



Προς  
τα Μέλη ΔΕΠ της Σχολής Μηχανολόγων Μηχανικών ΕΜΠ

### Π Ρ Ο Σ Κ Λ Η Σ Η

Παρακαλείστε να παρευρεθείτε στην παρουσίαση της Διδακτορικής Διατριβής που εκπόνησε στον Τομέα Βιομηχανικής Διοίκησης & Επιχειρησιακής Έρευνας της Σχολής Μηχανολόγων Μηχανικών ΕΜΠ, η Υποψήφια Διδάκτορας κ. **ΜΟΥΣΧΟΥΤΖΗ Μαρία του Ιωάννη**, Διπλωματούχου Μηχανολόγου Μηχανικού ΕΜΠ (Integrated Master).

Η παρουσίαση θα πραγματοποιηθεί **την Τρίτη 9 Ιανουαρίου 2024, ώρα 15:00**, διαδικτυακά στη διεύθυνση: <https://shorturl.at/tyGP9>

Το θέμα της Διδακτορικής της Διατριβής είναι:

**Αγγλικός τίτλος:** «Optimizing the Maintenance Supply Chain of the Maritime Industry: Development of An Innovative Scheduling Optimization and Cost Forecasting Mathematical Model supported by a Computer Application for its Solution and Results Visualization»

**Ελληνικός τίτλος:** «Βελτιστοποίηση της Εφοδιαστικής Αλυσίδας Συντήρησης στον Κλάδο της Εμπορικής Ναυτιλίας: Ανάπτυξη Καινοτόμου Μαθηματικού Μοντέλου Βελτιστοποίησης Χρονοπρογραμματισμού και Πρόγνωσης Κόστους και Υλοποίηση Εφαρμογής Λογισμικού για την Επίλυση και την Οπτικοποίηση των Αποτελεσμάτων του»

Ο Κοσμήτορας της Σχολής

Ι. Αντωνιάδης  
Καθηγητής Ε.Μ.Π



**Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο**  
**Σχολή Μηχανολόγων Μηχανικών**  
Τομέας Βιομηχανικής Διοίκησης & Επιχειρησιακής Έρευνας

***Optimizing the Maintenance Supply Chain of the Maritime Industry: Development of An Innovative Scheduling Optimization and Cost Forecasting Mathematical Model supported by a Computer Application for its Solution and Results Visualization***

**Διδακτορική Διατριβή της**  
**κ. ΜΑΡΙΑΣ ΜΟΥΣΧΟΥΤΖΗ**

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΟΥΧΟΣ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΟΣ ΜΗΧΑΝΙΚΟΣ ΕΜΠ**

**ΤΡΙΜΕΛΗΣ ΣΥΜΒΟΥΛΕΥΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ:**

Σ. Πόνης, Καθ. ΕΜΠ (Επιβλέπων)

Ν. Παναγιώτου Καθ. ΕΜΠ

Η. Τατσιόπουλος, Καθ. ΕΜΠ

**ΕΠΤΑΜΕΛΗΣ ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ:**

- Καθ. Ν. Καρακαπιλίδης, Παν. Πατρών

- Καθ. Κ. Κηρυττόπουλος, ΕΜΠ

- Καθ. Ν. Παναγιώτου, ΕΜΠ

- Καθ. Σ. Πόνης, ΕΜΠ (επιβλέπων)

- Καθ. Η. Τατσιόπουλος, ΕΜΠ

- Καθ. Δ. Φωλίνας, ΔΙΠΑΕ

- Καθ. Ι. Ψαρράς, ΕΜΠ

**ΑΘΗΝΑ, ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ 2023**

# THESIS TITLE & ABSTRACT

**PhD Thesis' Title:** Optimizing the Maintenance Supply Chain of the Maritime Industry: Development of An Innovative Scheduling Optimization and Cost Forecasting Mathematical Model supported by a Computer Application for its Solution and Results Visualization

**Abstract:** Supply chain and logistics management for spare parts is of key importance in the maritime industry, in order to ensure high availability and reliability of assets, while keeping operating costs in acceptable levels. Supply chain and logistics operations for spare parts incorporate high complexity, uncertainty and costs, due to special characteristics of the maritime sector, as for instance moving assets, globally scattered points of supply and demand, strict time windows and multi-actor setting. Efficiently handling such a logistics network constitutes a great challenge for any firm active in the industry, nevertheless, this topic has received little attention in the literature.

This dissertation initially attempts to address this research gap by performing a systematic literature review on spare parts supply chain and logistics management in the maritime sector. The selected studies are illustrated and discussed in detail, and in this way, a thorough description of the current state of the art in the subject area is achieved, identifying existing challenges and trends. An important finding of the literature review is that surprisingly no studies or applications were found in the area of transportation scheduling for maritime spare parts. Hence, this thesis focuses on this topic and attempts to address the respective research gap, by describing the business problem in depth, providing a mathematical formulation for it along with a solution approach, developing a respective computer application, and evaluating its performance in the context of a case study, using real business data. In this regard, an industry survey is carried out with the purpose of examining whether the stated problem is indeed industry specific, as well as, with the purpose of pinpointing potential insights and variables to be used in the problem formation later on. The survey respondent group consists of a panel of experts and industry practitioners, working in the maritime business, in roles relevant to the maritime spare parts supply chain.

Based on the survey results and the observed business problem, a mathematical formulation of the problem is proposed. More specifically, the observed business problem is formulated as a binary integer optimization problem, using some elements of the task-coalition assignment problem. In addition, a LightGBM forecasting model is also proposed, for calculating the cost matrix of the optimization problem. On top of that, a computer application is developed, with the purpose of integrating and operationalizing the proposed optimization model and cost forecasting model. More precisely, the application is created in the environment of Dash Python, which allows the user to have an aggregated view of the spare parts stored in each warehouse and the future port calls for a fleet of vessels. The application interface enables the user to create scenarios for the shipments of spare parts and review the respective costs, along with providing recommendations for the optimal delivery schedule. The proposed solution approach along with the developed computer application are tested and evaluated in a real business environment, with the form of a case study performed within a large ship management firm. The results of the case study demonstrate the effectiveness and practicality of the proposed solution for spare parts supply chain and

logistics management in the maritime industry. Ultimately, this study aspires to provide a useful analysis and tool for maritime companies and industry practitioners, along with inspiring more researchers to perform studies on topics related to the maritime spare parts supply chain and respective applications.

# ΤΙΤΛΟΣ ΚΑΙ ΠΕΡΙΛΗΨΗ ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗΣ ΔΙΑΤΡΙΒΗΣ

**Τίτλος Διδακτορικής Διατριβής:** Βελτιστοποίηση της Εφοδιαστικής Αλυσίδας Συντήρησης στον Κλάδο της Εμπορικής Ναυτιλίας: Ανάπτυξη Καινοτόμου Μαθηματικού Μοντέλου Βελτιστοποίησης Χρονοπρογραμματισμού και Πρόγνωσης Κόστους, και Υλοποίηση Εφαρμογής Λογισμικού για την Επίλυση και την Οπτικοποίηση των Αποτελεσμάτων της

**Περίληψη:** Η αποτελεσματική διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας συντήρησης έχει ιδιαίτερη σημασία στον τομέα της εμπορικής ναυτιλίας, προκειμένου να εξασφαλιστεί η διαθεσιμότητα, ασφάλεια και αξιοπιστία των πλοίων, διατηρώντας τα λειτουργικά κόστη σε αποδεκτά επίπεδα. Η εφοδιαστική αλυσίδα ναυτιλιακών ανταλλακτικών εμπεριέχει υψηλή πολυπλοκότητα, αβεβαιότητα και κόστη, λόγω των ιδιαίτερων χαρακτηριστικών του ναυτιλιακού τομέα, όπως για παράδειγμα τα κινούμενα κεφαλαιουχικά αγαθά, τα παγκόσμια σημεία προσφοράς και ζήτησης, τα αυστηρά καθορισμένα χρονοπαράθυρα και η πληθώρα διαφορετικών εμπλεκόμενων μερών. Η αποτελεσματική διαχείριση ενός τέτοιου δικτύου logistics αποτελεί μία μεγάλη πρόκληση για κάθε εταιρεία που δραστηριοποιείται στον τομέα, παρόλα αυτά, το θέμα δεν έχει λάβει επαρκή προσοχή στη βιβλιογραφία.

Η διατριβή προσπαθεί αρχικά να καλύψει αυτό το βιβλιογραφικό κενό, παρουσιάζοντας μια συστηματική ανασκόπηση της βιβλιογραφίας σχετικά με τη διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας συντήρησης στον ναυτιλιακό τομέα. Οι σχετικές μελέτες παρουσιάζονται λεπτομερώς, παρέχοντας μια σαφή περιγραφή της τρέχουσας κατάστασης στο θέμα, εντοπίζοντας υφιστάμενες προκλήσεις και τάσεις. Ένα σημαντικό εύρημα της βιβλιογραφικής ανασκόπησης είναι ότι δε βρέθηκαν μελέτες ή εφαρμογές, οι οποίες να πραγματεύονται τον χρονοπρογραμματισμό μεταφοράς και της παράδοσής των ανταλλακτικών στα πλοία. Έτσι, η παρούσα μελέτη επικεντρώνεται στο πρόβλημα του χρονοπρογραμματισμού μεταφοράς και παράδοσης ναυτιλιακών ανταλλακτικών, προσπαθώντας να καλύψει το αντίστοιχο βιβλιογραφικό κενό.

Στο πλαίσιο αυτό, πραγματοποιείται έρευνα με ερωτηματολόγια με σκοπό να εξετάσει και να επιβεβαιώσει ότι το πρόβλημα πράγματι παρατηρείται σε πολλές εταιρείες του ναυτιλιακού κλάδου, καθώς επίσης και για να εντοπιστούν παράγοντες και μεταβλητές που συμμετέχουν στο πρόβλημα και πρέπει να συμπεριληφθούν στον σχηματισμό του μοντέλου. Οι ερωτηθέντες της έρευνας είναι μία ομάδα επαγγελματιών του ναυτιλιακού τομέα, εργαζόμενοι σε ρόλους σχετικούς με την εφοδιαστική αλυσίδα ανταλλακτικών.

Λαμβάνοντας υπόψιν τα αποτελέσματα της έρευνας, γίνεται μία λεπτομερής περιγραφή του προβλήματος όπως αυτό συναντάται στο περιβάλλον μιας ναυτιλιακής εταιρείας. Στη συνέχεια, προτείνεται μια μαθηματική διατύπωση του προβλήματος με τη μορφή ενός μαθηματικού μοντέλου χρονοπρογραμματισμού. Συγκεκριμένα, το πρόβλημα διατυπώνεται ως ένα πρόβλημα δυαδικού ακέραιου προγραμματισμού (Binary Integer Program), χρησιμοποιώντας στοιχεία του προβλήματος αντιστοίχισής με ομάδες (Task – Coalition Assignment Problem). Ακόμα, παρουσιάζεται η προγραμματιστική διατύπωση του προτεινόμενου μαθηματικού μοντέλου και η επίλυσή του σε περιβάλλον Python. Επιπλέον, προτείνεται ένα μοντέλο πρόγνωσης LightGBM, για τον υπολογισμό του πίνακα κόστους του προβλήματος βελτιστοποίησης. Επιπλέον, υλοποιείται εφαρμογή λογισμικού που επιτρέπει την επίλυση και την οπτικοποίηση των προτεινόμενων μοντέλων με τρόπο φιλικό στον χρήστη. Πιο συγκεκριμένα, η εφαρμογή

δημιουργείται σε περιβάλλον Dash Python, το οποίο επιτρέπει στον χρήστη να έχει μια συγκεντρωτική εικόνα των ανταλλακτικών που υπάρχουν σε κάθε αποθήκη και των λιμανιών που πρόκειται να επισκεφθεί το πλοίο. Η εφαρμογή επιτρέπει στον χρήστη να δημιουργεί σενάρια για τις αποστολές ανταλλακτικών και να εξετάζει τα αντίστοιχα κόστη, καθώς επίσης και να λαμβάνει προτάσεις για το βέλτιστο πρόγραμμα παραδόσεων, σύμφωνα με το μοντέλο πρόβλεψης κόστους και το μοντέλο βελτιστοποίησης, τον πίνακα κόστους και τους διάφορους χρονικούς περιορισμούς. Τέλος, το προτεινόμενο μοντέλο και η αντίστοιχη εφαρμογή λογισμικού αξιολογούνται μέσω μελέτης περίπτωσης, χρησιμοποιώντας πραγματικά δεδομένα, στο περιβάλλον μεγάλης ναυτιλιακής εταιρείας. Τα αποτελέσματα της μελέτης περίπτωσης υπογραμμίζουν την αποτελεσματικότητα και την πρακτικότητα της προτεινόμενης λύσης για τη διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας ανταλλακτικών στον ναυτιλιακό τομέα.

Συνοψίζοντας, η διατριβή επιδιώκει να παρέχει μια λεπτομερή ανάλυση και ένα εργαλείο υποστήριξης αποφάσεων, για τις ναυτιλιακές εταιρείες και τους επαγγελματίες του κλάδου, καθώς επίσης και να ενθαρρύνει περισσότερους ερευνητές να μελετήσουν θέματα σχετικά με την εφοδιαστική αλυσίδα ανταλλακτικών και αντίστοιχες εφαρμογές.