
**ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΕΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΠΟΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΒΙΩΣΙΜΟΤΗΤΑΣ
ΣΤΟΝ ΤΟΜΕΑ ΤΩΝ ΘΑΛΑΣΣΙΩΝ ΜΕΤΑΦΟΡΩΝ**

Στέφανος Χατζηνικολάου

Διδακτορική Διατριβή

(Περίληψη στην Ελληνική Γλώσσα)

2018

SIGNATURE OF AUTHOR

STEFANOS CHATZINIKOLAOU

ATHENS, 07/12/2018

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Stefanos Chatzinikolaou', is centered within a light gray rectangular box.

SUPERVISED BY

DR. NIKOLAOS P. VENTIKOS

ASS. PROFESSOR, NTUA

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1. ΠΕΡΙΛΗΨΗ	ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.
2. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	5
2.1 ΚΙΝΗΤΡΑ.....	5
2.2 ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΑ ΕΡΩΤΗΜΑΤΑ.....	6
2.3 ΣΤΟΧΟΙ ΔΙΑΤΡΙΒΗΣ	6
3. ΒΙΩΣΙΜΟΤΗΤΑ ΣΤΙΣ ΘΑΛΑΣΣΙΕΣ ΜΕΤΑΦΟΡΕΣ	7
3.1 ΟΡΙΣΜΟΙ ΓΙΑ ΤΗ ΒΙΩΣΙΜΟΤΗΤΑ	7
3.1.1 Βιωσιμότητα και βιώσιμη ανάπτυξη	7
3.1.2 Βασικές αρχές βιωσιμότητας.....	8
3.2 ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΟΣ ΟΡΙΣΜΟΣ ΓΙΑ ΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΤΩΝ ΒΙΩΣΙΜΩΝ ΘΑΛΑΣΣΙΩΝ ΜΕΤΑΦΟΡΩΝ	8
4. ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΥΚΛΟΥ ΖΩΗΣ	9
4.1 ΠΛΑΙΣΙΟ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΚΥΚΛΟΥ ΖΩΗΣ.....	9
4.2 ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΟ ΠΛΑΙΣΙΟ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΚΥΚΛΟΥ ΖΩΗΣ	9
4.3 ΕΝΔΕΙΚΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ.....	11
4.4 ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΒΕΒΑΙΟΤΗΤΑΣ	13
4.5 ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΥΚΛΟΥ ΖΩΗΣ.....	14
5. ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΠΙΠΤΩΣΕΩΝ ΚΥΚΛΟΥ ΖΩΗΣ ΠΛΟΙΩΝ	15
5.1 ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΠΙΠΤΩΣΕΩΝ ΚΥΚΛΟΥ ΖΩΗΣ ΠΛΟΙΩΝ	15
5.2 ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΠΙΠΤΩΣΕΩΝ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΟΥ ΛΙΜΕΝΑ	17

1. ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα διδακτορική διατριβή προτείνει ορισμούς και παρουσιάζει νέες μεθοδολογίες, αλγόριθμους, λογισμικό και αποτελέσματα σχετικά με την αποτύπωση και ανάλυση των συνολικών επιπτώσεων των πλοίων στον άνθρωπο και στο περιβάλλον. Επιθυμία του συγγραφέα είναι να συμβάλει στην βελτίωση της κατανόησης για τις ολιστικές επιπτώσεις του κύκλου ζωής των πλοίων, η οποία προκύπτει από την γενική κοινωνική απαίτηση για αποτελεσματικές αλλά ταυτόχρονα βιώσιμες θαλάσσιες μεταφορές.

Η διατριβή προτείνει ένα νέο ορισμό για το «βιώσιμο σύστημα θαλάσσιων μεταφορών», ο οποίος συνοδεύεται από τρεις βασικές αρχές (προσβασιμότητα, περιορισμοί φυσικών πόρων και ισότητα), τις οποίες ένα τέτοιο σύστημα θα πρέπει να ικανοποιεί. Συνδέοντας το βιώσιμο σύστημα με την προσέγγιση της ανάλυσης κύκλου ζωής (Life Cycle Thinking), προτείνεται στη συνέχεια ένα νέο πλαίσιο αποτύπωσης για τους περιβαλλοντικούς παράγοντες που επιδρούν στον κύκλο ζωής των πλοίων. Το πλαίσιο αυτό ακολουθεί τις βασικές αρχές διεθνών πρότυπων (ISO), αλλά αποτελεί ένα νέο σύνολο μαθηματικών σχέσεων που μοντελοποιούν συγκεκριμένες διεργασίες στην κατασκευή, λειτουργία – συντήρηση και στη διάλυση/ανακύκλωση. Δημιουργήθηκε ένα νέο λογισμικό, όπου εισάχθηκε το παραπάνω πλαίσιο, το οποίο έχει τη δυνατότητα να δημιουργεί καταλόγους απογραφής για επιλεγμένους περιβαλλοντικούς παράγοντες (αέριες εκπομπές). Εκπονήθηκαν μελέτες περίπτωσης όπου μελετώνται διαφορετικά σενάρια του κύκλου ζωής, βελτιώνοντας το πλαίσιο με νέες διεργασίες και τις αντίστοιχες μαθηματικές τους σχέσεις, και εξετάστηκε με στοχαστική προσέγγιση, η αβεβαιότητα σημαντικών παραγόντων που επιδρούν στο αποτύπωμα του πλοίου.

Η διατριβή επικεντρώνεται στην ανάλυση των επιπτώσεων των πλοίων στον κύκλο ζωής τους με δύο διαφορετικές προσεγγίσεις. Η πρώτη αφορά στην ανάλυση των επιπτώσεων στο πλαίσιο της ανάλυσης κύκλου ζωής, ως συνέχεια του πλαισίου αποτύπωσης και η δεύτερη γίνεται αξιοποιώντας την προσέγγιση του εξωτερικού κόστους. Παρουσιάζονται νέες μελέτες περίπτωσης με αποτελέσματα για τις συνολικές επιπτώσεις του κύκλου ζωής πλοίων και στις δύο προσεγγίσεις ανάλυσης των επιπτώσεων. Εξετάζονται συγκριτικά, εναλλακτικές τεχνολογίες και λύσεις για την βελτίωση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος, ενώ παρουσιάζεται μια νέα μεθοδολογία και τα αποτελέσματά της, για το εξωτερικό κόστος στην ανθρώπινη υγεία από την λειτουργία των πλοίων εντός λιμένα.

Υπάρχει μια εύλογη κοινωνική απαίτηση για την ενίσχυση των περιβαλλοντικών πρακτικών των πλοίων, η οποία οδηγεί στην (ενίοτε εσπευσμένη) ενίσχυση του νομοθετικού πλαισίου χωρίς να υποστηρίζεται πάντα από έγκριτα στοιχεία για τις πραγματικές επιπτώσεις που προκαλούν τα πλοία στο περιβάλλον και στην ανθρώπινη υγεία. Προς αυτή την κατεύθυνση, μπορεί να προσφερθεί σημαντική υποστήριξη από μελέτες παρόμοιες με αυτές που πραγματοποιήθηκαν στην παρούσα διατριβή. Τέλος, η διατριβή υποστηρίζει ότι ο κύκλος ζωής των πλοίων πρέπει στο μέλλον να βελτιστοποιείται με σεβασμό στις αρχές της βιωσιμότητας, προκειμένου οι θαλάσσιες μεταφορές να συνεχίζουν να επιτελούν με επιτυχία τον σημαντικό τους ρόλο στην κοινωνική και οικονομική ευημερία.

2. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

2.1 Κίνητρα

Οι εργασίες που παρουσιάζονται στην παρούσα διατριβή ξεκίνησαν το 2010 και ολοκληρώθηκαν το 2016. Η συγγραφή ολοκληρώθηκε το 2018. Κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου, η διεθνής ναυτιλιακή βιομηχανία έχει δει μια σειρά από σημαντικές δράσεις και πρωτοβουλίες που στοχεύουν στις περιβαλλοντικές επιδόσεις και την ενεργειακή αποδοτικότητα των πλοίων. Το 2013 (1η Ιανουαρίου), τέθηκε σε ισχύ ο πρώτος διεθνής κανονισμός που καλύπτει τα αέρια θερμοκηπίου των πλοίων. Ο κανονισμός αποτελείται από δύο μέρη: τον ονομαστικό δείκτη ενεργειακής απόδοσης, που ρυθμίζει τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα στο σχεδιασμό του πλοίου, και το σχέδιο διαχείρισης ενεργειακής απόδοσης (SEEMP), που καλύπτει τη λειτουργία. Ήταν η πρώτη φορά που ο Διεθνής Ναυτιλιακός Οργανισμός, IMO, πρότεινε κανόνες για τα αέρια του θερμοκηπίου. Αυτό καθιστά τη ναυτιλία έναν από τους τελευταίους βιομηχανικούς τομείς που λαμβάνουν ρυθμιστική δράση για την κλιματική αλλαγή.

Κατά την περίοδο της έρευνας, καθιερώθηκαν και άλλες πρωτοβουλίες που αναδεικνύουν τη σημασία αυτής της εργασίας. Το ISO 14001, το οποίο ζητεί τη θέσπιση συστημάτων περιβαλλοντικής διαχείρισης, ενημερώθηκε το 2015 με νέες απαιτήσεις που αφορούν στην εισαγωγή της προσέγγισης του κύκλου ζωής στη διαχείριση των περιβαλλοντικών παραγόντων. Η Ανάλυση Κύκλου Ζωής ήταν επίσης ένα από τα θέματα έρευνας στις προσκλήσεις στο πλαίσιο του «ΟΡΙΖΟΝΤΑΣ 2020» της ΕΕ, στον τομέα των θαλάσσιων μεταφορών (MG-4,3-2015).

Η διατριβή μετά τον εντοπισμό των σημαντικών περιβαλλοντικών παραγόντων της ναυτιλίας, έχει επικεντρωθεί περισσότερο στη μελέτη για τις αέριες εκπομπές των πλοίων. Οι αέριες εκπομπές πλοίων αποτελούν πρώτη προτεραιότητα για τη ναυτιλία σήμερα, γεγονός που απεικονίζεται στις δραστηριότητες των φορέων και των ρυθμιστικών αρχών τη ναυτιλίας και συνολικά έχει μεγάλο αντίκτυπο στην καθημερινή πρακτική των θαλασσίων μεταφορών. Το 2014, δημοσιεύθηκε η τρίτη μελέτη του IMO για τα αέρια θερμοκηπίου της διεθνούς ναυτιλίας, η οποία κατέληξε στο συμπέρασμα ότι οι θαλάσσιες μεταφορές είναι υπεύθυνες για το 2.4% των ανθρωπογενών αερίων του θερμοκηπίου. Παρά την πολύ χαμηλή συμβολή της ναυτιλίας, η Ευρωπαϊκή Επιτροπή προχώρησε χωρίς τον IMO και εξέδωσε ευρωπαϊκό κανονισμό για την παρακολούθηση, την υποβολή εκθέσεων και την επαλήθευση (MRV) των αερίων εκπομπών θερμοκηπίου των πλοίων, βάσει της κατανάλωσης καυσίμου, ως ένα αναγκαίο σημείο αφετηρίας για άλλες επερχόμενες στρατηγικές.

Πρόσφατα, ο IMO αναγνωρίζοντας ότι απουσιάζει ένα πρότυπο παγκόσμιας απόδοσης για τη μέτρηση κατανάλωσης καυσίμου στα πλοία, πρότεινε την εφαρμογή ενός καθεστώτος παρόμοιου με το MRV, σε παγκόσμιο επίπεδο, το λεγόμενο σύστημα συλλογής δεδομένων (DCS). Έτος αναφοράς για την έναρξη ισχύος του εν λόγω κανονισμού είναι το 2019.

Η ατμοσφαιρική ρύπανση έχει σημαντικές επιπτώσεις στα οικοσυστήματα και την ανθρώπινη υγεία. Σύμφωνα με την παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας (ΠΟΥ), η έκθεση στην ατμοσφαιρική ρύπανση είναι μεγαλύτερος κίνδυνος για ανθρώπινη υγεία,

προκαλώντας έναν στους οκτώ θανάτους παγκοσμίως, ή επτά εκατομμύρια θανάτους το έτος 2012 (WHO, 2014). Στην Ευρώπη, η κλιματική αλλαγή γίνεται αντιληπτή ως η μεγαλύτερη περιβαλλοντική απειλή ακολουθούμενη από την ατμοσφαιρική ρύπανση (EC, 2017).

Ο Ευρωπαϊκός Οργανισμός Περιβάλλοντος, στην έκθεση του 2018 για την ποιότητα της ατμόσφαιρας στην Ευρώπη, αναφέρει ότι «η αποτελεσματική δράση για τη μείωση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης και των επιπτώσεων της, απαιτεί μια καλή κατανόηση των αιτιών των αέριων ρύπων καθώς και τον τρόπο που αυτοί επηρεάζουν τους ανθρώπους, τα οικοσυστήματα, το κλίμα και γενικότερα την κοινωνία και την οικονομία» (ΕΟΠ, 2018).

2.2 Ερευνητικά ερωτήματα

- a. Πώς εννοείται η βιωσιμότητα στον τομέα των θαλάσσιων μεταφορών;
- b. Ποια είναι τα κύρια στοιχεία της έννοιας αυτής;
- c. Ποιοι είναι οι κυριότεροι περιβαλλοντικοί παράγοντες που επηρεάζουν τη βιωσιμότητα των πλοίων;
- d. Ποιες είναι οι επιπτώσεις αυτών των περιβαλλοντικών παραγόντων;
- e. Υπάρχουν διαθέσιμες μεθοδολογίες που να εξετάζουν τις επιπτώσεις αυτών των περιβαλλοντικών παραγόντων σε πλαίσιο κύκλου ζωής;

2.3 Στόχοι διατριβής

Ο κύριος στόχος αυτής της διατριβής είναι να εξετάζει τους κυριότερους παράγοντες που επηρεάζουν τη βιωσιμότητα των πλοίων στον κύκλο της ζωής του. Η διερεύνηση επικεντρώνεται στην ανάπτυξη μεθοδολογιών για την εξέταση των κύριων περιβαλλοντικών παραγόντων των πλοίων και στις επιπτώσεις αυτών. Ειδικότερα οι στόχοι του έργου είναι:

- a. Να προτείνει έναν ορισμό για το σύστημα βιώσιμων θαλάσσιων μεταφορών
- b. Να προσδιορίσει τις βασικές παραμέτρους που επηρεάζουν τη βιωσιμότητα ενός πλοίου
- c. Να εξετάσει τη δυνατότητα εφαρμογής της μεθόδου ανάλυσης κύκλου ζωής για την περίπτωση των πλοίων, και να προτείνει μια νέα μεθοδολογία ανάλυσης κύκλου ζωής ικανοποιητική για το περιβάλλον του πλοίου.
- d. Να εξετάσει και να προτείνει μεθοδολογίες για την αξιολόγηση της περιβαλλοντικών επιπτώσεων των πλοίων στον κύκλο της ζωής τους.

3. ΒΙΩΣΙΜΟΤΗΤΑ ΣΤΙΣ ΘΑΛΑΣΣΙΕΣ ΜΕΤΑΦΟΡΕΣ

3.1 Ορισμοί για τη βιωσιμότητα

3.1.1 Βιωσιμότητα και βιώσιμη ανάπτυξη

Ο πιο γνωστός ορισμός για την βιώσιμη ή αειφόρο ανάπτυξη είναι εκείνος που θεσπίστηκε από την παγκόσμια Επιτροπή για το περιβάλλον και την ανάπτυξη, (WCED, 1987), στη λεγόμενη «έκθεση Brundtland» που έχει θέσει την αρχική ιδέα για αυτήν την έννοια: «βιώσιμη ανάπτυξη είναι η ανάπτυξη που ικανοποιεί τις ανάγκες του παρόντος χωρίς να διακυβεύει την ικανότητα των μελλοντικών γενεών να καλύψουν τις δικές τους ανάγκες”.

Ωστόσο, ο αρχικός ορισμός έχει προσφέρει άφθονο χώρο για διάφορες ερμηνείες της έννοιας στα χρόνια που ακολούθησαν, πολλές από τις οποίες έχουν προσπαθήσει να τη διευρύνουν ώστε να λάβει κυρίως θεσμική ή και πολιτική διάσταση. Αναπόφευκτα, η έννοια της βιωσιμότητας τείνει να έχει διαφορετικό νόημα για διαφορετικούς ανθρώπους. Αυτά έχουν κάνει τους όρους της αειφορίας και της βιώσιμης ανάπτυξης, υποκειμενικούς και καθοριζόμενους από το χρήστη (Keiner et al., 2004).

Παρά την απουσία ενός διεθνούς προτύπου/πλαισίου για τη βιώσιμη ανάπτυξη, φαίνεται να υπάρχει μια συναίνεση στο ότι η βιώσιμη ανάπτυξη πρέπει να αναπτύσσεται ομοιόμορφα σε τουλάχιστον τρία μέτωπα ή πυλώνες: οικονομία, κοινωνία, και περιβάλλον. Διαφορές παρατηρούνται για τη σχέση ή τη σύνδεση μεταξύ των τριών αυτών πυλώνων στη βιβλιογραφία.

Πολλοί άνθρωποι δέχονται ότι η βιωσιμότητα και η βιώσιμη ανάπτυξη έχουν την ίδια έννοια. Ωστόσο, μια ορθολογική διάκριση μεταξύ των δύο ορισμών αναφέρει ότι η βιωσιμότητα είναι μια κατάσταση στην οποία οικονομικοί, κοινωνικοί και περιβαλλοντικοί παράγοντες έχουν βελτιστοποιηθεί ήδη, λαμβάνοντας υπόψη τις έμμεσες και μακροπρόθεσμες επιπτώσεις, ενώ η βιώσιμη ανάπτυξη αποτελεί μια πρόοδο προς αυτή την κατάσταση της βιωσιμότητας (Litman, 2010).

Μια καθιερωμένη προσέγγιση για την έννοια της αειφορίας είναι η οικονομική προσέγγιση που διακρίνει την έννοια σε αδύναμη βιωσιμότητα, (WS) και ισχυρή βιωσιμότητα (SS), με βάση τον τρόπο που οι άνθρωποι επιλέγουν να χρησιμοποιήσουν το φυσικό κεφάλαιο (δηλ. το φάσμα των λειτουργιών που παρέχει η φύση στον άνθρωπο και το φυσικό περιβάλλον), (Ekins et al., 2003).

Οι ορισμοί των δύο όρων παρέχονται παρακάτω.

- **Ισχυρή βιωσιμότητα (SS):** Αυτή η προσέγγιση θεωρεί ότι το φυσικό κεφάλαιο παρέχει ορισμένες λειτουργίες που δεν μπορούν να υποκατασταθούν από ανθρωπογενές (παραγόμενο) κεφάλαιο και ως εκ τούτου, θα πρέπει να διατηρούνται.
- **Αδύναμη βιωσιμότητα, (WS):** Η προσέγγιση αυτή θεωρεί ότι παραγόμενο από τον άνθρωπο κεφάλαιο ίσης αξίας μπορεί να πάρει τη θέση του φυσικού κεφαλαίου.

3.1.2 Βασικές αρχές βιωσιμότητας

Οι διαθέσιμες ερμηνείες στη διεθνή βιβλιογραφία συμφωνούν ότι υπάρχουν τρεις βασικές αρχές που ένα σύστημα μεταφορών πρέπει να ακολουθήσει προκειμένου να θεωρηθεί βιώσιμο. Οι τρεις αρχές είναι σε αρμονία με τον αρχικό ορισμό της αειφόρου ανάπτυξης που δόθηκε από την Επιτροπή Brundtland το 1987.

Η πρώτη αρχή που πρέπει να τηρεί ένα βιώσιμο σύστημα μεταφορών είναι η προσβασιμότητα, που αντιστοιχεί στη δυνατότητα των ανθρώπων να αποκτούν ή να έχουν πρόσβαση σε επιθυμητά αγαθά, υπηρεσίες, δραστηριότητες και προορισμούς. Η δεύτερη αρχή είναι η αποδοχή της ύπαρξης περιορισμών στους φυσικούς πόρους που παρέχονται από το φυσικό περιβάλλον. Η τρίτη αρχή της δικαιοσύνης, απαιτεί ίση διανομή ωφελειών και κατανομή επιπτώσεων μεταξύ των διαφόρων πληθυσμιακών ομάδων από την ίδια γενιά, αλλά από τις επόμενες γενιές. Για την περίπτωση των μεταφορών, αυτό αντικατοπτρίζει την ανάγκη να κατανοήσουμε ότι η ανάπτυξη λόγω των μεταφορών δεν πρέπει να προκαλεί αρνητικές επιπτώσεις στην κοινωνία μακροπρόθεσμα.



Figure 1: Principles that a Sustainable Maritime Transport System need to observe

3.2 Προτεινόμενος ορισμός για το σύστημα των βιώσιμων θαλάσσιων μεταφορών

Μια κεντρική έννοια που περιλαμβάνεται στον προτεινόμενο ορισμό είναι η προσβασιμότητα. Η προσβασιμότητα αναφέρεται στην ευκολία πρόσβασης σε αγαθά, υπηρεσίες, δραστηριότητες και προορισμούς, (Litman, 2011b). Η προσβασιμότητα μπορεί να εννοείται ως δυνατότητα (δίνεται η ευκαιρία της πρόσβασης), ή και δραστηριότητα (ευκαιρίες που επιτυγχάνονται).

Η παρούσα διατριβή λαμβάνοντας υπόψη την παραπάνω θεώρηση της προσβασιμότητας και ακολουθώντας την προσέγγιση για την ισχυρή αειφορία εισάγει ένα νέο ορισμό για το βιώσιμο σύστημα θαλάσσιων μεταφορών ο οποίος έχει ως εξής (Χατζηνικολάου και Βεντικός, 2011):

Προτεινόμενος ορισμός για το βιώσιμο σύστημα θαλάσσιων μεταφορών

Ένα σύστημα θαλάσσιων μεταφορών είναι βιώσιμο όταν έχει τη δυνατότητα να προσφέρει και να διατηρεί μη φθίνουσα και αποδοτική προσβασιμότητα σεβόμενο τις αρχές ισότητας/δικαιοσύνης και περιορισμού των πόρων

Κατόπιν της Παγκόσμιας Διάσκεψης για το Κλίμα (Rio + 20) το 2012, ο IMO παρουσίασε το 2013 (δύο χρόνια αργότερα από τον προταθέν ορισμό της διατριβής), για πρώτη φορά την επίσημη άποψη του για το σύστημα «βιώσιμων θαλάσσιων μεταφορών».

4. ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΥΚΛΟΥ ΖΩΗΣ

4.1 Πλαίσιο Ανάλυσης Κύκλου Ζωής

Η προσέγγιση Κύκλου Ζωής είναι η εννοιολογική βάση στο δρόμο για την αποτίμηση της βιωσιμότητας κατά τον Finkbeiner (2010), που χρησιμοποίησε το παράδειγμα της πυραμίδας του Maslow για τις φυσιολογικές ανάγκες του ανθρώπου, για να ερμηνεύσει τη σταδιακή ικανοποίηση των περιβαλλοντικών αναγκών στο δρόμο για την επίτευξη της αποτίμησης της βιωσιμότητας.

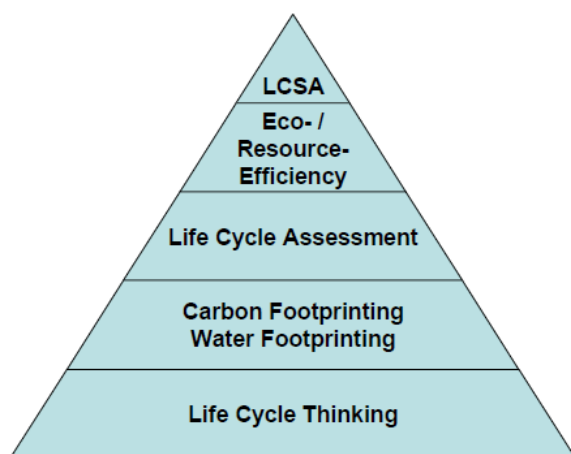


Figure 2: Adaptation of Maslow's pyramid for life cycle sustainability assessment approaches (Finkbeiner et al, 2011)

4.2 Προτεινόμενο Πλαίσιο Ανάλυσης Κύκλου Ζωής

Οι πρώτες μελέτες Ανάλυσης Κύκλου Ζωής (LCA) εντός των θαλάσσιων μεταφορών τη δεκαετία του 1990, έδειξαν ότι η μελέτη βιομηχανικών συστημάτων με την προσέγγιση κύκλου ζωής μπορεί να προσφέρει σημαντικά οφέλη, όπως την αποφυγή της μεταβίβασης περιβαλλοντικών επιπτώσεων από το ένα στάδιο της ζωής του κύκλου στο άλλο ή τον εντοπισμό των αδύναμων περιβαλλοντικά διεργασιών στον κύκλο διεργασιών του συστήματος. Η μέθοδος LCA, όπως προτείνεται στο σχετικό πρότυπο ISO, δεν έχει αναπτυχθεί ειδικά για την περίπτωση των πλοίων και τα περισσότερα από τα χαρακτηριστικά της ταιριάζουν καλύτερα σε χερσαία προϊόντα και υπηρεσίες. Ως εκ τούτου, είναι απαραίτητο να προσαρμοστεί η μέθοδος, πριν κανείς διεξάγει μια μελέτη LCA για το σύστημα πλοίο.

Αυτή η διατριβή προτείνει ένα νέο πλαίσιο για τη μελέτη των εκπομπών πλοίων με την προσέγγιση της ανάλυσης κύκλου ζωής. Οι δυνατότητες του πλαισίου ανάλυσης του κύκλου ζωής είναι οι παρακάτω:

1. Κατάλογος απογραφής αερίων εκπομπών από όλες τις σχετικές διεργασίες επί του πλοίου
2. Αέριες εκπομπές που καλύπτονται: CO₂, CO, SO₂, NO_x, PM, CH₄, VOCs
3. Αποτελέσματα είναι διαθέσιμα ανά στάδιο του κύκλου ζωής, ανά διαδικασία, ανά υποσύστημα και στοιχείο

4. Ετήσια αποτελέσματα αερίων εκπομπών
5. Συγκριτικές αναλύσεις μεταξύ πλοίων, στόλων κλπ.

Το πλαίσιο θεωρεί το πλοίο ως ένα σύστημα που μπορεί να αναλυθεί πρώτα σε επιμέρους συστήματα και στη συνέχεια περαιτέρω σε στοιχεία του υποσυστήματος και τελικά σε διεργασίες για τις οποίες: εισροές (α), (β) διαδικασίες και (γ) εκροές, εντοπίζονται και μελετώνται. Σημαντικά στάδια του κύκλου ζωής που λαμβάνονται υπόψη είναι: το στάδιο ναυπήγησης, η λειτουργία του πλοίου, συμπεριλαμβανομένων των δραστηριοτήτων συντήρησης και το στάδιο της διάλυσης/ανακύκλωσης.

Σε επίπεδο διεργασίας, οι εκπομπές υπολογίζονται χρησιμοποιώντας θεωρητική ή εμπειρική μαθηματική μοντελοποίηση. Οι πληροφορίες για τη μοντελοποίηση προέρχεται από προηγούμενες μελέτες LCA, δεδομένα κατασκευαστών, δεδομένα από τη γενικότερη ναυπηγική βιομηχανία, καθώς και από δεδομένα για διάφορες εργασίες επισκευής πλοίων και δεδομένα από τη γενικότερη επιστημονική βιβλιογραφία.

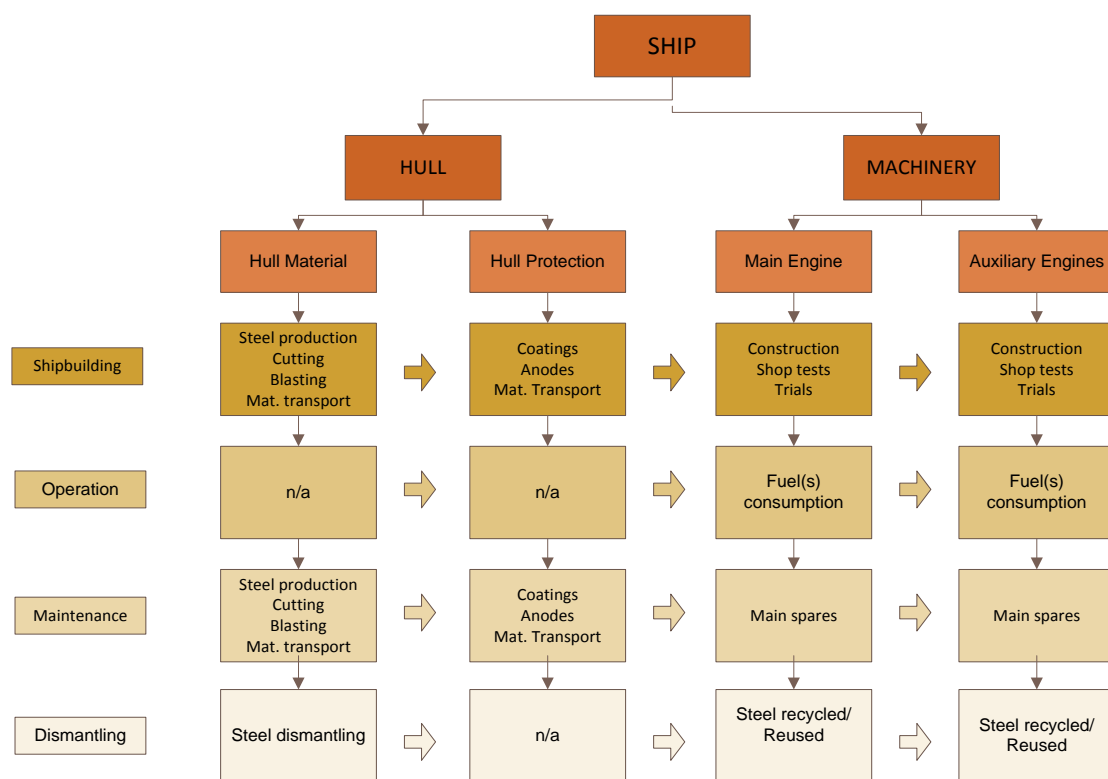


Figure 3: Ship – LCA framework for the assessment of air emissions in a life cycle perspective (Chatzinikolaou and Ventikos, 2015)

Αναπτύχθηκε με βάση τις διαδικασίες του πλαισίου LCA, ένα λογισμικό (σε περιβάλλον MATLAB) που περιλαμβάνει τις εξισώσεις και τους αλγορίθμους του.

Το πλαίσιο και το λογισμικό LCA που δημιουργήθηκαν, μπορούν να συνεισφέρουν στη σύνταξη εκθέσεων παρακολούθησης αερίων εκπομπών πλοίων, βοηθώντας με έναν συστηματικό τρόπο στη συλλογή και επεξεργασία δεδομένων για τα διάφορα στοιχεία του πλοίου και τις διεργασίες που παράγουν αέριες εκπομπές.

Μια σειρά από μελέτες περίπτωσης πραγματοποιήθηκαν με τη χρήση του προτεινόμενου πλαισίου LCA. Στη διαδικασία της διεξαγωγής των μελετών αυτών έγινε αξιολόγηση και ενημέρωση του πλαισίου με νέα χαρακτηριστικά.

Ο πίνακας που ακολουθεί περιλαμβάνει μια συνοπτική περιγραφή των μελετών περίπτωσης που έγιναν με χρήση του πλαισίου ανάλυσης κύκλου ζωής.

Table 1: Case studies conducted with application of the proposed LCA Framework

Case Study	Scope	Sample ship	Specific features
No1	Emissions Life Cycle Inventory	Panamax Oil Tanker	Modelling shipbuilding emissions Fixed ship operation scenario
No2	Annual Emissions Inventory	Panamax Oil Tanker	Activity data for fuel consumption of main engines Added resistance due to marine growth Fuel consumption and emissions from boilers
No3	Alternative operational scenarios' to accomplish the same transport work	Panamax Oil Tanker, Suezmax Oil Tanker	Effect of slow steaming Effect of speed limit Effect of fleet distribution
No4	Emissions from coating operations	General cargo 30,000 dwt	VOC emissions in shipbuilding, ship repair

4.3 Ενδεικτικά αποτελέσματα

Table 2: Representative emissions from the shipbuilding Inventory – Hull Sub System of a PANAMAX oil tanker

	Substance	Unit	Quantity	Per tonne dwt
1	Carbon dioxide total	kg	1.40E+07	188.946
2	Carbon monoxide total	kg	4.22E+05	5.686
3	Methane total	kg	3.83E+03	0.052
4	Nitrogen dioxide	kg	1.53E+04	0.206
5	Nitrogen oxides	kg	6.92E+04	0.932
6	NMVOG	kg	9.74E+02	0.013
7	PM total	kg	1.27E+04	0.171
8	Sulphur dioxide	kg	7.77E+04	1.046
9	Sulphur oxides	kg	4.18E+03	0.056
10	VOC	kg	1.17E+05	1.571

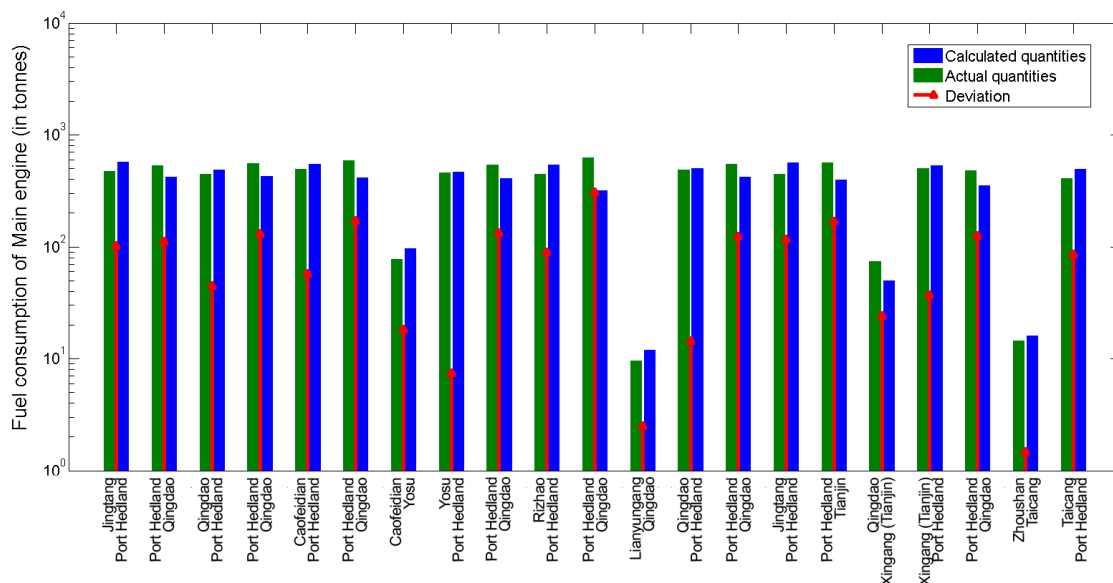


Figure 4: Calculated vs. reported fuel consumption data (LCA software)

Table 3: LCI emissions comparison of three alternative operational scenarios with the initial scenario (PANAMAX oil tanker)

	Slow steaming	Cold Ironing	Speed limit
	Initial Mode: years 1 – 15 Slow steaming: years 16 – 25 Speed (Laden): 11.5 knots Speed (Ballast): 13 knots	Availability of short side electricity in all port calls	Initial Mode: years 1 – 5 Speed Limit: years 6 – 25 Speed (Laden): 12 knots Speed (Ballast): 12 knots
CO₂	-7.65%	-0.96%	-10.57%
CO	-5.40%	-0.88%	-10.23%
CH₄	+0.68%	-0.72%	-1.80%
NO_X	-8.95%	-0.58%	-12.65%
PM(all)	-11.67%	-0.01%	-20.12%
SO₂	-15.09%	-1.24%	-15.55%

Τα αποτελέσματα που προέκυψαν για τη σύγκριση διαφορετικού μεγέθους πλοίων, αποκαλύπτουν ότι ένα Suezmax (επιλογή 2) παράγει λιγότερες συνολικά εκπομπές στον κύκλο ζωής του. Για το ίδιο μεταφορικό έργο, το πλοίο Suezmax παράγει 73,2850 τόνους λιγότερο CO₂ στα 25 χρόνια της ζωής του, από τα δύο πλοία Panamax που πρέπει να χρησιμοποιηθούν για να καλύψουν αυτό το μεταφορικό έργο. Αυτό μπορεί να καταγραφεί και ως εξής: το Suezmax παράγει κατά μέσο πόρο 6,94 τόνους CO₂ ανά τόνο dwt, ενώ δύο πλοία Panamax παράγουν κατά μέσο όρο 12,33 τόνους CO₂ ανά τόνο dwt.

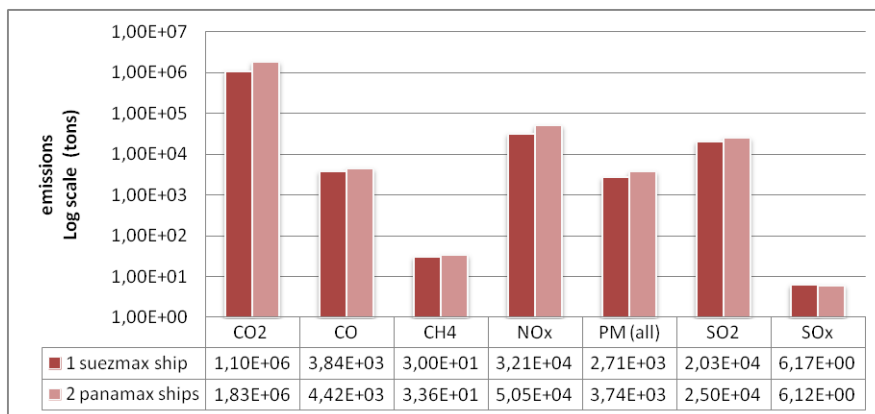


Figure 5: One Suezmax vs. two Panamax tankers. Comparisons of total life cycle emissions

4.4 Ανάλυση αβεβαιότητας

Επιπλέον, στη διατριβή διερευνώνται δύο παράμετροι που επηρεάζουν σημαντικά τις απογραφές των αερίων εκπομπών: η παράμετρος της ταχύτητας, η οποία χρησιμοποιείται συχνά ως επιχειρησιακό μέτρο για την βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης, και η παράμετρος της κατανάλωσης καυσίμου. Με στοχαστική προσέγγιση (ανάλυση Monte Carlo), εξετάζεται η αβεβαιότητα σε σχέση με την παρακολούθηση και καταγραφή των σχετικών καταλόγων αερίων εκπομπών. Το στοχαστικό μοντέλο που δημιουργήθηκε έχει τις παρακάτω δυνατότητες:

1. Παράγει κατανομές πιθανότητας για την κατανάλωση καυσίμου με δεδομένα εισόδου (στροφές, φόρτιση μηχανών ειδική κατανάλωση και ώρες λειτουργίας) από τα noon reports.
2. Συγκρίνει τις τιμές που παράγει το ίδιο με τις πραγματικές τιμές κατανάλωσης από τα δεδομένα δραστηριότητας του πλοίου.
3. Εφαρμόζει robustness analysis στο παραχθέν στοχαστικό μοντέλο.
4. Υπολογίζει εκπομπές CO₂, NO_x, SO_x από τα αποτελέσματα κατανάλωσης που έχει εκτιμήσει.

Το σχήμα δείχνει την εκτιμώμενη κατανομή πιθανότητας για την κατανάλωση καυσίμου με δεδομένα εισόδου από noon reports.

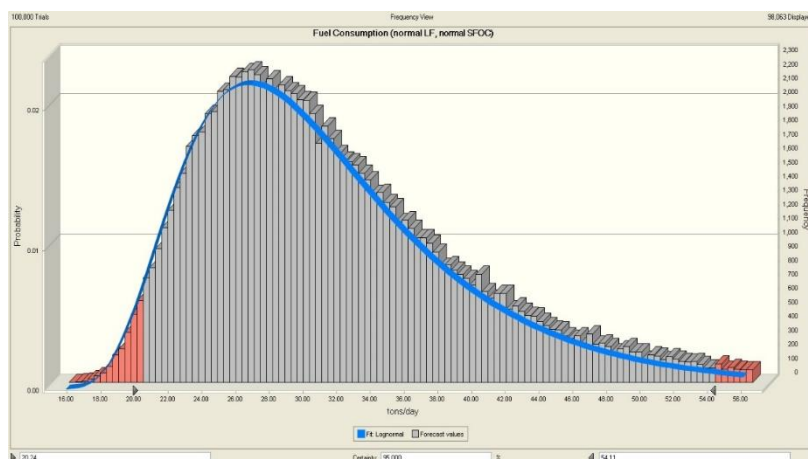


Figure 6: Lognormal distribution of Fuel Consumption from Monte Carlo simulation

4.5 Συγκριτική Ανάλυση Κύκλου Ζωής

Εκπονήθηκε μια συγκριτική μελέτη LCA δύο εναλλακτικών καυσίμων πλοίων (LNG και 1% σε θείο HFO), όπου μελετήθηκε ο κύκλος ζωής των καυσίμων. Ο κύκλος καλύπτει την, εξόρυξη/παραγωγή, μεταφορά, αποθήκευση και καύση των καυσίμων επί του σκάφους. Για το στάδιο της καύσης, θεωρείται η περίπτωση ενός επιβατικού πλοίου που λειτουργεί σε ένα σταθερό δρομολόγιο μεταξύ του λιμένα του Πειραιά και λιμένα νησιού στο Αιγαίο. Η μελέτη συνέκρινε τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις για τις κύριες αέριες εκπομπές που παράγονται κατά τη διάρκεια του κύκλου ζωής των δύο καυσίμων.

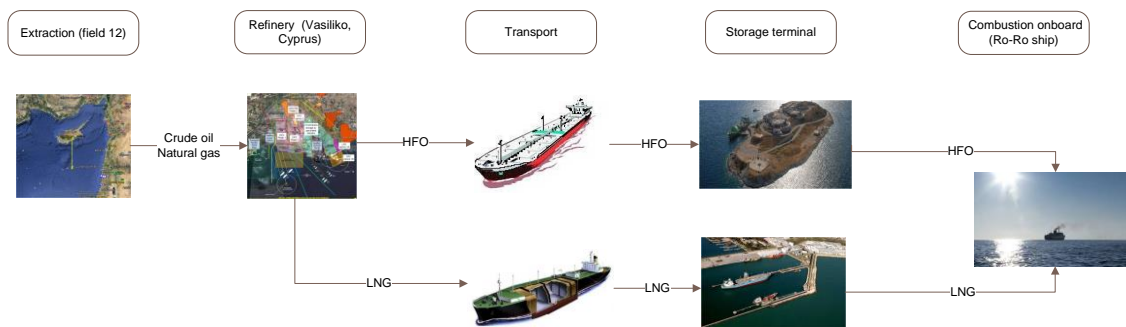


Figure 7: The geographical boundaries of the comparative LCA study (LNG vs. 1%S HFO)

Τα αποτελέσματα δείχνουν την προφανή κυριαρχία της φάσης της καύσης στις παραγόμενες εκπομπές και τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις τους (και για τα δύο καύσιμα). Η συγκριτική LCA επιβεβαιώνει τα οφέλη στη μείωση της αέριας ρύπανσης με τη χρήση του υγροποιημένου φυσικού αερίου. Ωστόσο, όσον αφορά στην κλιματική αλλαγή δεν είναι προφανή τα πλεονεκτήματα του LNG. Σε ισοδύναμα αερίων του θερμοκηπίου, οι διαφορές στις επιπτώσεις των δύο καυσίμων είναι οριακές (ο κύκλος ζωής του LNG έχει 9% λιγότερο CO₂-eq). Επιπλέον, υπολογίστηκε ότι η αλυσίδα εφοδιασμού του LNG παράγει πέντε φορές περισσότερες εκπομπές CH₄ από την αλυσίδα εφοδιασμού HFO.

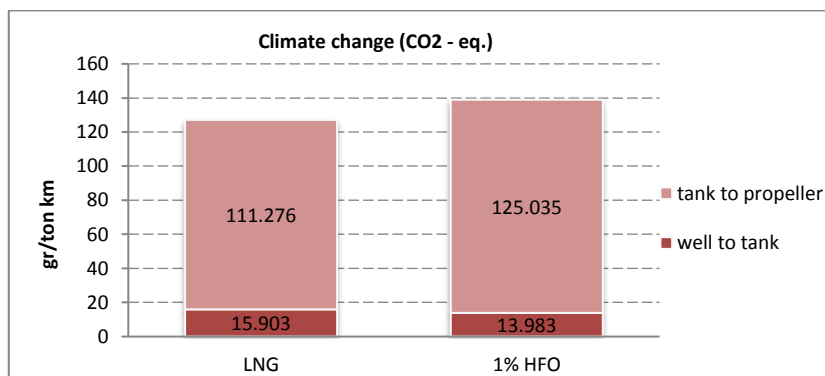


Figure 8: LNG vs. HFO –Climate change impact potential

5. ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΠΙΠΤΩΣΕΩΝ ΚΥΚΛΟΥ ΖΩΗΣ ΠΛΟΙΩΝ

5.1 Ανάλυση επιπτώσεων κύκλου ζωής πλοίων

Η εκτίμηση των επιπτώσεων των εκπομπών πλοίων έχει μελετηθεί σε τρία ειδικά κεφάλαια της διατριβής. Μελέτες που καλύπτουν τις επιπτώσεις των εκπομπών πλοίων δεν είναι ευρέως διαθέσιμες.

Οι παράμετροι που από κοινού καθορίζουν τις επιπτώσεις μιας αέριας εκπομπής (ρύπος ή αέριο θερμοκηπίου) είναι:

1. η ποσότητα της,
2. οι ιδιότητες της ουσίας που εκπέμπεται,
3. τα χαρακτηριστικά της πηγής των εκπομπών, και
4. τα χαρακτηριστικά του περιβάλλοντος υποδοχής.

Οι επιπτώσεις των αερίων του θερμοκηπίου δεν είναι εύκολα μετρήσιμες γεγονός που απεικονίζεται από το ευρύ φάσμα τιμών μοναδιαίου κόστους που υπάρχει για αυτές στη βιβλιογραφία. Επιπλέον, οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις των ατμοσφαιρικών ρύπων, κυρίως εξαρτώνται από την εγγύτητα της πηγής εκπομπής στους υποδοχείς και, επομένως, μπορεί να ποικίλουν σημαντικά.

Η πλειοψηφία των εκτιμήσεων επιπτώσεων που είναι διαθέσιμες σήμερα (συμπεριλαμβανομένων των επιπτώσεων στο πλαίσιο της LCA), λαμβάνει κυρίως υπόψη τις δύο πρώτες παραμέτρους της παραπάνω λίστας. Αυτό δεν είναι προβληματικό όταν εξετάζονται επιπτώσεις σε παγκόσμια κλίμακα (π.χ. κλιματική αλλαγή), δεδομένου ότι ο αντίκτυπος είναι ανεξάρτητος από τον τόπο έκλυσης της εκπομπής. Ωστόσο, για τις επιπτώσεις της ρύπανσης του αέρα (π.χ. της οξίνισης, του ευτροφισμού, επιδράσεων στην υγεία κ.λπ.), που έχουν τοπικά ή περιφερειακά χαρακτηριστικά, η κατάσταση μπορεί να είναι πολύ διαφορετική και όλες οι τέσσερις παράμετροι που καθορίζουν τις επιπτώσεις θα πρέπει να ληφθούν επαρκώς υπόψη προκειμένου εξαχθούν αξιόπιστα αποτελέσματα.

Δύο διαφορετικές προσεγγίσεις χρησιμοποιήθηκαν στην εκτίμηση περιβαλλοντικών επιπτώσεων του πλοίου: η πρώτη είναι η ανάλυση επιπτώσεων του κύκλου ζωής του πλοίου με την Life Cycle Impact Assessment (LCIA), μια τυποποιημένη μέθοδο κατά ISO για την ΑΚΖ και η δεύτερη είναι η προσέγγιση του εξωτερικού κόστους.

Η διατριβή προτείνει ένα εργαλείο αποτύπωσης επιπτώσεων του κύκλου ζωής για τα πλοία που βασίζεται στις αρχές των προτύπων ISO για την ΑΚΖ, το οποίο χρησιμοποιεί δύο συγκεκριμένα μοντέλα βλαβών (EcoIndicator, Recipe 2008). Οι κύριοι στόχοι του εργαλείου είναι:

1. να καταγράψετε όλους τους ρύπους (υγρά και μη υγρά απόβλητα, σκουπίδια, αέριες εκπομπές) που δημιουργούνται από διάφορες διεργασίες του πλοίου και
2. Να εκτιμήσει τις περιβαλλοντικές τους επιπτώσεις στον κύκλο ζωής του πλοίου.

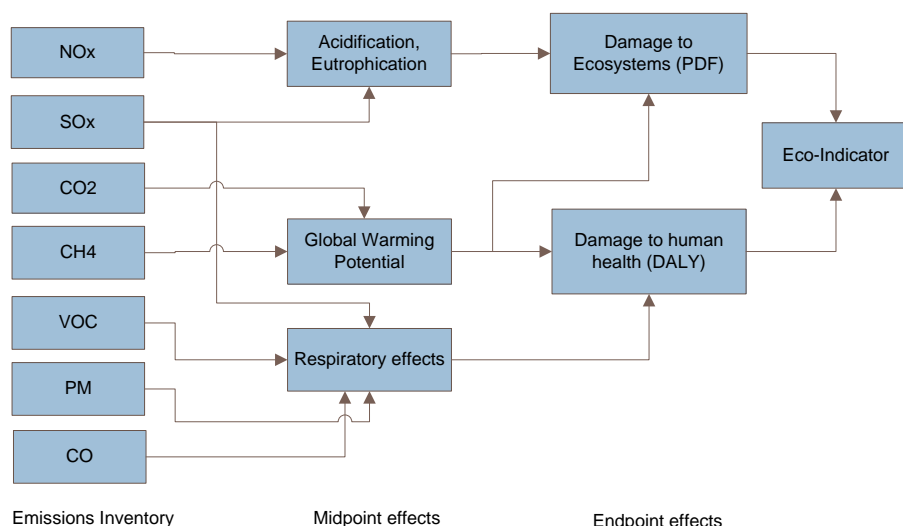


Figure 9: Damage model for the Life Cycle Impact Assessment of ship emissions

Στον Πίνακα που ακολουθεί, περιγράφονται οι μελέτες περίπτωσης όπου εξετάστηκαν οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις πλοίων στο πλαίσιο της μεθοδολογίας LCIA.

Case Study	Scope	Sample ship	Specific features
No1	a. Impact in the context of LCA b. Impact using the external cost approach	Panamax Oil Tanker	Adapt Eco Indicator 99 technique for ship emissions impacts External cost range of CO2
No2	Assessment in the context of LCA, using the LCIA Tool	Cement carrier	The Recipe 2008 damage model is used Scrubbers and MDO solutions are assessed in LCIA
No3	Assessment in the context of LCA, using the LCIA Tool	Passenger ship	The Recipe 2008 damage model is used
No4	Assessment in the context of LCA, using the LCIA Tool	Containership	The Recipe 2008 damage model is used Impact per life cycle stage

Πολλές δραστηριότητες των θαλάσσιων μεταφορών δημιουργούν εξωτερικό κόστος (θετικό ή αρνητικό). Οι συνήθεις κατηγορίες αρνητικού εξωτερικού κόστους που σχετίζονται με τις μεταφορές είναι (JRC, 2008):

1. Κόστος κυκλοφοριακής συμφόρησης
2. Κόστος ατυχημάτων
3. Κόστος αερίων εκπομπών
4. Κόστος θορύβου
5. Κόστος κλιματικής αλλαγής
6. Κόστος κατάληψης γης

Για τις θαλάσσιες μεταφορές το κόστος αερίων εκπομπών και το κόστος κλιματικής αλλαγής θεωρούνται οι σημαντικότερες μορφές εξωτερικού κόστους.

Τα αποτελέσματα καταδεικνύουν το ευρύ φάσμα της αβεβαιότητας στην εκτίμηση των επιπτώσεων των εκπομπών και του αντίστοιχου εξωτερικού κόστους. Το συνολικό εξωτερικό κόστος (από το παραγόμενο CO₂ κατά τη διάρκεια του κύκλου ζωής των

εξεταζόμενων πλοίων), κυμαίνεται μεταξύ 16-65 εκ. ευρώ. Πρέπει να σημειωθεί ότι αυτό είναι το αποτέλεσμα για το σύστημα πλοίο (συμπεριλαμβάνει τα υποσυστήματα μεταλλική κατασκευής και μηχανολογικής εγκατάστασης). Για τη μελέτη περίπτωσης του πετρελαιοφόρου Panamax, υπολογίστηκε ότι το εξωτερικό κόστος ανά έτος έχει μια σταθερή αυξητική τάση κατά τα χρόνια της ζωής του πλοίου, ξεκινώντας από (κατά μέσο όρο) ένα εκατομμύριο ευρώ και ανεβαίνει ως περίπου δύο εκατομμύρια ευρώ στο εικοστό πέμπτο έτος λειτουργίας.

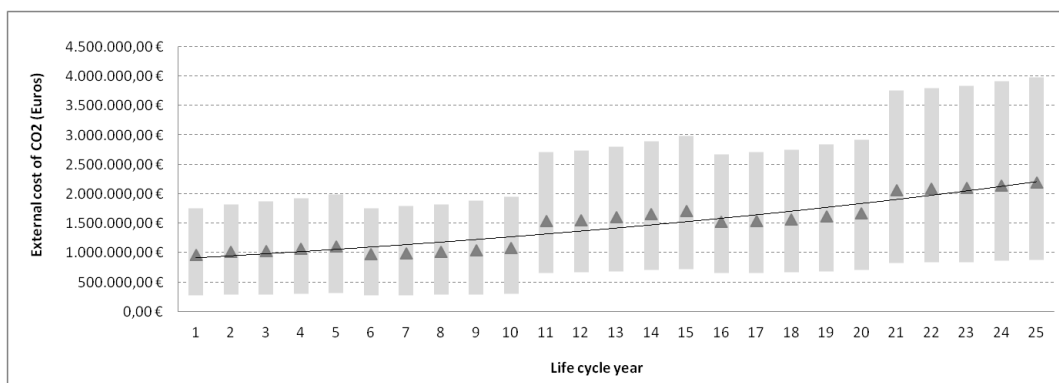


Figure 10: External (damage) cost of CO₂ per life cycle year of a Panamax oil tanker

5.2 Ανάλυση επιπτώσεων στην περιοχή του λιμένα

Οι επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία από τις αέριες εκπομπές πλοίων σε λιμενικές περιοχές έχουν εξεταστεί στο κεφάλαιο 12. Η μεθοδολογία που χρησιμοποιήθηκε ονομάζεται Impact Pathway Approach και χρησιμοποιείται κυρίως για την εκτίμηση εξωτερικού κόστους από σταθερές πηγές εκπομπής. Η μεθοδολογία χρησιμοποιεί μετεωρολογικά δεδομένα για τη μοντελοποίηση της διασποράς των ρύπων, μαζί με δεδομένα για την έκθεση του πληθυσμού προκειμένου να αξιολογήσει το εξωτερικό κόστος στην ανθρώπινη υγεία. Χρησιμοποιήθηκε λογισμικό ανοιχτού κώδικα για τη μοντελοποίηση της διασποράς των ρύπων.

Table 4: Case Study – Overview

Case study: External health cost of coastal ferries and cruise ships at Piraeus Port	
Time period	(Annual estimation – port stay, manoeuvring)
Ships included	124 cruise and 59 coastal passenger ships
Emissions Inventory	Based on Tzannatos (2010)
Pollutants into consideration	PM10 , PM2.5 , NOx , SO2 ,nitrates and sulphates
Meteorological data	National Observatory of Athens
Range of local area examined	≈56km (metropolitan Athens area)
Range of regional area examined	+500 km (Greece)
Local population data (400 cells)	ELSTAT (Hellenic Statistical Authority)
Exposure-Response Functions (ERF)	ExternE (values as of September 28th 2004)
Unit damage costs	ExternE (€)

Τα αποτελέσματα είναι νομισματικές μονάδες εξωτερικού κόστους για τις ετήσιες επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία από τα η λειτουργία των πλοίων εντός λιμένα. Στο προηγούμενο σχήμα περιγράφεται η μελέτη περίπτωσης όπου έγινε χρήση της παραπάνω μεθοδολογίας.

Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι το εξωτερικό κόστος των αερίων εκπομπών στην περιοχή του επιβατικού λιμένα Πειραιά δεν είναι αμελητέο, παρά το γεγονός ότι είναι πολύ μικρότερο από το αντίστοιχο που παράγεται από άλλους τομείς για τους οποίους συγκρίσεις ήταν διαθέσιμες (8% του αντίστοιχου εξωτερικού κόστους των οδικών μεταφορών). Η βιβλιογραφία δείχνει ότι οι αέριες εκπομπές από τον ευρύτερο βιομηχανικό τομέα, επιβάλλουν ετήσιο εξ. κόστος 25.9 € για ένα κάτοικο της Αθήνας, και σύμφωνα με τα αποτελέσματα της μελέτης περίπτωσης της διατριβής, οι εκπομπές του λιμένα του Πειραιά, προσθέτουν ετήσιο εξ. κόστος 1.4 € ανά κάτοικο.

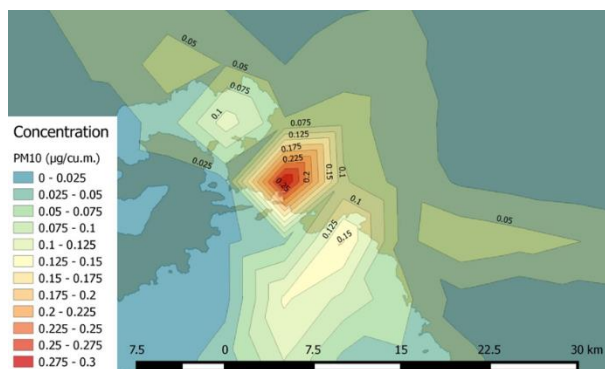


Figure 11: PM₁₀ concentration in local area

Τα μικροσωματίδια και ειδικότερα αυτά της μικρότερης διαμέτρου παράγουν το μεγαλύτερο εξωτερικό κόστος, 61% του συνολικού (τα PM_{2.5} έχουν τη μεγαλύτερη συμβολή). Τα αζωτούχα οξείδια (NO_x) έχουν αμελητέο εξωτερικό κόστος ως πρωτογενείς ρύποι σε τοπικό επίπεδο, αλλά συνεισφέρουν σημαντικά στο εξωτερικό κόστος σε υπερτοπικό επίπεδο μετατρέπόμενοι σε νιτρίδια (nitrates), όπως φαίνεται στο επόμενο σχήμα.

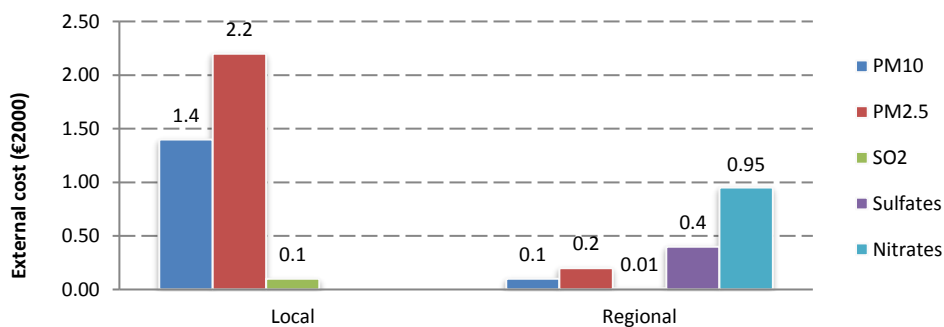


Figure 12: External cost per person (at local and regional level).

Οι εκτιμήσεις εξ. κόστους και γενικότερα οι εκτιμήσεις επιπτώσεων των αερίων εκπομπών ενέχουν σημαντική αβεβαιότητα που προέρχεται από τα δεδομένα, τη μοντελοποίηση, την ισχυρή συσχέτιση με το περιβάλλον υποδοχής αλλά και τις διαφορετικές απόψεις για τις παραγόμενες βλάβες σε τοπική και παγκόσμια κλίμακα. Ωστόσο η ανάλυση επιπτώσεων αερίων εκπομπών μπορεί να υποστηρίξει τη λήψη αποφάσεων και πρέπει να αξιοποιηθεί περαιτέρω. Το ενδιαφέρον για ανάλογες εκτιμήσεις (πχ του κόστους υγείας), αναμένεται να αυξηθεί στο μέλλον, δεδομένου ότι, τουλάχιστον σε ευρωπαϊκό επίπεδο, υπάρχουν επίσημες στρατηγικές που προωθούν τη θέσπιση μέτρων με στόχο να εσωτερικευθεί το εξωτερικό κόστος των μεταφορών.