



Τεχνολογικό  
Πανεπιστήμιο  
Κύπρου

ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΩΝ  
ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ ΚΑΙ  
ΔΕΙΑΧΕΙΡΗΣΗΣ  
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

Μεταπτυχιακή διατριβή

**ΠΡΟΣΡΟΦΗΣΗ ΦΩΣΦΟΡΟΥ ΣΕ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΜΕΝΑ  
ΚΕΛΥΦΗ ΑΥΓΩΝ ΚΑΙ ΦΥΚΗ *Posidonia oceanica***

**Φλωρεντία Θεμιστοκλέους**

**Λεμεσός, Μάιος, 2020**



ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΚΥΠΡΟΥ  
ΣΧΟΛΗ ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ ΚΑΙ ΔΕΙΑΧΕΙΡΗΣΗΣ  
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ  
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΠΟΝΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ, ΒΙΟΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ  
ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΤΡΟΦΙΜΩΝ

Μεταπτυχιακή διατριβή  
ΠΡΟΣΡΟΦΗΣΗ ΦΩΣΦΟΡΟΥ ΣΕ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΜΕΝΑ  
ΚΕΛΥΦΗ ΑΥΓΩΝ ΚΑΙ ΦΥΚΗ *Posidonia oceanica*

της  
Φλωρεντίας Θεμιστοκλέους

Λεμεσός, Μάιος, 2020

## Έντυπο έγκρισης

Μεταπτυχιακή διατριβή

**Προσρόφηση φωσφόρου σε επεξεργασμένα κελύφη αυγών και φύκη**

*Posidonia oceanica* Παρουσιάστηκε από

Φλωρεντία Θεμιστοκλέους

Επιβλέπων καθηγητής: Δρ. Ιωάννης Βυρίδης, Επίκουρος Καθηγητής

Υπογραφή \_\_\_\_\_

Μέλος επιτροπής: Δρ. Γιώργος Μαγγανάρης, Αναπληρωτής Καθηγητής

Υπογραφή \_\_\_\_\_

Μέλος επιτροπής: Δρ. Νικόλαος Τζωρτζάκης, Επίκουρος Καθηγητής

Υπογραφή \_\_\_\_\_

Τεχνολογικό Πανεπιστήμιο Κύπρου

Λεμεσός, Μάιος, 2020

## **Πνευματικά δικαιώματα**

Copyright © Φλωρεντία Θεμιστοκλέους, 2020

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Η έγκριση της μεταπτυχιακής διατριβής από το Τμήμα Γεωπονικών Επιστημών,  
Βιοτεχνολογίας και Επιστήμης Τροφίμων του Τεχνολογικού Πανεπιστημίου Κύπρου  
δεν υποδηλώνει απαραίτητως και αποδοχή των απόψεων του συγγραφέα εκ μέρους του  
Τμήματος.

## **ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ**

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τους Δρ. Ιωάννη Βυρίδη και Δρ. Γιώργο Μαγγανάρη για την συνεργασία, την καθοδήγηση, την υποστήριξη και την βοήθεια που μου παρείχαν κατά τη διάρκεια διεκπεραίωσης της διπλωματικής εργασίας αλλά και για την γνώση που μου μετέδωσαν μέσα από την εξαγωγή των πειραμάτων που έγιναν στα πλαίσια της παρούσας μελέτης.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερα την υποψήφια διδάκτορα Γιώτα Φωτίου η οποία, καθ' όλη την διάρκεια της μελέτης και εκπόνησης των πειραμάτων στα εργαστήρια του Τμήματος Χημικών Μηχανικών, μου παρείχε τεράστια βοήθεια και κυρίως την ευχαριστώ για την πλήρη κατανόηση και στήριξη που είχε απέναντί μου. Επίσης θέλω να εκφράσω τις ευχαριστίες μου και σε όλα τα άτομα που εργάζονταν στα εργαστήρια αυτά για την ομαλή συνεργασία και κατανόηση.

Ευχαριστώ θερμά την οικογένεια μου που με στηρίζουν όλα αυτά τα χρόνια με την αγάπη τους, αλλά και όλους τους φίλους και γνωστούς για τις συμβουλές και την όλη στήριξη που μου παρείχαν καθ' όλη τη διάρκεια των προπτυχιακών και μεταπτυχιακών μου σπουδών.





## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σκοπός της μελέτης αυτής αποτέλεσε η μείωση συγκέντρωσης φωσφόρου σε λύματα από σταθμό επεξεργασίας λυμάτων και η ανάκτησή του μέσω προσρόφησης σε απόβλητα, σε βέλτιστες συνθήκες, με έμμεσο στόχο την μείωση των αποβλήτων, μείωση εμφάνισης ευτροφισμού, άρα και μείωση της ρύπανσης. Τα απόβλητα αυτά, είναι κελύφη αυγών και θαλάσσια φύκη. Τα λύματα που χρησιμοποιούνται, προέρχονται από δευτεροβάθμια επεξεργασία και αποτελούν το απορριφθέν υγρό από αναερόβια χώνευση και την αφυδατωμένη αναερόβια λάσπη. Έγινε προεπεξεργασία των προσροφητικών υλικών με πυρόλυση στους 900 και 500 °C για κελύφη αυγών και φύκη, αντίστοιχα. Μέσω της διαδικασίας προσρόφησης, ο φώσφορος που υπάρχει στα λύματα δεσμεύεται στα προσροφητικά υλικά και αυτό προάγει τη δημιουργία ενός νέου προϊόντος με προστιθέμενη αξία, καθώς το προϊόν έχει ποσότητα φωσφόρου αρκετή για να χρησιμοποιηθεί ως λίπασμα ή ως εδαφοβελτιωτικό. Οι μετρήσεις απορρόφησης φωσφόρου στα λύματα, πραγματοποιήθηκαν φασματοφωτομετρικά. Για την εκχύλιση φωσφόρου από το στερεό απόβλητο έγινε χρήση οξέων  $H_2SO_4$  και  $HNO_3$  και ακολούθως προσρόφηση στο προσροφητικό υλικό. Το μοντέλο που δείχνει πιο αντιπροσωπευτικό ως προς το προσροφητικό υλικό και τους μηχανισμούς προσρόφησης είναι το μοντέλο ισόθερμης Freundlich. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι τα απόβλητα επεξεργασμένα θαλάσσια φύκη *Posidonia oceanica* αποτελούν καλύτερο προσροφητικό υλικό φωσφόρου από λύματα σε σχέση με τα επεξεργασμένα κελύφη αυγών. Η απόδοση προσρόφησης από τα πειράματα διεξαγωγής ανήλθε το 80,2% για προσρόφηση φωσφόρου στο διάλυμα με απορριφθέν υγρό από αναερόβια χώνευση και στο 91,2% για προσρόφηση στο διάλυμα με αφυδατωμένη αναερόβια λάσπη. Επίσης, η ισόθερμη καμπύλη Freundlich για τα φύκη, έχει τον υψηλότερο συντελεστή συσχέτισης  $R^2$  με τιμή 0,9888. Επιπρόσθετα, έγινε η μελέτη παρουσίας ιόντων  $NO_3^-$   $NO_2^-$   $NH_4^+$  καθώς και του χημικά απαιτούμενου οξυγόνου (COD) και διαπιστώθηκε η θετική επίδραση των αμμωνιακών και νιτρικών ιόντων στη προσρόφηση φωσφόρου ενώ η ανάλυση COD έδειξε τη μείωση οργανικού φορτίου στο διάλυμα μετά τη προσθήκη προσροφητή. Τα θαλάσσια φύκη *Posidonia oceanica*, τα οποία υπάρχουν σε αφθονία στη Μεσόγειο Θάλασσα και κάθε χρόνο μαζεύεται τεράστια ποσότητα νεκρής ύλης τους στις παραλίες της Κύπρου, αποτελούν υποσχόμενο πλέον προσροφητικό υλικό φωσφόρου. Μια

περιβαλλοντικά φιλική μέθοδος ανάκτησης φωσφόρου από λύματα, έχει αποδειχθεί στη παρούσα μελέτη, για παραγωγή χρήσιμου προϊόντος από επεξεργασμένα κελύφη αυγών και θαλάσσια φύκη *Posidonia oceanica*. Συμπερασματικά, αξίζει να αναφερθεί ότι επέκταση της μελέτης αυτής μπορεί να αποτελέσει αφορμή για περαιτέρω έρευνα όσο αφορά τυχόν επιδράσεις στην προσρόφηση αλλά και το κόστος υλικών, έτσι ώστε να μπορεί να γίνει η εφαρμογή της.

**Λέξεις κλειδιά:** Ανάκτηση φωσφόρου, προσρόφηση, κελύφη αυγών, θαλάσσια φύκη, λύματα, απορριφθέν υγρό, αφυδατωμένη αναερόβια λάσπη, προϊόν προστιθέμενης αξίας.

## ABSTRACT

The aim of this study was to reduce the concentration of phosphorus (P) from wastewater through adsorption in eggshells and *Posidonia oceanica*. The rejected water from anaerobic digester in WWTP and leached water from dewatered anaerobic sludge were tested as a Phosphorous source. The adsorbent materials were pre-treated by calcination at 900 °C and 500 °C for eggshells and seagrass, respectively. For the extraction of phosphorous from anaerobic dewater sludge, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> and HNO<sub>3</sub> were examined and HNO<sub>3</sub> showed better performance than H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. The isothermal Freundlich model was proven the most representative to the adsorption of P in the aforementioned biowaste. Results indicated the superiority of treated *Posidonia oceanica* compares to eggshells in P adsorption. The adsorption yield values were 80,2% for P adsorption from rejected water and 91,2% for adsorption in the extracted solution from anaerobic dewatered sludge. In addition, the presence of NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, NO<sub>2</sub><sup>-</sup>, NH<sub>4</sub><sup>+</sup> and the chemical oxygen demand (COD) was additionally studied. Results showed no negative effect of NO<sub>3</sub><sup>-</sup> and NH<sub>4</sub><sup>+</sup> to phosphorus adsorption. The COD analysis showed slight reduction of organic compounds in the solution after the exposure to treated seagrass. This study points out that treated *Posidonia oceanica*, which is in abundance in the Mediterranean Sea, has a high potential as a phosphorus-adsorbing material from wastewater. Further experiments, can be done to examine the fertilize potential of the final product (treated *Posidonia oceanica* after exposure to wastewater)

**Keywords:** Phosphorus recovery, adsorption, eggshells, *Posidonia oceanica*, wastewater, rejected water, dewatered anaerobic sludge, added value product.