σχήμα 11:** Συμπεριφορά συστημάτων προσκολλημένης βιομάζας ως προς % απομάκρυνση συγκέντρωσης **BOD**

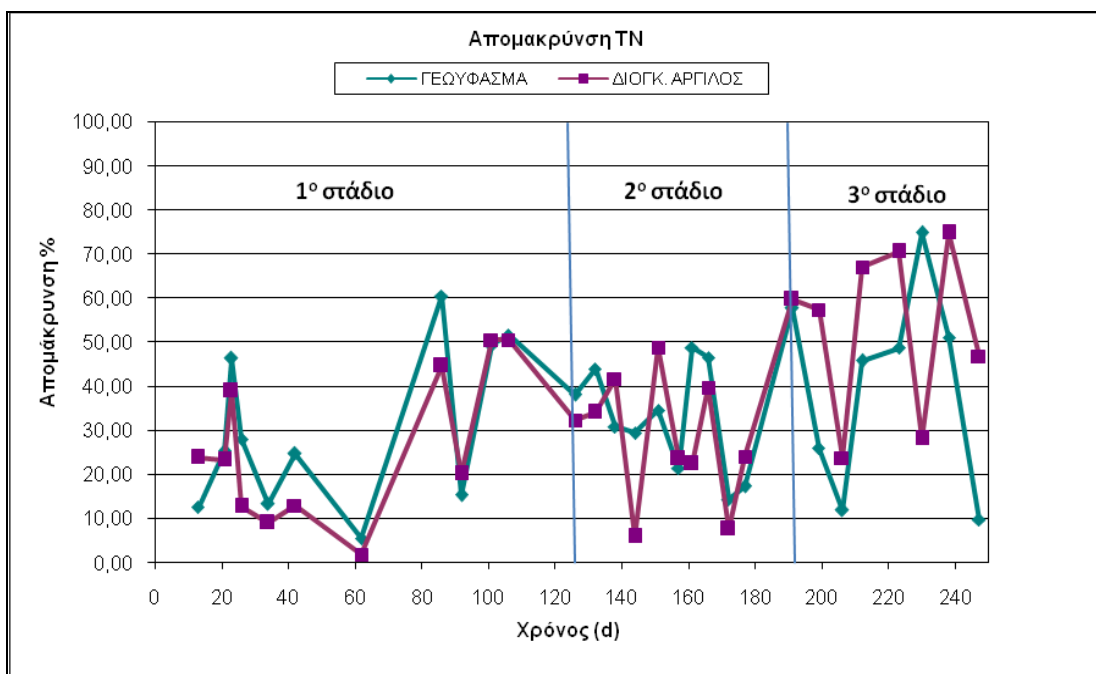


**Σχήμα 12:** Συμπεριφορά συστημάτων προσκολλημένης βιομάζας ως προς % απομάκρυνση συγκέντρωσης **DOC**

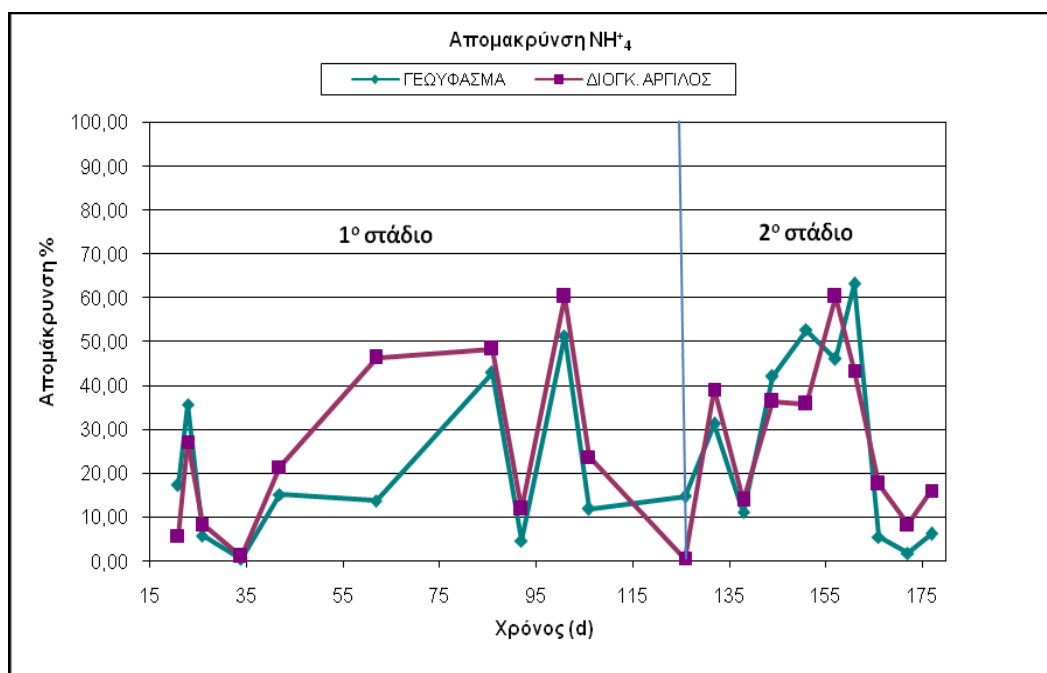
Ως προς τα ολικά στερεά, παρατηρούμε πολύ αποτελεσματική απομάκρυνση και στα δύο συστήματα, μεγάλη σταθερότητα στην ποιότητα της εκροής ανεξάρτητα από την φόρτιση εισόδου και πολύ καλή ανταπόκριση ακόμα και στις φορτίσεις σοκ. Τα ποσοστά μέσης απομάκρυνσης της συγκέντρωσης TSS κυμάνθηκαν στο Σύστημα I: **60,3%** (1<sup>ο</sup> στάδιο), **78,4%** (2<sup>ο</sup> στάδιο), **89,9%** (3<sup>ο</sup> στάδιο) και στο Σύστημα II: **59,6%** (1<sup>ο</sup> στάδιο), **60,9%** (2<sup>ο</sup> στάδιο), **92,1%** (3<sup>ο</sup> στάδιο).



**Σχήμα 13:** Συμπεριφορά συστημάτων προσκολλημένης βιομάζας ως προς % απομάκρυνση συγκέντρωσης **ολικών στερεών**



**Σχήμα 14:** Συμπεριφορά συστημάτων προσκολλημένης βιομάζας ως προς % απομάκρυνση συγκέντρωσης **ολικού αζώτου**



**Σχήμα 15:** Συμπεριφορά συστημάτων προσκολλημένης βιομάζας ως προς % απομάκρυνση συγκέντρωσης **αμμωνίας**

Τα Σχήματα 14 και 15 απεικονίζουν τη μέση απομάκρυνση της συγκέντρωσης του ολικού αζώτου και αμμωνίας. Κατά το τρίτο στάδιο δεν πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις αμμωνιακών. Όπως φαίνεται σε αυτή την περίπτωση, δεν είναι ξεκάθαρο πιο σύστημα έχει την καλύτερη απόδοση. Ακόμα, εδώ παρατηρείται ότι η ποιότητα της εκροής εξαρτάται από τη φόρτιση των εισερχομένων λυμάτων.

Στον Πίνακα 12 φαίνεται η συμπεριφορά συστημάτων επεξεργασίας υγρών αποβλήτων προσκολλημένης ανάπτυξης με φυσικό ή τεχνητό αερισμό, σε αντιπαραβολή με τα αποτελέσματα που προέκυψαν για τα υπό μελέτη συστήματα.

**Πίνακας 12:** Συγκριτικός πίνακας συμπεριφοράς συστημάτων προσκολλημένης βιομάζας αερόβιας επεξεργασίας λυμάτων με φυσικό ή τεχνητό αερισμό [15,16,23,24,26,27,28,32]

Πληρωτικό Υλικό	Είδος Αντιδραστήρα	Τροφοδοσία	Ροή	Χρόνος Παραμονής	Οργανικά		Θρεπτικά	
					Φόρτιση	Ποσοστό Απομάκρυνσης	Φόρτιση	Ποσοστό Απομάκρυνσης
Kaldnes K1 και K2, διογκωμένη άργιλος (Filtralite), άμμος	(Φίλτρο με πληρωτικό τα K1 και K2) (Αντιδραστήρας βιοφίλμ κινούμενης κλίνης με K2) (Φίλτρο με Kaldnes, Filtralite και άμμο)	Εκροή μετά από το στάδιο της εξάμμωσης	Κάθετη	2,0 h	20,7-32,7 $\frac{g \text{ COD}_s}{m^2 d}$	71,7-81,5%	-	-
Διογκωμένη άργιλος (Filtralite 2-4 <sup>TM</sup> , FiltraliteP <sup>TM</sup> )	(Σηπτική δεξαμενή) (Βιοφίλτρο με Filtralite 2-4 <sup>TM</sup> ) (Φίλτρο ανοδικής ροής με FiltraliteP <sup>TM</sup> )	Αστικά λύματα προερχόμενα από μεμονωμένη οικία	-	-	-	97% BOD <sub>7</sub>	67 mg L <sup>-1</sup> NH <sub>4</sub> -N 2-12 mg L <sup>-1</sup> P	30% N 99,4% P
Χαλίκι, άργιλος (αναλογία 1:3)	Διπλή στήλη	Ανεπεξέργαστα αστικά λύματα	Κάθετη	-	457,60 mg L <sup>-1</sup> COD	78,15-95,98%	-	-
Φορείς τεχνητών ινών (πατέντα προϊόντων τύπου SB)	Λίμινες σε σειρά	Ανεπεξέργαστα λύματα	Οριζόντια	7,5 d	-	75,60%	-	30,3-95,9% NH <sub>4</sub> -N
Πλαστικά φύλλα	-	Εκροή αντιδραστήρα RBC	Κάθετη	1,5 h	15,22±3,44 mg L <sup>-1</sup> COD <sub>s</sub>	13%	10,19 mg L <sup>-1</sup> NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N	24%
Πλαστικά καπάκια μπουκαλιών	Σύστημα προσκολλημένης ανάπτυξης	Λύματα campus Πολυτεχνείου Κρήτης	Κάθετη	-	70 g m <sup>-2</sup> d <sup>-1</sup> COD 50 g m <sup>-2</sup> d <sup>-1</sup> COD 30 g m <sup>-2</sup> d <sup>-1</sup> COD	62,1% 72,0 % 85,9%	-	14,1% TN 19,4% TN 19,8% TN, 6,5% NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N
Δακτύλιοι Kaldnes	Σύστημα προσκολλημένης ανάπτυξης	Λύματα campus Πολυτεχνείου Κρήτης	Κάθετη	-	70 g m <sup>-2</sup> d <sup>-1</sup> COD 50 g m <sup>-2</sup> d <sup>-1</sup> COD 30 g m <sup>-2</sup> d <sup>-1</sup> COD	71,2% 69,4% 73,1%	-	21,1% TN, 4,0% NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N 27,6% TN, 7,5% NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N 28,8% TN, 19,6% NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N
Κύβοι πετροβάμβακα	Σύστημα προσκολλημένης ανάπτυξης	Λύματα campus Πολυτεχνείου Κρήτης	Κάθετη	-	70 g m <sup>-2</sup> d <sup>-1</sup> COD 50 g m <sup>-2</sup> d <sup>-1</sup> COD 30 g m <sup>-2</sup> d <sup>-1</sup> COD	81,8% 82,9% 92,7%	-	34,9% TN, 18,5% NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N 35,1% TN, 17,9% NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N 48,7% TN, 42,8% NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N
Διογκωμένη άργιλος (Filtralite)	Σύστημα προσκολλημένης ανάπτυξης με τεχνητό αερισμό (BAF)	Αστικά λύματα	Κάθετη	-	251±95 mg/l COD <sub>tot</sub> 73±8 COD <sub>f</sub>	35±5% COD <sub>f</sub>	35±5 mg/l NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N	91±2% NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N
Γεωφασμα	Βιοφίλτρο με ανακυκλοφορία και τεχνητό αερισμό	Οικιακά λύματα	Κάθετη	-	381±64 mg/l BOD <sub>5</sub>	95,3%	147±72 mg/l TN 114,6±29,6 mg/l NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -	81,2% 96,1% -

							N 9,2±2 mg/l TP	
Κεραμικά σωματίδια αργίλου	Σύστημα προσκολλημένης ανάπτυξης με τεχνητό αερισμό (BAF)	Συνθετικά λύματα	Ανοδική	1,5 hr 0,75 hr 0,37 hr	288,35- 535,33 mg/l COD <sub>Cr</sub>	86,6% COD <sub>Cr</sub> 84,6% COD <sub>Cr</sub> 87,4% COD <sub>Cr</sub>	31,01- 32,52 mg/l NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N	86,0% NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N 83,3% NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N 39,1% NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N
Γεωσυνθετικά φύλλα από πολυμερές (Terram DC)	Αντιδραστήρας βιοφίλμ- Απονιτροποιητικό ς αντιδραστήρας αιωρούμενης ανάπτυξης	Συνθετικά λύματα γαλακτοβιομηχα νίας	Οριζόντια	-	2395,5±51 2,3 mg/l COD <sub>f</sub>	96,8-97,4% COD <sub>f</sub>	288±85,8 mg/l TN 127,2±31,1 mg/l NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> - N	80,3-85,5% TN 94,4-99,3% NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> - N
Φύλλα πολυστυρενίου	Αντιδραστήρας βιοφίλμ	Συνθετικά λύματα	Οριζόντια	-	387,7 mg/l COD 283,1 mg/l BOD <sub>5</sub>	85,7% COD 97,4% BOD <sub>5</sub>	37,6 mg/l TN 22,0 mg/l NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N	61,7% TN 95,7% NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N
Κεραμικά σωματίδια, ζεολίτης, σωματίδια άνθρακα	Αντιδραστήρας προσκολλημένης ανάπτυξης με τεχνητό αερισμό (BAF)	Συνθετικά λύματα	Κάθετη	-	132-485,5 mg/l COD	80% COD	22,6-57,4 mg/l NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> - N 31,1-68,2 mg/l TN 4,7-9,1 mg/l TP	73,5-83,6% NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> - N 30% TN 15% TP
Γεωσυνθετικά φύλλα Terram	Δύο αντιδραστήρες βιοφίλμ οριζόντιας ροής	Συνθετικά οικιακά λύματα	Οριζόντια	8,3 h	47 g m <sup>-2</sup> d <sup>-1</sup> COD <sub>f</sub>	45,3 g m <sup>-2</sup> d <sup>-1</sup> COD <sub>f</sub>	4,7 g TN m <sup>-2</sup> d <sup>-1</sup>	56% TN
Γεωόφασμα	Σύστημα προσκολλημένης ανάπτυξης	Λύματα campus Πολυτεχνείου Κρήτης /Υγρά Απόβλητα Ελαιουργείου	Κάθετη	-	67 g m <sup>-2</sup> d <sup>-1</sup> COD 114 g m <sup>-2</sup> d <sup>-1</sup> COD 304 g m <sup>-2</sup> d <sup>-1</sup> COD	64,8% 69,9% 84,3%	11,6 g m <sup>-2</sup> d <sup>-1</sup> TN, 9,7 g m <sup>-2</sup> d <sup>-1</sup> NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N 7,0 g m <sup>-2</sup> d <sup>-1</sup> TN, 3,5 g m <sup>-2</sup> d <sup>-1</sup> NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N 5,1 g m <sup>-2</sup> d <sup>-1</sup> TN	30,2% TN, 19,9% NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N 32,5% TN, 27,5% NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N 40,7% TN
Διογκωμένη άργιλος	Σύστημα προσκολλημένης ανάπτυξης	Λύματα campus Πολυτεχνείου Κρήτης /Υγρά Απόβλητα Ελαιουργείου	Κάθετη	-	67 g m <sup>-2</sup> d <sup>-1</sup> COD 114 g m <sup>-2</sup> d <sup>-1</sup> COD 304 g m <sup>-2</sup> d <sup>-1</sup> COD	56,0% 58,9% 80,0%	11,6 g m <sup>-2</sup> d <sup>-1</sup> TN, 9,7 g m <sup>-2</sup> d <sup>-1</sup> NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N 7,0 g m <sup>-2</sup> d <sup>-1</sup> TN, 3,5 g m <sup>-2</sup> d <sup>-1</sup> NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N 5,1 g m <sup>-2</sup> d <sup>-1</sup> TN	26,2% TN, 25,5% NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N 28,0% TN, 27,2% NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N 53,5% TN



Όπως φαίνεται στον Πίνακα 12, τα δύο συστήματα που εξετάστηκαν στην παρούσα διατριβή έχουν ικανοποιητική ανταπόκριση σε σχέση με συστήματα αερόβιας επεξεργασίας με φυσικό αερισμό που αναφέρονται στη βιβλιογραφία. Συγκεκριμένα, η απομάκρυνση οργανικού φορτίου είναι η αναμενόμενη και κυμαίνεται στα ίδια ή χαμηλότερα επίπεδα σε σχέση με αντίστοιχα συστήματα, ενώ αυξάνεται όσο αυξάνεται και η φόρτιση. Ως προς την απομάκρυνση των θρεπτικών και συγκεκριμένα του ολικού αζώτου και της αμμωνίας παρατηρείται αρκετά μικρότερη απομάκρυνση σε σχέση με αυτή του οργανικού φορτίου, ωστόσο σε σχέση με τα υπόλοιπα συστήματα κρίνεται ικανοποιητική αφού κυμαίνεται στα ίδια ποσοστά. Η απομάκρυνση του ολικού φωσφόρου από αρχικές μετρήσεις κρίθηκε αμελητέα και για αυτό δεν έγινε παρακολούθηση της συγκεκριμένης παραμέτρου. Σε περίπτωση που απαιτείται περαιτέρω απομάκρυνση του ολικού αζώτου και φωσφόρου είναι αναγκαία η δημιουργία μίας ανοξικής ζώνης. Τέλος, από τον Πίνακα 12 προκύπτει ότι το σύστημα επεξεργασίας με γεώφασμα είναι πιο αποδοτικό από το σύστημα που έχει ως πληρωτικό υλικό τη διογκωμένη άργιλο, αφού παρουσιάζει υψηλότερα ποσοστά απομάκρυνσης τόσο οργανικού φορτίου όσο και θρεπτικών στις περισσότερες περιπτώσεις.

Η παρουσίαση των αποτελεσμάτων ολοκληρώνεται στο Παράρτημα 2 όπου παρατίθενται πίνακες με τα χαρακτηριστικά της εκροής για τα υπό μελέτη συστήματα για κάθε στάδιο επεξεργασίας, καθώς και τα όρια που ορίζονται από τη νομοθεσία (ΚΥΑ 5673/400/5.3.1997) για την επεξεργασία **αστικών λυμάτων**. Για το δεύτερο και τρίτο στάδιο που πραγματοποιείται συνεπεξεργασία με κατσίγαρο δεν υπάρχουν καθορισμένα όρια εκροής υγρών αποβλήτων ελαιουργείου από τη νομοθεσία.

Όπως φαίνεται στον Πίνακα Π 2.1 τα εξερχόμενα επεξεργασμένα λύματα δεν πληρούν τις απαιτήσεις απόρριψης που ορίζονται από τη σχετική ΚΥΑ, με εξαίρεση τα TSS που τα πληρούν σε ποσοστό 75% για το Σύστημα Ι και 66,7% για το Σύστημα ΙΙ.

Πιο αναλυτικά, στους Πίνακες Π 2.1, Π 2.2 και Π 2.3 φαίνεται ότι δεν υπάρχει ιδιαίτερη σταθερότητα ως προς την ποιότητα της εκροής για το DOC. Αυτό πιθανώς οφείλεται στην ποιότητα του ίδιου του δείγματος, καθώς ένα σημαντικό κλάσμα του DOC είναι μη βιοδιασπάσιμο και ως εκ τούτου μπορεί να παραμείνει και να ανιχνευθεί στην επεξεργασμένη εκροή. Επομένως είναι φανερό ότι η απομάκρυνση του DOC εξαρτάται από την ποιότητα των τροφοδοτούμενων λυμάτων.

Από τον Πίνακα Π 2.1 προκύπτει ότι πρακτικά όλο το άζωτο στην εκροή των δύο συστημάτων βρίσκεται με τη μορφή αμμωνιακών ιόντων ( $\text{NH}_4^+$ ), χωρίς την παρουσία νιτρικών ( $\text{NO}_3^-$ ) ή νιτρωδών ιόντων ( $\text{NO}_2^-$ ) αφού  $C_{\text{TN}} \approx C_{\text{NH}_4^+}$ . Από τα παραπάνω συμπεραίνεται ότι κατά την επεξεργασία δεν λαμβάνει χώρα νιτροποίηση-απονιτροποίηση, αλλά το άζωτο προσλαμβάνεται από τους μικροοργανισμούς. Για να δημιουργηθούν ευνοϊκές συνθήκες για νιτροποίηση, πιθανώς να απαιτείται μεγαλύτερος χρόνος παραμονής των λυμάτων στο σύστημα. Διαφορετικά, για την επίτευξη της επιθυμητής απομάκρυνσης του αζώτου είναι αναγκαία περαιτέρω επεξεργασία.

Στην ουσία, από τους Πίνακες Π 2.1, Π 2.2 και Π 2.3, προκύπτει ότι η επεξεργασμένη εκροή από τα δύο υπό μελέτη συστήματα θα πρέπει να υποβληθεί εκ νέου σε επεξεργασία, ίσως και να οδηγηθεί σε κάποια κεντρική μονάδα επεξεργασίας αποβλήτων, ώστε στη συνέχεια να είναι εφικτή η ασφαλής απόρριψη της σε κάποιο αποδέκτη.

Τα μικρά αποκεντρωμένα συστήματα προσκολλημένης βιομάζας αποτελούν ιδιαίτερα ελκυστική λύση για επιτόπου επεξεργασία στην περίπτωση μικρών οικισμών, σε αγροτικές περιοχές οι οποίοι δεν έχουν πρόσβαση σε κεντρική μονάδα επεξεργασίας λυμάτων. Ο σχετικά μικρός υδραυλικός χρόνος παραμονής, τα υψηλά ποσοστά απομάκρυνσης, η προσθήκη μικρών ποσοτήτων χημικών, η σταθερότητα στα χαρακτηριστικά της εκροής ανεξαρτήτως ποιότητας και ποσότητας εισερχομένων λυμάτων σε συνδυασμό με τις μηδαμινές ενεργειακές απαιτήσεις καθιστούν τα συστήματα αυτά ιδανικά για τέτοιες εφαρμογές.

Ιδιαίτερα στην Κρήτη, όπου λειτουργούν 546 ελαιουργεία, είναι πολύ σημαντικό να βρεθεί οικονομική και απλή στην εφαρμογή λύση, για την επεξεργασία του κατσίγαρου. Από την παρούσα μελέτη προκύπτει ότι υπάρχει δυνατότητα συνεπεξεργασίας αστικών λυμάτων με υγρά απόβλητα ελαιουργείων με αρκετά ικανοποιητικά ποσοστά απομάκρυνσης. Για να επιτευχθούν οι επιθυμητές τιμές στις υπό παρακολούθηση παραμέτρους στην εκροή τέτοιων συστημάτων θα πρέπει να γίνει περαιτέρω διερεύνηση της προεπεξεργασίας των αποβλήτων πριν από την είσοδο στον αντιδραστήρα, της σωστής τροφοδοσίας ώστε να γίνει εκμετάλλευση του συνόλου της επιφάνειας του πληρωτικού υλικού, της δυνατότητας χρήσης τέτοιων συστημάτων σε σειρά καθώς και της βέλτιστης αραίωσης κατσίγαρου-λύματος. Στην προκειμένη περίπτωση πραγματοποιήθηκε αραίωση του κατσίγαρου σε ποσοστό 5,7 ‰ κατά το δεύτερο στάδιο, ενώ στο τρίτο στάδιο η αραίωση ήταν 1,7%. Όπως φαίνεται από τις μετρήσεις η απομάκρυνση του οργανικού φορτίου για τις παραπάνω αραιώσεις ήταν ικανοποιητική, δηλαδή προκύπτει ότι για κάθε 1000 m<sup>3</sup> λυμάτων μπορούμε να επεξεργαστούμε 6-17 m<sup>3</sup> κατσίγαρου έχοντας αρκετά καλά αποτελέσματα και χωρίς εμφάνιση εμφράξεων στα διάκενα του πληρωτικού μέσου.

Στα συστήματα προσκολλημένης βιομάζας, το κατασκευαστικό και κυρίως το λειτουργικό κόστος είναι πολύ μικρό, αφού όπως προαναφέρθηκε δεν απαιτούνται μεγάλα ποσά ενέργειας για να καλύψουν τις ανάγκες τους, ούτε εξειδικευμένο προσωπικό σε μόνιμη βάση. Ακόμη, πολύ σημαντικό πλεονέκτημα αποτελεί η δυνατότητα επαναχρησιμοποίησης της εκροής στις αγροτικές περιοχές, για άρδευση καλλιεργειών, πράγμα ιδιαίτερα επιθυμητό ειδικά κατά τη θερινή περίοδο που συχνά παρατηρούνται φαινόμενα λειψυδρίας.

## 5. Συμπεράσματα-Προτάσεις

Στην παρούσα μεταπτυχιακή διατριβή, πραγματοποιήθηκε επεξεργασία υγρών λυμάτων και αραιωμένου κατσίγαρου σε τρία στάδια για δύο διαφορετικά συστήματα προσκολλημένης ανάπτυξης. Τα συμπεράσματα που προέκυψαν είναι τα εξής:

Από τα δύο πληρωτικά υλικά που εξετάστηκαν το γεωύφασμα φαίνεται πιο αποτελεσματικό από τη διογκωμένη άργιλο κατά τη διάρκεια όλων των σταδίων, ιδιαίτερα ως προς την απομάκρυνση του οργανικού φορτίου. Πιο αναλυτικά, η μέση επί τοις εκατό απομάκρυνση COD ως συγκέντρωση για το γεωύφασμα κυμάνθηκε από **64,8%** έως **84,3%**, ενώ για τη διογκωμένη άργιλο από **56,0%** έως **80,0%**. Για το BOD οι αντίστοιχες μέσες απομακρύνσεις ήταν για το γεωύφασμα από **63,1%** έως **70,2%** και για την άργιλο από **51,1%** έως **64,3%**. Το DOC στο σύστημα με το γεωύφασμα απομακρύνθηκε σε ποσοστά **42,1%-67,6%** ενώ στο σύστημα με τη διογκωμένη άργιλο σε ποσοστά **29,8%-60,8%**. Για το ολικό άζωτο ήταν από **30,2%** έως **40,7%** για το γεωύφασμα και από **26,2%** έως **53,5%** για την άργιλο. Τέλος, για τα TSS ήταν από **60,3%** έως **89,9%** για το γεωύφασμα και από **59,6%** έως **92,1%** για την άργιλο.

Παρατηρείται μεγάλη σταθερότητα στην ποιότητα της εκροής ανεξάρτητα από την φόρτιση και καλή ανταπόκριση σε φορτίσεις σοκ σε όλες τις προαναφερθείσες παραμέτρους, εκτός του DOC. Στα δύο συστήματα, δεν παρατηρήθηκαν εμφράξεις των διάκενων λόγω βιολογικής ανάπτυξης σε κανένα από τα διαφορετικά στάδια τροφοδοσίας.

Παρόλο που επετεύχθησαν αρκετά υψηλές απομακρύνσεις, η εκροή δεν ανταποκρίθηκε στις απαιτήσεις που τίθενται από τη νομοθεσία, ως προς τη συγκέντρωση των ρύπων, ώστε να θεωρηθεί ασφαλής η απόρριψη της ακόμα και σε μη ευαίσθητο αποδέκτη. Ένας από τους λόγους στους οποίους πιθανώς να οφείλεται η χαμηλή απόδοση των συστημάτων είναι και ο μικρός χρόνος ανάπαυλας αναμεσα στις φάσεις τροφοδοσίας, ο οποίος έχει ως αποτέλεσμα τον ανεπαρκή αερισμό της κλίνης, καθώς η τροφοδοσία των λυμάτων γίνεται 3 φορές την ημέρα. Για να επιτευχθούν λοιπόν τα επιθυμητά όρια, θα ήταν χρήσιμο να δοκιμαστούν μεγαλύτερες φάσεις ανάπαυλας ώστε να επιτευχθεί ο βέλτιστος φυσικός αερισμός, να πραγματοποιηθεί προεπεξεργασία των υγρών αποβλήτων, να εφαρμοστεί ανακυκλοφορία της εκροής για βελτιστοποίηση της απόδοσης των συστημάτων ή ακόμα να δοκιμαστούν συστοιχίες αντιδραστήρων στη σειρά. Επίσης, θα ήταν θεμιτό να γίνει βελτιστοποίηση του συστήματος τροφοδοσίας των αντιδραστήρων, ώστε να έχουμε μεγαλύτερη επιφάνεια επαφής λυμάτων-πληρωτικού υλικού και κατά συνέπεια καλύτερη απόδοση των δύο συστημάτων.

## 6. Βιβλιογραφικές Αναφορές

1. I.L. Pepper, C.P. Gerba, M.L. Brusseau, «The Extent of Global Pollution», Second Edition, Elsevier/Academic Press, San Diego (2006) Chapter 1
2. Α. Θ. Δελγιάννης, «Βιολογική επεξεργασία λυμάτων», University Studio Press, Θεσσαλονίκη (2009) 11-35
3. J. Sierra, E. Martí, G. Montserrat, R. Cruañas, M.A. Garau, «Characterization and evolution of a soil affected by olive oil mill wastewater disposal», *Science of the Total Environment* 279 (2001) 207-214
4. M. Pizzini, C. Russo, D. Pizzichini, M. Vitagliano, «New olive mill wastewater process to eliminate the environmental load and to recover several fine chemicals as polyphenols and purified water», *Proceedings of 2<sup>nd</sup> International Conference in «Hazardous and Industrial Waste Management»*, Chania, Greece (2010) 347-348
5. V. Kavvadias, M.K. Doula, K. Komnitsas, N. Liakopoulou, «Disposal of olive oil mill wastes in evaporation ponds: Effects on soil properties», *Journal of Hazardous Materials* 182 (2010) 144-155
6. E. Herouvim, C.S. Akratos, A. Tekerlekopoulou, D.V. Vayenas, «Treatment of olive mill wastewater in pilot-scale vertical flow constructed wetlands», *Ecological Engineering* 37 (2011) 931-939
7. P. Grafias, N.P. Xekoukoulotakis, D. Mantzavinos, E. Diamadopoulos, «Pilot treatment of olive pomace leachate by vertical-flow constructed wetland and electrochemical oxidation: An efficient hybrid process», *Water Research* 44 (2010) 2773-2780
8. A. Jail, F. Boukhoubza, A. Nejmeddine, S. Sayadi, L. Hassani, «Co-treatment of olive-mill and urban wastewaters by experimental stabilization ponds», *Journal of Hazardous Materials* 176 (2010) 893-900
9. M. Achak, L. Mandi, N. Ouazzani, «Removal of organic pollutants and nutrients from olive mill wastewater by a sand filter», *Journal of Environmental Management* 90 (2009) 2771-2779
10. E. Garcia-Castello, A. Cassano, A. Criscuoli, C. Conidi, E. Drioli, «Recovery and concentration of polyphenols from olive mill wastewaters by integrated membrane system», *Water Research* 44 (2010) 3883-3892
11. Σ.Π. Τσώνης, «Επεξεργασία Λυμάτων», Εκδόσεις Παπασωτηρίου, Αθήνα (2004) 299-410
12. Ν. Κεφαλάκης, «Μελέτη, κατασκευή, λειτουργία αποκεντρωμένων συστημάτων επεξεργασίας υγρών αποβλήτων με φυσικά συστήματα – Η εμπειρία του ΟΑΝΑΚ», Πρακτικά διημερίδας για «Διαχείριση Υγρών Αποβλήτων με Αποκεντρωμένα Συστήματα Επεξεργασίας», Καρδίτσα (2005)
13. R. Crites, G. Tchobanoglous, «Small and Decentralized Wastewater Management Systems», McGraw-Hill International Editions, Singapore (1998) 482-496
14. M. Alimahmoodi, L. Yerushalmi, C.N. Mulligan, «Development of biofilm on geotextile in a new multi-zone wastewater treatment system for

simultaneous removal of COD, nitrogen and phosphorus», *Bioresource Technology* 107 (2012) 78-86

15. M. Rodgers, A. Lambe, L. Xiao, «Carbon and nitrogen removal using a novel horizontal flow biofilm system», *Process Biochemistry* 41 (2006) 2270-2275

16. H. Zhifei, A.G. Graham, «Impact of filter media on the performance of full-scale recirculating biofilters for treating multi-residential wastewater», *Water Research* 40 (2006) 1474-1480

17. N.J. Horan, M. Lowe, «Full-scale trials of recycled glass as tertiary filter medium for wastewater treatment», *Water Research* 41 (2007) 253-259

18. M. Koiv, C. Vohla, R. Motlep, M. Liira, K. Kirsimae, U. Mander, «The performance of peat-filled subsurface flow filters treating landfill leachate and municipal wastewater», *Ecological Engineering* 35 (2009) 204-212

19. H.S. Lee, S.J. Park, T.I. Yoon, «Wastewater treatment in a hybrid biological reactor using powdered minerals: effects of organic loading rates on COD removal and nitrification», *Process Biochemistry* 38 (2002) 81-88

20. F. Kargi, L. Karapinar, «Performance of fluidized bed bioreactor containing wire-mesh sponge particles in wastewater treatment», *Waste Management* 17 (1997) 65-70

21. L. Qiu, S. Zhang, G. Wang, M. Du, «Performances and nitrification properties of biological aerated filters with zeolite, ceramic particle and carbonate media», *Bioresource Technology* 101 (2010) 7245-7251

22. M. Rodgers, D. de Paor, E. Clifford, «Dairy washwater treatment using a horizontal flow biofilm system», *Journal of Environmental Management* 86 (2008) 114-120

23. E. Clifford, M. Nielsen, K. Sørensen, M. Rodgers, «Nitrogen dynamics and removal in a horizontal flow biofilm reactor for wastewater treatment», *Water Research* 44 (2010) 3819-3828

24. E. Loupasaki, E. Diamadopoulos, «Comparative evaluation of three attached growth systems and a constructed wetland for in situ treatment of raw municipal wastewater», *Environmental Technology* (2013)

25. Y.X. Liu, T.O. Yang, D.X. Yuan, X.Y. Wu, «Study of municipal wastewater treatment with oyster shell as biological aerated filter medium», *Desalination* 254 (2010) 149-153

26. Y. Zhao, Q. Yue, R. Li, M. Yue, S. Han, B. Gao, Q. Li, H. Yu, «Research on sludge-fly ash ceramic particles (SFCP) for synthetic and municipal wastewater treatment in biological aerated filter (BAF)», *Bioresource Technology* 100 (2009) 4955-4962

27. G. Farabegoli, A. Chiavola, E. Rolle, «The Biological Aerated Filter (BAF) as alternative treatment for domestic sewage. Optimization of plant performance», *Journal of Hazardous Materials* 171 (2009) 1126-1132

28. L.W. Xiao, M. Rodgers, J. Mulqueen, «Organic carbon and nitrogen removal from a strong wastewater using a denitrifying suspended growth reactor and a horizontal-flow biofilm reactor», *Bioresource Technology* 98 (2007) 739-744

29. C. Roy, R. Auger, R. Chenier, «Use of nonwoven textile in intermittent filters», *Water Science Technology* 38 (1998) 159-166

30. A.N. Αγγελάκης, G. Tchobanoglous, «Υγρά απόβλητα, φυσικά συστήματα επεξεργασίας και ανάκτηση, επαναχρησιμοποίηση και διάθεση εκροών», Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Κρήτης, Ηράκλειο (1995) 5-15
31. Δ.Ν. Καραμούζης, «Μικρά αποκεντρωμένα συστήματα επεξεργασίας λυμάτων», Πρακτικά Αναπτυξιακού Συνεδρίου Νομού Δράμας, Δράμα (2006)
32. E. Loupasaki, E. Diamadopoulos, «Attached growth systems for wastewater treatment in small and rural communities: a review», Journal of Chemical Technology and Biotechnology 88 (2013) 190-204
33. L.S. Clesceri, A.E. Greenberg, A.D. Eaton, «Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater», twentieth edition, APHA, Washington (1999)

## 7.1. Παράρτημα 1

**Πίνακας Π 1.13:** Τεχνικά χαρακτηριστικά MacTex μη υφαντών γεωφασμάτων από πολυπροπυλένιο

**MACCAFERRI**

**TECHNICAL DATA SHEET**  
UK / TDS / MACTEX H / Rev: 06, Mar 09

**MACTEX H®**

**NEEDLE PUNCHED & HEAT-CALANDARED NONWOVEN GEOTEXTILES**

MACTEX H GRADE			H 10.1	H 15.1	H 20.1	H 30.1	H 35.1	H 45.1	H 50.1	H 60.1	H 65.1	H 90.1
Mechanical and Hydraulic properties												
Tensile strength — MD	kN/m	EN 10319	6.0 (-0.6)	7.5 (-0.7)	9.5 (-1.0)	11.0 (-1.0)	13.0 (-1.3)	16.0 (-1.5)	19.0 (-2.0)	22.0 (-2.0)	24.0 (-2.0)	34.0 (-3.0)
Elongation — MD	%	EN 10319	50 (± 15)	50 (± 15)	50 (± 15)	50 (± 15)	50 (± 15)	50 (± 15)	50 (± 15)	50 (± 15)	50 (± 15)	50 (± 15)
Tensile strength — CMD	kN/m	EN 10319	6.0 (-0.6)	7.5 (-0.7)	9.5 (-1.0)	11.0 (-1.0)	13.0 (-1.3)	16.0 (-1.5)	19.0 (-2.0)	22.0 (-2.0)	24.0 (-2.0)	39.0 (-3.0)
Elongation — CMD	%	EN 10319	60 (± 20)	70 (± 20)	65 (± 20)	60 (± 20)	60 (± 20)	60 (± 20)	60 (± 20)	60 (± 20)	60 (± 20)	60 (± 20)
CBR Static puncture resistance	N	EN 12236	1100 (-105)	1300 (-130)	1600 (-160)	2000 (-200)	2250 (-225)	2900 (-290)	3300 (-330)	3700 (-370)	4300 (-400)	6000 (-600)
Dynamic puncture resistance	mm	EN 13433	33 (+6.6)	31 (+6)	29 (+6)	27 (+5.4)	26 (+5.2)	22 (+4.2)	20 (+4.0)	15 (+3)	14 (+2.8)	7 (+1.5)
Permeability (normal to plane)	l/m²/sec	EN 12956	86	75	70	60	50	40	35	25	15	10
Tolerance			-26	-22	-21	-18	-15	-12	-10	-7	-5	-5
Opening Pore size O <sub>90</sub>	µm	EN 11058	90 (± 30)	80 (± 30)	75 (± 30)	70 (± 20)	70 (± 20)	70 (± 20)	70 (± 20)	65 (± 20)	65 (± 20)	60 (± 20)
Transmissivity to EN ISO 12958	1x10 <sup>-7</sup> m²/s	at 20 kPa	4.5 (-1.40)	5.0 (-1.50)	8.50 (-2.60)	12.0 (-3.60)	12.0 (-3.60)	12.0 (-3.60)	13.0 (-4.00)	14.0 (-4.2)	14.0 (-4.2)	16.0 (-4.80)
		at 100 kPa	1.50 (-0.45)	2.0 (-0.60)	3.50 (-1.05)	4.0 (-1.20)	4.0 (-1.20)	4.0 (-1.20)	8.3 (-2.49)	8.3 (-2.49)	8.3 (-2.49)	8.80 (-2.64)
		at 200 kPa	1.00 (-0.30)	1.0 (-0.30)	3.50 (-1.05)	3.50 (-1.05)	3.5 (-1.05)	3.5 (-1.05)	7.8 (-2.34)	7.8 (-2.40)	7.8 (-2.40)	8.20 (-2.46)
Physical properties - typical												
Polymer raw material		high tenacity polypropylene										
Mass per unit	gr/m²	EN 9864	100	120	140	160	180	220	250	300	330	500
Thickness (at 2 kPa)	mm	EN 9863-1	0.65	0.65	0.75	0.90	0.95	1.10	1.20	1.45	1.50	2.10
Roll width	m	3.0 - 6.0 m according to stock and availability (2.93 - 5.85 if shipping in containers)										
Roll length	m		160	150	110	110	110	100	90	70	65	55
Durability		Material to be covered within one month after installation. Life expectancy in natural soils (4-ph-9) at a temperature <25 °C is greater than 25 years										

- Nonwoven geotextiles manufactured with virgin high-tenacity polypropylene fibers assembled by a needle punched treatment and thermocalandered.
- The fabrics are CE marked according to EN 13249, 13250, 13251, 13252, 13253, 13254, 13255, 13256, 13257, 13265 for the following intended uses: F, D, R, F+D, F+S+D, F+R+S, F+S, R+S, F+R.
- Intermediate grades are available on request



For the optimisation and improvement process of the technical characteristics of the products, the manufacturer reserves the right to modify the standard characteristics of the product without any notice. The information contained herein are to the best of our knowledge accurate, but since the circumstances and conditions in which it may be used are beyond our control, we do not accept any liability for any loss or damage, however arising, which results directly or indirectly from the use of such information nor we do offer any warranty or immunity against patent infringement.

**Maccaferri Ltd - Head Office**  
7600 The Quorum,  
Oxford Business Park, North,  
Garsington Road, Oxford, OX4 2JZ  
Tel: 01865 770555  
Fax: 01865 774550  
Email: [oxford@maccaferri.co.uk](mailto:oxford@maccaferri.co.uk)  
Web: [www.maccaferri.co.uk](http://www.maccaferri.co.uk)

**Area offices**  
**Perth:**  
T: 01738 621317 F: 01738 442283 E: [perth@maccaferri.co.uk](mailto:perth@maccaferri.co.uk)  
**Belfast:**  
T: 028 9026 2830 F: 028 9026 2849 E: [belfast@maccaferri.co.uk](mailto:belfast@maccaferri.co.uk)  
**Dublin:**  
T: 01 885 1662 F: 01 885 1601 E: [dublin@maccaferri.ie](mailto:dublin@maccaferri.ie)  
Web: [www.maccaferri.ie](http://www.maccaferri.ie)



Oxford, Perth, Belfast

## Πίνακας Π 1.2: Τεχνικά χαρακτηριστικά MacTex H20.1

**MACCAFERRI**  
GEOSYNTHETICS

### TECHNICAL DATA SHEET

Rev: 01, Issue Date 10.10.2012

## MACTEX<sup>®</sup> H 20.1 NONWOVEN (CIVIL) GEOTEXTILE

#### Product Description

Maccaferri MacTex<sup>®</sup> H 20.1 is a polypropylene, staple fiber, needle-punched nonwoven geotextile and will meet the following 'Minimum Average Roll Values' (MARV) when tested in accordance with the methods listed below. The fibers are needled to form a stable network that retains dimensional stability relative to each other. MacTex<sup>®</sup> H 20.1 is resistant to ultraviolet degradation and to biological and chemical environments normally found in soils.

MacTex<sup>®</sup> H 20.1 conforms to the property values listed below<sup>1</sup> and is subject to internal 'Manufacturing Quality Control' (MQC) tests that have been accredited by the 'Geosynthetic Accreditation Institute—Laboratory Accreditation Program' (GAI-LAP).

PROPERTY <sup>4</sup>	TEST PROCEDURE	UNITS	MINIMUM AVERAGE ROLL VALUES (MARV) <sup>2</sup>
<b>Mechanical</b>			
Grab Tensile	ASTM D 4632	lb (kN)	100 (0.445)
Grab Elongation	ASTM D 4632	%	50
Trapezoidal Tear	ASTM D 4533	lb (kN)	45 (0.200)
Puncture (CBR)	ASTM D 6241	lb (kN)	250 (1.112)
<b>Endurance</b>			
UV Resistance	ASTM D 4355	% Retained @ 500 hrs.	70
<b>Hydraulic</b>			
Permittivity	ASTM D 4491	sec <sup>-1</sup>	1.8
Flow Rate	ASTM D 4491	gpm/ft <sup>2</sup> (lpm/m <sup>2</sup> )	120 (4889)
Apparent Opening Size (AOS) <sup>3</sup>	ASTM D 4751	US Sieve (mm)	70 (0.212)
<b>Packaging (Typical)</b>			
Roll Width	Measured	ft (m)	12.5 (3.81) / 15 (4.57)
Roll Length	Measured	ft (m)	360 (109.73)
Roll Area	Measured	yd <sup>2</sup> (m <sup>2</sup> )	500 (418) / 600 (502)
Roll Weight	Calculated	lb (kg)	150 (68) / 180 (82)

#### Notes:

- The property values listed above are effective 9/2012 and are subject to change without notice.
- Values shown are in weaker principal direction. 'Minimum Average Roll Values' (MARV) are calculated as the typical minus two (2) standard deviations. Statistically, it yields a 97.7% degree of confidence that any sample taken from quality assurance testing will exceed the value reported.
- AOS (ASTM D 4751) is a 'Maximum Opening Diameter Value'.
- Mullen Burst ASTM D 3786 and Puncture ASTM D 4833 have been removed. Neither test method is recognized by AASHTO M288. CBR Puncture ASTM D 8241 has replaced D 4833, under AASHTO M288. Mullen Burst is not recognized by ASTM D 35 committee on Geosynthetics.

Maccaferri assumes no liability for the accuracy or completeness of this information or for the ultimate use by the purchaser. Maccaferri disclaims any and all expressed, implied, or statutory standards, warranties or guarantees, including without limitation any implied warranty. This document should not be construed as engineering advice. Maccaferri reserves the right to amend product property values without notice and specifiers are requested to check as to the validity of the specifications they are using.

<b>MACCAFERRI</b>	<b>Headquarters:</b> 10303 Governor Lane Boulevard Williamsport, MD 21795-3116 Tel: 800-638-7744 Fax: 301-223-4590 info@maccaferri-usa.com	<b>Area Offices:</b> AZ, Phoenix CA, Sacramento FL, Coral Gables OH, Columbus	MD, Williamsport MO, St. Louis NJ, Iselin NM, Albuquerque	PR, Caguas TX, Lewisville WA, Seattle
	©2012 Maccaferri, Inc. Printed in USA			



## 7.2. Παράρτημα 2

**Πίνακας Π 14.1:** Χαρακτηριστικά εκροής συστημάτων προσκολλημένης βιομάζας (1<sup>ο</sup> στάδιο επεξεργασίας)

ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ	ΓΕΩΥΦΑΣΜΑ (I)						ΔΙΟΓΚ. ΑΡΓΙΛΟΣ (II)					
	BOD (mg/l)	COD (mg/l)	N <sub>tot</sub> (mg/l)	TSS (mg/l)	DOC (mg/l)	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (mg/l)	BOD (mg/l)	COD (mg/l)	N <sub>tot</sub> (mg/l)	TSS (mg/l)	DOC (mg/l)	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (mg/l)
23/11/2011	100	153,67	-	34	-	-	150	233,67	-	62	-	-
5/12/2011	102	221,00	76,6	77	-	-	144	280,00	66,7	47	-	-
13/12/2011	100	199,50	64,94	25	13,58	62,03	170	266,17	66,69	39	30,35	70,74
15/12/2011	110	219,50	70,69	39	33,58	73,12	150	227,83	80,56	46	49,39	82,86
18/12/2011	50	169,50	67,81	75	14,74	72,99	90	171,17	82,19	76	21,08	71,06
26/12/2011	100	141,17	57,06	74	15,43	56,99	110	154,50	59,81	72	18,77	56,67
3/1/2012	40	94,50	62,44	57	14,26	56,09	70	156,17	72,19	50	10,63	51,9
23/1/2012	100	86,17	45,44	48	8,24	38,99	50	69,50	47,19	38	9,28	24,28
16/2/2012	65	69,50	28,94	25	13,9	39,96	115	122,83	40,56	12	35,5	36,22
22/2/2012	130	161,17	50,31	62	64,87	44,74	95	136,17	47,44	60	66,95	41,32
2/3/2012	100	141,17	37,69	14	49,43	34,93	85	131,17	36,81	84	54,8	28,48
7/3/2012	65	86,17	48,69	32	56,47	48,54	80	122,50	49,84	34	53,8	42,03
<b>Μέσος Όρος</b>	<b>88,5</b>	<b>145,3</b>	<b>55,5</b>	<b>47</b>	<b>28,5</b>	<b>52,8</b>	<b>109,1</b>	<b>172,6</b>	<b>59,1</b>	<b>52</b>	<b>35,1</b>	<b>50,6</b>
<b>Όρια εκροής σε mg/l (βάσει ΚΥΑ 5673/400/5.3.1997)</b>	<b>25</b>	<b>125</b>	<b>-</b>	<b>35-60*</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>25</b>	<b>125</b>	<b>-</b>	<b>35-60*</b>	<b>-</b>	<b>-</b>

**Πίνακας Π 15.2:** Χαρακτηριστικά εκροής συστημάτων προσκολλημένης βιομάζας  
(2<sup>ο</sup> στάδιο επεξεργασίας)

ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ	ΓΕΩΥΦΑΣΜΑ (I)						ΔΙΟΓΚ. ΑΡΓΙΛΟΣ (II)					
	BOD (mg/l)	COD (mg/l)	N <sub>tot</sub> (mg/l)	TSS (mg/l)	DOC (mg/l)	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (mg/l)	BOD (mg/l)	COD (mg/l)	N <sub>tot</sub> (mg/l)	TSS (mg/l)	DOC (mg/l)	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (mg/l)
27/3/2012	440	341,17	60,19	77	67,02	48,35	440	642,83	65,94	103	59,89	56,41
2/4/2012	220	336,17	49,31	74	43,61	53,19	580	689,50	57,9	137	69,42	47,06
8/4/2012	320	449,50	96,8	104	89,27	41,9	500	519,50	81,6	211	77,41	40,61
14/4/2012	640	761,17	87,6	189	70,5	23,06	580	567,83	116,8	156	57,68	25,32
21/4/2012	340	349,50	34,31	106	99,29	10,48	380	401,17	26,81	66,7	115,2	14,22
27/4/2012	360	357,83	31,69	86	76,25	13,38	480	596,17	30,81	250	52,3	9,832
1/5/2012	200	262,83	31,94	56	63,33	12,35	300	389,50	48,44	150	60,25	18,99
6/5/2012	240	209,50	39,31	93	58,52	25,7	360	311,17	44,31	143	50,83	22,41
12/5/2012	260	347,97	40,94	27	60,34	27,38	340	401,50	44,19	83,3	72,67	25,57
17/5/2012	220	294,43	41,31	8	93,29	30,09	320	335,12	37,94	15	65,59	26,93
<b>Μέσος Όρος</b>	<b>324</b>	<b>371,01</b>	<b>51,34</b>	<b>82</b>	<b>72,14</b>	<b>28,59</b>	<b>428</b>	<b>485,43</b>	<b>55,47</b>	<b>132</b>	<b>68,12</b>	<b>28,74</b>
<b>Όρια εκροής σε mg/l (βάσει ΚΥΑ 5673/400/5.3.1997)</b>	<b>25</b>	<b>125</b>	<b>-</b>	<b>35-60*</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>25</b>	<b>125</b>	<b>-</b>	<b>35-60*</b>	<b>-</b>	<b>-</b>

**Πίνακας Π 16:** Χαρακτηριστικά εκροής συστημάτων προσκολλημένης βιομάζας (3<sup>ο</sup> στάδιο επεξεργασίας)

ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ	ΓΕΩΥΦΑΣΜΑ (I)					ΔΙΟΓΚ. ΑΡΓΙΛΟΣ (II)				
	BOD (mg/l)	COD (mg/l)	N <sub>tot</sub> (mg/l)	TSS (mg/l)	DOC (mg/l)	BOD (mg/l)	COD (mg/l)	N <sub>tot</sub> (mg/l)	TSS (mg/l)	DOC (mg/l)
31/5/2012	220	637,04	58,31	150	120,2	280	471,09	55,56	133	180
8/6/2012	160	214,13	47,81	90	49,69	520	364,03	27,56	185	128,6
15/6/2012	240	267,67	44,56	88	63,72	1000	1258,03	38,56	313	258
21/6/2012	440	358,67	25,56	120	145,4	480	455,03	15,56	80	209,3
2/7/2012	500	503,21	25,8	73	320,4	440	803,00	14,81	100	247,6
9/7/2012	280	326,55	7,938	135	228,9	500	640,24	22,69	47	147,7
17/7/2012	320	321,20	14,69	107	140,7	240	273,02	7,563	53	130,2
26/7/2012	300	347,97	32,56	60	117,3	280	289,08	19,19	23	181,4
<b>Μέσος Όρος</b>	<b>308</b>	<b>372,06</b>	<b>32,15</b>	<b>103</b>	<b>148,3</b>	<b>468</b>	<b>569,19</b>	<b>25,19</b>	<b>117</b>	<b>185,4</b>
<b>Όρια εκροής σε mg/l (βάσει ΚΥΑ 5673/400/5.3.1997)</b>	<b>25</b>	<b>125</b>	<b>-</b>	<b>35-60*</b>	<b>-</b>	<b>25</b>	<b>125</b>	<b>-</b>	<b>35-60*</b>	<b>-</b>

\* 35 mg/l άνω των 10.000 ι.π.

60 mg/l για 2.000-10.000 ι.π.