



Τεχνολογικό  
Πανεπιστήμιο  
Κύπρου

Σχολή Μηχανικής και  
Τεχνολογίας

**Πτυχιακή εργασία**

**Μελέτη της έκλυσης μεταλλικών ιόντων από ιατρικά  
εμφυτεύματα**

**Χαρίλαος Αλεξάνδρου**

**Λεμεσός, Μάιος 2025**



ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΚΥΠΡΟΥ  
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ  
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΚΑΙ  
ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΥΛΙΚΩΝ

Πτυχιακή εργασία

Μελέτη της έκλυσης μεταλλικών ιόντων από ιατρικά εμφυτεύματα

του

Χαρίλαος Αλεξάνδρου

Επιβλέπων Καθηγητής

Δρ. Κωνσταντίνος Καπνίσης

Λεμεσός, Μάιος 2025



## **Πνευματικά δικαιώματα**

Copyright © Χαρίλαος Αλεξάνδρου, 2025

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Η έγκριση της πτυχιακής εργασίας από το Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών και Επιστήμης και Μηχανικής Υλικών του Τεχνολογικού Πανεπιστημίου Κύπρου δεν υποδηλώνει απαραίτητως και αποδοχή των απόψεων του συγγραφέα εκ μέρους του Τμήματος.

## **ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ**

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον καθηγητή μου Δρ. Κωνσταντίνο Καπνίση, κυρίως για την πολύτιμη βοήθεια και καθοδήγησή του στην επίλυση διάφορων θεμάτων. Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω τον Ματθαίο Γιακουμή για τη χρήση των κωδικών MATLAB που έχει αναπτύξει, με σκοπό την ολοκλήρωση της εργασίας μου. Ακόμη, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον συμφοιτητή μου Πέτρο Μάυρη, ο οποίος ήταν ο συνοδοιπόρος μου καθ' όλη την διάρκεια πραγματοποίησης της παρούσας πτυχιακής εργασίας. Τέλος, θα ήθελα επίσης να απευθύνω τις ευχαριστίες μου στους γονείς μου, οι οποίοι στήριξαν τις σπουδές μου φροντίζοντας για την καλύτερη δυνατή μόρφωσή μου.

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Τα ιατρικά εμφυτεύματα έχουν βασική εφαρμογή στη σύγχρονη ιατρική για την αποκατάσταση λειτουργιών του ανθρώπινου σώματος. Ωστόσο, η παραμονή τους στον οργανισμό μπορεί να συνοδεύεται από έκλυση μεταλλικών ιόντων, γεγονός που σε περίπτωση απελευθέρωσης μεγάλων ποσοτήτων μπορεί να οδηγήσει σε αρνητικές επιδράσεις για τον ανθρώπινο οργανισμό. Για την σωστή αξιολόγηση της διάβρωσης και της απελευθέρωσης μεταλλικών ιόντων αναπτύχθηκαν σημαντικά εργαλεία μοντελοποίησης και προσομοίωσης του τοξικολογικού κίνδυνου των ιατρικών συσκευών με στόχο τη μείωση των κλινικών μεθόδων δοκιμών. Στην παρούσα πτυχιακή εργασία, αρχικά πραγματοποιήθηκε εκτενής βιβλιογραφική ανασκόπηση με στόχο τον εντοπισμό, την κατηγοριοποίηση και την ομαδοποίηση δεδομένων έκλυσης που προέρχονται από πειράματα εκτός του ζωντανού οργανισμού σε συνθήκες εργαστηρίου (*in vitro*) και σε πειράματα σε ζωντανούς οργανισμούς (*in vivo*) μελέτες εμφύτευσης. Τέλος, παραμετροποιήθηκε ένα τοξικοκινητικό μοντέλο με σκοπό την πρόβλεψη της χρονικά εξαρτώμενης συγκέντρωσης των ιόντων σε όργανα, ιστούς και σωματικά υγρά. Συγκρίνοντας τις μεταλλικές συγκεντρώσεις που ανέδειξε το μοντέλο για νικέλιο και χρώμιο αντίστοιχα, παρατηρήθηκε ότι τα πειραματικά δεδομένα παρουσιάζουν καλή σύγκλιση συγκριτικά με το μοντέλο. Ωστόσο, χρειάζεται να γίνει βελτίωση του μοντέλου ώστε να επιτευχθεί η καλύτερη και ακριβέστερη σύγκλιση, ιδιαίτερα για το νικέλιο, στο οποίο το μοντέλο είχε παραμετροποιηθεί. Συμπερασματικά, υπάρχει η δυνατότητα βελτίωσης του μοντέλου με την εισαγωγή χρονικά εξαρτώμενων παραμέτρων με σκοπό την προσομοίωση φυσιολογικών φαινομένων όπως η σταδιακή μεταβολή της απορρόφησης από τους ιστούς. Γενικότερα όμως, η σύνδεση πειραμάτων με μαθηματική μοντελοποίηση αποτελεί ισχυρό εργαλείο για την αξιολόγηση της ασφάλειας σε μελλοντικές έρευνες.

**Λέξεις κλειδιά:** Ιατρικά εμφυτεύματα, ορθοδοντικές συσκευές, έκλυση μεταλλικών ιόντων, μοντέλα τοξικοκινητικής με βάση τη φυσιολογία (PBTK), εκτίμηση αβεβαιότητας (Monte Carlo).

## ABSTRACT

Medical implants have a key application in modern medicine for restoring functions of the human body. However, their stay in the body may be accompanied by the release of metal ions, which in case of release of large quantities may lead to negative effects on the human body. In order to properly assess the corrosion and release of metal ions, important tools for modelling and simulation of the toxicological risk of medical devices have been developed to reduce clinical testing methods. In this thesis, an extensive literature review was initially performed to identify, categorize and group release data from non-living organism experiments in laboratory conditions (*in vitro*) and in living organism experiments (*in vivo*) implantation studies. Furthermore, a toxicokinetic model was parameterized to predict the time-dependent concentration of ions in organs, tissues and body fluids. Comparing the metal concentrations indicated by the model for nickel and chromium respectively, it was observed that the experimental data show good convergence compared to the model. However, there is a need to improve the model to achieve better and more accurate convergence, especially for nickel, to which the model was parameterized. In conclusion, there is potential to improve the model by introducing time-dependent parameters to simulate physiological phenomena such as the gradual change in absorption by tissues. More generally, however, linking experiments with mathematical modelling is a powerful tool for safety assessment in future research.

**Key words:** Orthodontic appliance, metal ion release, physiology-based toxicokinetic models (PBTK), uncertainty estimation (Monte Carlo).