

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ «ΚΥΚΛΟΣ ΖΩΗΣ ΠΟΝΤΟΠΟΡΩΝ ΠΛΟΙΩΝ»



ΛΟΥΜΠΟΣ ΕΜΜΑΝΟΥΗΛ Α.Μ. 2009010091

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: ΠΑΠΑΕΥΘΥΜΙΟΥ ΣΠΥΡΙΔΩΝ, ΑΝΑΠΛΗΡΩΤΗΣ

ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ ΣΧΟΛΗΣ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ,

ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ



Πίνακας περιεχομένων

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΩΝ.....	6
ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	6
1. Ανάλυση Κύκλου Ζωής.....	7
1.2 Σκοπός LCA	8
1.3 Πεδίο εφαρμογής	9
1.4 Αξιολόγηση των Επιπτώσεων του Κύκλου Ζωής.....	11
2. ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΚΥΚΛΟΥ ΖΩΗΣ	12
2.1 Παρουσίαση Παραδειγμάτων στην Βιομηχανία.....	12
2.1 1ο Παράδειγμα LCA στη βιομηχανία.....	12
3. Μελέτες LCA στη Ναυτιλία	14
3.1 1ο παράδειγμα εφαρμογής LCA στη ναυτιλία.....	14
4. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΚΥΚΛΟΥ ΖΩΗΣ ΣΤΗ ΜΕΤΑΛΛΙΚΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΤΟΥ ΠΛΟΙΟΥ	16
4.1 Στόχος και πεδίο εφαρμογής LCA στη μεταλλική κατασκευή	16
4.2 Όρια συστήματος LCA στη μεταλλική κατασκευή του πλοίου	17
4.3 Κατασκευή: Υλικά υποσυστήματος & Προστασία υποσυστήματος	19
4.3.1 Παραγωγή χάλυβα	19
4.3.2 Συγκόλληση χάλυβα.....	19
4.3.3 Κοπή χάλυβα	20
4.3.4 Μεταφορά υλικών.....	20
4.3.5 Ψηματοβολή (abrasive blasting)	20
4.3.6 Εναπόθεση primer και βαφής	21
4.3.7 Καθοδική προστασία	22
4.4 Συντήρηση: Υλικά υποσυστήματος & Προστασία υποσυστήματος.....	24
4.5 Ανακύκλωση	24
4.6 Εκπομπές.....	25
5. ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΑΠΟΓΡΑΦΗΣ (LIFE CYCLE INVENTORY, LCI).....	26
5.1 Παραγωγή χάλυβα	26
5.2 Συγκόλληση χάλυβα.....	27
5.3 Κοπή χάλυβα	28
5.4 Abrasive Blasting	29

5.5 Μεταφορά υλικών.....	31
5.6 Καθοδική Προστασία	32
5.7 Primers, antifouling και βαφές.....	33
5.8 Ανακύκλωση χάλυβα.....	35
6. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ	37
6.1 Εκπομπές από τη φάση κατασκευής.....	37
6.1.1 Παραγωγή χάλυβα.....	37
6.1.2 Συγκόλληση χάλυβα.....	38
6.1.3 Κοπή χάλυβα.....	39
6.1.4 Ψηγματοβολή (abrasive blasting)	39
6.1.5 Μεταφορά υλικών	40
6.2 Εκπομπες απο τη φαση της προστασίας μεταλλικής κατασκευής	41
6.2.1 Εναπόθεση primer	41
6.2.2 Εναπόθεση antifouling	43
6.2.3 Εναπόθεση paintings.....	44
6.2.4 Καθοδική προστασία.....	44
6.3 Εκπομπές στη φάση της συντήρησης ανά διεργασία	45
6.3.1 Παραγωγή χάλυβα	46
6.3.2 Συγκόλληση χάλυβα.....	46
6.3.3 Κοπή χάλυβα	47
6.3.4 Ψηγματοβολή (abrasive blasting).....	47
6.3.5 Μεταφορά χάλυβα και paintings	48
6.3.6 Εναπόθεση primer.....	49
6.3.7 Εναπόθεση antifouling	49
6.3.8 Εναπόθεση βαφών (paintings)	50
6.3.9 Καθοδική προστασία.....	50
6.4 Εκπομπές στη φάση της διάλυσης/ανακύκλωσης του πλοίου	51
6.5 Ποσοστιαία επίδραση εκπομπών ανά φάση του κύκλου ζωής	52
7. ΑΠΟΤΙΜΗΣΗ ΕΠΙΠΤΩΣΕΩΝ ΚΥΚΛΟΥ ΖΩΗΣ	57
7.1 Εισαγωγή	57
8. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	59
Βιβλιογραφία.....	60

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΩΝ

LCA	Life Cycle Assessment	Ανάλυση Κύκλου Ζωής
LCI	Life Cycle Inventory	Απογραφή Κύκλου Ζωής
LCIA	Life Cycle Impact Assessment	Αποτίμηση Επιπτώσεων Κύκλου Ζωής
IMO	International Maritime Organization	Διεθνής Οργανισμός Ναυτιλίας
US EPA	United States Environmental Protection Agency	Υπηρεσία Προστασίας του Περιβάλλοντος Ηνωμένων Πολιτειών
CO ₂	Carbon Dioxide	Διοξείδιο του Άνθρακα
CO	Carbon Monoxide	Μονοξείδιο του Άνθρακα
CH ₄	Methane	Μεθάνιο
NO _x	Nitrogen Oxide	Νιτρικό Οξύ
PM	Particulate Matter	Μικροσωματίδια
SO ₂	Sulfur Dioxide	Διοξείδιο του Θείου
SO	Sulfur Monoxide	Μονοξείδιο του Θείου
VOC	Volatile Organic Compounds	Πτητικές Οργανικές Ενώσεις
NMVOC	Non Methane Volatile Compounds	Μη Πτητικές Οργανικές Ενώσεις

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Κατα την εκπόνηση αυτής της διπλωματικής μελετήθηκαν οι αέριες εκπομπές στον κύκλο ζωής της μεταλλικής κατασκευής πλοίου, ο οποίος περιλαμβάνει την κατασκευή, τη λειτουργία, τη συντήρηση και την ανακύκλωση του. Η μέθοδος που χρησιμοποιήθηκε για την μελέτη είναι η Ανάλυση Κύκλου Ζωής (Life Cycle Assessment, LCA), η οποία είναι τυποποιημένη σύμφωνα με το πρότυπο ISO 14040-44. Η εφαρμογή έγινε σε πλοίο tanker 74296 tons DWT. Οι εκπομπές που

αναλύθηκαν είναι οι εξής: CO₂, CO, CH₄, NO_x, PM, SO₂, SO, VOC και NMVOC. Χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα από τη βάση δεδομένων του προγράμματος SimaPro®.

Οι περισσότερες εκπομπές παράγονται στη φάση της κατασκευής του πλοίου και πιο συγκεκριμένα στη διαδικασία της παραγωγής του χάλυβα (εκπομπές CO₂, NO_x και SO₂). Η παραγωγή του χάλυβα θεωρείται η σημαντικότερη διεργασία του συστήματος της μεταλλικής κατασκευής στην παραγωγή αερίων εκπομπών και ακολουθεί η γενική διεργασία βαφής του χάλυβα η οποία υπερτερεί αισθητά στην παραγωγή εκπομπών VOC.

1. Ανάλυση Κύκλου Ζωής

Ο όρος Περιβαλλοντική Ανάλυση Συστημάτων (ΠΑΣ) αναφέρεται στην ανάλυση και αξιολόγηση της αλληλεπίδρασης των συστημάτων και του περιβάλλοντος, με σκοπό τη δημιουργία μίας βάσης για τον σχεδιασμό και τη λήψη αποφάσεων. Στόχος αυτής της ανάλυσης είναι ένα βιώσιμο μέλλον σε ατομικό και κοινωνικό επίπεδο, συγκεντρώνοντας, ερμηνεύοντας και συνδυάζοντας τις γνώσεις από την φύση και τις κοινωνικές επιστήμες με αυτές από την τεχνολογία[1].

Η **Ανάλυση Κύκλου Ζωής (LCA)** ορίζεται ως μία μεθοδολογία υπολογισμού των περιβαλλοντικών επιπτώσεων που προκύπτουν από τον κύκλο ζωής ενός προϊόντος, η οποία αρχίζει με την συγκέντρωση των πρώτων υλών από τη γη και τελειώνει όταν όλα τα προϊόντα καταλήξουν πάλι πίσω στην γη (cradle-to-grave). Ο όρος «κύκλος ζωής» αναφέρεται στις κύριες δραστηριότητες κατά τη διάρκεια ζωής του προϊόντος από την παραγωγή, τη χρήση του και τη συντήρηση μέχρι την τελική διάθεσή του, συμπεριλαμβανομένης και της απόκτησης των πρώτων υλών που απαιτούνται για την παρασκευή του προϊόντος. Επιτρέπει την εκτίμηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων που προκύπτουν από όλα τα στάδια του κύκλου ζωής του προϊόντος. Με την εκτίμηση των επιπτώσεων καθ' όλη τη διάρκεια του κύκλου ζωής του προϊόντος παρέχεται μια πιο σφαιρική άποψη των περιβαλλοντικών πτυχών του προϊόντος ή της διαδικασίας και μια πιο κατανοητή εικόνα για την επιλογή της διαδικασίας[2].

Η LCA είναι ένα ευέλικτο εργαλείο για την ποσοτικοποίηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων από ένα προϊόν, διαδικασία ή υπηρεσία. Ο πρωταρχικός στόχος είναι να επιλεγεί το καλύτερο προϊόν, διαδικασία ή υπηρεσία με τις λιγότερες επιπτώσεις για την ανθρώπινη υγεία και το περιβάλλον[3]. Η διεξαγωγή μιας LCA μπορεί επίσης να

βοηθήσει στην ανάπτυξη νέων προϊόντων, διεργασιών ή δραστηριοτήτων ώστε να προκύψει μείωση των απαιτούμενων πόρων και των εκπομπών.[4]

Αποτελείται από τέσσερις φάσεις, πρώτον τον καθορισμό του στόχου και οριοθέτηση του πεδίου εφαρμογής, δεύτερον την απογραφή, καταγραφή δεδομένων κύκλου ζωής (Life Cycle Inventory, LCI), τρίτον την αξιολόγηση επιπτώσεων του κύκλου ζωής (Life Cycle Impact Assessment, LCIA) και τέταρτον την ερμηνεία των αποτελεσμάτων.

Μερικά βασικά χαρακτηριστικά της μεθόδου της LCA τα οποία συνοψίζονται παρακάτω είναι, να αξιολογεί με συστηματικό τρόπο τις περιβαλλοντικές πτυχές και τις επιπτώσεις των συστημάτων προϊόντων από την απόκτηση των πρώτων υλών μέχρι την τελική διάθεση για ένα συγκεκριμένο σκοπό και πεδίο εφαρμογής, να εμβαθύνει στην λεπτομέρεια και στο χρονικό πλαίσιο το οποίο μπορεί να ποικίλει σε μεγάλο βαθμό ανάλογα με το στόχο και το πεδίο εφαρμογής, να γίνονται διατάξεις για να τηρούνται η εμπιστευτικότητα και το ιδιωτικά θέματα σύμφωνα πάντα με την προβλεπόμενη εφαρμογή της LCA, η λειτουργία της μεθόδου είναι πάντα ανοικτή σε νέα επιστημονικά ευρήματα και βελτιώσεις, οι ειδικές απαιτήσεις που εφαρμόζονται στην LCA, οι οποίες προορίζονται για συγκριτικούς ισχυρισμούς, πρέπει να γνωστοποιούνται στο ευρύ κοινό, δεν υπάρχει ενιαία μέθοδος για την διεξαγωγή της LCA και κάθε οργανισμός έχει την ευελιξία να την εφαρμόσει σύμφωνα με τους Διεθνείς Κανονισμούς, αλλά πάντα σύμφωνα με την εκάστοτε εφαρμογή και τις απαιτήσεις του οργανισμού.

1.2 Σκοπός LCA

Η LCA είναι ένα ευέλικτο εργαλείο για την ποσοτικοποίηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων από ένα προϊόν, διαδικασία ή υπηρεσία. Ο πρωταρχικός στόχος είναι να επιλεγεί το καλύτερο προϊόν, διαδικασία ή υπηρεσία με τις λιγότερες επιπτώσεις για την ανθρώπινη υγεία και το περιβάλλον. Βασική εφαρμογή της LCA είναι η δημιουργία βάσης πληροφοριών ενός ολοκληρωμένου συστήματος λαμβάνοντας υπόψη τους ήδη υπάρχοντες ή τους πιθανούς μελλοντικούς τρόπους κατασκευής, χρήσης και διάθεσης του προϊόντος. Αυτή η βάση είναι απαραίτητη για να ξεκινήσουν οι διαδικασίες βελτιστοποίησης, δηλαδή οι σχετικές αλλαγές στο σύστημα αναφοράς. Η LCA είναι ιδιαίτερα σημαντική για μελέτες της βιομηχανίας που απαιτείται η λήψη αποφάσεων σχετικά με την πρόληψη της ρύπανσης, τη

διατήρηση των πόρων και την ελαχιστοποίηση των αποβλήτων. Αυτό συνεπάγεται από το γεγονός ότι τα αποτελέσματα της LCA παρέχουν λεπτομερή στοιχεία σχετικά με τις επιμέρους συνεισφορές του κάθε βήματος του συστήματος. Τα δεδομένα που προκύπτουν δίνουν πληροφορίες για το πιο βήμα απαιτεί περισσότερη ενέργεια ή πόρους ή εκπέμπει περισσότερους ρύπους, δίνοντας την δυνατότητα για βελτίωση. Άλλος ένας στόχος της μεθόδου είναι να εντοπίζει τα κενά των δεδομένων για κάθε διαδικασία είτε αυτά είναι ασαφή είτε είναι αμφιβόλου ποιότητας είτε δεν υπάρχουν καθόλου. Η LCA μπορεί να βοηθήσει στην διεύρυνση του φάσματος των περιβαλλοντικών θεμάτων τα οποία λαμβάνονται υπόψη για την θέσπιση κανονισμών ενισχύοντας έτσι την κοινωνική πολιτική. Όταν εφαρμόζεται με κατάλληλη αξιολόγηση των αποτελεσμάτων μπορεί να παρέχει ταυτόχρονα πληροφορίες σχετικά με την επιμέρους επίδραση διαφόρων χαρακτηριστικών του προϊόντος, καθιστώντας την πιο κατάλληλη μέθοδο σχετικά με αυτές που επικεντρώνονται στην πιστοποίηση λαμβάνοντας υπόψη περιορισμένα κριτήρια. Η LCA μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ενημέρωση της βιομηχανίας, της κυβέρνησης και των καταναλωτών σχετικά με τα μειονεκτήματα των διαφόρων μεθόδων, προϊόντων και υλικών. Δίνοντας έτσι την κατεύθυνση για την λήψη αποφάσεων που αφορούν τα υλικά και τις διαδικασίες παραγωγής και για την δημιουργία ενός καλύτερα ενημερωμένου κοινού σχετικά με περιβαλλοντικά θέματα και καταναλωτικές επιλογές.

1.3 Πεδίο εφαρμογής

Το πεδίο εφαρμογής περιλαμβάνει τις σημαντικότερες μεθοδολογικές επιλογές, περιορισμούς και παραδοχές που αφορούν τα εξής, πρώτον τη λειτουργία, λειτουργική μονάδα και ροή αναφοράς – Πολλές φορές είναι δύσκολο να οριστεί η λειτουργία προϊόντων. Επιπλέον η λειτουργική μονάδα ή η βάση σύγκρισης είναι πολύ σημαντικές στην σύγκριση δύο προϊόντων. Σε πολλές περιπτώσεις λόγω μεγάλων διαφορών στα χαρακτηριστικά λειτουργίας δεν είναι εύκολο να συγκριθούν δύο προϊόντα π.χ. ένα χάρτινο μπουκάλι γάλακτος που χρησιμοποιείται μία φορά με ένα γυάλινο που επαναχρησιμοποιείται, δεύτερον τα αρχικά όρια συστήματος – Είναι προφανές ότι δεν μπορεί ο αναλυτής να καθορίσει όλες τις εισροές και τις εκροές του συστήματος και γι' αυτό είναι απαραίτητη η δημιουργία ορίων, γνωρίζοντας βέβαια ότι είναι πιθανό να στρεβλωθούν τα αποτελέσματα. Επιπλέον τα συστήματα προϊόντων είναι αλληλένδετα με πολύπλοκο τρόπο καθιστώντας δύσκολη την οριοθέτησή τους. Τρίτον τα κριτήρια διαλογής δεδομένων και αποτελεσμάτων – πέρα

από την επιλογή των ορίων ο αναλυτής πρέπει να αποφασίσει και ποια δεδομένα εισόδου και εξόδου είναι χρήσιμα για την μελέτη του συστήματος, βάζοντας ένα όριο στη συλλογή των στοιχείων, τέταρτον απαιτήσεις ποιότητας δεδομένων – Απαιτήσεις αποτελούν ο τύπος των στοιχείων, η πληρότητα, η συνοχή και η επαναληψιμότητά τους. Για παράδειγμα σε κάποια μελέτη χρειάζεται ο μέσος όρος των παραγωγών χάλυβα σε όλο τον κόσμο, ενώ σε άλλη μελέτη μπορεί να χρειαστεί μόνο ένας παραγωγός χάλυβα, πέμπτον την κατανομή – λαμβάνοντας υπόψη το γεγονός ότι σε μια διαδικασία εκτελούνται παραπάνω από μία λειτουργίες ή ότι υπάρχουν περισσότερες από μία εκροές, είναι απαραίτητο οι συνέπειες στο περιβάλλον να κατανεμηθούν στις διαφορές λειτουργίες και εκροές. Ο ISO προτείνει διάφορους τρόπους : αποφυγή κατανομής διαχωρίζοντας την διαδικασία σε δύο διαδικασίες με δύο διαφορετικές εκροές ή επεκτείνοντας τα όρια ώστε να συμπεριληφθούν άλλες διαδικασίες που θα έχουν ίδια αποτελέσματα με την αρχική και τέλος προτείνει να γίνεται η κατανομή του περιβαλλοντικού φορτίου σύμφωνα με την φυσική αιτιότητα της διαδικασίας ή με κοινωνικοοικονομική βάση π.χ. την οικονομική αξία του προϊόντος, έκτον την ανάλυση πρέπει να καλύπτει ολόκληρο τον κύκλο ζωής του προϊόντος; Ένας θεωρητικά πλήρης κύκλος ζωής του συστήματος αρχίζει με όλες τις πρώτες ύλες και πηγές ενέργειας στη γη και τελειώνει με όλα τα υλικά πίσω στη γη ή τουλάχιστον κάπου στο περιβάλλον, χωρίς να αποτελούν μέρος του συστήματος. Εάν ο αναλυτής επιλέξει διαφορετικά όρια τότε περιορίζει το σύστημα, λαμβάνοντας υπόψη ότι μπορεί να υπάρξουν σημαντικές συνέπειες στα αποτελέσματα του κόστους, του χρόνου ή άλλων παραγόντων και επιπλέον πολύ περιορισμένα όρια μπορεί να αποκλείσουν επακόλουθες δραστηριότητες ή στοιχεία, έβδομον ποια θα είναι η βάση για τη χρήση του προϊόντος, ποιά μελέτη προορίζεται για σύγκριση διαφορετικών συστημάτων προϊόντων, πώς μπορούν να συγκριθούν με ακρίβεια προϊόντα διαφορετικού μεγέθους, συσκευασμένα σε ποικίλες ποσότητες ή χρησιμοποιούμενα σε διαφορετικά ποσοστά, πώς μπορεί η μελέτη να συγκρίνει τα συστήματα παροχής υπηρεσιών και αν είναι σαφώς ορισμένες οι λειτουργίες των υπηρεσιών ώστε να καθορίζονται με σαφήνεια η είσοδος και οι έξοδοι, όγδοον τι βοηθητικά υλικά ή χημικές ουσίες χρησιμοποιούνται για την υλοποίηση ή τη συσκευασία των προϊόντων ή την εκτέλεση των διαδικασιών; Μήπως αυτές οι βοηθητικές ύλες και τα χημικά συμβάλουν περισσότερο από ένα μικρό κλάσμα της ενέργειας ή των εκπομπών του συστήματος που πρόκειται να αναλυθεί; Πώς μπορούν να συγκριθούν κατά βάρος με άλλα υλικά και χημικές ουσίες στο σύστημα και ένατον

αν υπάρχουν επιπλέον υλικά ή υπηρεσίες που απαιτούνται ώστε ένα προϊόν ή μία υπηρεσία να είναι λειτουργικά ισοδύναμα με ένα συγκρίσιμο προϊόν ή με μία υπηρεσία αντίστοιχα.

Μπορεί ο αναλυτής να επιλέξει να ορίσει τα όρια του συστήματος παίρνοντας κάποιους περιορισμούς, αλλά σε καμία περίπτωση δεν πρέπει η επιστημονική βάση της μελέτης να τεθεί σε κίνδυνο. Οι λεπτομέρειες που απαιτούνται για να εκτελεστεί μια πλήρης απογραφή εξαρτώνται από το μέγεθος του συστήματος και το σκοπό της μελέτης. Σε ένα μεγάλο σύστημα που περιλαμβάνει διάφορες βιομηχανίες, ορισμένες λεπτομέρειες πιθανόν να μην είναι σημαντικές πηγές, δεδομένου του σκοπού της μελέτης. Οι λεπτομέρειες αυτές μπορούν να παραλειφθούν χωρίς να επηρεάζουν την ακρίβεια ή την εφαρμογή των αποτελεσμάτων. Ωστόσο, αν η μελέτη εστιάζει ή εξειδικεύεται ιδιαίτερα σε κάτι είναι σημαντικό να συμπεριληφθούν ακόμα και τα υλικά που είναι σε πολύ μικρή ποσότητα.

1.4 Αξιολόγηση των Επιπτώσεων του Κύκλου Ζωής

Η αξιολόγηση των επιπτώσεων του κύκλου ζωής (Life Cycle Impact Assessment, LCIA) συμπεριλαμβάνεται στην LCA. Είναι το στάδιο στο οποίο γίνεται η εκτίμηση των πιθανών επιπτώσεων στην ανθρώπινη υγεία και των περιβαλλοντικών επιπτώσεων, δηλαδή των διαφόρων εκπομπών και της εξάντλησης των πόρων. Δημιουργεί μια σύνδεση μεταξύ του προϊόντος ή της διαδικασίας και των πιθανών περιβαλλοντικών επιπτώσεων. Επιπλέον παρέχει μία πιο αναλυτική βάση για την σύγκριση των αποτελεσμάτων. Αυτή η φάση έχει τα εξής βήματα, την επιλογή και τον ορισμό των κατηγοριών επιπτώσεων – προσδιορισμός των σχετικών περιβαλλοντικών επιπτώσεων και διαχωρισμός σε κατηγορίες (π.χ. η υπερθέρμανση του πλανήτη, χερσαία τοξικότητα), την κατάταξη – ανάθεση των αποτελεσμάτων στις διάφορες κατηγορίες επιπτώσεων (π.χ. την ταξινόμηση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα στην υπερθέρμανση του πλανήτη), το χαρακτηρισμό – μοντελοποίηση των επιπτώσεων στις κατηγορίες επιπτώσεων με χρήση της επιστήμης με βάση συντελεστές μετατροπής (π.χ. μοντελοποίηση των πιθανών επιπτώσεων του διοξειδίου του άνθρακα και μεθανίου στην υπερθέρμανση του πλανήτη), την κανονικοποίηση – έκφραση των πιθανών επιπτώσεων ώστε να μπορούν να συγκριθούν (π.χ. σύγκριση της παγκόσμιας αύξησης της θερμοκρασίας λόγω των επιπτώσεων του διοξειδίου του άνθρακα και του μεθανίου), την ομαδοποίηση –

διαλογή ή κατάταξη των δεικτών (π.χ. διαλογή των δεικτών με βάση την τοποθεσία: τοπικό, περιφερειακό και παγκόσμιο επίπεδο), τη βαρύτητα – έμφαση στις πιο σημαντικές πιθανές επιπτώσεις και την αξιολόγηση και υποβολή εκθέσεων αποτελεσμάτων LCA – καλύτερη κατανόηση της αξιοπιστίας των αποτελεσμάτων LCA.

2. ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΚΥΚΛΟΥ ΖΩΗΣ

Η LCA έχει εφαρμοστεί αρκετά στην βιομηχανία και στις μεταφορές και παρακάτω παρατίθενται κάποια ενδεικτικά παραδείγματα. Όσον αφορά τη ναυτιλία η LCA δεν έχει εφαρμοστεί εκτενώς και τα δύο παραδείγματα που θα περιγραφούν παρακάτω αποτελούν τις δύο βασικές εφαρμογές LCA σε πλοίο.

2.1 Παρουσίαση Παραδειγμάτων στην Βιομηχανία

1ο Παράδειγμα LCA στη βιομηχανία

Η παρακάτω μελέτη είχε ως στόχο την Ανάλυση Κύκλου Ζωής μίας τηλεόρασης plasma με όρια συστήματος τα εξής:

- Μέγεθος: 42 ίντσες
- Λειτουργία: 8 χρόνια και 4 ώρες την ημέρα
- Τόπος παραγωγής: Ασία
- Τόπος λειτουργίας: Ευρώπη
- Τόπος ανακύκλωσης: Ευρώπη

Η μελέτη συμπεριλαμβάνει τα εξής στάδια ζωής: παραγωγή, διανομή, λειτουργία και τελική διάθεση.

Στη συνέχεια έγινε σύγκριση της τηλεόρασης plasma με δύο τηλεοράσεις άλλης τεχνολογίας (cathode ray tube, CRT & υγρών κρυστάλλων, LCD). Χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος LCA για όλο τον κύκλο ζωής της τηλεόρασης από την εξόρυξη των πρώτων υλών μέχρι την ανακύκλωση και την τελική διάθεση/απόρριψη. Για τη φάση

της αξιολόγησης των επιπτώσεων χρησιμοποιήθηκαν δύο μέθοδοι: η EcoIndicator 99 [5] και η Centrum voor Milieuwetenschappen, CML [6].

Τα αποτελέσματα χωρίστηκαν σε τρεις κατηγορίες: την κατανάλωση πρώτων υλών, τις αέριες εκπομπές και τις εκπομπές στο νερό. Τα συμπεράσματα από την LCA είναι τα εξής: η φάση της διανομής δεν προσδίδει σημαντική ποσότητα εκπομπών, οι εκπομπές στη φάση της λειτουργίας εξαρτώνται από την επιλογή της παραγωγής της ενέργειας που απαιτείται, για παράδειγμα ο ηλεκτρισμός προερχόμενος από καύση ορυκτών καυσίμων προκαλεί κατά τη φάση της χρήσης επίπτωση δύο φορές μεγαλύτερη από τη φάση της παραγωγής, στη φάση της κατασκευής κυριαρχούν οι πλακέτες κυκλωμάτων και ο μεγάλος αριθμός εξαρτημάτων τους, δίνοντας περισσότερο από τα 3/4 των επιπτώσεων αυτής της φάσης. Τέλος, από τη φάση του τέλους ζωής της τηλεόρασης μπορούν να προκύψουν πολλά οφέλη μέσω ενός μοντέρνου συστήματος ανακύκλωσης. Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της απογραφής:

		Total	Production	Distribution	Use	End-of-life treatment	
						Efforts	Benefits
Resource consumption							
Aluminium, in ground	kg	-3.93E-001	9.77E+000	1.62E-002	2.56E-001	7.57E-003	-1.04E+001
Calcite, in ground	kg	1.09E+002	8.39E+001	4.56E-001	2.75E+001	3.83E+000	-6.37E+000
Coal, brown, in ground	kg	8.72E+002	1.13E+002	4.86E-001	7.74E+002	1.39E+000	-1.67E+001
Coal, hard, in ground	kg	4.96E+002	8.75E+001	7.50E-001	4.30E+002	1.68E+000	-2.42E+001
Copper, in ground	kg	1.73E+000	1.47E+000	3.84E-003	1.65E+000	3.38E-002	-1.43E+000
Gas, natural, in ground	Nm3	2.46E+002	5.68E+001	6.56E-001	1.95E+002	3.36E+000	-9.81E+000
Gravel, in ground	kg	2.13E+002	1.56E+002	1.40E+001	5.93E+001	7.25E+000	-2.35E+001
Iron, in ground	kg	1.80E+001	1.24E+001	5.58E-001	8.46E+000	3.13E-001	-3.75E+000
Oil, crude, in ground	kg	1.32E+002	8.15E+001	5.30E+000	5.94E+001	1.02E+000	-1.52E+001
Energy, potential, converted (in hydropower reservoir)	MJ	2.21E+003	5.89E+002	5.26E+000	1.94E+003	1.29E+001	-3.39E+002
Emission to air							
Carbon dioxide, fossil	kg	2.60E+003	6.37E+002	1.78E+001	2.04E+003	3.31E+001	-1.25E+002
Sulphur dioxide	kg	6.31E-001	2.40E+000	2.45E-002	7.10E+000	4.37E-002	-8.93E+000
Nitrogen oxides	kg	5.29E+000	1.95E+000	9.33E-002	3.59E+000	3.99E-002	-3.84E-001
Methane, fossil	kg	4.49E+000	1.12E+000	2.38E-002	3.54E+000	3.03E-002	-2.21E-001
PAH, polycyclic aromatic hydrocarbons	kg	1.05E-004	7.81E-004	2.16E-006	1.23E-004	2.77E-006	-8.03E-004
Emission to water							
COD, chemical oxygen demand	kg	9.91E+000	9.19E+000	5.36E-002	9.38E-001	1.77E-001	-4.55E-001
Chloride	kg	1.65E+001	8.95E+000	2.37E-001	8.05E+000	1.66E-001	-8.99E-001
Sulphate	kg	1.62E+001	4.97E+000	1.25E-002	1.19E+001	6.84E-002	-7.22E-001
Ammonium, ion	kg	1.43E-002	1.01E-002	4.17E-005	4.62E-003	3.24E-005	-4.63E-004
Nickel, ion	kg	1.15E-002	9.23E-003	8.74E-005	8.26E-003	5.95E-003	-1.20E-002
Cobalt, ion	kg	2.84E-003	1.85E-003	1.35E-005	3.28E-003	7.04E-004	-3.01E-003
Vanadium, ion	kg	1.05E-002	8.90E-003	3.31E-005	6.67E-003	2.62E-004	-5.39E-003

Πίνακας 1: Εκπομπές και κατανάλωση πρώτων υλών για την LCA της τηλεόρασης plasma

Η σύγκριση της τηλεόρασης plasma με τις άλλες τεχνολογίες κατέληξε στο συμπέρασμα ότι αυτή η τεχνολογία είναι περισσότερο περιβαλλοντικά φιλική από τις άλλες δύο υπολογίζοντας την επίπτωση στο περιβάλλον ανά ίντσα οθόνης. Και οι

τρεις όμως τεχνολογίες παρουσιάζουν κοινή εικόνα LCA: σημαντικές επιπτώσεις στην κατασκευή και στη χρήση, άνευ σημασίας η φάση της διανομής/μεταφοράς και σημαντικά οφέλη από τη φάση της ανακύκλωσης.

Η πρόταση για το μέλλον είναι να χρησιμοποιούνται οι ηλεκτρονικές συσκευές, όπως η τηλεόραση plasma, όσο το δυνατό μεγαλύτερο διάστημα εφόσον η φάση της κατασκευής έχει τη μεγαλύτερη επίπτωση στο περιβάλλον. Η δεύτερη πιο επιβλαβής φάση είναι η λειτουργία και εξαρτάται από το είδος της ενέργειας που καταναλώνεται κατά τη χρήση και τέλος οι συσκευές πρέπει να απενεργοποιούνται όταν δεν χρησιμοποιούνται.

3. Μελέτες LCA στη Ναυτιλία

3.1 1ο παράδειγμα εφαρμογής LCA στη ναυτιλία

Ένα αρκετά αναλυτικό παράδειγμα LCA πλοίου αποτελεί η μελέτη του πλοίου ‘Color Festival’ το οποίο είναι επιβατηγό-οχηματαγωγό. Έγινε υπολογισμός των εκπομπών για όλη τη διάρκεια ζωής του πλοίου (20 χρόνια) και για μεταφορά 550000 επιβατών, 55000 οχημάτων και 25 trailer το χρόνο ανάμεσα στο Oslo και Hirshals σε 317 ταξίδια το χρόνο. Το πλοίο θεωρήθηκε ως σύστημα και χωρίστηκε στα εξής υποσυστήματα: περίβλημα, εξοπλισμός για τους επιβάτες και το πλήρωμα, κύρια μηχανή και εξαρτήματα και πλοίο γενικά χωρίς να συμπεριλαμβάνεται ο εξοπλισμός του φορτίου, ο εξοπλισμός του πλοίου.

Κύριος σκοπός της μελέτης ήταν να αναλυθεί η μεθοδολογία και όχι να γίνει λήψη αποφάσεων με βάση τα αποτελέσματα, γι’ αυτό το λόγο δόθηκε μικρή έμφαση στην ποιότητα των δεδομένων. Οι πηγές που χρησιμοποιήθηκαν περιγράφονται περιληπτικά παρακάτω είναι ο υπολογισμός των επιμέρους βαρών του πλοίου ο οποίος βασίστηκε σε υπολογιστικά μοντέλα στο επίπεδο των υποσυστημάτων και σε παραδοχές στα χαμηλότερα επίπεδα και ο υπολογισμός των επιφανειών του πλοίου βασίστηκε στα σχέδια του πλοίου και σε παραδοχές. Τα inputs gradle – to – gate χρησιμοποιήθηκαν μόνο εφόσον ήταν διαθέσιμα στο λογισμικό SimaPro ή αν παρέχονταν εύκολα από υπάρχουσες μελέτες. Πολλές φορές βέβαια δεν ήταν συμβατά με τα γεωγραφικά, χρονικά και τεχνολογικά όρια της συγκεκριμένης

μελέτης. Τα δεδομένα των εκπομπών για τη φάση της κατασκευής και της συντήρησης συγκεντρώθηκαν κυρίως από τις υπάρχουσες μελέτες του Alesund College και More Research με δεδομένα από τα νορβηγικά ναυπηγεία και θεωρήθηκαν πλήρη και αντιπροσωπευτικά σε χρόνο, τεχνολογία και γεωγραφική θέση. Οι εκπομπές από τη διαδικασία της καύσης βασίστηκαν σε δεδομένα από το Color Line και τον Lloyd's. Τα δεδομένα της διαρροής του antifouling κατά την λειτουργία συγκεντρώθηκαν από την βιβλιογραφία και τέλος τα δεδομένα της ανακύκλωσης βασίστηκαν στο SimaPro και σε παραδοχές.

Στη φάση της κατασκευής λήφθηκαν υπόψη οι εξής διαδικασίες: η μεταφορά του χάλυβα, η κοπή των ελασμάτων, η αμμοβολή και η συγκόλληση. Στη φάση της συντήρησης οι διαδικασίες είναι κοινές με αυτές της κατασκευής και στη διάλυση είναι οι εξής: η μεταφορά στο ναυπηγείο διάλυσης και η κοπή των ελασμάτων του χάλυβα. Στη φάση της λειτουργίας δεν συμμετέχουν διεργασίες που αφορούν το υλικό κατασκευής.

Η παραπάνω διαδικασία, της επιλογής των διεργασιών που συμμετέχουν στην LCA, έγινε για κάθε υποσύστημα και στη συνέχεια συγκεντρώθηκαν τα δεδομένα για κάθε μία από αυτές τις διεργασίες. Τα δεδομένα εφαρμόστηκαν και επεξεργάστηκαν στο εργαλείο SimaPro 4.0, καταλήγοντας έτσι στην απογραφή των εκπομπών που παράγονται από το συνολικό κύκλο ζωής του πλοίου Color Festival.

Σημαντικά συμπεράσματα από την LCA του πλοίου 'Color Festival' είναι ότι το πλοίο 'Color Festival' έχει υψηλότερο αντίκτυπο απ' ότι άλλοι τύποι πλοίου και άλλα μεταφορικά μέσα που παρουσιάζονται στη βιβλιογραφία. Η φάση της λειτουργίας συμβάλλει στην υπερθέρμανση του πλανήτη, στην οξύνιση, στον ευτροφισμό, στη χειμερινή αιθαλομίχλη και στην κατανάλωση ενέργειας. Η φάση της διάλυσης συντελεί στα στερεά απόβλητα και η κατασκευή και η συντήρηση έχουν τοπικές επιπτώσεις όπως η τοξικότητα στον άνθρωπο και στο οικοσύστημα. Οι διαδικασίες που θεωρήθηκαν πιο σημαντικές, δηλαδή με την μεγαλύτερη ποσότητα εκπομπών και επίπτωση στο περιβάλλον, σε όλο τον κύκλο ζωής του πλοίου είναι οι εξής : η καύση πετρελαίου και η διαρροή του antifouling κατά την λειτουργία του πλοίου, η απομάκρυνση των primer και του antifouling και η εφαρμογή καινούργιων κατά τη συντήρηση, τα μη ανακυκλώσιμα/ επαναχρησιμοποιήσιμα υλικά και ανταλλακτικά μετά το πέρας τις ζωής τους και τέλος σύμφωνα με την μέθοδο EcoIndicator 95 οι

επιπτώσεις του κύκλου ζωής του πλοίου που είναι με διαφορά οι πιο σοβαρές είναι η τοξικότητα στον άνθρωπο και η οξύνιση. Οι εκπομπές των NOX και SOX συμβάλλουν αισθητά τόσο στην τοξικότητα στον άνθρωπο όσο και στην οξύνιση, επομένως αυτές οι εκπομπές στη φάση της λειτουργίας σύμφωνα με την μέθοδο αποτίμησης που εφαρμόζεται αποτελούν τους σημαντικότερους ρύπους στον περιβαλλοντικό αντίκτυπο.

4. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΚΥΚΛΟΥ ΖΩΗΣ ΣΤΗ ΜΕΤΑΛΛΙΚΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΤΟΥ ΠΛΟΙΟΥ

4.1 Στόχος και πεδίο εφαρμογής LCA στη μεταλλική κατασκευή

Στόχος της μελέτης LCA στην παρούσα διπλωματική εργασία είναι να υπολογιστούν οι εκπομπές που προκύπτουν από τις διάφορες διαδικασίες που απαιτούνται για τη δημιουργία, τη συντήρηση αλλά και τη τελική διάθεση του χάλυβα της μεταλλικής κατασκευής του πλοίου. Το πλοίο αποτελείται από πολλά και διαφορετικά υλικά και έχει πολλές λειτουργίες με αποτέλεσμα να θεωρείται ένα πολύπλοκο σύστημα και να καθίσταται δύσκολη η εφαρμογή της LCA. Για τους παραπάνω λόγους είναι αναγκαίος ο διαχωρισμός του πλοίου, που αποτελεί το σύστημα, σε περαιτέρω υποσυστήματα που θα μπορούν να αναλυθούν ξεχωριστά πριν προστεθούν στο γενικό σύστημα της μεταλλικής κατασκευής.

Το σύστημα που χρησιμοποιήθηκε στην μελέτη είναι η μεταλλική κατασκευή του πλοίου «Arion» τύπου bulk carrier 72.346 tons DWT με τα εξής χαρακτηριστικά:

Length : 232m

Breadth : 31,4m

Deadweight : 250m

Αλλάζοντας τις βασικές διαστάσεις και αν επιθυμεί ο μελετητής κάποια στοιχεία από τα σενάρια που έχουν επιλεγεί μπορεί να υπολογίσει τις εκπομπές που παράγονται από όλο τον κύκλο ζωής της μεταλλικής κατασκευής του πλοίου που θέλει να μελετήσει. Τα στοιχεία που αναφέρθηκαν μπορεί να είναι οι αποστάσεις στη μεταφορά των υλικών, οι βαφές που επιλέγονται, ο τρόπος υπολογισμού του μήκους συγκόλλησης κτλ.

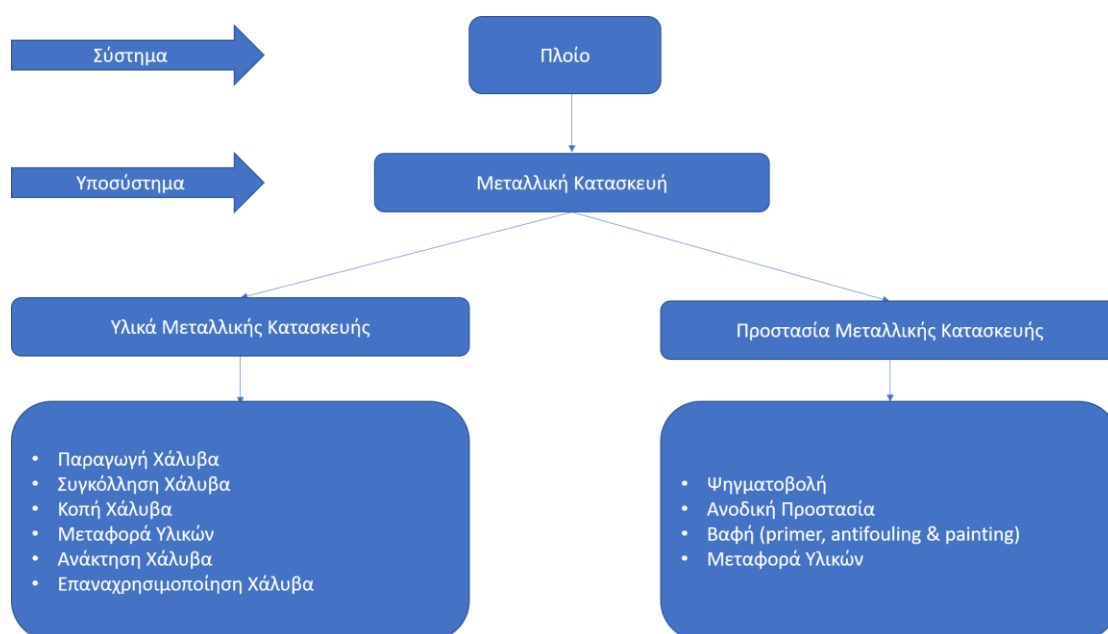
Επιπλέον, στόχος της μελέτης είναι να διακριθούν οι διεργασίες ανάλογα με τις εκπομπές που απελευθερώνουν στο περιβάλλον και να υπογραμμιστούν αυτές που μελλοντικά θα πρέπει να βελτιωθούν ώστε να μειώσουν τους ρύπους τους.

Η εφαρμογή της μεθόδου δεν απευθύνεται αυστηρά μόνο σε μελετητές, αλλά μπορεί να γίνει κατανοητή από το ευρύ κοινό. Γενικά, η LCA είναι μία μέθοδος που εφαρμόζεται σε πολλά προϊόντα με στόχο τη βελτίωση της απόδοσης τους και του περιβαλλοντικού τους αντίκτυπου, για τον παραπάνω λόγο αφορά και το ευρύ κοινό.

4.2 Όρια συστήματος LCA στη μεταλλική κατασκευή του πλοίου

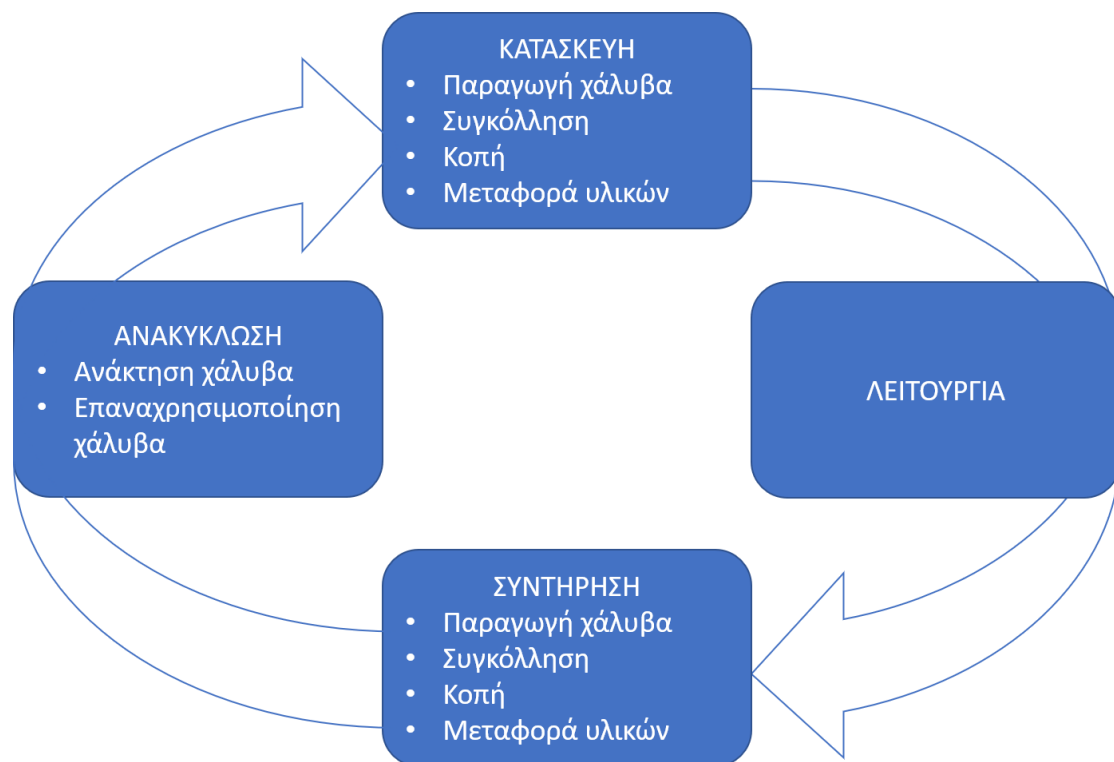
Αρχικά το σενάριο που επιλέχτηκε αφορά πλοίο Bulk Carrier που ταξιδεύει κυκλικά από τον Καναδά(Sorel) στην Ισπανία(Cartagena). Η απόσταση των δυο λιμανιών είναι 3421 ναυτικά μίλια. Η διάρκεια ταξιδιού είναι 14,5 ημέρες, 9,5 ημέρες βρίσκεται στη θάλασσα και 5 ημέρες στο λιμάνι για φόρτωση- εκφόρτωση. Επιπλέον, το πλοίο δεν ταξιδεύει για 4 μήνες λόγω καιρικών συνθηκών, διότι το ποτάμι που οδηγεί στο λιμάνι του Sorel παγώνει. Επομένως κάνει 16 περίπου ταξίδια. Η διάρκεια ζωής του πλοίου λαμβάνεται ίση με 25 χρόνια και κάνει 400 ταξίδια σε όλη τη διάρκεια ζωής του.

Παρακάτω παρατίθενται διαγράμματα που περιγράφουν τα όρια του συστήματος και τις διαδικασίες που συμμετέχουν στην LCA της γάστρας:

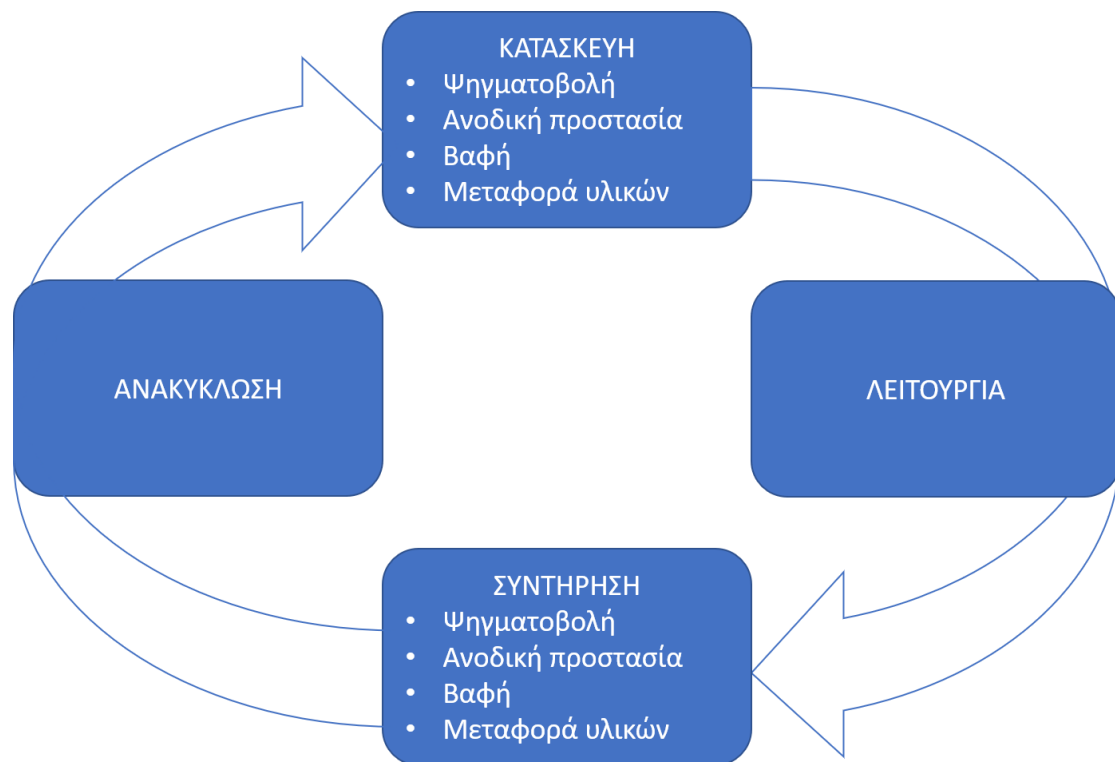


Σχήμα 1: Όρια συστήματος LCA μεταλλικής κατασκευής πλοίου

Σύμφωνα με το παραπάνω σχήμα, το σύστημα της μελέτης είναι το πλοίο, το υποσύστημα που εξετάστηκε είναι η γάστρα του πλοίου και τα στοιχεία του συστήματος είναι τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν για την κατασκευή και την διεργασία της μεταλλικής κατασκευής – υποσυστήματος και η προστασία της μεταλλικής κατασκευής – υποσυστήματος. Υπάρχουν τέσσερις φάσεις στον κύκλο ζωής: κατασκευή, λειτουργία, συντήρηση και ανακύκλωση. Στα παρακάτω σχήματα, φαίνεται για κάθε στοιχείο του συστήματος και για κάθε φάση της LCA ποιες διαδικασίες συμμετέχουν στη μελέτη.



Σχήμα 2: Διαδικασίες που συμμετέχουν σε κάθε φάση του υπό μελέτη συστήματος



Σχήμα 3: Διαδικασίες που συμμετέχουν σε κάθε φάση του υπό μελέτη συστήματος

4.3 Κατασκευή: Υλικά υποσυστήματος & Προστασία υποσυστήματος

Στην φάση της κατασκευής συμμετέχουν οι εξής διαδικασίες:

4.3.1 Παραγωγή χάλυβα

Αυτή η διαδικασία περιλαμβάνει τον υπολογισμό της ποσότητας του χάλυβα που απαιτείται για την κατασκευή ενός πλοίου tanker 74296 tons DWT. Ο υπολογισμός του βάρους έγινε με χρήση της μεθόδου Sneekluth [7].

4.3.2 Συγκόλληση χάλυβα

Η απαιτούμενη ποσότητα χάλυβα μεταφέρεται σε πλάκες τυποποιημένων διαστάσεων 6×2 m και στη συνέχεια κόβεται και συγκολλείται ώστε να επιτευχθεί το τελικό αποτέλεσμα. Ο υπολογισμός του μήκους συγκόλλησης έγινε σύμφωνα με εμπειρικούς τύπους.

4.3.3 Κοπή χάλυβα

Για την κατασκευή του περιβλήματος του πλοίου κάποιες από τις τυποποιημένες πλάκες χρειάζεται να κοπούν ώστε να πάρουν το κατάλληλο σχήμα και μέγεθος για να εφαρμόσουν στην κατασκευή.

Για την κοπή χάλυβα έγινε αναγωγή, για τον υπολογισμό της ενέργειας που απαιτείται από πλοίο bulk carrier 37249 tons DWT [8].

4.3.4 Μεταφορά υλικών

Σε αυτό το στάδιο υπολογίζεται η μεταφορά της συνολικής ποσότητας χάλυβα, primers και βαφών που καταναλώθηκαν κατά την κατασκευή. Δημιουργήθηκε ένα υποθετικό σενάριο μεταφοράς των σχετικών υλικών. Ο χάλυβας μεταφέρεται με πλοίο bulk-carrier, ενώ οι βαφές και το υλικό της ψηγματοβολής με containership. Το σενάριο που έχει επιλεγεί είναι 500 km για την μεταφορά του χάλυβα και 200 km για τη μεταφορά των βαφών και του υλικού ψηγματοβολής.

4.3.5 Ψηγματοβολή (abrasive blasting)

Οι επιφάνειες του πλοίου που βάφονται πρέπει αρχικά να προετοιμαστούν κατάλληλα, ώστε να έχουν την ποιότητα που ενδείκνυται για να εφαρμοστεί η βαφή. Παρακάτω ακολουθεί η περιγραφή της διαδικασίας που απαιτείται για να επιτευχθεί το παραπάνω:

Ψηγματοβολή είναι η πιο διαδεδομένη μέθοδος καθαρισμού και προετοιμασίας μεταλλικών επιφανειών προκειμένου να γίνει εφαρμογή κάποιου χρώματος ή συστήματος χρωματισμού, που σκοπό έχει κατά κύριο λόγο την προστασία των επιφανειών από την οξείδωση/διάβρωση. Η αρχή λειτουργίας της ψηγματοβολής στηρίζεται στη βίαιη προώθηση ρεύματος αποξεστικού υλικού πάνω στην επιφάνεια. Τα αποξεστικά υλικά (άμμος, ορυκτά, αποκαμινεύματα, ψήγματα μετάλλων, κ.λπ.) με την πρόσπτωση στην επιφάνεια απομακρύνουν τα επιστρώματα βαφής, τα προϊόντα οξείδωσης και άλλα υπολείμματα και προετοιμάζουν την επιφάνεια για βαφή [9].

Συγκρινόμενη με τις άλλες υπάρχουσες μεθόδους καθαρισμού των επιφανειών, η ψηγματοβολή είναι η πλέον γρήγορη, αποδοτική και αποτελεσματική μέθοδος. Είναι μέθοδος πολύ χρήσιμη με πρακτική διαδικασία και με πολλά πλεονεκτήματα έναντι των άλλων μεθόδων καθαρισμού επιφανειών. Το βασικότερο εξ' αυτών είναι ο

μεγάλος βαθμός καθαρισμού που μπορεί να επιτευχθεί και η δημιουργία κατάλληλου προφίλ (anchorpattern), που είναι το ζητούμενο για την πρόσφυση του χρώματος στην επιφάνεια.

Ανάλογα με τον τρόπο που το αποξεστικό μέσο εκτοξεύεται πάνω στην υπό καθαρισμό επιφάνεια διακρίνονται δυο γενικές κατηγορίες:

- Ψηγματοβολή με αέρα υψηλής πίεσης και εκτόξευση του αποξεστικού από ακροφύσιο (Airabrasive blast cleaning)
- Ψηγματοβολή με φυγόκεντρο δύναμη μέσω τροχού ψηγματοβολής (Centrifugal blast cleaning)

Στην πρώτη, τα σωματίδια εκτοξεύονται μέσω ισχυρής ροής αέρα και ενός ακροφυσίου πάνω στην προς καθαρισμό επιφάνεια, ενώ στη δεύτερη, το αποξεστικό υλικό προωθείται μέσω φυγόκεντρης δύναμης που προκαλεί μονάδα περιστρεφόμενου τροχού. Πρέπει να σημειωθεί ότι η πρώτη κατηγορία ψηγματοβολής είναι και αυτή που χρησιμοποιείται σε μεγάλη κλίμακα και είναι αυτή που παρουσιάζει το πιο μεγάλο ενδιαφέρον. Αντίθετα, η δεύτερη χρησιμοποιείται σε μικρό ποσοστό και είναι αποκλειστικά κλειστού τύπου (εκτελείται σε ειδικά διαμορφωμένους χώρους).

Στη μελέτη χρησιμοποιήθηκε η πρώτη κατηγορία και τα στοιχεία για την ενέργεια που καταναλώθηκε προκύπτουν από παλαιότερη μελέτη [10].

4.3.6 Εναπόθεση primer και βαφής

Η διεργασίες βαφών πλοίων έχουν μεγάλο ενδιαφέρον και παρουσιάζουν μεγάλες διακυμάνσεις καθώς στο εμπόριο υπάρχει μεγάλη ποικιλία διαφορετικών τύπων βαφών ανάλογα με τον τύπο του πλοίου, την επιφάνεια προς βαφή τις οικονομικές και λειτουργικές προδιαγραφές κλπ. Αρχικά συνήθως τοποθετούνται τα αντιδιαβρωτικά επιστρώματα ή κοινώς χρώματα σε πολλές διαδοχικές επιστρώσεις, που αποτελούν το επικαλυπτικό σύστημα βαφής. Το σύστημα βαφής αποτελείται από ένα ή περισσότερα στρώματα αντιδιαβρωτικό αστάρι (primers), από ένα ενδιάμεσο στρώμα (undercoat) και από ένα τελικό στρώμα (finishing coat). Παρατίθενται τα διάφορα τμήματα του πλοίου ανάλογα με την απαιτούμενη προστασία:

- i. Βρεχόμενη επιφάνεια-Wetted Surface.

- ii. Καταστρώματα-Decks.
- iii. Έξαλλα- Υπερκατασκευές-Topsides & Superstructures.
- iv. Αμπάρια-Holds.
- v. Ballast tank side.
- vi. Ballast tank double bottom

Στο πλοίο που μελετάται χρησιμοποιείται μια στρώση primer και μία στρώση finishing coat, οι οποίες επιλέχθηκαν σύμφωνα με την περιοχή του πλοίου που βάφεται από τον κατάλογο του κατασκευαστή. Μόνο στην περιοχή της βρεχόμενης επιφάνειας χρησιμοποιήθηκε και antifouling ανάμεσα στις δύο στρώσεις. Τα διάφορα στοιχεία που χρειάστηκαν για τους υπολογισμούς βρέθηκαν από τα Data Sheets των χρωμάτων, μέσα από το site της εταιρείας.

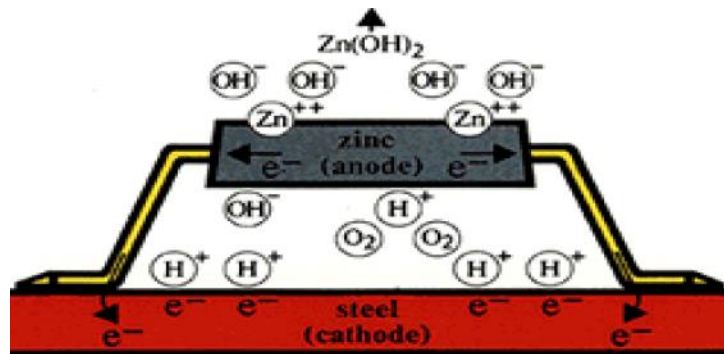
Λαμβάνοντας υπόψη τις πληροφορίες που παραχωρήθηκαν μετά από συνέντευξη με αντιπρόσωπο μεγάλης εταιρείας βαφών, έγινε σαφές ότι είναι αρκετά πολύπλοκο ζήτημα η επιλογή των βαφών και ότι και οι ίδιες οι εταιρείες έχουν ειδικά προγράμματα με αρκετές παραμέτρους με τα οποία κάνουν την επιλογή. Το ίδιο ισχύει και για το στάδιο της συντήρησης που επηρεάζεται από παράγοντες όπως η θερμοκρασία της θάλασσας που ταξιδεύει το πλοίο, την διαδρομή που ακολουθεί, την ποιότητα της βαφής κτλ.

4.3.7 Καθοδική προστασία

Τα πλοία βάφονται για να προστατευθούν από την διάβρωση, αλλά πολλές φορές αυτό δεν επαρκεί και επιπλέον υπάρχουν επιφάνειες που δεν βάφονται. Για τους παραπάνω λόγους χρησιμοποιείται η καθοδική προστασία. Όταν δύο μέταλλα είναι ηλεκτρικά συνδεδεμένα μέσα σε έναν ηλεκτρολύτη, όπως είναι το θαλασσίνο νερό, φεύγουν ηλεκτρόνια από το πιο βασικό μέταλλο (κάθοδος) στο πιο ευγενές (άνοδος), λόγω της διαφοράς δυναμικού. Η άνοδος παρέχει ηλεκτρόνια στην κάθοδο και διαλύεται σταδιακά σε ιόντα, με αποτέλεσμα η κάθοδος να φορτίζεται αρνητικά και να μην διαβρώνεται, (NNWB, 2008). Για να γίνει η επιλογή του υλικού του ανοδίου θα πρέπει να είναι γνωστές οι παρακάτω πληροφορίες [11]:

- Πληροφορίες για την περιοχή που θα προστατευθεί
- Το είδος των επικαλύψεων- βαφών που θα χρησιμοποιηθούν.
- Ο χρόνος για τον οποίο θα έρχεται σε επαφή ο χάλυβας με τον ηλεκτρολύτη

- Ο χρόνος που απαιτείται το καθοδικό σύστημα προστασίας
- Η πυκνότητα ρεύματος που πρέπει να χρησιμοποιηθεί
- Η ειδική αντίσταση του ηλεκτρολύτη ώστε να γίνει σωστή επιλογή του υλικού ανοδικής προστασίας.



Σχήμα 4: Λειτουργία καθοδικής προστασίας (NNWB, 2008)

Η συνήθης πρακτική στη ναυτιλία θέλει τα ανόδια να αντικαθίστανται κάθε 5 χρόνια.

4.4 Συντήρηση: Υλικά υποσυστήματος & Προστασία υποσυστήματος

Στη φάση της συντήρησης οι διαδικασίες είναι κοινές με αυτές της κατασκευής με τις παρακάτω παραδοχές, πρώτον όσων αφορά στην ποσότητα του χάλυβα που αντικαθίστανται σε όλη τη διάρκεια ζωής του πλοίου λαμβάνεται σύμφωνα με εμπειρικό τύπο [12]. Ανάλογα με την ηλικία του πλοίου αυτή η ποσότητα διαφέρει. Δεύτερον το μήκος συγκόλλησης θεωρείται ίσο με το 10% του μήκους συγκόλλησης της κατασκευής. Τρίτον η ενέργεια που απαιτείται για την κοπή του χάλυβα είναι ίση με το 10% της ενέργειας για την κοπή στην κατασκευή. Τέταρτον για την μεταφορά των υλικών ισχύουν οι ίδιες συνθήκες απλά αλλάζουν οι ποσότητες. Πέμπτον η ψηγματοβολή θεωρείται ότι εφαρμόζεται μία ολόκληρη φορά καθ' όλη τη διάρκεια ζωής του πλοίου σε όλη την επιφάνεια. Το παραπάνω ισχύει, λαμβάνοντας υπόψη το γεγονός ότι δεν εφαρμόζεται η ψηγματοβολή σε κάθε συντήρηση σε όλη την επιφάνεια αλλά τοπικά στις περιοχές που παρατηρείται πρόβλημα. Έκτον τα primer και οι βαφές στη βρεχόμενη επιφάνεια και στην περιοχή των υπερκατασκευών και των topsides τοποθετούνται εννέα φορές ενώ στις υπόλοιπες επιφάνειες μία φορά σε όλη τη ζωή του πλοίου και έβδομον η καθοδική προστασία εφαρμόζεται τέσσερις φορές στα πλαίσια της συντήρησης του πλοίου.

4.5 Ανακύκλωση

Διάλυση ενός πλοίου είναι η αποσυναρμολόγηση του για εμπορική ή άλλη εκμετάλλευση των ανακυκλούμενων υλικών. Διεξαγόμενη σε αποβάθρα, δεξαμενή, κλίνη αποσυναρμολόγησης ή παραλία με τη βοήθεια της παλίνρροιας, περιλαμβάνει ένα ευρύ φάσμα δραστηριοτήτων από την αφαίρεση εξαρτημάτων και εξοπλισμού μέχρι το κόψιμο και την ανακύκλωση όλης της μεταλλικής κατασκευής. Αποτελεί μία διαδικασία πρόκληση λόγω της πολυπλοκότητας της κατασκευής των πλοίων αλλά και των περιβαλλοντικών παραμέτρων και των θεμάτων ανθρώπινης υγείας και ασφάλειας που προκύπτουν. Τα περισσότερα διαλυτήρια βρίσκονται στην Νότια Ασία, κυρίως στο Μπαγκλαντές, Πακιστάν και Ινδία [13].

Ο χάλυβας είναι πλήρως ανακυκλώσιμος και δεν επηρεάζονται οι ιδιότητες του από το πλήθος των ανακυκλώσεων του. Επιπλέον, η ανάκτηση είναι σχετικά εύκολη και φθηνή δεδομένων των μαγνητικών του ιδιοτήτων. Η ανακύκλωση του δίνει την πρώτη ύλη για την παραγωγή χάλυβα με τη μέθοδο του ηλεκτρικού τόξου, που είναι

νεότερη και φιλικότερη προς το περιβάλλον σχετικά με την παραγωγή χάλυβα στις υψικαμίνους.

4.6 Εκπομπές

Σε αυτή τη φάση της μελέτης υπολογίζονται οι εκπομπές (emissions) που παράγονται σε κάθε διεργασία που έχει περιγραφεί παραπάνω. Οι εκπομπές που θεωρήθηκαν σημαντικές και λήφθηκαν υπόψη είναι οι παρακάτω:

- Διοξείδιο του άνθρακα (CO_2)
- Μονοξείδιο του άνθρακα (CO)
- Μεθάνιο (CH_4)
- Οξείδιο του αζώτου (NO_x)
- Μικροσωματίδια (PM)
- Διοξείδιο του θείου (SO_2)
- Μονοξείδιο του θείου (SO)
- Πτητικές οργανικές ενώσεις (volatile organic compounds, VOC)
- Μη πτητικές οργανικές ενώσεις (non-methane volatile organic compounds, NMVOCs)

Ακολουθεί ο πίνακας που παρουσιάζει ποιές εκπομπές έχουν υπολογιστεί για κάθε διεργασία:

	Παραγωγή Χάλυβα	Συγκόλληση	Κοπή	Blasting	Μεταφορά υλικών	Βαφή	Καθοδική Προστασία
CO ₂	+	+	+	+	+	+	+
CO	+	+	+	+	+	+	+
CH ₄	+	+	+	+	+	+	+
NO _x	+	+	+	+	+	+	+
PM	+	+	+	+	+	+	+
SO ₂	+				+		+
SO	+	+	+	+	+	+	+
VOC	+				+	+	+
NMVOC	+	+	+	+	+	+	+

Πίνακας 1: Εκπομπές ανά διεργασία LCA

5. ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΑΠΟΓΡΑΦΗΣ (LIFE CYCLE INVENTORY, LCI)

Εισερχόμενα δεδομένα (inputs)

Σε αυτό το κεφάλαιο παρουσιάζονται αναλυτικά οι μέθοδοι που χρησιμοποιήθηκαν για τον υπολογισμό των εκπομπών, καθώς και οι παραδοχές και τα δεδομένα (inputs) που λήφθηκαν για κάθε διαδικασία. Στη συνέχεια παρουσιάζονται οι αλγόριθμοι με τους οποίους έγιναν οι υπολογισμοί των εκπομπών.

5.1 Παραγωγή χάλυβα

Στην παραγωγή χάλυβα το , δηλαδή το βάρος της μεταλλικής κατασκευής, υπολογίστηκε από την μέθοδο Sneekluth (Παπανικολάου, 1994), στην οποία δεν συμπεριλαμβάνεται το βάρος υπερκατασκευών που υπολογίστηκε με τη μέθοδο Muller– Koster. Οι συντελεστές των εκπομπών έχουν ληφθεί από το πρόγραμμα SimaPro, χρησιμοποιώντας τη μεθοδολογία EcoIndicator για την παραγωγή χάλυβα τύπου St13 I. Στη συνέχεια πολλαπλασιάζοντας τους παραπάνω συντελεστές με την συνολική ποσότητα χάλυβα προκύπτουν οι εκπομπές από την παραγωγή του χάλυβα.

Steel Weight : W_{st}

Emissions Factor : $EF_{i/steel}$

Process Emissions : $m_{steel\ Production} = EF_{i/steel} \times W_{st}$

5.2 Συγκόλληση χάλυβα

Το μήκος των συγκολλήσεων υπολογίζεται αναλυτικά και περιγράφεται παρακάτω.

ΔΙΑΜΗΚΗ ΕΝΙΣΧΥΤΙΚΑ

$(B/0.7) \times 3 \times L$

$(D/0.7) \times 2 \times L$

$((D-2)/0.7) \times 2 \times L$

όπου,

D: κοίλο του πλοίου

B: πλάτος του πλοίου

L: μήκος του πλοίου

Με την παραπάνω σχέση δίνεται το μήκος συγκολλήσεων για τα διαμήκη ενισχυτικά (spacing 0.7m). Γενικά το πλάτος το πολλαπλασιάζουμε με 3 γιατί αναφερόμαστε στα: deck, double bottom και bottom.

ΕΓΚΑΡΣΙΑ ΕΝΙΣΧΥΤΙΚΑ

$(L/0.7 \times [(3 \times B) + (2 \times D)])$

ΦΡΑΚΤΕΣ

$(8 \times [(3 \times B) + (2 \times D) + 2(D - 2)])$

$8 \times (B/0.7) \times D$

Υποθέτουμε 8 φρακτές και το double hull συμπεριλαμβάνεται στον τύπο . Ο δεύτερος τύπος αναφέρεται στις συγκολλήσεις των φρακτών με τα διαμήκη ενισχυτικά.

ΕΛΑΣΜΑΤΑ

$(L/6) \times [(3 \times B) + (2 \times D) + 2 \times (D - 2)]$

Επιλέξαμε ελάσματα 6×2m και ο τύπος αναφέρεται στην συγκόλληση κατά το διαμήκες.

$$(B/2) \times L \times 3$$

$$(D/2) + [(D - 2)/2] \times 2 \times L$$

Οι παραπάνω τύποι αφορούν τις συγκολλήσεις κατά το πλάτος και κατά το κοίλο αντίστοιχα.

Για τον υπολογισμό των εκπομπών της συγκόλλησης είναι απαραίτητο να βρεθεί η ενέργεια που απαιτείται ανά μέτρο συγκόλλησης, η οποία λαμβάνεται από τα δεδομένα για πλοίο bulk carrier από παλαιότερη μελέτη, ίση με 0,538 kW/m [8].

Στη συνέχεια, πολλαπλασιάζεται η παραπάνω ενέργεια με το συνολικό μήκος της συγκόλλησης και προκύπτει η ενέργεια συγκόλλησης για όλο το πλοίο. Οι συντελεστές των εκπομπών για την κατανάλωση ενέργειας λαμβάνονται από το πρόγραμμα SimaPro με τη μέθοδο EcoIndicator. Τελικά, πολλαπλασιάζονται οι παραπάνω συντελεστές με τη συνολική ενέργεια και προκύπτουν οι εκπομπές. Ακολουθεί ο σχετικός πίνακας.

<i>Hull material</i>	<i>Shipbuilding</i>	
Welding		
Welding Length	L_W	
Energy for welding per m	$E_{WEL(1m)}$	kWh /m
Energy per ship	$E_{WEL} = E_{WEL(1m)} \times L_W$	kWh
Emission factor	$EF_{i/Welding}$	gr/kWh
Emissions		
Process emissions	$m_{i/Welding(shipbuilding)} = EF_{i/Welding} \times E_{WEL}, (i = CO_2, \dots etc)$	tons

Πίνακας 2: Υπολογισμός εκπομπών από τη συγκόλληση του χάλυβα

5.3 Κοπή χάλυβα

Στη διαδικασία της κοπής θεωρείται η ενέργεια κοπής ανά τόνο DWT ίση με 3.026kW/ton και στη συνέχεια πολλαπλασιάζεται με το DWT του πλοίου που

μελετάται [8]. Οι συντελεστές των εκπομπών λαμβάνονται από το SimaPro για κατανάλωση ενέργειας, σύμφωνα με τη μέθοδο EcoIndicator 99.

Ακολουθεί ο σχετικός πίνακας.

<i>Hull material</i>	<i>Shipbuilding</i>	
Cutting		
Deadweight	DWT	
Energy/tons DWT	$E_{CUT(1ton)}$	Kwh/tons
Cutting energy per ship	$E_{CUT} = E_{CUT(1ton)} \times DWT$	Kwh
Emission factor	$EF_{i/Cutting}$	gr/Kwh
Emissions	Cutting	
Emissions for shipbuilding	$m_{i/Cutting(shipbuilding)} = EF_{i/Cutting} \times E_{CUT}, (i = CO_2, \dots etc)$	tons

Πίνακας 3: Υπολογισμός εκπομπών από την κοπή του χάλυβα

5.4 Abrasive Blasting

Η επιφάνεια που επιδέχεται ψηγματοβολή είναι το σύνολο όλων των επιφανειών που βάζονται και το υλικό που επιλέχθηκε για τη διαδικασία είναι ψήγματα άνθρακα (coalslag). Το υλικό, που απαιτείται για τη ψηγματοβολή ενός m² επιφάνειας λαμβάνεται ίσο με 17.10 kg/m² [10]. Στη συνέχεια πολλαπλασιάζεται αυτή η ποσότητα με την ολική επιφάνεια και υπολογίζεται η ποσότητα του υλικού ψηγματοβολής που απαιτείται για όλο το πλοίο. Η κατανάλωση καυσίμου diesel για την ψηγματοβολή, λαμβάνεται από στοιχεία για επιβατηγό- οχηματαγωγό [14], και είναι ίση με 0.023 kg/m². Πολλαπλασιάζοντας αυτή τη ποσότητα με την ολική επιφάνεια υπολογίζεται η συνολική ποσότητα καυσίμου που απαιτείται για τη ψηγματοβολή. Οι συντελεστές για τη κατανάλωση καυσίμου diesel λαμβάνονται από το SimaPro και πολλαπλασιάζονται με τη ποσότητα diesel δίνοντας έτσι τις εκπομπές για την κατανάλωση του καυσίμου που απαιτείται για τη ψηγματοβολή. Ο συντελεστής που αφορά τα PMs που προκύπτουν από τη προώθηση του υλικού στην επιφάνεια λαμβάνεται ίσος με 0.69 gr/ton [15]. Τέλος, πολλαπλασιάζοντας αυτό το

συντελεστή με την ολική ποσότητα του υλικού ψηγματοβολής προκύπτουν τα συνολικά PM από την διαδικασία. Ακολουθεί ο σχετικός πίνακας.

<i>Hull material</i>	<i>Shipbuilding</i>	
Abrasive blasting		
Hull surface for blasting	$A_{Blasting}$	m ²
Diesel consumption per m ²	$C_{Diesel,Blasting(1m^2)}$	kg/m ²
Diesel consumption for whole surface	$C_{Diesel,Blasting} = C_{Diesel,Blasting(1m^2)} \times A_{Blasting}$	Kg
Material consumption per m ²	$C_{Material,Blasting(1m^2)}$	kg/m ²
Material consumption	$C_{Material,Blasting} = C_{Material,Blasting(1m^2)} \times A_{Blasting}$	Tons
Emission factor for diesel consumption	$EF_{i/Blasting}$	gr/kg
Emission factor for material consumption	$EF_{PMs/Blasting}$	kg/tons
Emissions	Blasting	
Energy use emissions	$m_{i/Blasting(shipbuilding)} = EF_{i/Blasting} \times C_{Diesel,Blasting}$ $(i = CO_2, \dots etc)^*$	tons
Material use emissions	$m_{PMs/Blasting(shipbuilding)} = EF_{PMs/Blasting} \times C_{Material,Bla}$	kg

*εκτός από PMs

Πίνακας 4: Υπολογισμός εκπομπών από abrasive blasting

5.5 Μεταφορά υλικών

Έχοντας υπολογίσει τη συνολική ποσότητα χάλυβα, υλικού ψηγματοβολής και βαφών επιλέγεται ένα σενάριο για το καθένα από αυτά και υπολογίζονται οι εκπομπές για την μεταφορά τους στο ναυπηγείο. Ο χάλυβας μεταφέρεται με bulk-carrier και για απόσταση 500 km. Το υλικό ψηγματοβολής και οι βαφές μεταφέρονται με containership και για απόσταση 200km. Οι συντελεστές για τις εκπομπές από μεταφορά με πλοίο λαμβάνονται από το SimaPro, με τη μέθοδο EcoIndicator, και στη συνέχεια πολλαπλασιάζονται με την απόσταση και τη συνολική ποσότητα των υλικών δίνοντας έτσι τις εκπομπές από τις μεταφορές.

Ακολουθεί ο σχετικός πίνακας.

<i>Hull material Shipbuilding</i>		
Transportation		
Material quantity	Q	tons
Distance	D	km
Emission factor	$EF_{i/Transportation}$	gr/tons*km
Emissions	Transportation	
Emissionsfor shipbuilding	$m_{i/Transportation(shipbuilding)} = EF_{i/Transportation} \times Q \times D,$ $i = CO_2, \dots etc)$	(kg

Πίνακας 5: Υπολογισμός εκπομπών από τη μεταφορά υλικών

5.6 Καθοδική Προστασία

Η καθοδική προστασία εφαρμόζεται σε επιφάνειες που έρχονται σε επαφή με υγρά, δηλαδή τη βρεχόμενη επιφάνεια και τις δεξαμενές έρματος. Ο χρόνος ζωής του ανοδίου είναι 5 χρόνια*8766 ώρες και στην περίπτωση των δεξαμενών έρματος χρησιμοποιείται ένα ποσοστό 50% εφόσον οι δεξαμενές δεν είναι συνεχώς γεμάτες. Οι ποσότητες των ανοδίων που απαιτούνται για την προστασία της επιφάνειας δίνονται από το παρακάτω τύπο:

$$M = \frac{(A \div \epsilon \times i_c) / 1000 \times t}{\epsilon \times u} \times a_m$$

Όπου:

M: η ποσότητα των ανοδίων σε kg

A: η επιφάνεια που μελετάται για την τοποθέτηση των ανοδίων σε m²

i_c: απαιτούμενη πυκνότητα ρεύματος σε mA/m²

t: χρόνος μέσα στο νερό σε ώρες

ε: ηλεκτρική ικανότητα ανοδίου στο θαλασσινό νερό σε Ah/kg

u: συντελεστής χρήσης, για υπολογισμό εκπομπών λαμβάνεται ίσος με 1

a_m: ποσοστό υλικού ανόδου που χρησιμοποιείται (ψευδαργύρου ή αλουμινίου) σε σχέση με το σύνολο των ανοδίων.

Με «ε» συμβολίζεται η ηλεκτρική ικανότητα του ανοδίου στο θαλασσινό νερό και έχει μονάδες Ah/kg και λαμβάνεται ίσο με 780×1000 Ah/kg εφόσον οι υπόλοιπες μονάδες είναι σε mA. Η απαιτούμενη πυκνότητα ρεύματος για την εξωτερική επιφάνεια είναι 15 mA/m², ενώ για τις δεξαμενές έρματος είναι 5 mA/m² εφόσον είναι βαμμένες οι επιφάνειες. Ο χρόνος ζωής του ανοδίου είναι 5 χρόνια*8766 ώρες και στην περίπτωση των δεξαμενών έρματος χρησιμοποιείται ένα ποσοστό 50% εφόσον οι δεξαμενές δεν είναι συνεχώς γεμάτες [10]. Ο συντελεστής χρήσης u, για υπολογισμό Ανάλυση κύκλου ζωής της γάστρας του πλοίου εκπομπών λαμβάνεται ίσος με 1. Ο τύπος τελικά δίνει την ποσότητα των απαιτούμενων ανοδίων σε kg. Στη συνέχεια οι συντελεστές των εκπομπών λαμβάνονται από το SimaPro, με τη μέθοδο EcoIndicator, για τη διαδικασία της παραγωγής ψευδαργύρου (zinc) και

πολλαπλασιαζόμενοι με την ολική ποσότητα ανοδίων δίνουν τις εκπομπές από την παραγωγή του ψευδαργύρου που απαιτείται. Ακολουθεί ο σχετικός πίνακας.

<i>Hullprotection</i>	<i>Shipbuilding</i>	
Zincanodes		
Wetted surface	A_{WETTED}	m ²
Ballast tank surface	$A_{BALLAST}$	m ²
Required electrical current density	i_c	mA/m ²
Time spent in water	T	h
Electrical capacity of anode in seawater	E	Ah/kg
Utilisation factor	U	
Zinc anodes quantity for wetted surface	$Q_{Wetted} = \frac{(A_{Wetted} \times i_c) / 1000 \times t}{E \times U}$	kg
Zinc anodes quantity for ballast tanks	$Q_{Ballast} = \frac{(A_{Ballast} \times i_c) / 1000 \times 50\% \times t}{E \times U}$	kg
Emission factor	$EF_{i/Zinc.Anodes}$	gr/tons*km
Emissions	Zinc anodes	
Emissions for shipbuilding	$m_{i/Zinc.Anodes(shipbuilding)} = EF_{i/Zinc.Anodes} \times Q,$ $(i = CO_2, \dots etc)$	kg

Πίνακας 6: Υπολογισμός εκπομπών από καθοδική προστασία

5.7 Primers, antifouling και βαφές

Ο τρόπος που υπολογίζονται οι επιφάνειες έχουν περιγραφεί παραπάνω. Με TC συμβολίζεται η θεωρητική κάλυψη των επικαλυπτικών, η οποία λαμβάνεται από τα datasheets από site γνωστής εταιρίας paintings και είναι διαφορετική ανάλογα με την επιφάνεια που βάφεται. Στη συνέχεια πολλαπλασιάζοντας το TC με τις στρώσεις υλικού που απαιτούνται και την επιφάνεια προκύπτει η ολική ποσότητα υλικού που απαιτείται σε lt. Ο συντελεστής των VOC της βαφής λαμβάνεται από τα παραπάνω datasheets και πολλαπλασιαζόμενος με την ποσότητα υλικού που χρησιμοποιείται δίνει τα VOC που παράγονται από την διαδικασία. Η ενέργεια που καταναλώνεται για την βαφή ενός m² λαμβάνεται ίση με 1,67 kW/m², σύμφωνα με την ονομαστική ισχύ ενός spray βαφής (20 kWh) και με την παραδοχή ότι βάφεται 1 m² ανά 5 λεπτά

και πολλαπλασιάζεται με την ολική επιφάνεια και τις στρώσεις, δίνοντας έτσι την ολική ενέργεια. Οι συντελεστές των εκπομπών για την κατανάλωση ενέργειας λαμβάνονται από το SimaPro και πολλαπλασιασμένη με την ολική ενέργεια δίνουν τις εκπομπές από την διαδικασία της βαφής. Ακολουθεί ο σχετικός πίνακας:

<i>Hull protection</i>	<i>Shipbuilding</i>	
Paintings	(primer, antifouling & external painting)	
Surface	A	m^2
Theoretical coverage	TC	m^2/lt
Material quantity	$Q = n \times TC \times A$	lt
Layers	N	
Energy per m^2	$E_{PAINT(1m^2)}$	kWh/ m^2
Energy per surface	$E_A = n \times E_{PAINTS(1m^2)} \times A$	kWh
Emission factor for energy consumption	EF_i	gr/kWh
Emission factor for painting application	EF_{VOC}	gr/lt
Emissions		
Energy use emissions	$m_{i/Painting(Energy)} = EF_i \times E_A, (i = CO_2, \dots etc)$)*	tons
Application emissions	$m_{VOC/Painting(Application)} = EF_{VOC} \times Q$	tons

*εκτός από VOC

Πίνακας 7: Υπολογισμός εκπομπών από βαφή

5.8 Ανακύκλωση χάλυβα

Αρχικά από τον παρακάτω πίνακα βρέθηκαν τα ποσοστά του χάλυβα που ανακυκλώνονται και επαναχρησιμοποιούνται και τα αντίστοιχα που απορρίπτονται:

Material Recovered	General Cargo	Bulk Carriers	Oil Tankers
Re-Rollable Ferrous Sheets	56-70%	61-75%	72-81%
Meltable Ferrous Scrap	10%	8 - 10%	5 - 7%
Cast Iron Scrap	1,5 - 5%	1,5 - 2,5%	1,5 - 3%
Non-ferrous Metals	0,5 - 1%	0,50%	0,5 - 2%
Weight Loss	9 - 15%	10 - 16%	10 - 12%
Machinery	4 - 8%	1 - 6%	0,5 - 2%

Πίνακας 8: Ανακυκλώσιμος χάλυβας σύμφωνα με τον τύπο πλοίου [16]

Στην συνέχεια εφαρμόστηκαν αυτά τα ποσοστά στο υπό μελέτη πλοίο. Βρέθηκαν τα ποσοστά των εκπομπών για χάλυβα που προκύπτει από την αποσυναρμολόγηση του πλοίου σε κάποιο ναυπηγείο διάλυσης πλοίων στην Ινδία, σχετικά με τις εκπομπές για κατασκευή νέου χάλυβα (Tilwankar, 2012). Ακολουθεί ο σχετικός πίνακας:

Sector	Emissions of CO2	Emissions of CH4	Emissions of N2O	Emissions of CFCs
	(tons)	(tons)	(tons)	(tons)
Ship Breaking	1,762	0.196	0.018	0.07
Manufacturing from scrap	5,18	0.37	0.024	0.113
Percentage	34%	53%	75%	62%

Πίνακας 9: Ποσοστιαία διαφορά παραγωγής χάλυβα από ανακύκλωση και από εξόρυξη

Στην πρώτη γραμμή του πίνακα δίνονται οι εκπομπές για την παραγωγή χάλυβα που προέρχεται από ανακυκλώσιμο υλικό. Στη δεύτερη γραμμή δίνονται οι εκπομπές που παράγονται από την κατασκευή χάλυβα από την αρχή. Στην τρίτη γραμμή φαίνεται η ποσοστιαία διαφορά των δύο παραπάνω. Οπότε προσθέτοντας αυτή τη διαφορά στις εκπομπές της παραγωγής χάλυβα που έχουν αναφερθεί παραπάνω προκύπτουν οι εκπομπές για τη χρήση χάλυβα μετά από ανακύκλωση. Επιπλέον, οι εκπομπές για τις οποίες δεν υπάρχουν στοιχεία παραμένουν σταθερές. Reroll scrap θεωρείται ο χάλυβας ο οποίος ανακυκλώνεται και γίνεται ρολό έτοιμο για επαναχρησιμοποίηση,

melting scrap είναι ο χάλυβας που πρώτα θα τηχθεί και cast iron είναι ο χυτοσίδηρος. Steel recovered είναι η συνολική ποσότητα του χάλυβα που ανακυκλώνεται. Οι συντελεστές για τις εκπομπές, όπως έχει αναφερθεί παραπάνω προκύπτουν από διαλυτήριο στην Ινδία [16] για τα CO₂, CH₄ και NO_x ενώ οι υπόλοιποι θεωρούνται κοινοί με αυτούς της παραγωγής χάλυβα από εξόρυξη. Τέλος, πολλαπλασιάζοντας τους παραπάνω συντελεστές με την ολική ποσότητα ανακυκλωμένου χάλυβα προκύπτουν οι εκπομπές της διαδικασίας. Ακολουθεί ο σχετικός πίνακας:

<i>Hullmaterial</i>	<i>Dismantling</i>	
Recycling		
Lightship	LS	tons
Weight lost	W_{LOST}	tons
Reroll scrap	$W_{RerollScrap}$	tons
Melting scrap	$W_{MeltingScrap}$	tons
Cast iron	$W_{CastIron}$	tons
Steel recovered	$W_{Steel\ Recovered} = W_{RerollScrap} + W_{MeltingScrap} + W_{CastIron}$	tons
Emission factor for recycling	$EF_{i/Recycling}$	gr/kg
Emissions	Recycling	
Energy use emissions	$m_{i/Recycling} = EF_{i/Recycling} \times W_{Steel\ Recovered}$ $(i = CO_2, \dots etc)^*$	tons

Πίνακας 10: Υπολογισμός εκπομπών από την ανακύκλωση χάλυβα

6. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

6.1 Εκπομπές από τη φάση κατασκευής

6.1.1 Παραγωγή χάλυβα

Παρακάτω παρατίθενται οι εκπομπές που έχουν επιλεγεί να υπολογιστούν, οι συντελεστές που έχουν προκύψει σε μονάδες gr/kg και οι συνολικές εκπομπές που προκύπτουν από την παραγωγή χάλυβα. Αισθητά μεγαλύτερη είναι η εκπομπή CO₂ που αγγίζει 13.17*10³ tons και οι αμέσως μεγαλύτερες είναι οι εκπομπές 420 tons που ανήκουν στο CO.

EF for steel production	Factor	Unit
CO ₂	996,00	gr/kg
CO	31,83	gr/kg
CH ₄	163,17	mg/kg
NO _x	5,84	gr/kg
PM (all)	928,96	mg/kg
SO ₂	5,27	gr/kg
Sox	313,72	mg/kg
VOC	12,57	mg/kg
NMVOC	10,84	mg/kg

Πίνακας 11: Συντελεστές εκπομπών για την παραγωγή χάλυβα

Emissions from steel production		Unit
CO ₂	13689098	Kg
CO	421985	Kg
CH ₄	2165	Kg
NO _x	78542	Kg
PM (all)	12987	Kg
SO ₂	70765	Kg
SO _x	4289	Kg
VOC	169	Kg
NMVOC	143,41	Kg

Πίνακας 12: Εκπομπές από την παραγωγή του χάλυβα

6.1.2 Συγκόλληση χάλυβα

Παρακάτω παρατίθενται οι συντελεστές που χρησιμοποιήθηκαν και οι εκπομπές που παρήχθησαν από τη συγκόλληση του χάλυβα. Οι μονάδες των συντελεστών είναι σε gr/kWh γιατί αναφέρονται σε κατανάλωση ενέργειας. Όπως και στην προηγούμενη διεργασία, έτσι κι εδώ, παρατηρείται πως οι σημαντικότερες εκπομπές είναι αυτές του CO₂ της τάξεως των 39*10³ kg και ακολουθούν αυτές του SO_x με 270 kg με διαφορά τριών τάξεων μεγέθους.

EF for welding (electricity use)	Factor	Unit
CO ₂	319,16	Kg
CO	303,68	Kg
CH ₄	20,85	Kg
NO _x	129,99	Kg
PM (all)	213,84	Kg
SO _x	2.17	Kg
NMVOC	102.13	Kg

Πίνακας 13: Συντελεστές εκπομπών από τη συγκόλληση

Emissions from steel welding		Unit
CO ₂	39582	Kg
CO	37,3	Kg
CH ₄	2,8	Kg
NO _x	16,95	Kg
PM (all)	25,94	Kg
SO _x	269,98	Kg
NMVOC	13,87	Kg

Πίνακας 14: Εκπομπές από τη συγκόλληση του χάλυβα

6.1.3 Κοπή χάλυβα

Για την κοπή του χάλυβα παρατηρείται ότι οι συντελεστές των εκπομπών είναι κοινοί με αυτούς της συγκόλλησης και αυτό γιατί αναφέρονται στην κατανάλωση ενέργειας και είναι μία παραδοχή που επιλέχθηκε λόγω έλλειψης στοιχείων.

EF for cutting (electricity use)	Factor	Unit
CO ₂	319,16	gr/kwh
CO	303,68	mg/kwh
CH ₄	20,82	mg/kwh
NO _x	128,89	mg/kwh
PM (all)	212,74	mg/kwh
SO _x	2,23	gr/kwh
NM _{VOC}	101,97	mg/kwh

Πίνακας 15: Συντελεστές εκπομπών για την κοπή του χάλυβα

Emissions from steel cutting		Unit
CO ₂	72567	Kg
CO	69,87	Kg
CH ₄	5,43	Kg
NO _x	30,24	Kg
PM (all)	49,12	Kg
SO _x	502,56	Kg
NM _{VOC}	23,45	Kg

Πίνακας 16: Εκπομπές από την κοπή του χάλυβα

6.1.4 Ψηγματοβολή (abrasive blasting)

Στην διαδικασία της ψηγματοβολής δεν έχουμε παραγωγή SO₂ και VOC και οι μονάδες των εκπομπών είναι gr/kg. Οι εκπομπές που παράγονται είναι αρκετά λιγότερες από τις προηγούμενες διαδικασίες. Οι εκπομπές που είναι σημαντικά περισσότερες από τις άλλες διεργασίες, όπως είναι αναμενόμενο είναι τα PM, τα μικροσωματίδια που εκτοξεύονται κατά την εφαρμογή της ψηγματοβολής και το CO₂ που σε όλες τις διεργασίες κατέχει την πρώτη θέση.

EF for blasting (electricity use)	Factor	Unit
CO ₂	503,00	gr/kg
CO	867,00	mg/kg
CH ₄	4,42	gr/kg
NO _x	2,64	gr/kg
PM (all)	0,69	kg/ton
SO _x	2,76	gr/kg
NM VOC	8,33	gr/kg

Πίνακας 17: Συντελεστές εκπομπών για την ψηγματοβολή του χάλυβα

Emissions from steel blasting		
CO ₂	987,65	Kg
CO	2,21	Kg
CH ₄	8,45	Kg
NO _x	5,32	Kg
PM (all)	987,62	Kg
SO _x	5,98	Kg
NM VOC	17,91	Kg

Πίνακας 18: Εκπομπές για τη ψηγματοβολή του χάλυβα

6.1.5 Μεταφορά υλικών

Από τη μεταφορά του χάλυβα με πλοίο bulk carrier προκύπτουν οι παρακάτω εκπομπές και παρατηρούμε ότι οι εκπομπές CO₂, NO_x και SO₂ είναι οι περισσότερες. Οπότε παρατηρείται ότι ,με εξαίρεση την παραγωγή του χάλυβα, σε αυτή την διαδικασία παράγονται αισθητά περισσότερες εκπομπές NO_x και SO₂, που σε κάποιες προηγούμενες κατηγορίες δεν παράγονταν καθόλου. Ενδεικτικά παρατίθενται οι πίνακες των συντελεστών και οι εκπομπές από την μεταφορά των paintings, γνωρίζοντας ότι είναι κοινοί με τους συντελεστές της μεταφοράς του υλικού ψηγματοβολής.

EF for raw materials transport		
CO ₂	25,286	gr
CO	70,735	mg
CH ₄	1,948	mg
NO _x	459,620	mg
PM (all)	1,854	mg
SO ₂	371,539	mg
SO _x	1,805	mg
VOC	1,294	mg
NMVOC	129,446	μg

Πίνακας 19: Συντελεστές εκπομπών για τη μεταφορά του χάλυβα

Emissions from materials transport		
CO ₂	169376	kg
CO	469,86	kg
CH ₄	13,46	kg
NO _x	3156	kg
PM (all)	12,87	kg
SO ₂	2654	kg
SO _x	12,34	kg
VOC	9,76	kg
NMVOC	1,34	kg

Πίνακας 20: Εκπομπές από τη μεταφορά του χάλυβα

6.2 Εκπομπες κατα τη φαση της προστασίας της μεταλλικής κατασκευής

6.2.1 Εναπόθεση primer

Παρακάτω ακολουθούν οι ρύποι από την εναπόθεση του primer και παρατηρείται ότι τα VOC έχουν διαφορετική μονάδα από τις άλλες εκπομπές και αυτό γιατί οι υπόλοιπες εκπομπές αφορούν την κατανάλωση ενέργειας ενώ ο συντελεστής των VOC αφορά την κατανάλωση primer. Το ίδιο ισχύει και για την εναπόθεση antifouling και painting. Επιπλέον είναι σημαντικό να τονιστεί ότι παρακάτω παρατίθενται μόνο οι συντελεστές και οι εκπομπές της βρεχόμενης επιφάνειας ενδεικτικά και ότι αυτή η διαδικασία επαναλήφθηκε για όλες τις επιφάνειες και με

διαφορετικούς συντελεστές για τα VOC εφόσον ήταν διαφορετικά τα primer, τα antifouling και οι βαφές της κάθε επιφάνειας. Πάλι βέβαια παρατηρείται ότι η παραγωγή CO₂ είναι κατά πολύ μεγαλύτερη των υπολοίπων.

EF for primers & electricity use		
CO ₂	319,16	gr/kwh
CO	303,68	mg/kwh
CH ₄	20,82	mg/kwh
NO _x	128,89	mg/kwh
PM (all)	212,74	mg/kwh
SO _x	2,23	gr/kwh
VOC	386	gr/lt
NMVOC	101,97	mg/kwh

Πίνακας 21: Συντελεστές εκπομπών για την εναπόθεση primers

Emissions from primers		
CO ₂	15234	Kg
CO	15,32	Kg
CH ₄	1,23	Kg
NO _x	6,37	Kg
PM (all)	5,4	Kg
SO _x	108,03	Kg
VOC	2345	Kg
NMVOC	4,987	Kg

Πίνακας 22: Εκπομπές από την εναπόθεση primers

6.2.2 Εναπόθεση antifouling

Ακολουθεί ο πίνακας στον οποίο παρουσιάζονται οι συντελεστές και οι εκπομπές από την εναπόθεση του antifouling στη βρεχόμενη επιφάνεια.

EF for primers & electricity use		
CO ₂	319,16	gr/kwh
CO	303,68	mg/kwh
CH ₄	20,82	mg/kwh
NO _x	128,89	mg/kwh
PM (all)	212,74	mg/kwh
SO _x	2,23	gr/kwh
VOC	363	gr/lt
NMVOC	101,97	mg/kwh

Πίνακας 23: Συντελεστές εκπομπών για την εναπόθεση antifouling

Emissions from antifouling		
CO ₂	7543	Kg
CO	7,287	Kg
CH ₄	0,78	Kg
NO _x	3,321	Kg
PM (all)	5,123	Kg
SO _x	53,457	Kg
VOC	869,98	Kg
NMVOC	2,678	Kg

Πίνακας 24: Εκπομπές από την εναπόθεση antifouling

6.2.3 Εναπόθεση paintings

Παρακάτω ακολουθεί ο πίνακας με τους συντελεστές για την εναπόθεση του τελικού στρώματος της βαφής και στη συνέχεια ο πίνακας με τις εκπομπές που προκύπτουν από την εναπόθεση του τελικού στρώματος βαφής στη βρεχόμενη επιφάνεια.

EF for primers & electricity use		
CO ₂	319,16	gr/kwh
CO	303,68	mg/kwh
CH ₄	20,82	mg/kwh
NO _x	128,89	mg/kwh
PM (all)	212,74	mg/kwh
SO _x	2,23	gr/kwh
VOC	363	gr/lt
NMVOC	101,97	mg/kwh

Πίνακας 25: Συντελεστές εκπομπών από την εναπόθεση painting

Emissions from paintings		
CO ₂	14987	Kg
CO	14,674	Kg
CH ₄	1,23	Kg
NO _x	6,47	Kg
PM (all)	5,43	Kg
SO _x	106,78	Kg
VOC	1598	Kg
NMVOC	4,65	Kg

Πίνακας 26: Εκπομπές από την εναπόθεση painting

6.2.4 Καθοδική προστασία

Στην καθοδική προστασία οι εκπομπές στην ουσία προκύπτουν από την παραγωγή του ψευδαργύρου που απαιτείται για την προστασία του πλοίου και επομένως οι συντελεστές, που παρουσιάζονται παρακάτω πολλαπλασιάζονται με την ποσότητα του ψευδαργύρου.

EF for Zinc production		
CO ₂	419,86	gr/kg
CO	11,42	gr/kg
CH ₄	9,22	gr/kg
NO _x	11,55	gr/kg
PM (all)	6,65	gr/kg
SO ₂	39,48	gr/kg
SO _x	1,60	gr/kg
VOC	112	mg/kg
NMVOC	629,48	mg/kg

Πίνακας 27: Συντελεστές εκπομπών για την καθοδική προστασία

Emissions from anode's production (wetted surface & ballast tanks)					
CO ₂	5234	Kg	CO ₂	1546	Kg
CO	136,88	Kg	CO	45,32	Kg
CH ₄	110,22	Kg	CH ₄	33,87	Kg
NO _x	137,28	Kg	NO _x	43,90	Kg
PM (all)	79,87	Kg	PM (all)	24,65	Kg
SO ₂	466,13	Kg	SO ₂	148,98	Kg
SO _x	18,89	Kg	SO _x	5,321	Kg
VOC	1,789	Kg	VOC	1,2	Kg
NMVOC	7,89	Kg	NMVOC	3,56	Kg

Πίνακας 28: Εκπομπές από την καθοδική προστασία ανά επιφάνεια

6.3 Εκπομπές στη φάση της συντήρησης ανά διεργασία

Στη φάση της συντήρησης οι διεργασίες παραμένουν οι ίδιες, καθώς και οι συντελεστές. Οι εκπομπές που παράγονται είναι διαφορετικές εφόσον κάποιες διεργασίες επαναλαμβάνονται κατά τη διάρκεια ζωής του πλοίου.

Όσον αφορά τη μεταφορά δεν αλλάζει τίποτα εκτός από τις ποσότητες των υλικών που μεταφέρονται. Μεγάλη αύξηση στις εκπομπές παρατηρείται στη διαδικασία του painting και είναι κατανοητό γιατί όπως έχει αναφερθεί παραπάνω αποτελεί μία επαναλαμβανόμενη διεργασία σε όλη τη διάρκεια ζωής του πλοίου.

Ακολουθούν όλοι οι σχετικοί πίνακες με τις εκπομπές που παράγονται στη φάση της συντήρησης:

6.3.1 Παραγωγή χάλυβα

Παρακάτω ακολουθεί ο πίνακας με τις εκπομπές που παράγονται από την κατασκευή της συνολικής ποσότητας χάλυβα που απαιτείται για την αντικατάσταση του αρχικού χάλυβα κατά τη φάση της συντήρησης.

Emissions from steel production		
CO ₂	1879433	Kg
CO	58765	Kg
CH ₄	294,25	Kg
NO _x	11233	Kg
PM (all)	1754	Kg
SO ₂	9876	Kg
SO _x	568	Kg
VOC	23,98	Kg
NM VOC	20,54	Kg

Πίνακας 29: Εκπομπές από την παραγωγή χάλυβα στη φάση της συντήρησης

6.3.2 Συγκόλληση χάλυβα

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται οι εκπομπές από την συγκόλληση στη φάση της συντήρησης.

Emissions from steel welding		
CO ₂	7754	Kg
CO	8,22	Kg
CH ₄	0,89	Kg
NO _x	3,15	Kg
PM (all)	5,55	Kg
SO _x	53,87	Kg
NM VOC	2,87	Kg

Πίνακας 30: Εκπομπές από τη συγκόλληση του χάλυβα στη φάση της συντήρησης

6.3.3 Κοπή χάλυβα

Ο παρακάτω πίνακας παρουσιάζει τις εκπομπές που παράγονται από την κοπή του χάλυβα στη φάση της συντήρησης.

Emissions from steel cutting		
CO ₂	7278,35	Kg
CO	6,98	Kg
CH ₄	0,96	Kg
NO _x	3,25	Kg
PM (all)	5,76	Kg
SO _x	54,78	Kg
NM VOC	3,56	Kg

Πίνακας 31: Εκπομπές από την κοπή του χάλυβα στη φάση της συντήρησης

6.3.4 Ψηγματοβολή (abrasive blasting)

Στον επόμενο πίνακα παρουσιάζονται οι εκπομπές από τη διαδικασία της ψηγματοβολής στη φάση της συντήρησης. Οι εκπομπές συμπίπτουν με αυτές στη φάση της κατασκευής εφόσον έχει θεωρηθεί ότι η ψηγματοβολή συντελείται μία ολοκληρωμένη φορά καθ' όλη τη διάρκεια ζωής του πλοίου.

Emissions from steel blasting		
CO ₂	955,32	Kg
CO	1,98	Kg
CH ₄	8,57	Kg
NO _x	5,33	Kg
PM (all)	987,22	Kg
SO _x	5,77	Kg
NM VOC	16,43	Kg

Πίνακας 32: Εκπομπές από τη ψηγματοβολή στη φάση της συντήρησης

6.3.5 Μεταφορά χάλυβα και paintings

Ακολουθεί ο πίνακας που παρουσιάζονται οι εκπομπές από τη μεταφορά των πρώτων υλών που απαιτούνται στη φάση της συντήρησης. Στον πρώτο πίνακα παρουσιάζονται οι εκπομπές από τη μεταφορά του χάλυβα και στο δεύτερο οι εκπομπές από τη μεταφορά των paintings:

Emissions from raw materials transport		
CO ₂	23770,32	kg
CO	64,78	kg
CH ₄	2,13	kg
NO _x	415168,78	kg
PM (all)	2,11	kg
SO ₂	334567,91	kg
SO _x	1,98	kg
VOC	1,53	kg
NMVOC	0,67	kg

Πίνακας 33: Εκπομπές από τη μεταφορά του χάλυβα στη φάση της συντήρησης

Emissions from raw materials transport		
CO ₂	556491,67	kg
CO	16987,38	kg
CH ₄	489,90	kg
NO _x	110290,87	kg
PM (all)	589,78	kg
SO ₂	84548,30	kg
SO _x	198,12	kg
VOC	298,10	kg
NMVOC	32,19	kg

Πίνακας 34: Εκπομπές από τη μεταφορά των paintings στη φάση της συντήρησης

6.3.6 Εναπόθεση primer

Ο παρακάτω πίνακας αφορά τις εκπομπές από την εναπόθεση του primer στη βρεχόμενη επιφάνεια κατά τη φάση της συντήρησης.

Emissions from primers		
CO ₂	68345,34	Kg
CO	67,04	Kg
CH ₄	4,50	Kg
NO _x	29,23	Kg
PM (all)	48,88	Kg
SO _x	478,98	Kg
VOC	11157,34	Kg
NMVOC	22,509	Kg

Πίνακας 35: Εκπομπές από την εναπόθεση primer στη φάση της συντήρησης

6.3.7 Εναπόθεση antifouling

Ο παρακάτω πίνακας αφορά τις εκπομπές από την εναπόθεση του antifouling στη βρεχόμενη επιφάνεια κατά τη φάση της συντήρησης:

Emissions from antifouling		
CO ₂	68322,56	Kg
CO	65,09	Kg
CH ₄	4,56	Kg
NO _x	27,88	Kg
PM (all)	45,77	Kg
SO _x	471,34	Kg
VOC	7891,67	Kg
NMVOC	22,46	Kg

Πίνακας 36: Εκπομπές από την εναπόθεση antifouling στη φάση της συντήρησης

6.3.8 Εναπόθεση βαφών (paintings)

Ο παρακάτω πίνακας αφορά τις εκπομπές από την εναπόθεση του τελικού στρώματος βαφής στη βρεχόμενη επιφάνεια κατά τη φάση της συντήρησης:

Emissions from paintings		
CO ₂	68322,11	Kg
CO	65,08	Kg
CH ₄	4,46	Kg
NO _x	28,12	Kg
PM (all)	45,98	Kg
SO _x	471,90	Kg
VOC	13467,87	Kg
NMVOC	22,56	Kg

Πίνακας 37: Εκπομπές από την εναπόθεση των paintings στη φάση της συντήρησης

6.3.9 Καθοδική προστασία

Τελευταία διαδικασία, που παρουσιάζεται, στη φάση της συντήρησης είναι η καθοδική προστασία της βρεχόμενης επιφάνειας και των δεξαμενών έρματος και παρακάτω φαίνονται οι εκπομπές που παράγονται από αυτή τη διαδικασία:

Emissions from anode's production (wetted surface & ballast tanks)					
CO ₂	20923,10	Kg	CO ₂	6087,12	Kg
CO	540,97	Kg	CO	166,98	Kg
CH ₄	437,12	Kg	CH ₄	133,45	Kg
NO _x	556,36	Kg	NO _x	167,89	Kg
PM (all)	367,94	Kg	PM (all)	96,45	Kg
SO ₂	1976,22	Kg	SO ₂	569,76	Kg
SO _x	78,89	Kg	SO _x	25,32	Kg
VOC	5,789	Kg	VOC	1,95	Kg
NMVOC	30,89	Kg	NMVOC	9,87	Kg

Πίνακας 38: Εκπομπές από την καθοδική προστασία του χάλυβα ανά επιφάνεια στη φάση της συντήρησης

6.4 Εκπομπές στη φάση της διάλυσης/ανακύκλωσης του πλοίου

Στην ανακύκλωση του χάλυβα, όπως φαίνεται και στον παρακάτω πίνακα, συντελεστές για τη διαδικασία της ανακύκλωσης βρέθηκαν μόνο για το CO₂, CH₄ και NO_x. Η περιβαλλοντική επίπτωση της ανακύκλωσης προκύπτει κατ' επέκταση σημαντικά μικρότερη.

Emission Factors: steel recycling		
CO ₂	339,64	Gr/kg
CO	32,83	Gr/kg
CH ₄	87,67	Gr/kg
NO _x	5,38	Gr/kg
PM (all)	938,97	Gr/kg
SO ₂	6,27	Gr/kg
SO _x	323,45	Gr/kg
VOC	13,56	kg Gr/kg
NMVOC	11,84	Gr/kg

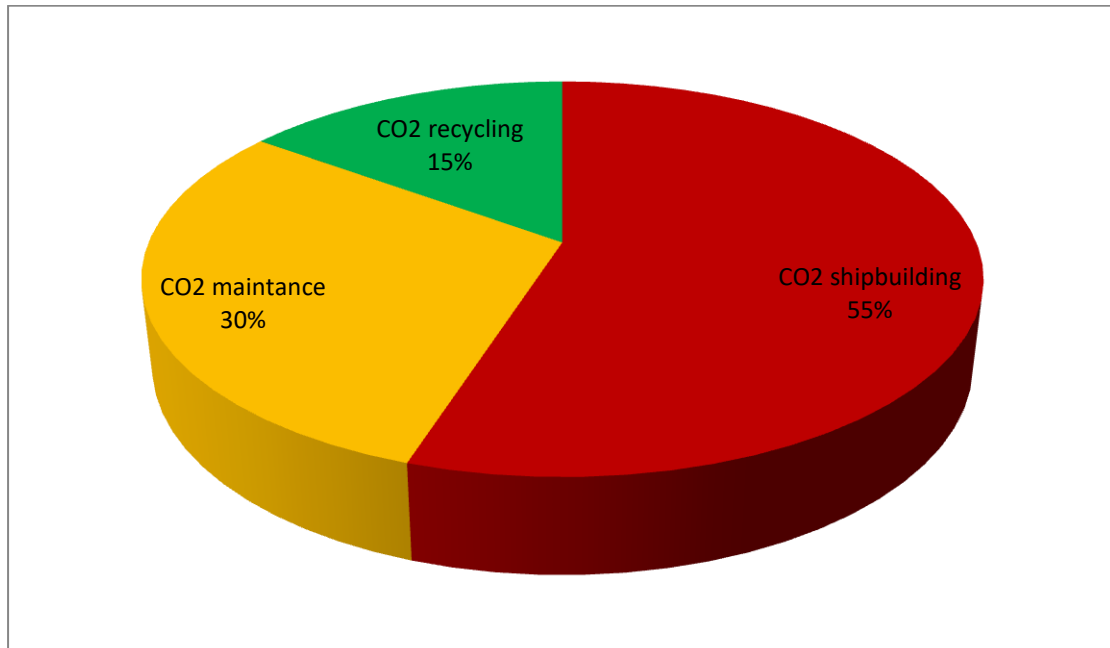
Πίνακας 39: Συντελεστές εκπομπών για την ανακύκλωση του χάλυβα

Emission for recycling		
CO ₂	4132,54	tons
CO	379,23	tons
CH ₄	2,03	tons
NO _x	53,16	tons
PM (all)	12,06	tons
SO ₂	63,76	tons
SO _x	4,74	tons
VOC	1,15	tons
NMVOC	1,13	tons

Πίνακας 40: Εκπομπές από την ανακύκλωση του χάλυβα

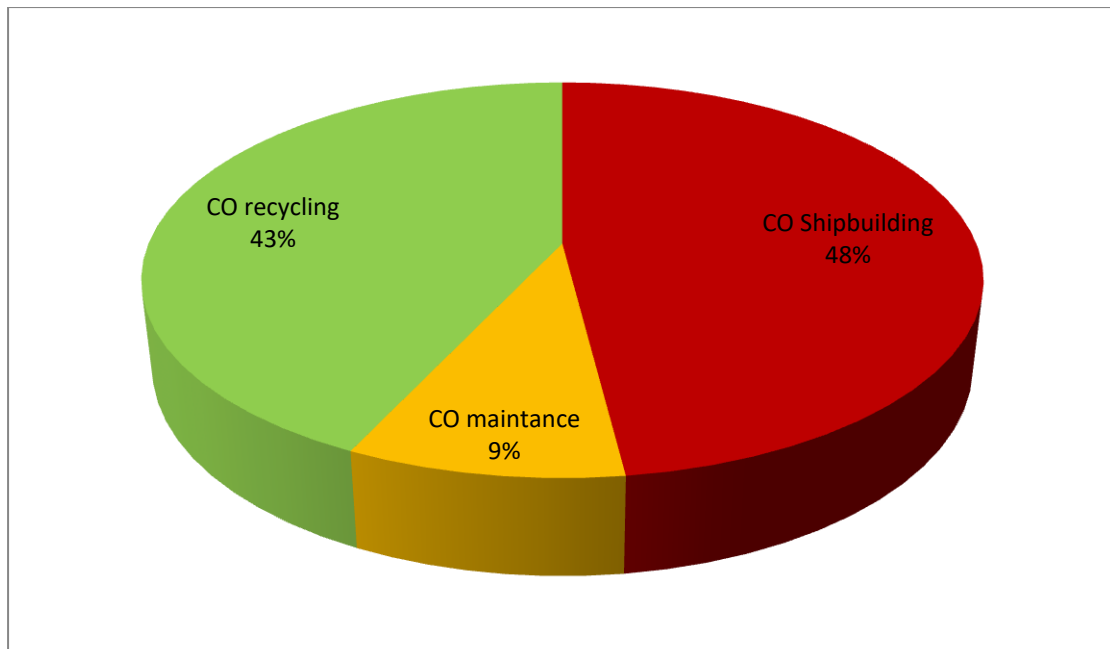
6.5 Ποσοστιαία επίδραση εκπομπών ανά φάση του κύκλου ζωής

Παρακάτω απεικονίζεται η ποσοστιαία παραγωγή του CO₂ ανά φάση του κύκλου ζωής. Περίπου το 50% του CO₂ της LCA της μεταλλικής κατασκευής παράγεται στη φάση της κατασκευής και αυτό γιατί αφορά την παραγωγή του χάλυβα. Μετά ακολουθεί η συντήρηση που πάλι έχουμε παραγωγή χάλυβα αλλά μικρότερη ποσότητα και τελευταία σε παραγωγή CO₂ είναι η ανακύκλωση.



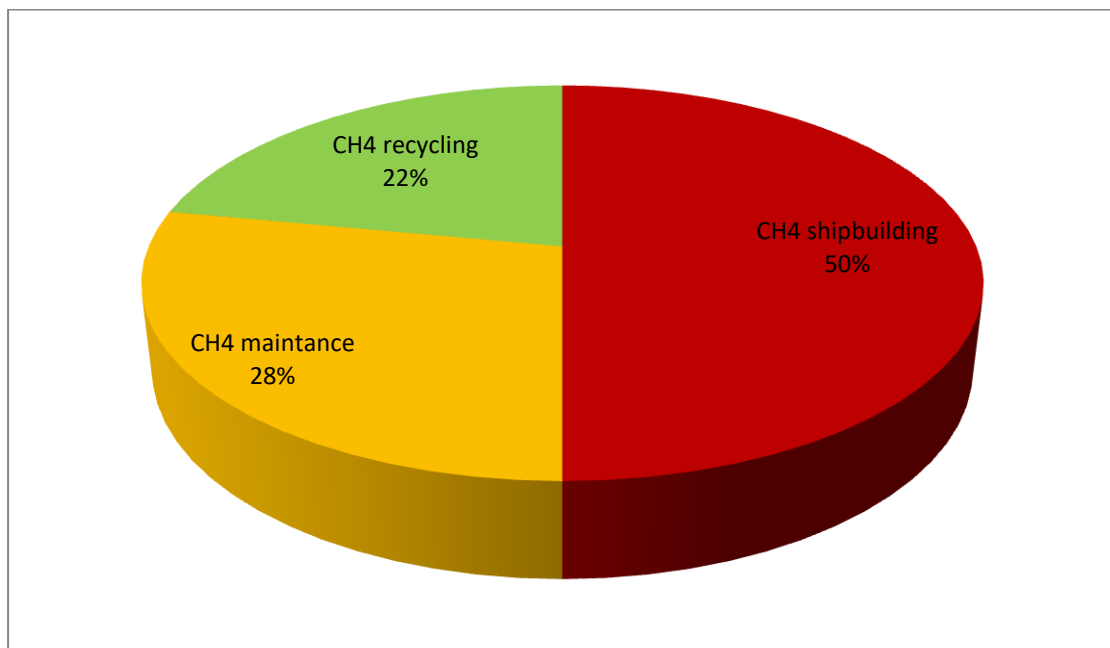
Διάγραμμα 1: Ποσοστιαία επίδραση CO₂ σε κάθε φάση ζωής του πλοίου

Παρακάτω απεικονίζεται η ποσοστιαία παραγωγή του CO κατά φάση κύκλου ζωής. Όπως και το CO₂ έτσι και το CO παράγεται το 50% στη φάση της κατασκευής. Στις φάσεις της συντήρησης και της ανακύκλωσης όμως υπάρχει διαφοροποίηση καθώς δεύτερη για το CO έρχεται η φάση της ανακύκλωσης με 43% και τελευταία η φάση της συντήρησης.



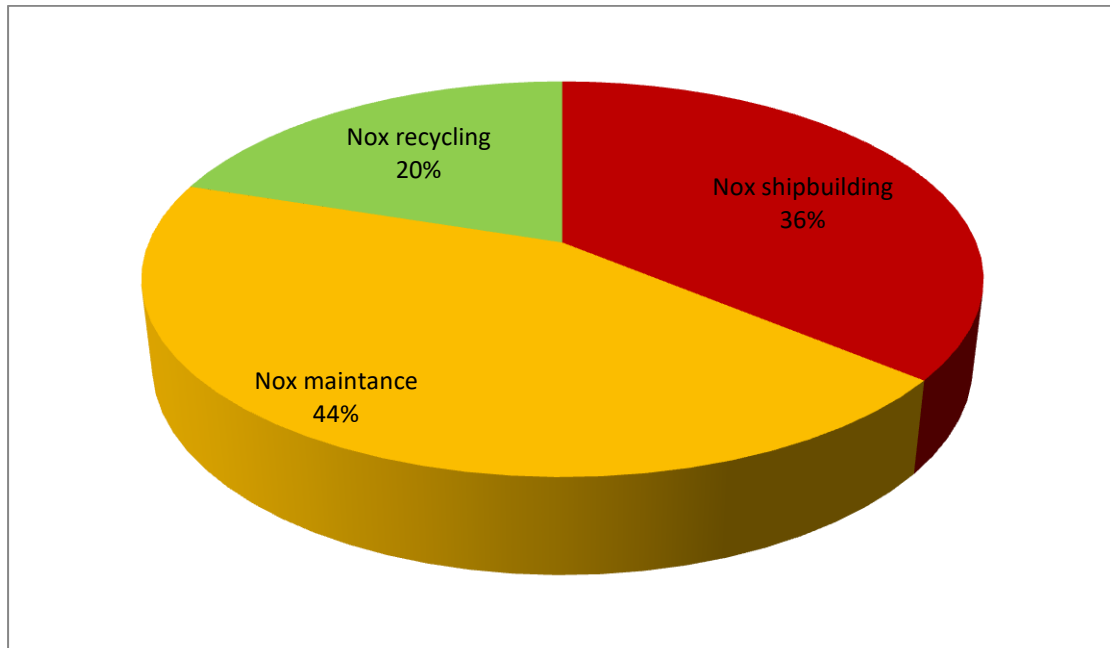
Διάγραμμα 2: Ποσοστιαία επίδραση CO σε κάθε φάση ζωής του πλοίου

Ακολουθεί η ποσοστιαία παραγωγή του CH₄ κατά φάση κύκλου ζωής. Και για αυτές τις εκπομπές το 50% αφορά την κατασκευή της μεταλλικής κατασκευής. Μετά ακολουθεί η φάση της συντήρησης με διαφορά 11% από την ανακύκλωση.



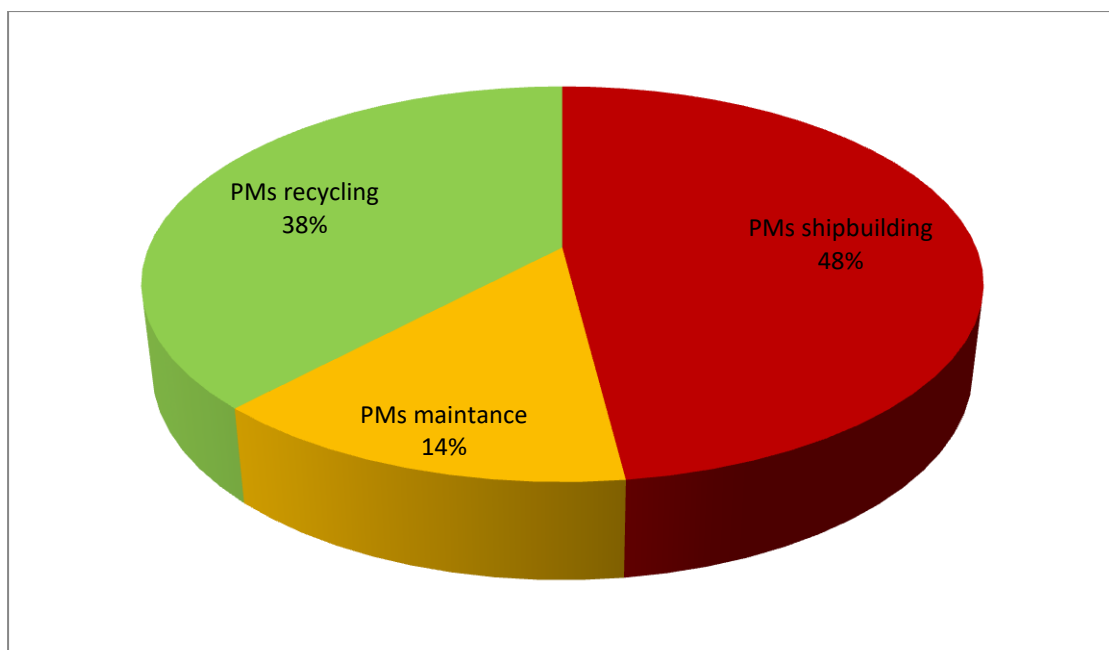
Διάγραμμα 3: Ποσοστιαία επίδραση CO₄ σε κάθε φάση ζωής του πλοίου

Παρακάτω απεικονίζεται η ποσοστιαία παραγωγή των NO_x κατά φάση κύκλου ζωής. Είναι η πρώτη κατηγορία εκπομπών που εμφανίζει περισσότερες εκπομπές στη συντήρηση με ποσοστό 44% και είναι 8% παραπάνω από το ποσοστό των εκπομπών στην κατασκευή. Οι εκπομπές των NO_x παράγονται κατά κύριο λόγο από την παραγωγή του χάλυβα και τη μεταφορά των υλικών.



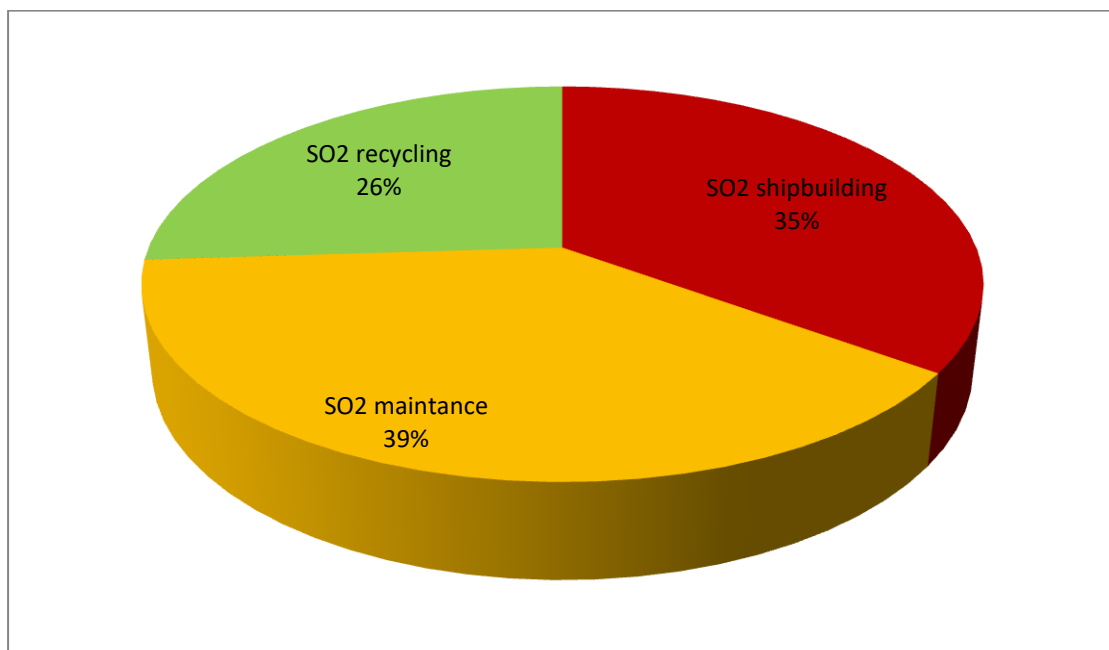
Διάγραμμα 4: Ποσοστιαία επίδραση NO_x σε κάθε φάση ζωής του πλοίου

Στη συνέχεια απεικονίζεται η ποσοστιαία παραγωγή των PM κατά φάση κύκλου ζωής. Σε αυτή την κατηγορία οι εκπομπές στη φάση της κατασκευής είναι λίγο παραπάνω από διπλάσιες από τις αντίστοιχες εκπομπές στη φάση της συντήρησης. Επιπλέον τα PM και το CO είναι οι μόνες κατηγορίες που η φάση της ανακύκλωσης έρχεται δεύτερη σε παραγωγή εκπομπών και στις δύο περιπτώσεις ακολουθεί τη φάση της κατασκευής.



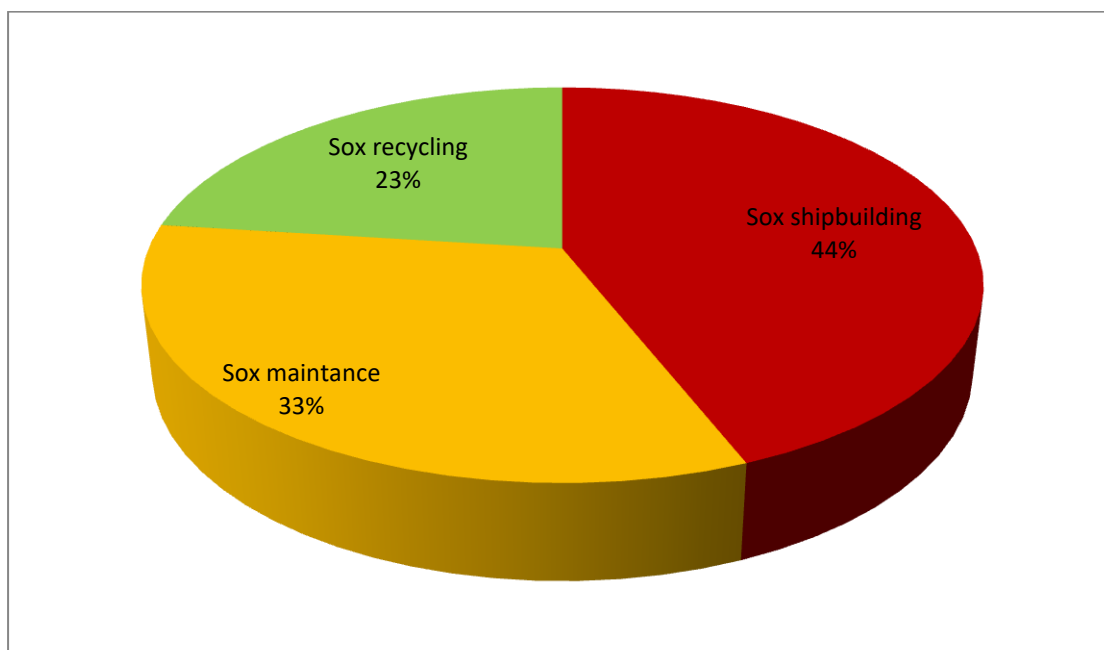
Διάγραμμα 5: Ποσοστιαία παραγωγή PM σε κάθε φάση ζωής του πλοίου

Παρακάτω απεικονίζεται η ποσοστιαία παραγωγή των SO₂ κατά φάση κύκλου ζωής. Σε αυτή την κατηγορία εκπομπών οι εκπομπές στη συντήρηση είναι περισσότερες με μικρή διαφορά στο 4%.



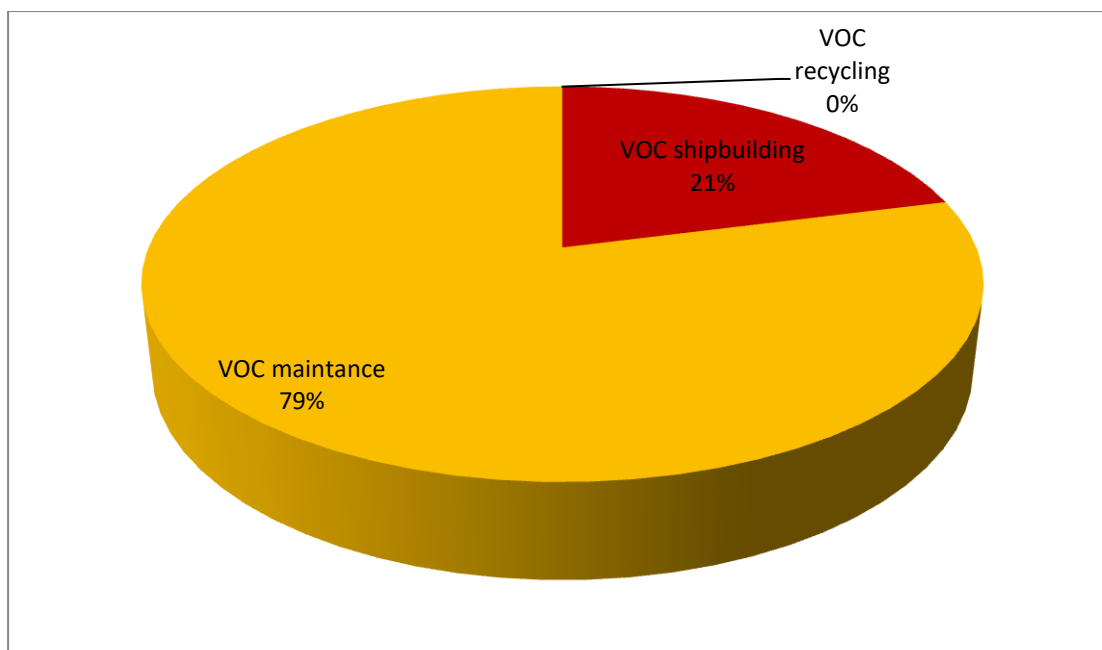
Διάγραμμα 6: Ποσοστιαία παραγωγή SO₂ σε κάθε φάση ζωής του πλοίου

Παρακάτω απεικονίζεται η ποσοστιαία παραγωγή των SO_x κατά φάση κύκλου ζωής. Πρώτη σε εκπομπές SO_x εμφανίζεται η φάση της συντήρησης όπως και για την προηγούμενη κατηγορία του SO₂. Όμως, σε αυτήν την κατηγορία η διαφορά με τη φάση της κατασκευής, που ακολουθεί, ανέρχεται στο 33%.



Διάγραμμα 7: Ποσοστιαία παραγωγή SO_x σε κάθε φάση ζωής του πλοίου

Η μεγαλύτερη ποσότητα των VOC παράγεται στη φάση της συντήρησης και συγκεκριμένα στις διεργασίες της εναπόθεσης των primer, των antifouling και των paintings. Η συντήρηση είναι επαναλαμβανόμενη διαδικασία καθ' όλη τη διάρκεια ζωής του πλοίου και γι' αυτό το λόγο τα VOC της βαφής στη συντήρηση είναι 58% περισσότερα από αυτά της κατασκευής, παρόλο που η διαδικασία παραμένει η ίδια διαφοροποιούνται όμως οι επαναλήψεις. Τέλος, στην ανακύκλωση δεν παράγονται VOC εφόσον δεν περιλαμβάνεται το coating.



Διάγραμμα 8: Ποσοστιαία παραγωγή VOC σε κάθε φάση ζωής του πλοίου

7. ΑΠΟΤΙΜΗΣΗ ΕΠΙΠΤΩΣΕΩΝ ΚΥΚΛΟΥ ΖΩΗΣ

7.1 Εισαγωγή

Η φάση Αποτίμησης Επιπτώσεων Κύκλου Ζωής (Life Cycle Impact Assessment, LCIA) παρέχει ένα σύστημα ευρείας προοπτικής για το περιβάλλον και τους πόρους για ένα ή περισσότερα συστήματα προϊόντων. Σε αυτήν την φάση η LCA αντιστοιχίζει τα αποτελέσματα των προηγούμενων φάσεων σε κατηγορίες επιπτώσεων, για κάθε κατηγορία επιπτώσεων επιλέγεται ένας δείκτης και υπολογίζεται ένα αποτέλεσμα. Η συλλογή των αποτελεσμάτων παρέχει πληροφορίες σχετικά με περιβαλλοντικά ζητήματα που συνδέονται με τις εισόδους και τις εξόδους του συστήματος του προϊόντος. Η διαδικασία αυτή είναι τυποποιημένη σύμφωνα με το ISO 14040-44, που παρέχει μόνο γενικές κατευθύνσεις και απαιτήσεις ως προς την πρακτική εφαρμογή της διαδικασίας και τονίζει ότι οι επιλεγόμενες μέθοδοι μέτρησης επιπτώσεων στην LCA πρέπει να απολαμβάνουν διεθνή αναγνώριση. Σύμφωνα με το παραπάνω πρότυπο περιλαμβάνει τα παρακάτω στάδια:

1. Επιλογή και ορισμός των κατηγοριών επιπτώσεων (selection of impact categories): Προσδιορισμός των σχετικών περιβαλλοντικών επιπτώσεων και διαχωρισμός σε κατηγορίες.
2. Ταξινόμηση (classification): Η ταξινόμηση τοποθετεί τα δεδομένα που έχουν αναγνωριστεί στο στάδιο του καταλόγου απογραφής του κύκλου ζωής (Life

Cycle Inventory, LCI) σε διάφορες κατηγορίες επιπτώσεων με βάση τις προβλεπόμενες επιπτώσεις τους στο περιβάλλον. Οι κατηγορίες επιπτώσεων περιλαμβάνουν διάφορα περιβαλλοντικά προβλήματα όπως για παράδειγμα η εξάντληση πόρων, η επίδραση στο φαινόμενο του θερμοκηπίου (global warming), η οξύνιση (acidification), και ο ευτροφισμός (eutrophication). Είναι πιθανόν μία καταγεγραμμένη εκπομπή από τον κατάλογο να συνεισφέρει σε παραπάνω από μια κατηγορίες επιπτώσεων.

3. Χαρακτηρισμός (characterization): Η πιθανή συμβολή στην κάθε κατηγορία των περιβαλλοντικών επιπτώσεων ποσοτικοποιείται λαμβάνοντας υπόψη τόσο το μέγεθος όσο και η βαρύτητα των επιμέρους δεδομένων του καταλόγου απογραφής. Συνήθως το βήμα αυτό εκτελείται με την απόδοση συντελεστών για τις διάφορες κατηγορίες επιπτώσεων. Αυτοί οι ισοδύναμοι συντελεστές περιγράφουν την συμβολή της συγκεκριμένης ουσίας στην κατηγορία επιπτώσεων σε σχέση με μια ουσία αναφοράς. Για παράδειγμα, μελετώντας την επίδραση στο φαινόμενο του θερμοκηπίου, η ξεχωριστή εκπομπή των γνωστών αερίων του θερμοκηπίου, μετατρέπεται (ανάγεται) σε ισοδύναμη ποσότητα CO₂. Μια πολύ γνωστή μετατροπή είναι η επίδραση των αερίων εκπομπών μεθανίου (CH₄) στο παραπάνω φαινόμενο. Σύμφωνα με αυτή τα αέρια CH₄ είναι εικοσιένα φορές ισχυρότερα των αερίων CO₂.
4. Κανονικοποίηση (normalization): Έκφραση των πιθανών επιπτώσεων με τρόπο που να μπορούν να συγκριθούν (π.χ. σύγκριση της αύξησης της θερμοκρασίας λόγω των επιπτώσεων του διοξειδίου του άνθρακα και του μεθανίου).
5. Στάθμιση (weighting): Επιλογή συντελεστών βαρύτητας. Υπολογισμός βαρύτητας της κάθε κατηγορίας επιπτώσεων.

8. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Σκοπός της μελέτης ήταν να μελετηθούν οι αέριες εκπομπές με την τυποποιημένη μεθοδολογία της ανάλυσης κύκλου ζωής, LCA. Έγινε περιγραφή των ορίων του συστήματος, δηλαδή των φάσεων και των διεργασιών που θα πρέπει να συμπεριληφθούν στη LCA κατασκευής. Εν συνεχεία συγκεντρώθηκαν όλα τα απαραίτητα δεδομένα για τη διεξαγωγή της LCA. Μετέπειτα, υπολογίστηκαν οι αέριες εκπομπές που προκύπτουν από τον κύκλο ζωής της κατασκευής του πλοίου. Επιλέχθηκαν οι εξής εκπομπές: CO₂, CO, CH₄, NO_x, PM, SO₂, SO, VOC και NMVOC λαμβάνοντας υπόψη το γεγονός ότι σε πρωταρχικό στάδιο της μελέτης αυτές οι εκπομπές προέκυπταν σημαντικά περισσότερες από τις υπόλοιπες, ότι σε προηγούμενες μελέτες LCA πλοίων το ενδιαφέρον επικεντρώθηκε στις συγκεκριμένες εκπομπές και ότι στο επόμενο στάδιο της LCA, την αποτίμηση των επιπτώσεων, αυτές οι εκπομπές έχουν σημαντική συμβολή στις κατηγορίες επιπτώσεων που συμπεριλάμβαναν οι δύο μέθοδοι που χρησιμοποιήθηκαν.

Το τελικό στάδιο της LCA της κατασκευής του πλοίου ήταν η ερμηνεία των αποτελεσμάτων, τόσο της απογραφής των εκπομπών όσο και των επιπτώσεων που προκαλούν στο περιβάλλον και στον άνθρωπο. Σκοπός της ερμηνείας και της αξιολόγησης των αποτελεσμάτων ήταν να συγκριθούν οι διεργασίες και να διευκρινιστεί ποιες παράγουν περισσότερες εκπομπές αλλά και σε ποιες φάσεις του κύκλου ζωής του πλοίου. Από τις αέριες εκπομπές που παράγονται κατά τη διάρκεια όλων των φάσεων της ζωής του πλοίου, η ποσότητα του CO₂ είναι μεγαλύτερη. Ακολουθούν στη συνέχεια οι εκπομπές του CO, του NO_x και του SO₂. Η ποσότητα του VOC είναι μεγαλύτερη στη φάση της συντήρησης σε σχέση με την κατασκευή, ενώ στην ανακύκλωση είναι αμελητέα. Οι εκπομπές των CH₄ και NMVOC είναι αρκετά μικρές, όμως επηρεάζουν σημαντικά το περιβάλλον. Αν όμως η ποσότητα που χρησιμοποιήθηκε προερχόταν από ανακυκλωμένο χάλυβα τότε σαφώς οι αέριες εκπομπές θα ήταν πολύ μικρότερες σε όλες τις φάσεις.

Βιβλιογραφία

1. Burström, F. and J. Korhonen, *Municipalities and industrial ecology: reconsidering municipal environmental management*. Sustainable Development, 2001. **9**(1): p. 36-46.
2. Rebitzer, G., et al., *Life cycle assessment: Part 1: Framework, goal and scope definition, inventory analysis, and applications*. Environment international, 2004. **30**(5): p. 701-720.
3. Reza, B., *Emergy-based life cycle assessment (Em-LCA) for sustainability appraisal of built environment*. 2013.
4. Guinee, J.B., et al., *Life cycle assessment: past, present, and future*. 2010, ACS Publications.
5. Goedkoop, M. and R. Spriensma, *The Eco-Indicator 99: A Damage Oriented Method for Life Cycle Impact Assessment*. 2001.
6. Guinée, J., et al., *Life cycle assessment; An operational guide to the ISO standards; Parts 1 and 2*. Ministry of housing, spatial planning and environment (VROM) and centre of environmental science (CML), Den Haag and Leiden, The Netherlands, 2001.
7. Papanicolaou, G., D. Phalippon, and D. Bakos, *EFFECT OF STRAIN RATE ON THE MODE-I INTERLAMINAR FRACTURE TOUGHNESS OF SANDWICH DOUBLE CANTILEVER BEAMS*. Advancing with Composites' 94: Design and applications, 1994. **2**: p. 143.
8. Yasuko, K., *Process matters: building a future climate regime with multi-processes*. Climate Policy, 2007. **7**(5): p. 429-443.
9. Παπαχαρίτου, Ν.Α. and Ν.Α. Papaxaritou, *Αμμοβολή-υδροβολή και επιπτώσεις στο περιβάλλον και στον άνθρωπο*. 2008.
10. Hansink, J.D., *Economics of abrasive selection for shipyard use*. Protective Coatings Europe, 1998. **3**: p. 25.
11. Mathiazhagan, A., *Design and Programming of Cathodic Protection for SHIPS*. 2010.
12. Touran, A. *A mathematical model for establishing budget levels for a portfolio of transit projects*. in *Proceedings of the 11th International Conference on Computing in Civil and Building Engineering (ICCCBE XI), Montreal, Canada, June*. 2006.
13. Κουλογιάννη, Π., *Η τύχη του πλοίου μετά το τέλος της οικονομικής ζωής του: οικονομική και θεσμική προσέγγιση της διάλυσης πλοίου και εναλλακτικές μορφές χρήσης του*. 2009.
14. Zhou, P., et al., *A feasibility study of the use of biodiesel in recreational boats in the United Kingdom*. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part M: Journal of Engineering for the Maritime Environment, 2003. **217**(3): p. 149-158.
15. Howes, M., *What's your poison? The Australian National Pollutant Inventory versus the US toxics release inventory*. Australian Journal of Political Science, 2001. **36**(3): p. 529-552.
16. Tilwankar, A.K., A.B. Mahindrakar, and S.R. Asolekar. *Steel recycling resulting from ship dismantling in India: Implications for green house gas emissions*. in *Proceedings of second International Conference on "Dismantling of Obsolete Vessels", during*. 2008.