

**ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΑΓΡΟΤΟΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΚΑΙ ΤΑΥΤΟΧΡΟΝΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΒΙΟΝΤΙΖΕΛ  
ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΜΙΚΤΗΣ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑΣ ΚΥΑΝΟΒΑΚΤΗΡΙΩΝ-ΒΑΚΤΗΡΙΩΝ ΣΕ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ  
ΠΡΟΣΚΟΛΛΗΜΕΝΗΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ**

**Β. Πατρινού<sup>1</sup>, Ο.Τσολλά<sup>1</sup>, Σ. Γενίσαρης<sup>2</sup>, Μ. Ντούρου<sup>3</sup>, Α. Τεκερλεκοπούλου<sup>1,\*</sup>, Μ. Μουστάκα-Γούνη<sup>2</sup>, Γ. Αγγελής<sup>3</sup>, Δ. Βαγενάς<sup>4,5</sup>**

<sup>1</sup>Τμήμα Διαχείρισης Περιβάλλοντος και Φυσικών Πόρων, Πανεπιστήμιο Πατρών, Γ. Σεφέρη 2, 30100 Αγρίνιο, Ελλάδα

<sup>2</sup>Τμήμα Βιολογίας, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, 54124 Θεσσαλονίκη, Ελλάδα

<sup>3</sup>Τμήμα Βιολογίας, Πανεπιστήμιο Πατρών, 26504 Πάτρα, Ελλάδα

<sup>4</sup>Τμήμα Χημικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Πατρών, 26504 Πάτρα, Ελλάδα

<sup>5</sup>Ινστιτούτο Επιστημών Χημικής Μηχανικής/Ίδρυμα Τεχνολογίας και Έρευνας, 26504 Πάτρα

(\* [atekerle@upatras.gr](mailto:atekerle@upatras.gr))

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα εργασία διερευνήθηκε η ικανότητα μικτής καλλιέργειας κυανοβακτηρίων (με κυρίαρχα είδη τα *Leptolyngbya* sp. και *Limnothrix* sp.) και βακτηρίων, α) να απομακρύνει υπό μη-ασηπτικές συνθήκες οργανικά και ανόργανα συστατικά από διάφορα αγροτοβιομηχανικά απόβλητα, όπως απόβλητο οινοποιείου, τυροκομείου και μικτό απόβλητο οινοποιείου και σταφιδοποιείας και β) να συσσωρεύει στη βιομάζα της λιπίδια για παραγωγή βιοντίζελ. Όλα τα πειράματα που έλαβαν χώρα πραγματοποιήθηκαν σε φωτοβιοαντιδραστήρες εργαστηριακής κλίμακας προσκολλημένης ανάπτυξης (με χρήση γυάλινων ράβδων ως υλικό προσκόλλησης) κάτω από αερόβιες συνθήκες, υπό διαλείπουσα λειτουργία. Εξετάστηκαν διαφορετικές αρχικές συγκεντρώσεις θρεπτικών συστατικών (C, N, P) και προσδιορίστηκαν τόσο οι ρυθμοί απομάκρυνσης του ρυπαντικού φορτίου όσο και η παραγωγή βιομάζας και τα μέγιστα ποσοστά συσσώρευσης ελαίου. Σημαντικές απομακρύνσεις θρεπτικών συστατικών και οργανικού φορτίου παρατηρήθηκαν σε όλα τα εξεταζόμενα υποστρώματα (73-97.1% TN, 10.2-80.8% PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> και 65.5-97.4% d-COD) με το υπόστρωμα αποβλήτου οινοποιείου να παρουσιάζει την υψηλότερη απομάκρυνση d-COD (μέχρι και 97.4%). Το υψηλότερο ποσοστό ελαίου επιτεύχθηκε στο απόβλητο οινοποιείου (23.2% g ελαίου/ g βιομάζας), ενώ στο απόβλητο τυροκομείου και στο μεικτό απόβλητο τα ποσοστά ελαίου που επιτεύχθηκαν ήταν εξίσου σημαντικά, αγγίζοντας τις τιμές των 19% και 17.4%, αντιστοίχως. Σε όλα τα υποστρώματα που εξετάστηκαν επιτεύχθηκε συνολικό ποσοστό κορεσμένων και μονοακόρεστων λιπαρών οξέων μέχρι και 89%, υποδηλώνοντας την καταλληλότητα του προτεινόμενου προσκολλημένου συστήματος για επεξεργασία αγροτοβιομηχανικών αποβλήτων καθώς και της συλλεγόμενης βιομάζας ως πηγή βιοντίζελ.

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Σύγχρονη πρόκληση αποτελεί η ανάπτυξη τεχνολογιών για την επεξεργασία αποβλήτων, οι οποίες να αποσκοπούν όχι μόνο στην απομάκρυνση του ρυπαντικού φορτίου των αποβλήτων αλλά και στην ταυτόχρονη παραγωγή χρήσιμων παραπροϊόντων. Μέχρι σήμερα διάφορες τεχνολογίες

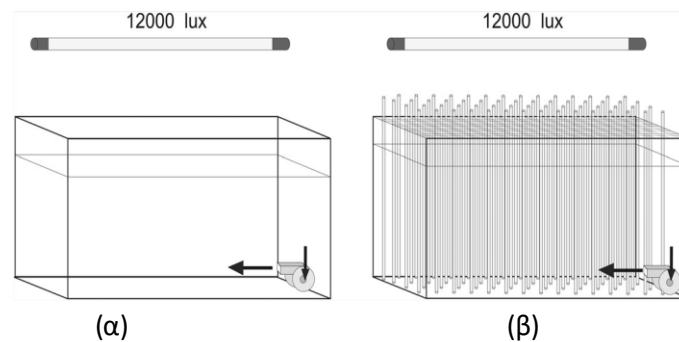
επεξεργασίας αποβλήτων έχουν μελετηθεί, χρησιμοποιώντας φυσικοχημικές ή/και βιολογικές διεργασίες [1]. Τα τελευταία χρόνια τα συστήματα που χρησιμοποιούν μικροφύκη/κυανοβακτήρια-βακτήρια για την επεξεργασία λυμάτων με ταυτόχρονη παραγωγή βιοντίζελ και χημικών προϊόντων κερδίζουν δημοτικότητα, εφόσον αποτελούν μια ελκυστική εναλλακτική λύση για την αποκατάσταση του περιβάλλοντος εξασφαλίζοντας την οικονομική βιωσιμότητα [1]. Έχει βρεθεί ότι οι μικτές καλλιέργειες μικροφυκών/κυανοβακτηρίων και αυτοχθόνων μικροοργανισμών των αποβλήτων μπορούν να χρησιμοποιηθούν τόσο για την επεξεργασία αγροτοβιομηχανικών αποβλήτων μειώνοντας σημαντικά το ρυπαντικό τους φορτίο όσο και για την ταυτόχρονη παραγωγή λιπιδίων κατάλληλων για την παραγωγή βιοκαυσίμων 3<sup>ης</sup> γενιάς [2]. Ανασκόπηση της βιβλιογραφίας δείχνει ότι η χρήση των μικροφυκών σε βιολογικά συστήματα επεξεργασίας στρέφεται κυρίως στην επεξεργασία αστικών και γαλακτοκομικών αποβλήτων, υπό ασηπτικές και αιωρούμενες συνθήκες ανάπτυξης [3]. Ωστόσο, τα τελευταία χρόνια ενδιαφέρον παρουσιάζουν τα συστήματα προσκολλημένης ανάπτυξης μικροφυκών [4]. Η προσκόλληση των οργανισμών πάνω σε υλικά μπορεί να μειώσει σημαντικά το κόστος συγκομιδής, σημειώνοντας επίσης υψηλά ποσοστά απομάκρυνσης αζώτου και φωσφόρου από πληθώρα αποβλήτων [4]. Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία ως υλικά προσκόλλησης έχουν μελετηθεί διάφορα προσροφητικά και πολυμερή υλικά, όπως βαμβάκι, νάιλον, γυάλινες διαφάνειες, Plexiglas κ.α. [4].

Στη παρούσα εργασία μελετήθηκε η βιολογική επεξεργασία υγρών αποβλήτων οινοποιείου, τυροκομείου και μικτού απόβλητου οινοποιείου-σταφιδοποιείας με χρήση μικτής καλλιέργειας κυανοβακτηρίων και γηγενών μικροοργανισμών από τα ίδια τα απόβλητα, σε συστήματα προσκολλημένης ανάπτυξης (φωτοβιοαντιδραστήρες με γυάλινους κυλινδρικούς ράβδους ως μέσο προσκόλλησης). Αρχικά, διερευνήθηκε η ικανότητα της μικτής καλλιέργειας να απομακρύνει υπό μη-ασηπτικές συνθήκες οργανικά και ανόργανα συστατικά από τα προαναφερόμενα υγρά απόβλητα. Στη συνέχεια, πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις προκειμένου να εξεταστεί η συσσώρευση λιπιδίων στην παραγόμενη βιομάζα καθώς και η δυνατότητα χρήσης τους ως πρώτη ύλη για την παραγωγή βιοντίζελ.

## ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

### ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΜΙΚΡΟΟΡΓΑΝΙΣΜΩΝ

Αρχικά, συλλέχθηκε δείγμα λυμάτων από τη Μονάδα Επεξεργασίας Υγρών Αποβλήτων Αγρινίου με σκοπό την απομόνωση και ανάπτυξη αυτότροφων μικροοργανισμών. Το δείγμα έπειτα από διήθηση για απομάκρυνση στερεών και ζωοπλαγκτού συντηρήθηκε κάτω από σταθερές συνθήκες συνεχούς τεχνητού φωτισμού (12000 Lux), σταθερής θερμοκρασίας ( $25 \pm 2^\circ\text{C}$ ), ατμοσφαιρικού  $\text{CO}_2$  και συνεχούς ανάδευσης με αεραντλία παροχής  $380 \text{ Lh}^{-1}$ . Οι κύριοι φωτοσυνθετικοί μικροοργανισμοί που επικράτησαν ήταν τα κυανοβακτήρια *Leptolyngbya* sp. και *Limnothrix* sp., τα οποία και συντηρήθηκαν σε ενυδρεία (φωτοαντιδραστήρας αιωρούμενης ανάπτυξης) ως εμβόλιο (stock culture) (Εικόνα 1α) για τα επόμενα πειράματα. Για την καλλιέργεια των κυανοβακτηρίων χρησιμοποιήθηκε απόβλητο οινοποιείου (winery wastewater, WWW), τυροκομείου (dairy wastewater, DWW) και μικτό απόβλητο οινοποιείου και σταφιδοποιείας με αναλογία 85%:15%, αντίστοιχα (mixed winery and raisin wastewater, MWW).



**Εικόνα 1:** Διάταξη φωτοβιοαντιδραστήρα α) αιωρούμενης και β) προσκολλημένης ανάπτυξης.

## ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ

Πραγματοποιήθηκαν τρεις διαφορετικές σειρές πειραμάτων (Α, Β και C) για κάθε εξεταζόμενο απόβλητο, οι οποίες προέκυψαν έπειτα από αραιώση των αποβλήτων με νερό βρύσης, οδηγώντας σε διαφορετικές αρχικές συγκεντρώσεις οργανικού και ανόργανου φορτίου (Πίνακας 1). Οι φωτοβιοαντιδραστήρες προσκολλημένης ανάπτυξης που χρησιμοποιήθηκαν στα πειράματα της παρούσας εργασίας αποτελούνταν από 36 γυάλινες κυλινδρικές ράβδους διαμέτρου 0.5 cm (Εικόνα 1β). Η επιφάνεια της κάθε ράβδου ήταν 19.04 cm<sup>2</sup> παρέχοντας αρκετή επιφάνεια για προσκολλημένη ανάπτυξη βιομάζας. Για τη διεξαγωγή των πειραμάτων διατηρήθηκαν οι ίδιες σταθερές συνθήκες ανάπτυξης με την καλλιέργεια εμβολίου με μόνη διαφορά ότι η παροχή της αεραντλίας ρυθμίστηκε στα 50 L h<sup>-1</sup> ώστε να διευκολυνθεί η προσκόλληση της βιομάζας στις ράβδους και στα τοιχώματα του αντιδραστήρα.

## ΑΝΑΛΥΤΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ

Κατά την διάρκεια των πειραμάτων δείγματα όγκου 50-100 mL λαμβάνονταν από το υπόστρωμα. Μετά από φυγοκέντρωση (4100 rpm) για 20 λεπτά, και ξήρανση στους 105°C προσδιοριζόταν η ανάπτυξη βιομάζας με ζύγιση σύμφωνα με την APHA, 1998 [5]. Στη συνέχεια το υπερκείμενο υγρό συλλεγόταν, διηθείτο (σε φίλτρα 0.45 μm) και αναλυόταν άμεσα για τον προσδιορισμό των συγκεντρώσεων του Total Kjeldahl Nitrogen (TKN), NO<sub>3</sub>-N, NO<sub>2</sub>-N, PO<sub>4</sub><sup>-3</sup>, καθώς και τη μείωση του d-COD σύμφωνα με την APHA, 1998 [5]. Η εκχύλιση ελαίου πραγματοποιήθηκε με τη προσθήκη διαλύματος Folch (χλωροφόρμιο: μεθανόλη, 2:1) σε ξηρή βιομάζα και έκλουση του εκχυλίσματος με διάλυμα KCl 0.88% (w/v) σε διαχωριστική χοάνη. Η υποκείμενη φάση, που περιείχε το έλαιο, συλλεγόταν και αφυδατωνόταν με τη βοήθεια άνυδρου Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. Ο διαλύτης στη συνέχεια απομακρυνόταν σε περιστροφικό εξατμιστήρα, ενώ το παραγόμενο έλαιο υπολογιζόταν με ζύγιση εκφραζόμενο σαν ποσοστό επί της ξηρής βιομάζας. Τέλος, ο προσδιορισμός της σύστασης των λιπιδίων σε λιπαρά οξέα που προϋποθέτει τη μετατροπή των τελευταίων σε μεθυλεστέρες πραγματοποιήθηκε με αέρια χρωματογραφία (μέθοδος AFNOR [6]).

## ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ-ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Για κάθε απόβλητο, πραγματοποιήθηκαν τρεις σειρές πειραμάτων (με διαφορετικές αραιώσεις αποβλήτου), με σκοπό τη μελέτη ικανότητας των κυανοβακτηρίων στην αξιοποίηση των αποβλήτων ως πόρο (θρεπτικά). Όσο αφορά την ανάπτυξη της προσκολλημένης βιομάζας (Σχήμα 1β) μέγιστες παραγωγικότητες σημειώθηκαν για τα υποστρώματα DWW-C, MWW-A και WWW-C,

αγγίζοντας τις τιμές των 5.03, 3.08 και 4.12  $\text{gm}^{-2} \text{d}^{-1}$ , αντιστοίχως. Οι ειδικοί ρυθμοί ανάπτυξης σε όλα τα υποστρώματα κυμάνθηκαν από 0.217 έως 0.925  $\text{d}^{-1}$ , τιμές από τις υψηλότερες που έχουν καταγραφεί στην βιβλιογραφία για καλλιέργειες του στελέχους *Leptolyngbya* σε συστήματα προσκολλημένης ανάπτυξης [4]. Σε όλες τις πειραματικές σειρές οι αρχικές συγκεντρώσεις του d-COD (Πίνακας 1) κυμαίνονταν μεταξύ 1930 και 5090 mg/L. Στο Σχήμα 2 παρουσιάζεται η μεταβολή συγκέντρωσης του d-COD με το χρόνο για όλες τις σειρές πειραμάτων. Παρατηρήθηκαν υψηλά ποσοστά απομάκρυνσης του d-COD, μεταξύ 65.5 και 97.4%. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζουν τα αποτελέσματα απομάκρυνσης οργανικού φορτίου από τα απόβλητα οινοποιείου, καθώς για όλες τις σειρές πειραμάτων που έλαβαν χώρα παρουσιάστηκαν ποσοστά πάνω από την τιμή των 95% (Πίνακας 2). Ανασκόπηση της βιβλιογραφίας έδειξε ότι τα κατά την επεξεργασία αγροτοβιομηχανικών αποβλήτων με μιξότροφη καλλιέργεια και παραπλήσιες αρχικές συγκεντρώσεις d-COD παρουσιάστηκαν ποσοστά απομάκρυνσης μόλις μέχρι και 76% [4]. Όσον αφορά την απομάκρυνση των ολικών σακχάρων παρουσιάστηκαν ποσοστά μεταξύ 49% και 94%, ενώ για το ολικό άζωτο (total nitrogen-TN) κυμάνθηκαν μεταξύ 73.4% και 97.1%. Οι μεγαλύτερες απομακρύνσεις φωσφόρου παρουσιάστηκαν στα υποστρώματα με τις υψηλότερες αρχικές συγκεντρώσεις  $\text{PO}_4^{3-}$ , με την υψηλότερη απομάκρυνση του 87.4% να σημειώνεται στο υπόστρωμα MWW-A. Σε όλες τις πειραματικές σειρές υπολογίστηκε η συγκέντρωση ολικού και προσκολλημένου ελαίου που συσσωρεύτηκε στη μικροβιακή βιομάζα. Το ποσοστό των ολικών και προσκολλημένων λιπιδίων (επί ξηρής βιομάζας) σε όλα τα υποστρώματα που εξετάστηκαν κυμάνθηκε μεταξύ του 9 και 23% (g βιομάζας/g ελαίου), με το υψηλότερο ποσοστό (23%) να επιτυγχάνεται στο υπόστρωμα WW-A. Παρόμοια υψηλά ποσοστά ελαίου επί ξηρής βιομάζας *Leptolyngbya* καταγράφηκαν και από τους Singh and Thakur (2015) με τη χρήση αστικού αποβλήτου σε μαρμαρίνη πλάκα [2]. Τέλος, πραγματοποιήθηκε ανάλυση της σύστασης των παραγόμενων λιπαρών οξέων όλων των υποστρωμάτων και διαπιστώθηκε η ύπαρξη 10 έως 18 ατόμων άνθρακα. Κυρίαρχα λιπαρά οξέα ήταν το C18:1 (7–39%), C16:0 (20–23%), C16:1 (4–18%), C18:2 (7–29%) και C18:0 (2–8%) τα οποία είναι τα πιο συχνά απαντώμενα λιπαρά οξέα για παραγωγή βιοντίζελ, ενώ η ύπαρξη πολυακόρεστων λιπαρών οξέων C18:3 ήταν κάτω του 12% σύμφωνα με τα Ευρωπαϊκά Πρότυπα. Στο σύνολο τους τα κορεσμένα και μονοακόρεστα λιπαρά οξέα έφτασαν το ποσοστό του 85.3% για το υπόστρωμα αποβλήτου οινοποιείου, 78.7% για το υπόστρωμα μεικτού λύματος και 77.7% για υπόστρωμα τυροκομείου υποδηλώνοντας την καταλληλότητα των παραγόμενων λιπιδίων ως πρώτη ύλη για την παραγωγή βιοντίζελ.

## ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

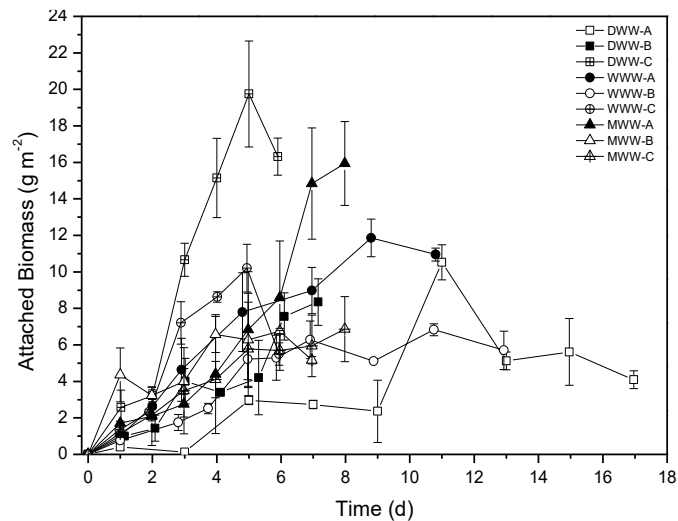
Στη παρούσα εργασία διερευνήθηκε η ικανότητα μικτής μικροβιακής κοινότητας κυανοβακτηρίων-βακτηρίων να απομακρύνει οργανικές και ανόργανες ενώσεις από αγροτοβιομηχανικά απόβλητα σε συστήματα προσκολλημένης ανάπτυξης. Παράλληλα, εξετάσθηκε η ικανότητα της να συσσωρεύει λιπίδια, καθώς και η καταλληλότητα των λιπιδίων για την παραγωγή βιοντίζελ. Σημειώθηκαν ικανοποιητικές απομακρύνσεις θρεπτικών συστατικών αζώτου, φωσφόρου και οργανικού άνθρακα (73-97.1%, 10.2-80.8% και 65.5-97.4%, αντίστοιχα). Το ποσοστό του παραγόμενου ελαίου κυμάνθηκε μεταξύ 10% και 23,2% επί της ξηρής μάζας, ενώ η ανάλυση των λιπαρών οξέων έδειξε τη δυνατότητα χρήσης του ως βιοντίζελ. Τα παραπάνω αποτελέσματα υποδηλώνουν ότι ένα συμβιωτικό σύστημα κυανοβακτηρίων-βακτηρίων μπορεί να αποτελέσει μια οικονομική εναλλακτική μέθοδο επεξεργασίας υγρών αποβλήτων αξιοποιώντας την παραγόμενη βιομάζα ως πηγή βιοκαυσίμων.

**Πίνακας 1:** Χαρακτηριστικά του ανεπεξέργαστου αποβλήτου σε όλες τις σειρές πειραμάτων.

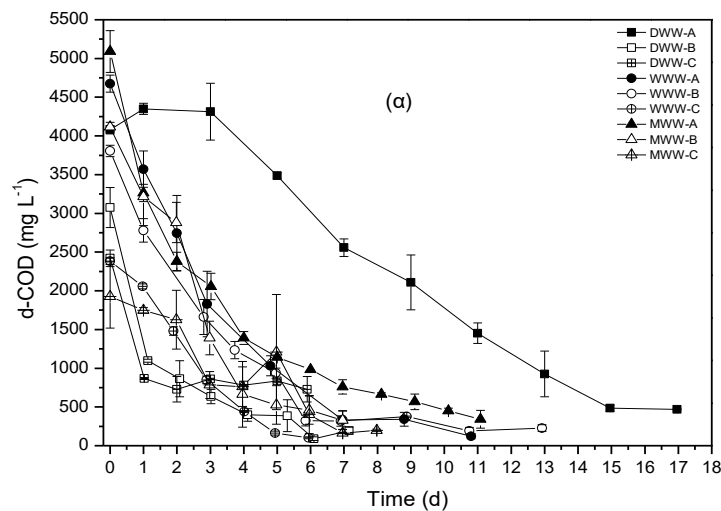
Πειραματικό Υπόστρωμα	Αρχική Συγκέντρωση d-COD (mgL <sup>-1</sup> )	Αρχικές Συγκεντρώσεις (mg L <sup>-1</sup> )				Αρχική Συγκέντρωση Βιομάζας (mgL <sup>-1</sup> )
		NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	TN	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	Ολικά σάκχαρα	
DWW-A	4081 ± 54.8	13.64 ± 0.3	59.22 ± 4.9	26 ± 0.62	713.25 ± 52.8	276 ± 14.14
DWW-B	3075 ± 257.7	10.4 ± 1.1	21.72 ± 4.1	13.1 ± 0.49	302.1 ± 46.25	268 ± 2.83
DWW-C	2420 ± 106.7	7.85 ± 0.18	15 ± 3.4	8.48 ± 2.24	618.3 ± 103.2	390 ± 14.14
WWW-A	4675 ± 109.6	11.03 ± 0.1	25.12 ± 9.8	5.8 ± 0.3	89.21 ± 0.1	65.71 ± 10.7
WWW-B	3806 ± 74.3	8.56 ± 0.1	33.12 ± 4.5	2.8 ± 0.07	80.5 ± 2.5	64 ± 2.03
WWW-C	2385 ± 43.4	5.4 ± 0.007	9.82 ± 2	5.5 ± 0.007	41.3 ± 0.47	59 ± 2.83
MWW-A	5091 ± 270.3	18.35 ± 0.4	28.9 ± 5.3	15.5 ± 0.64	190.3 ± 6.93	202 ± 19.8
MWW-B	4116.2 ± 61.5	8.07 ± 0.3	16.48 ± 0.04	5.1 ± 0.17	112.13 ± 4	105 ± 24.04
MWW-C	1927.5 ± 409.4	16.95 ± 0.1	55.5 ± 4.85	11.25 ± 0.12	56.82 ± 4.16	79 ± 1.4

**Πίνακας 2:** Αποδόσεις απομάκρυνσης N, P, οργανικού φορτίου και αποδόσεις παραγωγής βιομάζας, λιπιδίων σε όλες τις σειρές πειραμάτων.

Πειραματικό Υπόστρωμα	% Απομακρύνσεις θρεπτικών συστατικών				d-COD % Απομάκρυνση	% Μέγιστο ποσοστό ελαίου		Παραγωγικότητα Βιομάζας		Ειδικός ρυθμός ανάπτυξης (d <sup>-1</sup> )
	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	TN	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	Ολικά Σάκχαρα		Ολικά λιπίδια	Προσκολλημένα	Ολική Βιομάζα mg (Ld) <sup>-1</sup>	Προσκολλημένη g (m <sup>2</sup> d) <sup>-1</sup>	
DWW-A	53.7 ± 0.3	89.3 ± 0.1	80.8 ± 0.6	85.2 ± 0.36	88.5 ± 0.2	14.8 ± 3.57	15.3 ± 0.88	292.8	2.74	0.217
DWW-B	87.5 ± 0.6	79.3 ± 2.5	83.2 ± 3.2	78.1 ± 4.9	93.6 ± 1.4	16.1 ± 0.43	11.5 ± 1.45	118.1	2.89	0.46
DWW-C	49.4 ± 9	73.4 ± 1.7	68.4 ± 8.3	85.2 ± 2.3	65.5 ± 0.95	16.1 ± 0.52	19 ± 1.98	249.5	5.03	0.925
WWW-A	54.6 ± 4.5	80 ± 2	34.2 ± 5.15	16.5 ± 4.64	97.4 ± 0.73	21 ± 1.49	23.2 ± 0.32	98.9	1.61	0.53
WWW-B	37.8 ± 2.34	83.2 ± 0.1	10.2 ± 0.02	32 ± 1.94	95 ± 1.12	16 ± 0.64	18.7 ± 3	79.56	1.3	0.333
WWW-C	77.7 ± 0.63	87.7 ± 0.6	38.3 ± 25	44.4 ± 5.05	95.8 ± 0.78	19.6 ± 0.3	10.9 ± 3.8	90.7	3.08	0.683
MWW-A	79.6 ± 0.23	87 ± 0.13	87.4 ± 0.7	40.1 ± 1.37	91.1 ± 0.61	16.2 ± 1.13	17.4 ± 3.27	230.73	4.12	0.536
MWW-B	55 ± 9.2	77.8 ± 4	60.2 ± 2.1	49 ± 0.41	89 ± 4.6	9.8 ± 0.05	8.9 ± 2.1	175.25	2.7	0.587
MWW-C	90.53 ± 0.3	97.1 ± 0.1	52.9 ± 1.97	41.9 ± 4.13	91.54 ± 0.4	18.6 ± 2	11.5 ± 1.7	113	1.23	0.42



**Σχήμα 1:** Ρυθμός ανάπτυξης προσκολλημένης βιομάζας συναρτήσει του χρόνου για όλες τις σειρές πειραμάτων



**Σχήμα 2:** Απομάκρυνση d-COD για όλες τις σειρές πειραμάτων

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Tsolcha, O.N.; Tekerlekopoulou, A.G.; Akratos, C.S.; Aggelis, G.; Genitsaris, S.; Moustaka-Gouni, M.; Vayenas, D.V. Biotreatment of raisin and winery wastewaters and simultaneous biodiesel production using a *Leptolyngbya*-based microbial consortium. *J. Cleaner Prod.* **2017**, *148*, 185–193.
- [2] Singh, J.; Thakur, I.S. Evaluation of cyanobacterial endolith *Leptolyngbya* sp. ITCY101, for integrated wastewater treatment and biodiesel production: A toxicological perspective. *Algal Res.* **2015**, *11*, 294–303.
- [3] Bellou, S.; Baeshen, M.N.; Elazzazy, A.M.; Aggeli, D.; Sayegh, F.; Aggelis, G. Microalgallipids biochemistry and biotechnological perspectives. *Biotechnol. Adv.* **2014**, *32*, 1476–1493.
- [4] Olga N. Tsolcha, Athanasia G. Tekerlekopoulou, Christos S. Akratos, George Aggelis, Savvas Genitsaris, Maria Moustaka-Gouni and Dimitrios V. Vayenas, Agroindustrial Wastewater Treatment with Simultaneous Biodiesel Production in Attached Growth Systems Using a Mixed Microbial Culture, *Water* **2018**, *10*(11), 1693.
- [5] APHA, Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 20th edition. Washington, D.C., (1998).
- [6] AFNOR, Recueil de Normes Francaises des Corps Gras, Graines Oleagineuses et Produits Derives, 3<sup>e</sup>ed, NF T 60-233, p.325, (1984).