



Ευρωπαϊκή Ένωση  
Ευρωπαϊκό Ταμείο  
Περιφερειακής Ανάπτυξης

ΕΠΑνεΚ 2014-2020  
ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ  
ΑΝΤΑΓΩΝΙΣΤΙΚΟΤΗΤΑ  
ΕΠΙΧΕΙΡΗΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑ  
ΚΑΙΝΟΤΟΜΙΑ



Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης

**ΔΡΑΣΗ ΕΘΝΙΚΗΣ ΕΜΒΕΛΕΙΑΣ:  
«ΕΡΕΥΝΩ-ΔΗΜΙΟΥΡΓΩ-ΚΑΙΝΟΤΟΜΩ»**



**Αξιοποίηση υγρών αποβλήτων για καλλιέργεια μικροφυκών και  
χρησιμοποίηση αυτών προς παραγωγή βιοντίζελ και συμπληρωμάτων  
ιχθυοτροφών**

**«Alga4Fuel&Aqua»**

**Παραδοτέο 15: Έκθεση μεθοδολογίας & απόδοσης εξαγωγής βιοελαίου  
από μικροφύκη**

*Έκδοση 1.0.: Πρώτη έκδοση που δημιουργήθηκε στις 08-03-2021*

*Έκδοση 2.0.: Δεύτερη έκδοση που δημιουργήθηκε στις 08-03-2022*

Αυτό το έργο χρηματοδοτήθηκε από το Επιχειρησιακό Πρόγραμμα  
«Ανταγωνιστικότητα – Επιχειρηματικότητα - Καινοτομία (ΕΠΑνεΚ) 2014-2020,  
Δράση Εθνικής Εμβέλειας «Ερευνώ-Δημιουργώ-Καινοτομώ», με Κωδικό Έργου  
Τ1ΕΔΚ-01580



ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ  
ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ  
ΟΙΚΟΝΟΜΙΑΣ & ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ  
ΕΙΔΙΚΗ ΓΡΑΜΜΑΤΕΙΑ ΕΠΑ & ΞΕ  
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΡΙΣΗΣ ΕΠΑ-ΕΚ



ΓΓΕΤ  
ΓΕΝΙΚΗ ΓΡΑΜΜΑΤΕΙΑ  
ΕΡΕΥΝΑΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ



ΕΠΑνεΚ 2014-2020  
ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ  
ΑΝΤΑΓΩΝΙΣΤΙΚΟΤΗΤΑ  
ΕΠΙΧΕΙΡΗΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑ  
ΚΑΙΝΟΤΟΜΙΑ



Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



Λεπτομέρειες Έργου:

Πρόγραμμα: **ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ «ΑΝΤΑΓΩΝΙΣΤΙΚΟΤΗΤΑ – ΕΠΙΧΕΙΡΗΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑ – ΚΑΙΝΟΤΟΜΙΑ (ΕΠΑνεΚ) 2014-2020**

Τίτλος Έργου: **Αξιοποίηση υγρών αποβλήτων για καλλιέργεια μικροφυκών και χρησιμοποίηση αυτών προς παραγωγή βιοντήζελ και συμπληρωμάτων ιχθυοτροφών**

Ακρωνύμιο Έργου: **Alga4Fuel&Aqua**

Αριθμός Πρότασης: **Τ1ΕΔΚ-01580**

Συντονιστής: **Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας**

Διάρκεια: **09/07/2018 – 08/10/2022**

Λεπτομέρειες Παραδοτέου

ΕΕ:4 Παραγωγή βιοντήζελ από ΜΦ

ΥΕ4.1:Εξαγωγή λιπών από ΜΦ, χαρακτηρισμός & επεξεργασία τους. Με σκοπό την παραγωγή πρώτης ύλης για βιοντήζελ

ΥΕ4.2:Μετατροπή λιπών σε βιοντήζελ. Με σκοπό την τελική χρήση του.

Τίτλος Παραδοτέου: Έκθεση μεθοδολογίας & απόδοσης εξαγωγής βιοελαίου από μικροφύκη

Περιγραφή Παραδοτέου: Περιγραφή μεθόδου εξαγωγής λιπών, χαρακτηρισμού και επεξεργασίας αυτών σε βιοέλαιο.

Συντονιστής: ΤΕΙΘ

Συμμετέχων Εταίρος: GRINCO S.A. (πρώην STAFF COLOUR ENERGY), Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Προθεσμία Παράδοσης: Μήνας 32

Ημέρα Παράδοσης: 08-03-2022

## Περιεχόμενα

1. Περίληψη.....	4
2. Εισαγωγή.....	6
2.1 Παραγόμενα από τα μικροφύκη προϊόντα .....	6
2.2 Στάδια παραγωγής βιοκαυσίμων από μικροφύκη.....	7
2.3 Μέθοδοι εξαγωγής λιπών – Συνοπτική Βιβλιογραφική Ανασκόπηση.....	7
2.4 Συμπεράσματα.....	14
3. Εξαγωγή ελαίου από μικροφύκη.....	16
3.1 Εισαγωγή.....	16
3.2 Όργανα – Αντιδραστήρια.....	17
3.3 Διαδικασία Εξαγωγής Βιοελαίου.....	17
4. Διάταξη Εξαγωγής Βιοελαίου .....	19
5. Αποτελέσματα πιλοτικών εξαγωγών βιοελαίου από τη βιομάζα του μικροφύκου <i>Chlorella sorokiniana</i> .....	23
5.1 Διερεύνηση βέλτιστων συνθηκών των επιμέρους σταδίων πιλοτικής εξαγωγής βιοελαίου.....	23
5.1.1 Εισαγωγή .....	23
5.1.2 Μελέτη απόδοσης των επιμέρους παραμέτρων της μεθόδου εξαγωγής.....	24
5.1.3 Πιλοτική εξαγωγή βιοελαίου από τρεις διαφορετικές καλλιέργειες.....	25
5.1.4 Προσδιορισμός (χαρακτηρισμός) των ιδιοτήτων του βιοελαίου.....	26
6. Βιβλιογραφία .....	29

## Κατάλογος Εικόνων

<b>Εικόνα 2-1:</b> Λίπη που παράγονται από τα μικροφύκη.....	7
<b>Εικόνα 2-2:</b> Διάγραμμα της τεχνολογίας εξαγωγής ελαίων με τη χρήση συστήματος υπερήχων συνεχούς έργου.....	11
<b>Εικόνα 2-3:</b> Διάγραμμα ροής της τεχνολογίας εξαγωγής ελαίων με τη χρήση λειοτριβήσης με σφαιρίδια σε πλανητικό σφαιρόμυλο ακολουθούμενη από εκχύλιση.....	13
<b>Εικόνα 4-1:</b> Φούρνος με ανακυκλοφορία αέρα, ο οποίος χρησιμοποιήθηκε για την ξήρανση της βιομάζας.....	19
<b>Εικόνα 4-2:</b> Πλανητικός σφαιρόμυλος που χρησιμοποιήθηκε για τη λειοτριβήση της αποξηραμένης βιομάζας.....	20
<b>Εικόνα 4-3:</b> Συσκευή ανακίνησης για την εκχύλιση του βιοελαίου από τη λειοτριβημένη βιομάζα των μικροφυκών.....	21
<b>Εικόνα 4-4:</b> Εκχύλιση βιοελαίου από τη λειοτριβημένη βιομάζα των μικροφυκών.....	21
<b>Εικόνα 4-5:</b> Διήθηση της υπερκείμενης φάσης και παραλαβή του μίγματος βιοελαίου-διαλυτών.....	22
<b>Εικόνα 4-6:</b> Εξάτμιση του μίγματος διαλυτών και παραλαβή του βιοελαίου.....	22

## 1. Περίληψη

Σ' αυτό το παραδοτέο περιγράφεται η μέθοδος εξαγωγής λιπών από την παραχθείσα βιομάζα μικροφυκών, η διερεύνηση απόδοσης βασικών παραμέτρων της εξαγωγής και η πιλοτική εξαγωγή βιοελαίου για τον χαρακτηρισμό του και τη χρήση του στην παραγωγή βιοντίζελ και τον προσδιορισμό των ιδιοτήτων του βιοντίζελ (Π16). Καθώς τα παραδοτέα Π14 και Π15 αλληλεπικαλύπτονται ως προς το περιεχόμενό τους, ορισμένα από τα θέματα σχετικά με τα παραπάνω αναφέρονται και στα δύο παραδοτέα.

Συγκεκριμένα και στα δύο παραδοτέα (Π14, Π15) αναφέρονται στοιχεία της βιβλιογραφίας σχετικά με τις τεχνικές-τεχνολογίες εξαγωγής ελαίου από τη βιομάζα των μικροφυκών και γίνεται αναλυτική περιγραφή του συνόλου των φυσικών διεργασιών που χρησιμοποιούνται.

Αναλυτικότερα, η παραχθείσα βιομάζα από τρεις καλλιέργειες συλλέχθηκε με ένα συνδυασμό φυσικών διεργασιών, καθίζησης σε πρώτη φάση και φυγοκέντρωσης στη συνέχεια και ακολούθως έλαβε χώρα ξήρανό της σε φούρνο με κυκλοφορία αέρα και σε θερμοκρασία 45°C. Στη συνέχεια η αποξηραμένη βιομάζα λειοτριβήθηκε σε πλανητικό σφαιρόμυλο με ταχύτητα περιστροφής 200 rpm. Μετά την άλεση ακολούθησε εκχύλιση των λιπιδίων της λειοτριβηθείσας βιομάζας των μικροφυκών σε μίγμα μη πολικών και πολικών διαλυτών, συγκεκριμένα σε μίγμα n-εξανίου και ισοπροπανόλης, και σε αναλογία 3:2. Για την εκχύλιση χρησιμοποιήθηκε οριζόντια μηχανή ανάδευσης με ρυθμό ανακινήσεων τις 400 ανακινήσεις ανά λεπτό και η οποία μπορεί να φέρει έως δέκα κωνικές φιάλες που περιέχουν τη βιομάζα με το μίγμα διαλυτών. Ακολούθως πραγματοποιήθηκε διήθηση σε κωνικές φιάλες και εξάτμιση του διαλύτη.

Σε πρώτη φάση αξιολογήθηκαν τρεις μεταβλητές της διεργασίας εξαγωγής βιοελαίου ως προς την ποσότητα-απόδοση εξαγωγής βιοελαίου, ήτοι: α) τρεις λόγοι μίγματος διαλύτη προς τη βιομάζα (v/w): 5/1, 10/1 και 20/1, β) ο χρόνος εκχύλισης: 24 ώρες, 48 ώρες και 72 ώρες και γ) η θερμοκρασία εκχύλισης: 25 °C και 40 °C. Αναφέρονται βέλτιστοι συνδυασμοί των παραπάνω. Όμως, εκτός από τον βέλτιστο συνδυασμό, ο οποίος αναφέρεται στη μέγιστη ποσότητα βιοελαίου που μπορεί να εξαχθεί, σε μία βιομηχανική παραγωγή άλλοι λόγοι, όπως πχ. το κόστος της εξαγωγής, μπορεί να επηρεάσουν ή να προσδιορίσουν την επιλογή των παραπάνω τριών μεταβλητών. Για παράδειγμα η χρήση λόγου διαλύτη προς βιομάζα 20/1 απέδωσε μεγαλύτερη ποσότητα βιοελαίου, όμως, η διαφορά ήταν της τάξης του 3-4%. Η επανεκχύλιση της εναπομείνουσας βιομάζας των μικροφυκών ή η εκχύλιση σε παρατεταμένο χρόνο (>72 ώρες) δεν απέδωσε επιπλέον μετρήσιμες ποσότητες βιοελαίου. Τυχόν ανάκτηση μικρών ποσοτήτων βιοελαίου από την εναπομένουσα βιομάζα μικροφυκών θεωρείται οικονομικά ασύμφορη.

Σε δεύτερη φάση έγινε πιλοτική εξαγωγή του βιοελαίου από τη βιομάζα του μικροφύκου *Chlorella sorokiniana* από τρεις καλλιέργειες:

1. καλλιέργειες ημιδιαλείποντος έργου όπου χρησιμοποιήθηκε γλυκερόλη 10x80 mL = 800 mL με συνολική ποσότητα οργανικού άνθρακα που αντιστοιχεί σε 13,2 g/L, με 80,5 mg/L. Αρχική συγκέντρωση αζώτου με την ενδιάμεση προσθήκη επιπλέον 27,7 mg/L αζώτου,
2. καλλιέργειες με προσθήκη βιολιπάσματος 30%: Η καλλιέργεια έκανε χρήση γλυκερόλης και 30% βιολιπάσματος. Αρχικές συγκεντρώσεις οργανικού άνθρακα και αζώτου ίσες με 7,43 g/L και 439 mg/L αντίστοιχα και
3. καλλιέργειες με προσθήκη βιολιπάσματος 50%: Η καλλιέργεια έκανε χρήση γλυκερόλης και 50% βιολιπάσματος. Αρχικές συγκεντρώσεις οργανικού άνθρακα και αζώτου ίσες με 7,29 g/L και 439 mg/L αντίστοιχα.

Από την πιλοτική παραγωγή του βιοελαίου από τις τρεις καλλιέργειες χρησιμοποιήθηκε μέρος της παραγωγής για τον προσδιορισμό των ιδιοτήτων του βιοελαίου (χαρακτηρισμός) και το υπόλοιπο για την παραγωγή βιοντήζελ και μέτρηση των ιδιοτήτων του (Π16). Οι ιδιότητες που προσδιορίστηκαν είναι: α) η κατανομή λιπαρών οξέων, β) η πυκνότητα, γ) η οξύτητα, δ) το ιξώδες, ε) η υγρασία και στ) η περιεκτικότητα σε θείο.