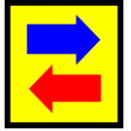




ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
Σχολή Ναυπηγών Μηχανολόγων Μηχανικών
Εργαστήριο Θαλασσίων Μεταφορών



**ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΥΚΛΟΥ ΖΩΗΣ ΤΗΣ ΜΕΤΑΛΛΙΚΗΣ
ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΤΟΥ ΠΛΟΙΟΥ**

Διπλωματική Εργασία

Ηρώ Ρουμेलιώτη

Επιβλέπων: Επ. Καθηγητής Ν.Π. Βεντικός

Αθήνα, 20 Ιουλίου 2013

ΣΤΟΥΣ ΓΟΝΕΙΣ ΜΟΥ, ΧΡΙΣΤΙΝΑ ΚΑΙ ΑΡΙΣΤΕΙΔΗ

ΣΤΗΝ ΑΔΕΡΦΗ ΜΟΥ ΑΝΑΣΤΑΣΙΑ

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η παρούσα διπλωματική εργασία δεν θα ήταν δυνατό να ολοκληρωθεί χωρίς την στήριξη συγκεκριμένων ανθρώπων. Κυρίαρχο ρόλο διαδραμάτισε ο επιβλέπων καθηγητής Νικόλαος Βεντικός και ο υποψήφιος διδάκτορας Στέφανος Χατζηνικολάου και οι δύο μέλη του Εργαστηρίου Θαλασσίων Μεταφορών. Επιπλέον ευχαριστώ τον κ. Τσούβαλη αναπληρωτή καθηγητή του τομέα Θαλασσίων Κατασκευών για τη συνεισφορά του στην εύρεση του μήκους συγκόλλησης και για το χρόνο που αφιέρωσε. Ευχαριστώ θερμά τους κοντινούς μου ανθρώπους που με στήριξαν σε όλη τη διάρκεια της εκπόνησης αυτής της διπλωματικής.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

1. ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	11
2. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	13
2.1 ΒΙΩΣΙΜΟΤΗΤΑ	13
2.2 ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΥΚΛΟΥ ΖΩΗΣ.....	16
2.3 ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ ΣΚΟΠΟΥ ΚΑΙ ΠΕΔΙΟΥ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ.....	20
2.3.1 Σκοπός LCA.....	21
2.3.2 Πεδίο εφαρμογής	22
2.4 ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΚΥΚΛΟΥ ΖΩΗΣ	26
2.4.1 Διάγραμμα ροής.....	26
2.4.2 Πλάνο διαλογής των δεδομένων	27
2.4.3 Διαλογή δεδομένων.....	27
2.4.4 Αξιολόγηση και τεκμηρίωση των αποτελεσμάτων της καταγραφής	28
2.5 ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΩΝ ΕΠΙΠΤΩΣΕΩΝ ΤΟΥ ΚΥΚΛΟΥ ΖΩΗΣ	28
2.6 ΕΡΜΗΝΕΙΑ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ.....	29
2.7 ΑΡΧΕΣ ΚΑΙ ΠΛΑΙΣΙΟ ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΤΟ ISO 14040-44.....	29
3. ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΚΥΚΛΟΥ ΖΩΗΣ.....	31
3.1 ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΩΝ ΣΤΗΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑ	31
3.1.1 1 ^ο Παράδειγμα LCA στη βιομηχανία.....	31
3.1.2 2 ^ο Παράδειγμα LCA στη βιομηχανία.....	32
3.1.2.1 Καταγραφή δεδομένων	33
3.1.2.2 Αξιολόγηση επιπτώσεων LCA	33
3.2 ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΟΣ LCA ΣΤΙΣ ΜΕΤΑΦΟΡΕΣ.....	36
3.3 ΜΕΛΕΤΕΣ LCA ΣΤΗ ΝΑΥΤΙΛΙΑ.....	40
3.3.1 1 ^ο παράδειγμα εφαρμογής LCA στη ναυτιλία.....	40
3.3.2 2 ^ο παράδειγμα εφαρμογής LCA στη ναυτιλία.....	44
4. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΚΥΚΛΟΥ ΖΩΗΣ ΣΤΗ ΜΕΤΑΛΛΙΚΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΤΟΥ ΠΛΟΙΟΥ.....	48
4.1 ΣΤΟΧΟΣ ΚΑΙ ΠΕΔΙΟ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ LCA ΣΤΗ ΜΕΤΑΛΛΙΚΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ.....	48
4.2 ΟΡΙΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ LCA ΣΤΗ ΜΕΤΑΛΛΙΚΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΤΟΥ ΠΛΟΙΟΥ	49
4.2.1 Κατασκευή: Υλικά υποσυστήματος & Προστασία υποσυστήματος	51
4.2.1.1 Παραγωγή χάλυβα.....	51
4.2.1.2 Συγκόλληση χάλυβα.....	51
4.2.1.3 Κοπή χάλυβα.....	51
4.2.1.4 Μεταφορά υλικών	51
4.2.1.5 Ψηματοβολή (abrasive blasting).....	51
4.2.1.6 Εναπόθεση primer και βαφής.....	52
4.2.1.7 Καθοδική προστασία.....	53
4.2.2 Συντήρηση: Υλικά υποσυστήματος & Προστασία υποσυστήματος.....	54
4.2.3 Ανακύκλωση.....	55
4.3 ΕΚΠΟΜΠΕΣ	55
5. ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΑΠΟΓΡΑΦΗΣ (LIFE CYCLE INVENTORY, LCI).....	57
5.1 ΕΙΣΕΡΧΟΜΕΝΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ (INPUTS).....	57
5.1.1 Παραγωγή χάλυβα	57
5.1.2 Συγκόλληση χάλυβα	57
5.1.3 Κοπή χάλυβα.....	59
5.1.4 Abrasive Blasting.....	60

5.1.5	Μεταφορά υλικών.....	61
5.1.6	Καθοδική Προστασία.....	62
5.1.7	Primers, antifouling και βαφές.....	63
5.1.8	Ανακύκλωση χάλυβα.....	64
6.	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ.....	67
6.1	ΕΚΠΟΜΠΕΣ ΑΠΟ ΤΗΝ ΦΑΣΗ ΤΗΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ.....	67
6.1.1	Υλικό κατασκευής.....	67
6.1.1.1	Παραγωγή χάλυβα.....	67
6.1.1.2	Συγκόλληση χάλυβα.....	68
6.1.1.3	Κοπή χάλυβα.....	68
6.1.1.4	Ψηματοβολή (abrasive blasting).....	69
6.1.1.5	Μεταφορά υλικών.....	70
6.1.2	Προστασία μεταλλικής κατασκευής.....	72
6.1.2.1	Εναπόθεση primer.....	72
6.1.2.2	Εναπόθεση antifouling.....	73
6.1.2.3	Εναπόθεση paintings.....	73
6.1.2.4	Συνολικές εκπομπές της βαφής (primer, antifouling & paintings) σε όλες τις επιφάνειες 74	
6.1.2.5	Καθοδική προστασία.....	74
6.2	ΕΚΠΟΜΠΕΣ ΣΤΗ ΦΑΣΗ ΤΗΣ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ ΑΝΑ ΔΙΕΡΓΑΣΙΑ.....	76
6.2.1	Παραγωγή χάλυβα.....	76
6.2.2	Συγκόλληση χάλυβα.....	77
6.2.3	Κοπή χάλυβα.....	77
6.2.4	Ψηματοβολή (abrasive blasting).....	77
6.2.5	Μεταφορά χάλυβα και paintings.....	78
6.2.6	Εναπόθεση primer.....	79
6.2.7	Εναπόθεση antifouling.....	79
6.2.8	Εναπόθεση βαφών (paintings).....	79
6.2.9	Καθοδική προστασία.....	80
6.3	ΕΚΠΟΜΠΕΣ ΣΤΗ ΦΑΣΗ ΤΗΣ ΔΙΑΛΥΣΗΣ/ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗΣ ΤΟΥ ΠΛΟΙΟΥ.....	81
6.4	ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗΣ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ.....	82
6.4.1	Συνολικές εκπομπές ανά φάση.....	82
6.4.2	Εκπομπές CO ₂ στη φάση της κατασκευής.....	83
6.4.3	Εκπομπές CO, CH ₄ , NO _x , PM, SO ₂ , VOC και SO _x στη φάση της κατασκευής.....	84
6.4.4	Εκπομπές CO ₂ στη φάση της συντήρησης.....	85
6.4.5	Εκπομπές CO, CH ₄ , NO _x , PM, SO ₂ , VOC και SO _x στη φάση της συντήρησης.....	86
6.4.6	Ποσοστιαία επίδραση εκπομπών ανά φάση του κύκλου ζωής.....	86
6.4.7	Εκπομπές ανά διεργασία που συντελείται στο ναυπηγείο.....	90
7.	ΑΠΟΤΙΜΗΣΗ ΕΠΙΠΤΩΣΕΩΝ ΚΥΚΛΟΥ ΖΩΗΣ.....	95
7.1	ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	95
7.2	ECO INDICATOR.....	99
7.3	RECIPE.....	106
8.	ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΜΕΘΟΔΩΝ ΑΠΟΤΙΜΗΣΗΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΩΝ ΣΤΗ ΜΕΤΑΛΛΙΚΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΤΟΥ ΠΛΟΙΟΥ.....	110
8.1	ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΓΙΑ ΤΗ ΦΑΣΗ ΤΗΣ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ ΤΩΝ ΕΠΙΠΤΩΣΕΩΝ (LCIA).....	110
8.1.1	Χαρακτηρισμός.....	110
8.2	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΜΕ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΗΣ ECO INDICATOR 99.....	110
8.2.1	Κανονικοποίηση (Normalization) και Στάθμιση (Weighting).....	112
8.3	RECIPE.....	113
8.4	ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕΘΟΔΩΝ ECOINDICATOR ΚΑΙ RECIPE.....	114
9.	ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ (SENSITIVITY ANALYSIS).....	116
9.1	ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ (ΑΕ) ΣΤΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΤΗΣ ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΗΣ ΤΟΥ ΧΑΛΥΒΑ.....	116
9.2	ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ (ΑΕ) ΣΤΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΤΗΣ ΒΑΦΗΣ ΤΟΥ ΧΑΛΥΒΑ.....	117

10.	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	119
10.1	ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΜΕΛΕΤΗΣ	119
10.2	ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ.....	120
10.3	ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΜΕ ΠΑΛΛΙΟΤΕΡΕΣ ΜΕΛΕΤΕΣ.....	122
10.4	ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΠΟΥ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΤΗΚΑΝ ΣΤΗ ΜΕΛΕΤΗ	126
10.5	ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΜΕΛΕΤΕΣ LCA.....	127
11.	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	129
12.	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι	134

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1: Εκπομπές GHG* από την ναυτιλία το 2007.....	14
Πίνακας 2: Αξιολόγηση δυνατοτήτων μείωσης των εκπομπών από τη ναυτιλία με τη χρήση γνωστών τεχνολογιών και πρακτικών.....	15
Πίνακας 3: Εκπομπές και κατανάλωση πρώτων υλών για την LCA της τηλεόρασης plasma ...	32
Πίνακας 4: Εκπομπές ανά διεργασία LCA	55
Πίνακας 5: Υπολογισμός εκπομπών από παραγωγή χάλυβα.....	57
Πίνακας 6: Υπολογισμός εκπομπών από τη συγκόλληση του χάλυβα.....	59
Πίνακας 7: Υπολογισμός εκπομπών από την κοπή του χάλυβα.....	60
Πίνακας 8: Υπολογισμός εκπομπών από abrasive blasting	60
Πίνακας 9: Υπολογισμός εκπομπών από μεταφορά υλικών.....	61
Πίνακας 10: Υπολογισμός εκπομπών από καθοδική προστασία.....	63
Πίνακας 11: Υπολογισμός εκπομπών από βαφή.....	64
Πίνακας 12: Ανακυκλώσιμος χάλυβας σύμφωνα με τον τύπο πλοίου	65
Πίνακας 13: Ποσοστιαία διαφορά παραγωγής χάλυβα από ανακύκλωση και από εξόρυξη	65
Πίνακας 14: Υπολογισμός εκπομπών από ανακύκλωση χάλυβα	66
Πίνακας 15: Συντελεστές εκπομπών για την παραγωγή χάλυβα.....	67
Πίνακας 16: Εκπομπές από την παραγωγή του χάλυβα.....	67
Πίνακας 17: Συντελεστές εκπομπών για τη συγκόλληση.....	68
Πίνακας 18: Εκπομπές από την συγκόλληση του χάλυβα	68
Πίνακας 19: Συντελεστές εκπομπών για τη κοπή του χάλυβα.....	68
Πίνακας 20: Εκπομπές από την κοπή του χάλυβα.....	69
Πίνακας 21: Συντελεστές εκπομπών για τη ψηγματοβολή του χάλυβα	69
Πίνακας 22: Εκπομπές από τη ψηγματοβολή του χάλυβα.....	69
Πίνακας 23: Συντελεστές εκπομπών για τη μεταφορά του χάλυβα.....	70
Πίνακας 24: Εκπομπές από τη μεταφορά του χάλυβα.....	70
Πίνακας 25: Συντελεστές εκπομπών για τη μεταφορά των paintings.....	71
Πίνακας 26: Εκπομπές από τη μεταφορά των paintings.....	71
Πίνακας 27: Συντελεστές εκπομπών για την εναπόθεση primers.....	72
Πίνακας 28: Εκπομπές από την εναπόθεση primers	72
Πίνακας 29: Συντελεστές εκπομπών για την εναπόθεση antifouling	73
Πίνακας 30: Εκπομπές από την εναπόθεση antifouling.....	73
Πίνακας 31: Συντελεστές εκπομπών για την εναπόθεση painting.....	73
Πίνακας 32: Εκπομπές από την εναπόθεση paintings.....	74
Πίνακας 33: Εκπομπές από την εναπόθεση βαφών (primer, antifouling & paintings).....	74
Πίνακας 34: Συντελεστές εκπομπών για την καθοδική προστασία	75
Πίνακας 35: Εκπομπές από την καθοδική προστασία ανά επιφάνεια.....	75
Πίνακας 36: Συνολικές εκπομπές από την καθοδική προστασία.....	75
Πίνακας 37: Εκπομπές από την παραγωγή χάλυβα στη φάση της συντήρησης.....	76
Πίνακας 38: Εκπομπές από τη συγκόλληση του χάλυβα στη φάση της συντήρησης.....	77
Πίνακας 39: Εκπομπές από την κοπή του χάλυβα στη φάση της συντήρησης.....	77
Πίνακας 40: Εκπομπές από τη ψηγματοβολή στη φάση της συντήρησης.....	77
Πίνακας 41: Εκπομπές από τη μεταφορά του χάλυβα στη φάση της συντήρησης.....	78
Πίνακας 42: Εκπομπές από τη μεταφορά των paintings στη φάση της συντήρησης.....	78
Πίνακας 43: Εκπομπές από την εναπόθεση primer στη φάση της συντήρησης	79
Πίνακας 44: Εκπομπές από την εναπόθεση antifouling στη φάση της συντήρησης	79
Πίνακας 45: Εκπομπές από την εναπόθεση των paintings στη φάση της συντήρησης	79
Πίνακας 46: Συνολικές εκπομπές από την εναπόθεση των βαφών (primer, antifouling & paintings) στη φάση της συντήρησης	80
Πίνακας 47: Εκπομπές από την καθοδική προστασία του χάλυβα ανά επιφάνεια στη φάση της συντήρησης.....	80

Πίνακας 48: Συνολικές εκπομπές από την καθοδική προστασία του χάλυβα στη φάση της συντήρησης.....	80
Πίνακας 49: Συντελεστές εκπομπών για την ανακύκλωση του χάλυβα.....	81
Πίνακας 50: Εκπομπές από την ανακύκλωση του χάλυβα.....	81
Πίνακας 51: Ταξινόμηση εκπομπών στις κατηγορίες επιπτώσεων.....	96
Πίνακας 52: Ιδανικότερα διαθέσιμα μοντέλα χαρακτηρισμού.....	98
Πίνακας 53: Συσχέτιση μεταξύ ενδιάμεσου και τελικού σταδίου στην ReCiPe.....	108
Πίνακας 54: Συντελεστές μετατροπής στο τελικό επίπεδο στην μέθοδο ReCiPe 2008.....	109
Πίνακας 55: Επίδραση εκπομπών GHG στην κλιματική αλλαγή (human health) με τη μέθοδο EcoIndicator 99.....	110
Πίνακας 56: Επίδραση εκπομπών GHG στην κλιματική αλλαγή (ecosystem quality) με τη μέθοδο EcoIndicator 99.....	111
Πίνακας 57: Επίδραση εκπομπών στην τρύπα του όζοντος με τη μέθοδο EcoIndicator.....	111
Πίνακας 58: Επίδραση εκπομπών στον ευτροφισμό και στην οξίνιση του περιβάλλοντος με τη μέθοδο EcoIndicator.....	111
Πίνακας 59: Επίδραση εκπομπών στις αναπνεύσιμες οργανικές ουσίες με τη μέθοδο EcoIndicator.....	112
Πίνακας 60: Επίδραση εκπομπών στις αναπνεύσιμες ανόργανες ουσίες με τη μέθοδο EcoIndicator.....	112
Πίνακας 61: Επίδραση εξαγωγής χάλυβα στην χρήση της γης.....	112
Πίνακας 62: Υπολογισμός κανονικοποίησης και στάθμισης με τη μέθοδο EcoIndicator 99... ..	113
Πίνακας 63: Επίδραση εκπομπών στην κλιματική αλλαγή με τη μέθοδο ReCiPe.....	113
Πίνακας 64: Επίδραση εκπομπών στην οξύνιση του εδάφους με τη μέθοδο ReCiPe.....	113
Πίνακας 65: Επίδραση εκπομπών στην φωτοχημική οξείδωση του εδάφους με τη μέθοδο ReCiPe.....	114
Πίνακας 66: Επίδραση εκπομπών στο σχηματισμό μικροσωματιδίων με τη μέθοδο ReCiPe..	114
Πίνακας 67: Συνολικές εκπομπές από την LCA της μεταλλικής κατασκευής του πλοίου.....	120
Πίνακας 68: Συνολικές εκπομπές από την LCA της μεταλλικής κατασκευής του πλοίου μετά από αφαίρεση τις ποσότητας του χάλυβα που επαναχρησιμοποιείται στη φάση της κατασκευής.....	121

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 1: Σύγκριση εκπομπών από τη ναυτιλία με τις συνολικές παγκόσμιες εκπομπές CO ₂ ...	15
Σχήμα 2: Βήματα LCA.....	19
Σχήμα 3: Όρια συστήματος LCA.....	24
Σχήμα 4: Διάγραμμα ροής διαδικασίας.....	27
Σχήμα 5: Περιβαλλοντικές επιπτώσεις από τον κύκλο ζωής του δαπέδου.....	33
Σχήμα 6: Οικονομικές επιπτώσεις από τον κύκλο ζωής του δαπέδου.....	33
Σχήμα 7: Κοινωνικοπολιτικές επιπτώσεις από τον κύκλο ζωής του δαπέδου.....	34
Σχήμα 8: Εξάντληση πόρων που προκαλεί η ανάλυση κύκλου ζωής κάθε είδους δαπέδου που είναι υπό σύγκριση.....	34
Σχήμα 9: Κλιματική αλλαγή που προκαλεί ο κύκλος ζωής κάθε είδους δαπέδου που είναι υπό σύγκριση.....	34
Σχήμα 10: Συντελεστές βαρύτητας με βάση την εξάντληση πόρων.....	35
Σχήμα 11: Συντελεστές βαρύτητας με βάση την κλιματική αλλαγή.....	35
Σχήμα 12: Συντελεστές βαρύτητας με βάση τις οικονομικές επιπτώσεις.....	35
Σχήμα 13: Συντελεστής βαρύτητας με βάση όλα τα κριτήρια.....	36
Σχήμα 14: Όρια συστήματος παραδείγματος LCA στις μεταφορές.....	37
Σχήμα 15: Πηγές δεδομένων για το αυτοκίνητο.....	38
Σχήμα 16: Κατανάλωση ενέργειας και παραγόμενες εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου.....	38
Σχήμα 17: Παραγόμενες αέρια εκπομπές.....	38

Σχήμα 18: Κατανάλωση ενέργειας και παραγόμενες εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου από την LCA του τρένου	39
Σχήμα 19: Παραγόμενες αέριες εκπομπές από την LCA του τρένου	39
Σχήμα 20: Κατανάλωση ενέργειας και παραγόμενες εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου από την LCA του αεροπλάνου.....	39
Σχήμα 21: Παραγόμενες αέριες εκπομπές από την LCA του αεροπλάνου.....	39
Σχήμα 22: Εκπομπές που προκύπτουν από την ανάλυση κύκλου ζωής του αυτοκινήτου.....	40
Σχήμα 23: Διάγραμμα ροής για τα υλικά και τις εργασίες της γάστρας του πλοίου	42
Σχήμα 24: Διαδικασίες και εκπομπές που συνεισφέρουν σε κάθε επίπτωση	44
Σχήμα 25: Δεδομένα εισαγωγής και εξόδου στο ναυπηγείο κατασκευής του πλοίου μοντέλου	45
Σχήμα 26: Κατηγορίες επιπτώσεων που προκαλούνται από την κατασκευή του πλοίου.....	46
Σχήμα 27: Δείκτες LIME για κάθε φάση.....	46
Σχήμα 28: Ποσοστιαία συμβολή των κατηγοριών επιπτώσεων στο δείκτη LIME.....	47
Σχήμα 29: Όρια συστήματος LCA μεταλλικής κατασκευής του πλοίου.....	49
Σχήμα 30: Διεργασίες για τα υλικά της μεταλλικής κατασκευής ανά φάση ζωής του πλοίου για τα υλικά της μεταλλικής κατασκευής	50
Σχήμα 31: Διεργασίες για την προστασία της μεταλλικής κατασκευής ανά φάση ζωής του πλοίου για την προστασία της μεταλλικής κατασκευής	50
Σχήμα 32: Λειτουργία καθοδικής προστασίας (NNWB, 2008).....	54
Σχήμα 33: Συνολικές εκπομπές από όλες τις διεργασίες στη φάση της κατασκευής	82
Σχήμα 34: Συνολικές εκπομπές από όλες τις διεργασίες στη φάση της συντήρησης.....	83
Σχήμα 35: Συνολικές εκπομπές από όλες τις διεργασίες στη φάση της διάλυσης/ανακύκλωσης	83
Σχήμα 36: Συνολικές εκπομπές CO ₂ στη φάση της κατασκευής.....	84
Σχήμα 37: Συνολικές εκπομπές CO, CH ₄ , NO _x , PM, SO ₂ , VOC, SO _x και NMVOC στη φάση της κατασκευής.....	85
Σχήμα 38: Συνολικές εκπομπές CO ₂ στη φάση της συντήρησης.....	85
Σχήμα 39: Συνολικές εκπομπές CO, CH ₄ , NO _x , PM, SO ₂ , VOC και SO _x στη φάση της συντήρησης.....	86
Σχήμα 40: Ποσοστιαία επίδραση CO ₂ σε κάθε φάση ζωής του πλοίου.....	86
Σχήμα 41: Ποσοστιαία επίδραση CO σε κάθε φάση ζωής του πλοίου.....	87
Σχήμα 42: Ποσοστιαία επίδραση CO ₄ σε κάθε φάση ζωής του πλοίου.....	87
Σχήμα 43: Ποσοστιαία επίδραση NO _x σε κάθε φάση ζωής του πλοίου.....	88
Σχήμα 44: Ποσοστιαία επίδραση NO _x ανά διεργασία στις φάσεις της κατασκευής και τις συντήρησης.....	88
Σχήμα 45: Ποσοστιαία παραγωγή PM σε κάθε φάση ζωής του πλοίου	89
Σχήμα 46: Ποσοστιαία παραγωγή SO ₂ σε κάθε φάση ζωής του πλοίου.....	89
Σχήμα 47: Ποσοστιαία παραγωγή SO _x σε κάθε φάση ζωής του πλοίου	89
Σχήμα 48: Ποσοστιαία παραγωγή VOC σε κάθε φάση ζωής του πλοίου.....	90
Σχήμα 49: Ποσοστιαία επίδραση CO ₂ ανά διεργασία στο ναυπηγείο	91
Σχήμα 50: Ποσοστιαία επίδραση CO ανά διεργασία στο ναυπηγείο	91
Σχήμα 51: Ποσοστιαία επίδραση CH ₄ ανά διεργασία στο ναυπηγείο	92
Σχήμα 52: Ποσοστιαία επίδραση NO _x ανά διεργασία στο ναυπηγείο	92
Σχήμα 53: Ποσοστιαία επίδραση PM ανά διεργασία στο ναυπηγείο	93
Σχήμα 54: Ποσοστιαία επίδραση SO _x ανά διεργασία στο ναυπηγείο	93
Σχήμα 55: Ποσοστιαία επίδραση NMVOC ανά διεργασία στο ναυπηγείο	94
Σχήμα 56: Σχηματική αναπαράσταση της διαδικασίας αποτίμησης επιπτώσεων LCIA κατά ISO 14040-44 (πηγή: Chatzinikolaou, 2013)	96
Σχήμα 57: Βήματα της μεθοδολογίας EcoIndicator (πηγή: PRé Consultants, 2008)	99
Σχήμα 58: Ομαδοποίηση των κατηγοριών επιπτώσεων (πηγή: http://www.ecn.nl/lea)	100
Σχήμα 59: Πλαίσιο υπολογισμού συντελεστών χαρακτηρισμού (CF) για τα GHG	106
Σχήμα 60: Παράδειγμα της μεθόδου για την κλιματική αλλαγή	107
Σχήμα 61: ΑΕ στη διαδικασία της συγκόλλησης του χάλυβα για το μήκος συγκόλλησης	116

Σχήμα 62: ΑΕ στη διαδικασία της συγκόλλησης του χάλυβα για την ενέργεια ανά μήκος συγκόλλησης.....	117
Σχήμα 63: ΑΕ στη διαδικασία της βαφής του χάλυβα για μεταβολή της Θεωρητικής Κάλυψης	118
Σχήμα 64: Επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία σύμφωνα με τη μέθοδο EcoIndicator 99 σε DALY	122
Σχήμα 65: Επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία σύμφωνα με τη μέθοδο ReCiPe σε DALY	122
Σχήμα 66: Εκπομπές CO2 στο shipbuilding ανά διεργασία για το πλοίο Selini	123
Σχήμα 67: Εκπομπές CO2 στο shipbuilding ανά διεργασία για πλοίο bulk carrier 76000 tons DWT	123
Σχήμα 68: Εκπομπές CO2 στο shipbuilding ανά διεργασία στο ναυπηγείο για το πλοίο Selini	124
Σχήμα 69: Εκπομπές CO2 στο shipbuilding ανά διεργασία στο ναυπηγείο για πλοίο bulk carrier 76000 tons DWT	124
Σχήμα 70: Κατηγορίες επιπτώσεων στη φάση της κατασκευής για πλοίο bulk carrier 76000 tons DWT	125
Σχήμα 71: Επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία ανά κατηγορία επιπτώσεων	125
Σχήμα 72: Επιπτώσεις ανά φάση του κύκλου ζωής για πλοίο bulk carrier 76000 tons DWT..	126
Σχήμα 73: Επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία ανά φάση του κύκλου ζωής με τη μέθοδο EcoIndicator 99	126

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	
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
NM VOC	Non Methane Volatile Compounds	Μη Πτητικές Οργανικές Ενώσεις

1. ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σε αυτή τη διπλωματική εργασία μελετήθηκαν οι αέριες εκπομπές στον κύκλο ζωής της μεταλλικής κατασκευής του πλοίου, ο οποίος περιλαμβάνει την κατασκευή, τη λειτουργία, τη συντήρηση και την ανακύκλωση του συστήματος της γάστρας και των υπερκατασκευών 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 και επιλέχθηκαν με κριτήριο την σημαντικότητα τους στο εξεταζόμενο σύστημα. Τα δεδομένα εισαγωγής προήλθαν από διάφορες βιβλιογραφικές πηγές και από την ανάπτυξη αλγορίθμων που προσεγγίζουν τις εκπομπές σε σημαντικές διεργασίες του συστήματος. Χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα παρασκήνιου (background data) από τη βάση δεδομένων του προγράμματος SimaPro[®] που είναι από τα πλέον διαδεδομένα λογισμικά για την LCA.

Στο επόμενο στάδιο μελετήθηκε η Αποτίμηση των Επιπτώσεων του Κύκλου Ζωής (Life Cycle Impact Assessment, LCIA) για τις αέριες εκπομπές του πλοίου. Χρησιμοποιήθηκαν δύο διαφορετικές μέθοδοι αποτίμησης (Eco Indicator 99 και ReCiPe), οι οποίες μετατρέπουν τις εκπομπές που παράγονται από τη συνολική διάρκεια ζωής της μεταλλικής κατασκευής του πλοίου σε επιπτώσεις στο περιβάλλον και στον άνθρωπο. Τέλος πραγματοποιήθηκε ανάλυση ευαισθησίας για τις εκλούμενες αέριες εκπομπές από συγκεκριμένες σημαντικές διαδικασίες του κύκλου ζωής (συγκόλληση, κοπή και βαφή).

Η ανάλυση κατέδειξε ότι 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. Όσον αφορά στο στάδιο της αποτίμησης των επιπτώσεων στην ανθρώπινη υγεία ξεχωρίζουν στη μέθοδο ReCiPe η κλιματική αλλαγή και ο σχηματισμός μικροσωματιδίων και αντίστοιχα στη μέθοδο Eco Indicator 99 οι ανόργανες αναπνεύσιμες ουσίες και λιγότερο η κλιματική αλλαγή.

Η μεθοδολογία LCA είναι εφικτό να εφαρμοστεί στην αποτίμηση της συνολικής περιβαλλοντικής επίπτωσης στον κύκλο ζωής του πλοίου, είναι όμως αρκετά χρονοβόρα και απαιτείται απλοποίηση και αρκετά λεπτομερής ανάλυση του συστήματος, ώστε να διευκολυνθεί η διαδικασία. Επιπλέον βοηθητική θα ήταν η δημιουργία μίας βάσης δεδομένων για διεργασίες σχετικές με διάφορους τύπους πλοίων που θα καθιστούσε τη μεθοδολογία πιο ασφαλή και γρήγορη για εφαρμογή σε πλοία.

Abstract

The present study has analysed the air emissions of a tanker ship hull and superstructure from a life cycle perspective. The life cycle of the ship is essentially detailed in the following stages: construction, operation, maintenance and recycling. The method used for this analysis is the Life Cycle Assessment (LCA), which is a well known methodology, standardised through ISO (ISO 14040-44). The studied ship is a Panamax type tanker with a 74,296 tons of dwt and the emissions analyzed are: CO₂, CO, CH₄, NO_X, PM, SO₂, SO, VOC and NMVOC. The study has developed techniques for modelling the important processes in terms of emissions in all life cycle stages. For this purpose, a large amount of data from the literature has been used in combination with unique algorithms which have been explicitly developed in this study to compute the emissions produced in the identified processes. Input data from various literature sources have been integrated in the modelling process. A large amount of data originated from the SimaPro[®] software database, which is a widely used software for LCA applications..

The study has also analysed the impact of ship emissions by following the method of the Life Cycle Impact Assessment (LCIA) which is incorporated in the LCA. Two LCIA methods have been used for this purpose: the Eco Indicator 99 and the ReCiPe which convert the emissions to impacts on the environment and humans. Finally, in order to evaluate the importance of specific parameters to the results a sensitivity analysis has been applied for the processes of welding, cutting and painting.

The largest amount of emissions is generated in the construction phase and more specifically in the process of steel production which makes this process the most important for the hull system followed by the painting of steel (which leads to a significant amount of VOC emissions). The most severe effects on human health, according to ReCiPe, come from the climate change and the particulate matter formation. According to EcoIndicator 99 the most important impact category on human health is respiratory inorganic.

A generic conclusion from this study is that the LCA methodology may be applied to estimate the environmental impact of the lifecycle of the ship, but it is quite time consuming and requires simplification and an adequate break-down of the ship system to facilitate the analysis. An essential feature for future ship LCA applications would be the creation of a specific life cycle inventory for major shipping processes similar to those already exist for other industrial processes and may be found within the relevant LCA software. This would make the LCA methodology more safe and easy for use in the shipping sector.

2. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

2.1 Βιωσιμότητα

Η αιεφόρος ανάπτυξη ή βιωσιμότητα έχει θεσπιστεί ως διεθνής ή εθνική πολιτική αρχή (ΟΗΕ, ΕΕ, πολλές χώρες κ.τ.λ.), αλλά και ως έννοια κλειδί για επιχειρήσεις, βιομηχανικές, επιστημονικές και πολλές άλλες πρωτοβουλίες ανά τον κόσμο. Έχουν αναπτυχθεί διάφορες μέθοδοι για τον υπολογισμό του μελλοντικού αντίκτυπου των ανθρώπινων δραστηριοτήτων στο περιβάλλον. Μεταξύ άλλων, οι βασικές συνέπειες αφορούν την κλιματική αλλαγή, την εξάντληση του όζοντος και την εξάντληση των πόρων.

Οι θαλάσσιες μεταφορές συγκρινόμενες με τις υπόλοιπες μεταφορές θεωρούνται μια φιλική πρακτική προς το περιβάλλον πρακτική, λόγω της χαμηλής κατανάλωσης ενέργειας και εκπομπών ανά όγκο εργασίας. Επιπλέον είναι δεδομένο ότι στον ναυτιλιακή βιομηχανία έχουν γίνει αρκετές προσπάθειες σε πολιτικό, ερευνητικό και τεχνολογικό επίπεδο για τη μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων και την επίτευξη στόχων βιωσιμότητας.

Παρόλα αυτά οι εκπομπές από τη ναυτιλία αυξάνονται ενώ αυτές από τη χερσαία βιομηχανία μειώνονται, γεγονός που οφείλεται στη αυξανόμενη ζήτηση για διεθνή μεταφορά αγαθών και στην παγκοσμιοποίηση της οικονομίας. Τις δύο τελευταίες δεκαετίες μόνο το διεθνές θαλάσσιο εμπόριο υπέρ-διπλασιάστηκε και κατέχει σχεδόν το 90% του εμπορίου (IMO, 2009).

Η κλιματική αλλαγή προκαλείται από την αύξηση των επόμενων αερίων του θερμοκηπίου (Greenhouse Gases, GHG):

1. Διοξείδιο του άνθρακα (CO₂)
2. Μεθάνιο (CH₄)
3. Υποξείδιο του αζώτου (N₂O)
4. Όζον (O₃)
5. CFCs
6. Υδρατμοί (H₂O)

Απειλεί τα βασικά στοιχεία της ζωής του ανθρώπου: την πρόσβαση στο νερό, την παραγωγή τροφίμων, την υγεία και τη χρήση της γης και την υποβάθμιση της ποιότητας των οικοσυστημάτων. Πιο συγκεκριμένα η κλιματική αλλαγή μπορεί να έχει τις εξής επιπτώσεις:

- Το λιώσιμο των πάγων που θεωρητικά θα οδηγήσει αρχικά σε κίνδυνο πλημμύρων και στη συνέχεια σε έντονη μείωση των προμηθειών πόσιμου νερού. Τελικά, εκτιμάται ότι μπορεί να απειλήσει το 1/6 του πληθυσμού της γης και

κατά κύριο λόγο συγκεκριμένες περιοχές της Ινδικής χερσονήσου (πχ Μπαγκλαντές), μέρος της Κίνας και της Νότιας Αμερικής.

- Πτώση των αποδόσεων των καλλιεργειών και ιδίως στην Αφρική μπορεί να στερήσει σε εκατοντάδες εκατομμύρια ανθρώπους τη ικανότητα να παράγουν ή να αγοράζουν επαρκή τροφή. Κατά τα μέτρια έως ψηλά γεωγραφικά πλάτη είναι πιθανό να αυξηθεί η παραγωγή καλλιεργειών για μέτρια αύξηση της θερμοκρασίας 2-3 °C. Για αύξηση θερμοκρασίας 4 °C και άνω θα επηρεαστούν πιθανώς σημαντικά οι καλλιέργειες.
- Η κλιματική αλλαγή θα αυξήσει τους θανάτους παγκοσμίως λόγω υποσιτισμού και θερμικού στρες. Ασθένειες όπως η ελονοσία και ο δάγκειος πυρετός θα εξαπλωθούν αν δεν υπάρξουν κάποια μέτρα.
- Τέλος, τα οικοσυστήματα είναι ιδιαίτερα ευάλωτα στην κλιματική αλλαγή, με πιθανή εξαφάνιση του 30 με 40% των ειδών με αύξηση μόνο 2 °C. Η οξύνιση των ωκεανών, ένα άμεσο αποτέλεσμα της αύξησης του CO₂, έχει σημαντικές επιπτώσεις στο θαλάσσιο οικοσύστημα και πιθανές αρνητικές επιπτώσεις στα ιχθυο-αποθέματα (Stern, 2006).

Το τωρινό επίπεδο των GHG (GHG stock) στην ατμόσφαιρα, είναι ισόποσο με 430 parts per million (ppm) CO₂, ενώ πριν τη Βιομηχανική Επανάσταση ήταν μόνο 280 ppm. Αυτή η αύξηση έχει ήδη οδηγήσει σε αύξηση της θερμοκρασίας κατά 0.5 °C και αναμένεται αύξηση τουλάχιστον 0.5 °C τις επόμενες δεκαετίες. Ακόμα και αν παραμείνει σταθερό το επίπεδο των εκπομπών, το stock των GHG το 2050 θα γίνει διπλάσιο σε σχέση με την προ-βιομηχανική εποχή, φτάνοντας τα 550 ppm CO₂e, και θα συνεχίσει να αυξάνεται. Όμως οι εκπομπές αερίων θερμοκηπίου αυξάνονται και μπορούν να φτάσουν το παραπάνω επίπεδο το έτος 2035, με πιθανότητα 77-99% ανάλογα με το χρησιμοποιούμενο κλιματικό μοντέλο, να οδηγήσουν σε αύξηση θερμοκρασίας που θα ξεπεράσει τους 2 °C.

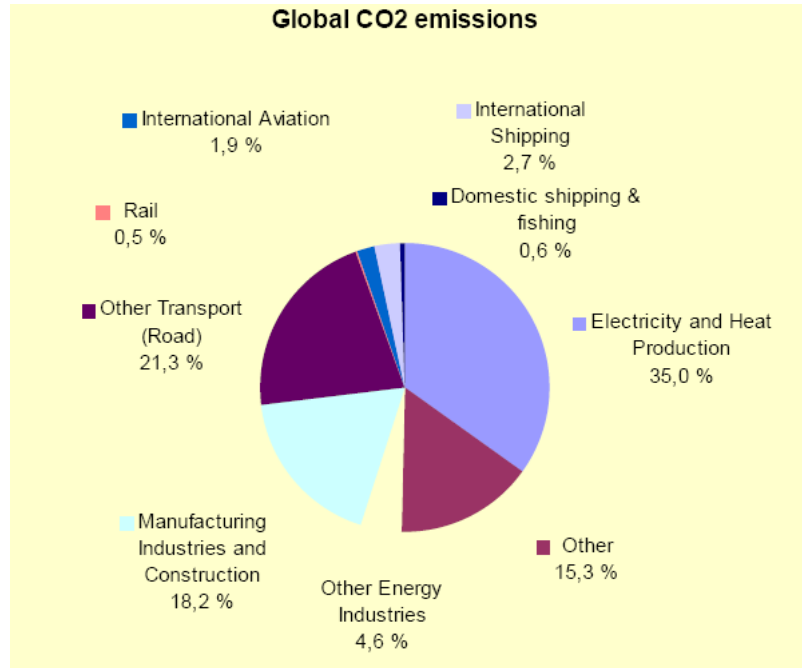
Το CO₂ κατέχει τις σημαντικότερες εκπομπές στη ναυτιλία από τα GHG και όσον αφορά την ποσότητα αλλά και την πιθανότητα να επηρεάσει την κλιματική αλλαγή. Ακολουθεί πίνακας που παρουσιάζει τις εκπομπές CO₂ από τη ναυτιλία το 2007 (IMO, 2009):

Πίνακας 1: Εκπομπές GHG* από την ναυτιλία το 2007 (IMO, 2009)

	International shipping	Total shipping	
	million tonnes	million tonnes	CO ₂ equivalent
CO ₂	870	1046	1046
CH ₄	Not determined*	0.24	6
N ₂ O	0.02	0.03	9
HFC	Not determined*	0.0004	≤ 6

* A split into domestic and international emissions is not possible.

Οι εκπομπές του CO₂ που παράγονται από τη ναυτιλία ανήλθαν σε 1046 εκ. τόνους το 2007 και παρακάτω παρουσιάζεται το ποσοστό με το οποίο συμμετέχουν οι εκπομπές από τη ναυτιλία στις συνολικές εκπομπές CO₂, το οποίο ανέρχεται στο 3.3% των παγκόσμιων εκπομπών:



Σχήμα 1: Σύγκριση εκπομπών από τη ναυτιλία με τις συνολικές παγκόσμιες εκπομπές CO₂ (IMO, 2009)

Σενάρια μεσαίου εύρους εκπομπών δείχνουν ότι το 2050, με την απουσία τεχνολογικών και λειτουργικών μέτρων, οι εκπομπές από τις θαλάσσιες μεταφορές είναι πιθανό να αυξηθούν κατά 150-250% από το 2007, λόγω της ανάπτυξης της ναυτιλίας. Υπάρχει ένα μεγάλο εύρος επιλογών στην αλλαγή του σχεδιασμού του πλοίου αλλά και της λειτουργίας του, για την αύξηση της ενεργειακής απόδοσης και τη μείωση των εκπομπών. Μία συνολική αξιολόγηση αυτών των δυνατοτήτων παρουσιάζεται στο παρακάτω σχήμα:

Πίνακας 2: Αξιολόγηση δυνατοτήτων μείωσης των εκπομπών από τη ναυτιλία με τη χρήση γνωστών τεχνολογιών και πρακτικών (IMO, 2009)

DESIGN (New ships)	Saving of CO ₂ /tonne-mile	Combined	Combined
Concept, speed & capability	2% to 50% ⁺	10% to 50% ⁺	25% to 75% ⁺
Hull and superstructure	2% to 20%		
Power and propulsion systems	5% to 15%		
Low-carbon fuels	5% to 15%*		
Renewable energy	1% to 10%		
Exhaust gas CO ₂ reduction	0%		
OPERATION (All ships)			
Fleet management, logistics & incentives	5% to 50% ⁺	10% to 50% ⁺	
Voyage optimization	1% to 10%		
Energy management	1% to 10%		

⁺ Reductions at this level would require reductions of operational speed.

* CO₂ equivalent, based on the use of LNG.

Επιπλέον, πρέπει να αναφερθεί και η επίπτωση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στην ανθρώπινη υγεία, που το 2000 ανερχόταν σε € 803 δις ευρώ και αναμένεται το 2020 να μειωθεί σε € 537 δις ευρώ. Ο αντίστοιχος αριθμός ατόμων που χάνουν τη ζωή τους πρόωρα λόγω της ατμοσφαιρικής ρύπανσης το 2000 ήταν 680000 ενώ το 2020 αναμένεται να μειωθούν σε 450000. Αυτή η εικόνα αντανακλά το θετικό αντίκτυπο που έχει η εφαρμογή της πολιτικής αντιμετώπισης της ατμοσφαιρικής ρύπανσης. Ενώ όμως η ατμοσφαιρική ρύπανση γενικά θα μειωθεί αναμένεται αύξηση των εκπομπών από τη ναυτιλία και από 7% που συνέβαλλε η ναυτιλία το 2000 θα φτάσει το 12% των συνολικών εκπομπών το 2020 (J. Brandt et al, 2013).

Γενικά πλέον οι βιομηχανίες και οι επιχειρήσεις εξετάζουν το πώς οι δραστηριότητές τους επηρεάζουν το περιβάλλον και η κοινωνία ευαισθητοποιήθηκε για το θέμα της φυσικής εξάντλησης των πόρων και την υποβάθμιση του περιβάλλοντος, γι' αυτόν τον λόγο πολλές επιχειρήσεις παρέχουν "πιο πράσινα" προϊόντα και χρησιμοποιούν "πιο πράσινες" διεργασίες. Επιπλέον, έχουν διαπιστώσει ότι για τη βελτίωση των περιβαλλοντικών τους επιδόσεων αξίζει να διερευνήσουν πέρα από τη συμμόρφωση τους με τις στρατηγικές πρόληψης της ρύπανσης και τα συστήματα περιβαλλοντικής διαχείρισης. Για τους παραπάνω λόγους αναπτύχθηκαν μέθοδοι υπολογισμού των εκπομπών και των επιπτώσεων τους, που προκύπτουν από τον κύκλο ζωής συστημάτων.

2.2 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. Δεν μπορεί να δοθεί ακριβής ορισμός, μόνο να συσχετιστεί η ΠΑΣ με τη διαδικασία στην οποία οι πληροφορίες που

αποκτώνται από την ανάλυση μπορούν να χρησιμοποιηθούν για σκοπούς εκπαίδευσης και διευκόλυνσης τεκμηριωμένης λήψης αποφάσεων (Burstrom, 2000).

Υπάρχουν διάφορες μέθοδοι ΠΑΣ και είναι ενδιαφέρον να αναλυθούν τα χαρακτηριστικά τους για την καλύτερη κατανόηση της αλληλεπίδρασής τους και της καταλληλότητάς τους στις διαφορετικές εφαρμογές. Οι περισσότερο γνωστές από αυτές είναι οι παρακάτω:

- Ανάλυση Κύκλου Ζωής – Η μέθοδος αυτή είναι η πιο διαδεδομένη και θα αναλυθεί σε επόμενη παράγραφο.
- Ανάλυση Κόστους Κύκλου Ζωής – Υπολογίζει τα κόστη από όλες τις διαδικασίες της ζωής του προϊόντος ή της υπηρεσίας, συμπεριλαμβανομένων των περιβαλλοντικών και των κοινωνικών.
- MIPS – Περιέχει μόνο τα υλικά που εισάγονται στο σύστημα σε όλο τον κύκλο ζωής.
- Ανάλυση Ροής Υλικών – Παρακολουθεί την ροή των υλικών που εισάγονται σε ένα σύστημα.
- Ανάλυση Ρίσκου – Είναι μία γενική μέθοδος και αφορά τις χημικές ουσίες και τα ατυχήματα.
- Στρατηγική Περιβαλλοντικής Εκτίμησης – Είναι ένα διαδικαστικό εργαλείο για το χειρισμό των περιβαλλοντικών πτυχών στη λήψη στρατηγικών αποφάσεων όπως προγραμμάτων, σχεδίων και πολιτικών που πρέπει να εφαρμοστούν.
- Εκτίμηση Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων – Είναι επίσης ένα διαδικαστικό εργαλείο που περιγράφει τις επιπτώσεις ενός συστήματος στο περιβάλλον και πολλές φορές απαιτείται από το νόμο, χωρίς όμως να καθορίζεται η αναλυτική μέθοδος που θα χρησιμοποιηθεί (Asa Moberg, 2006).

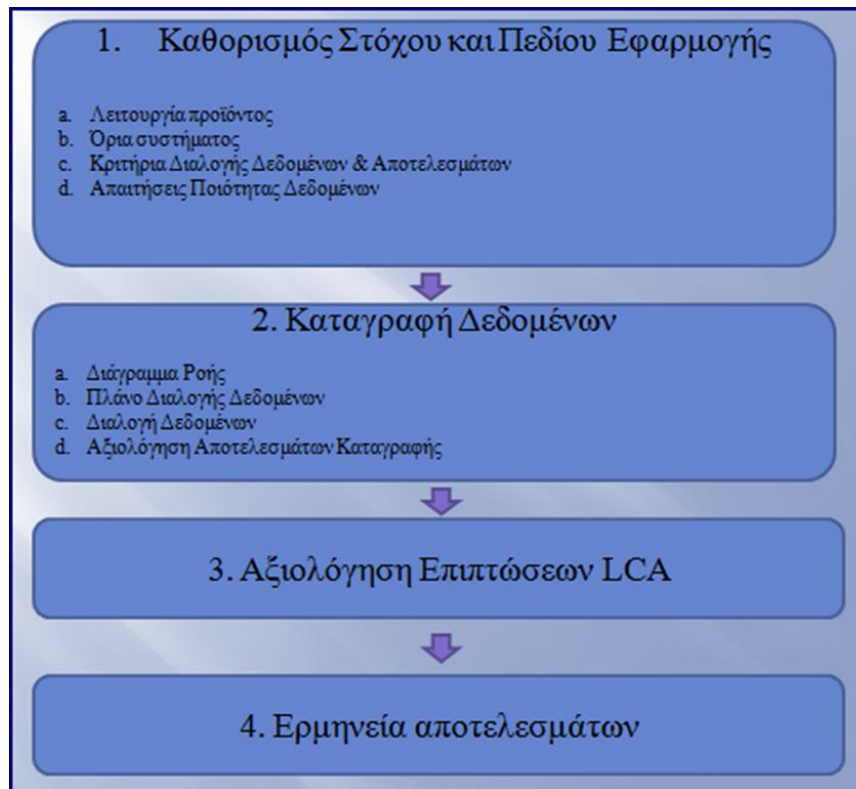
Η **Ανάλυση Κύκλου Ζωής (LCA)** ορίζεται από τον οργανισμό United States Environmental Protection Agency (US EPA), ως μία μεθοδολογία υπολογισμού των περιβαλλοντικών επιπτώσεων που προκύπτουν από τον κύκλο ζωής ενός προϊόντος, που αρχίζει με την συγκέντρωση των πρώτων υλών από τη γη και τελειώνει όταν όλα τα προϊόντα καταλήξουν πάλι πίσω στην γη (gradle-to-grave). Κατά την Society of Environmental Toxicology and Chemistry (SETAC), η LCA ορίζεται ως η διαδικασία που προσφέρει μια εκτίμηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων που σχετίζονται με προϊόντα, διαδικασίες και δραστηριότητες προσδιορίζοντας και ποσοτικοποιώντας την ενέργεια και τα υλικά που καταναλώνονται και τα απόβλητα που εκκρίνονται στο περιβάλλον (Bahareh et al, 2010). 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. Είναι μία επαναληπτική διαδικασία η οποία έχει αρχικά όρια συστήματος και απαιτήσεις

ποιότητας δεδομένων που στη συνέχεια μπορούν να επαναπροσδιοριστούν εάν προκύψουν νέες πληροφορίες. Επιτρέπει την εκτίμηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων που προκύπτουν από όλα τα στάδια του κύκλου ζωής του προϊόντος, συμπεριλαμβανομένων αυτών που συχνά δεν λαμβάνονται υπόψη σε πιο παραδοσιακές αναλύσεις (π.χ. την εξόρυξη πρώτων υλών, μεταφορά υλικών κλπ.). Με την εκτίμηση των επιπτώσεων καθ' όλη τη διάρκεια του κύκλου ζωής του προϊόντος παρέχει μια πιο σφαιρική άποψη των περιβαλλοντικών πτυχών του προϊόντος ή της διαδικασίας και μια πιο κατανοητή εικόνα για την επιλογή της διαδικασίας (Rebitzer et al. 2003).

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. 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 (Guinee, 2010).

Η LCA αποτελείται από τέσσερις φάσεις:

1. Καθορισμός του στόχου και οριοθέτηση του πεδίου εφαρμογής – Καθορισμός και περιγραφή του προϊόντος, της διαδικασία ή της δραστηριότητας, δημιουργία του πλαισίου στο οποίο θα πραγματοποιηθεί η αξιολόγηση και προσδιορισμός των ορίων και των περιβαλλοντικών επιπτώσεων που θα συμπεριληφθούν στην αξιολόγηση.
2. Απογραφή, καταγραφή δεδομένων κύκλου ζωής (Life Cycle Inventory, LCI) – Προσδιορισμός και ποσοτικοποίηση ενέργειας, νερού και κατανάλωσης πρώτων υλών, καθώς και εκλύσεων στο περιβάλλον όπως εκπομπές αερίων, στερεά απόβλητα και λύματα.
3. Αξιολόγηση επιπτώσεων του κύκλου ζωής (Life Cycle Impact Assessment, LCIA) – Εκτίμηση των επιδράσεων του συστήματος, που έχουν προσδιοριστεί στο προηγούμενο βήμα, στο περιβάλλον.
4. Ερμηνεία των αποτελεσμάτων – Αναλύονται και αξιολογούνται τα αποτελέσματα των παραπάνω σταδίων με στόχο την επιλογή του προϊόντος, της διαδικασίας ή της υπηρεσίας που θα οδηγήσει σε περιορισμό των επιδράσεων του συστήματος στο περιβάλλον, λαμβάνοντας υπόψη την αβεβαιότητα και τις παραδοχές που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή των αποτελεσμάτων (ISO 14040-44).



Σχήμα 2: Βήματα LCA (ISO, 1997)

Μερικά βασικά χαρακτηριστικά της μεθόδου της LCA συνοψίζονται παρακάτω:

- 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.
- Η σχετική φύση της LCA οφείλεται στην λειτουργική μονάδα της μεθοδολογίας
- Η εμβάθυνση στην λεπτομέρεια και στο χρονικό πλαίσιο μπορεί να ποικίλει σε μεγάλο βαθμό ανάλογα με το στόχο και το πεδίο εφαρμογής
- Οι διατάξεις γίνονται για να τηρούνται η εμπιστευτικότητα και το ιδιωτικά θέματα, σύμφωνα πάντα με την προβλεπόμενη εφαρμογή της LCA
- Η μέθοδος είναι πάντα ανοικτή σε νέα επιστημονικά ευρήματα και βελτιώσεις
- Οι ειδικές απαιτήσεις που εφαρμόζονται στην LCA, που 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
- Η LCA διαφέρει από τις υπόλοιπες μεθόδους, όπως η περιβαλλοντική αξιολόγηση των επιδόσεων, η εκτίμηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων και η αξιολόγηση

κινδύνων καθώς είναι μία σχετική προσέγγιση που βασίζεται σε μία λειτουργική μονάδα. Ωστόσο, η LCA μπορεί να χρησιμοποιήσει πληροφορίες που συλλέγονται από τις υπόλοιπες μεθόδους

- Η LCA δεν προβλέπει απόλυτες ή ακριβείς επιπτώσεις στο περιβάλλον αλλά εξετάζει τις πιθανές για τους εξής λόγους:
 - Την σχετική έκφραση των πιθανών περιβαλλοντικών επιπτώσεων σε μία μονάδα αναφοράς
 - Την ενσωμάτωση των περιβαλλοντικών δεδομένων στο χώρο και στο χρόνο
 - Την εγγενή αβεβαιότητα που υπάρχει στην μοντελοποίηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων
 - Το γεγονός ότι κάποιες πιθανές επιπτώσεις στο περιβάλλον είναι σαφώς μελλοντικές επιδράσεις (ISO 14040-44).

2.3 Καθορισμός σκοπού και πεδίου εφαρμογής

Η ανάλυση κύκλου ζωής είναι ένα μοντέλο απλοποίησης της πραγματικότητας, γι' αυτό σε κάποια σημεία την παραποιεί και πρέπει να εφαρμόζεται με προσοχή ώστε να μην μεταφερθεί αυτή η παραποίηση στην εξαγωγή των αποτελεσμάτων. Για τον παραπάνω λόγο είναι πολύ σημαντικός ο ορισμός του σκοπού και του πεδίου εφαρμογής, διαδικασία η οποία περιλαμβάνει:

- Περιγραφή του συστήματος, δηλαδή πλήρη καθορισμό του προϊόντος, του κύκλου ζωής του και της λειτουργίας του.
- Περιγραφή των ορίων του συστήματος και των λύσεων σε τυχόν προβλήματα κατανομής.
- Προσδιορισμός της σχετικής συνεισφοράς του κάθε σταδίου της ανάλυσης.
- Απαιτήσεις σε ποιότητα δεδομένων.
- Καθορισμός του λόγου για τον οποίο πραγματοποιείται.
- Καθορισμός του κοινού που απευθύνεται.
- Καθορισμός των ερωτημάτων που πρέπει να απαντηθούν
- Προσδιορισμός του τύπου, της δομής και της μορφής καταγραφής αποτελεσμάτων.
- Πόσο ακριβή πρέπει να είναι τα αποτελέσματα για να συμπεριληφθούν.
- Πως πρέπει να ερμηνευτούν για να είναι χρήσιμα και να έχουν νόημα.
- Οι υποθέσεις και οι περιορισμοί που απαιτούνται.

- Τέλος, απαιτείται διερεύνηση καταλληλότητας της LCA ως μεθόδου μελέτης.

Ο σκοπός και το πεδίο εφαρμογής είναι απαραίτητα για την συνοχή της LCA, χωρίς όμως να αποτελούν στατικό δεδομένο, εφόσον υπάρχει η δυνατότητα να μεταβληθούν σε περίπτωση που αποδειχθεί ότι τα αρχικά δεδομένα δεν είναι τα βέλτιστα. Κάθε απόφαση που λαμβάνεται σε αυτό το στάδιο έχει αντίκτυπο, είτε στον τρόπο που θα διεξαχθεί η μελέτη ή στην καταλληλότητα και στην συνάφεια των αποτελεσμάτων.

Πιο αναλυτικά στην αρχή της LCA πρέπει να λαμβάνονται οι παρακάτω αποφάσεις :

- Ορισμός του στόχου
- Καθορισμός του τύπου των πληροφοριών που απαιτείται για τη διευκόλυνση λήψης αποφάσεων
- Καθορισμός της απαιτούμενης λεπτομέρειας
- Καθορισμός της οργάνωσης των δεδομένων και εμφάνισης των αποτελεσμάτων
- Ορισμός του πλαισίου εφαρμογής
- Προσδιορισμός των βασικών κανόνων για την εκτέλεση της μελέτης

2.3.1 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. 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. Μπορεί επίσης να υπάρχουν δευτερεύοντες στόχοι για την εκτέλεση μιας LCA. Παρακάτω παρατίθενται διάφορες εφαρμογές της LCA :

- 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.
- Τέλος, στόχος της LCA είναι να συμβάλλει στην δημιουργία νέων προϊόντων και διαδικασιών που θα οδηγήσει σε μείωση των απαιτούμενων πόρων και των εκπομπών στο περιβάλλον (EPA, 2006).

2.3.2 Πεδίο εφαρμογής

Το πεδίο εφαρμογής περιλαμβάνει τις σημαντικότερες μεθοδολογικές επιλογές, περιορισμούς και παραδοχές που αφορούν τα εξής:

- 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.
- 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.

- Κριτήρια διαλογής δεδομένων και αποτελεσμάτων – Πέρα από την επιλογή των ορίων ο αναλυτής πρέπει να αποφασίσει και ποιά δεδομένα εισόδου και εξόδου είναι χρήσιμα για την μελέτη του συστήματος, βάζοντας ένα όριο στη συλλογή των στοιχείων.
- Απαιτήσεις ποιότητας δεδομένων – Απαιτήσεις αποτελούν ο τύπος των στοιχείων, η πληρότητα, η συνοχή και η επαναληψιμότητα 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.
- 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.

Η LCA διεξάγεται με τον καθορισμό των συστημάτων προϊόντων, όπως τα μοντέλα που περιγράφουν τα βασικά στοιχεία των φυσικών συστημάτων. Τα όρια του συστήματος ορίζουν τις διεργασίες που θα συμπεριληφθούν στην LCA. Ιδανικά, το σύστημα του προϊόντος θα πρέπει να διαμορφωθεί με τέτοιο τρόπο ώστε οι εισοδοι και οι έξοδοι των ορίων να είναι στοιχειώδης ροές. Ωστόσο, οι πληροφορίες δεν χρειάζεται να δαπανηθούν για ποσοτικοποίηση εισροών και εκροών που δεν αλλάζουν σημαντικά τα συνολικά αποτελέσματα της μελέτης. Η επιλογή των στοιχείων του συστήματος που θα μοντελοποιηθούν εξαρτάται από τον σκοπό και το πεδίο της μελέτης, την προβλεπόμενη εφαρμογή και το κοινό που απευθύνεται, τις παραδοχές καθώς και τα δεδομένα και τους περιορισμούς κόστους. Τα μοντέλα και οι παραδοχές στις οποίες βασίζεται η επιλογή τους θα πρέπει να περιγράφονται. Τα κριτήρια που χρησιμοποιήθηκαν για τον καθορισμό των ορίων του συστήματος είναι πολύ σημαντικά για το βαθμό εμπιστοσύνης στα αποτελέσματα της μελέτης και την δυνατότητα επίτευξης του στόχου της. Κατά τον καθορισμό των ορίων θα πρέπει να ληφθούν υπόψη διάφορες φάσεις, διεργασίες και ροές του κύκλου ζωής του προϊόντος όπως απόκτηση πρώτων υλών, εισοδοι και έξοδοι στη γραμμή παραγωγής/επεξεργασίας, διανομή/μεταφορά, παραγωγή και χρήση καυσίμων, ενέργειας και θερμότητας, χρήση

και συντήρηση προϊόντων, διάθεση των αποβλήτων, ανάκτηση των χρησιμοποιημένων προϊόντων, κατασκευή βοηθητικών υλικών κτλ. Πολλές φορές τα αρχικά καθορισμένα όρια θα πρέπει στη συνέχεια να βελτιωθούν (ISO 14040-44).

Ακολουθεί ένα διάγραμμα με τα όρια του συστήματος:



Σχήμα 3: Όρια συστήματος LCA (EPA, 1993)

Το σύστημα είναι ευκολότερο να καθοριστεί εάν οι ενέργειες που σχετίζονται με το προϊόν αναλυθούν σε κύριες και δευτεροβάθμιες κατηγορίες. Η κύρια, ή μηδενικής τάξης, ακολουθία των δραστηριοτήτων συμβάλλει άμεσα στην παραγωγή, τη χρήση ή τη διάθεση του προϊόντος. Η δευτερεύουσα κατηγορία περιλαμβάνει βοηθητικά υλικά ή διαδικασίες που συμβάλλουν στο να γίνει κάτι, που με τη σειρά του είναι στην κύρια ακολουθία δραστηριοτήτων. Τα ερωτήματα που ακολουθούν βοηθούν στον καθορισμό και την περιγραφή των ορίων του συστήματος :

- Η 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.
- Ποια θα είναι η βάση για τη χρήση του προϊόντος; Η 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; Μπορεί η μελέτη να συγκρίνει τα συστήματα παροχής υπηρεσιών; Είναι σαφώς ορισμένες οι

λειτουργίες των υπηρεσιών ώστε να καθορίζονται με σαφήνεια η είσοδος και οι έξοδοι;

- 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;
- 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, π.χ. οι παραγωγοί που συγκρίνουν διαδικασίες ή υλικά για μελάνια συσκευασιών.

Ένα τελικό βήμα πριν περάσει ο αναλυτής στην καταγραφή είναι ο υλικοτεχνικός έλεγχος της μελέτης:

- Καταγραφή των υποθέσεων – Όλες οι υποθέσεις ή αποφάσεις που λαμβάνονται στα πρώτα βήματα πρέπει να συμβαδίζουν με τα τελικά αποτελέσματα της LCA, καθώς υπάρχει κίνδυνος αν παραληφθεί κάποια υπόθεση τα αποτελέσματα να βγουν εκτός ορίων ή να παρερμηνευτούν. Στη διάρκεια της διαδικασίας της LCA από φάση σε φάση, επιπλέον παραδοχές και περιορισμοί στο πεδίο εφαρμογής μπορεί να είναι αναγκαίοι για την υλοποίηση της μελέτης.
- Διαδικασίες Διασφάλισης Ποιότητας – Το επίπεδο της διασφάλισης της ποιότητας που χρησιμοποιείται για το έργο εξαρτάται από το διαθέσιμο χρόνο και τους πόρους και από το πώς θα χρησιμοποιηθούν τα αποτελέσματα και είναι σημαντικό ώστε να εξασφαλιστεί ότι ο στόχος και ο σκοπός της LCA θα πληρούν τις απαιτήσεις κατά την ολοκλήρωση του έργου. Εάν τα αποτελέσματα πρόκειται να χρησιμοποιηθούν σε ένα δημόσιο φόρουμ, τότε συνιστάται μια επίσημη διαδικασία επανεξέτασης. Εάν τα αποτελέσματα πρόκειται να χρησιμοποιηθούν για κάποια εσωτερική διαδικασία λήψης αποφάσεων, τότε ο μελετητής ο οποίος είναι

εξοικειωμένος με τις πρακτικές της LCA, μπορεί να ανταποκριθεί αποτελεσματικά στην διασφάλιση της ποιότητας των στόχων.

- Απαιτήσεις αναλυτικών αναφορών – Για να εξασφαλιστεί ότι το προϊόν πληροί τις κατάλληλες προσδοκίες πρέπει τα τελικά αποτελέσματα να τεκμηριώνονται, να ελέγχεται τι είναι χρήσιμο να συμπεριληφθεί στην τελική έκθεση και να περιγραφεί λεπτομερώς η μεθοδολογία που χρησιμοποιήθηκε στην ανάλυση. Η έκθεση θα πρέπει να καθορίζει ρητά τα συστήματα που αναλύθηκαν και τα όρια που τέθηκαν. Η παρουσίαση των αποτελεσμάτων θα πρέπει να συνάδει με τον σκοπό της μελέτης χωρίς τα στοιχεία να είναι υπεραπλουστευμένα.

2.4 Καταγραφή δεδομένων κύκλου ζωής

Σε αυτό το βήμα ο αναλυτής συγκεντρώνει και οργανώνει όλα τα δεδομένα, δημιουργώντας μία λίστα με τις απαιτήσεις σε ενέργεια και σε πρώτες ύλες, με τις αέριες εκπομπές και τα στερεά απόβλητα καθώς και με όλες τις εκκρίσεις στο περιβάλλον κατά την διάρκεια ζωής του προϊόντος. Χωρίς αυτό το βήμα δεν υπάρχει βάση για την αξιολόγηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων ή επιλογή για πιθανές βελτιώσεις. Το επίπεδο ακρίβειας και λεπτομέρειας των δεδομένων που συλλέγονται αντανακλάται σε όλο το υπόλοιπο της διαδικασίας της LCA. Οι παραπάνω αναλύσεις μπορούν να χρησιμοποιηθούν με διάφορους τρόπους, διευκολύνοντας την διαδικασία λήψης αποφάσεων. Επιπλέον μπορούν να βοηθήσουν έναν οργανισμό ή μία επιχείρηση να επιλέξουν μετά από σύγκριση προϊόντων ή διαδικασιών, το βέλτιστο προϊόν λαμβάνοντας υπόψη τους περιβαλλοντικούς παράγοντες. Μπορούν οι αναλύσεις απογραφής να χρησιμοποιηθούν στη χάραξη πολιτικής, βοηθώντας την κυβέρνηση ή κάποιον οργανισμό να αναπτύξει κανονισμούς όσον αφορά τη χρήση των πόρων και των περιβαλλοντικών εκπομπών (Williams, 2009).

Η διαδικασία της απογραφής συντελείται σε **τέσσερα βήματα**, στα οποία περιλαμβάνεται το πλαίσιο της εκτέλεσης της καταγραφής και η αξιολόγηση της ποιότητας των δεδομένων και των αποτελεσμάτων, και τα οποία αναλύονται παρακάτω.

2.4.1 Διάγραμμα ροής

Το διάγραμμα ροής εξυπηρετεί την καταγραφή των δεδομένων εισόδου και εξόδου του συστήματος, συνδυάζοντας τις διάφορες διαδικασίες σχηματίζοντας την εικόνα ολόκληρου του κύκλου ζωής. Γενικά όσο πιο πολύπλοκο το διάγραμμα ροής τόσο μεγαλύτερη είναι η ακρίβεια και η χρηστικότητα των αποτελεσμάτων, καταναλώνοντας όμως παραπάνω χρόνο στην διαλογή των πηγών καθώς και στην ανάλυση των βημάτων. Τα πολύπλοκα συστήματα θα πρέπει να αναλύονται σε μία σειρά υποσυστημάτων, το κάθε υποσύστημα σύμφωνα με την EPA, (EPA, 2006) είναι «ένα μοναδικό βήμα ή μία διαδικασία που αποτελεί μέρος του συστήματος που έχει ήδη οριστεί». Πολλές φορές κάποια βήματα ομαδοποιούνται σε ένα υποσύστημα εφόσον

δεν υπάρχουν επαρκή στοιχεία για τον πλήρη καθορισμό τους και τα όρια συντάσσονται γύρω από μία ομάδα βημάτων και όχι γύρω από κάθε βήμα ξεχωριστά. Για κάθε υποσύστημα πρέπει να καθορίζονται οι εισροές πρώτων υλών και ενέργειας, οι εκροές προϊόντων, ατμοσφαιρικών ρύπων, υγρών και στερεών αποβλήτων καθώς και οποιεσδήποτε άλλες εκροές. Επιπλέον κάθε μεταφορά από τον τόπο της μίας διαδικασίας στον τόπο της άλλης θα πρέπει να συμπεριλαμβάνεται στο αντίστοιχο υποσύστημα, να ποσοτικοποιείται σύμφωνα με το απόσταση και το μεταφερόμενο βάρος και να ταυτοποιείται σύμφωνα με το μεταφερόμενο μέσο. Ακολουθεί ένα γενικό διάγραμμα της διαδικασίας και των συνιστωσών της:



Σχήμα 4: Διάγραμμα ροής διαδικασίας (Curran, 2006)

2.4.2 Πλάνο διαλογής των δεδομένων

Βασικά στοιχεία του πλάνου διαλογής δεδομένων είναι ο καθορισμός της ποιότητας των δεδομένων και των πηγών τους, καθώς και η ανάπτυξη ενός φύλλου εργασίας συλλογής δεδομένων και ελέγχου αυτών. Το ζητούμενο είναι η ποιότητα και η ακρίβεια των δεδομένων να ανταποκρίνονται στις προσδοκίες αυτού που παίρνει τις αποφάσεις.

2.4.3 Διαλογή δεδομένων

Η προσπάθεια συλλογής δεδομένων περιλαμβάνει ένα συνδυασμό έρευνας και άμεσης επαφής με τους ειδικούς, με αποτέλεσμα να παράγει μεγάλες ποσότητες δεδομένων. Ως εναλλακτική λύση, μπορεί να είναι πιο αποδοτικό να αγοραστεί ένα εμπορικά διαθέσιμο πακέτο λογισμικού LCA με την προϋπόθεση να παρέχει το απαιτούμενο επίπεδο ανάλυσης δεδομένων. Μια δεύτερη μέθοδος για τη μείωση του χρόνου συλλογής δεδομένων είναι η χρήση κάποιας βάσης δεδομένων που έχει αναπτυχθεί ειδικά για την LCA και που περιέχει μερικά από τα βασικά στοιχεία που απαιτούνται συνήθως για την κατασκευή ενός καταλόγου απογραφής. Οι κίνδυνοι από την χρήση αυτών των λογισμικών είναι ότι χάνεται η διαφάνεια των δεδομένων και δεν υπάρχει

καταγραφή των υποθέσεων ή των υπολογιστικών μεθόδων που χρησιμοποιήθηκαν. Απαραίτητη είναι η επανεξέταση του στόχου, προκειμένου να διαπιστωθεί εάν τα δεδομένα αυτά είναι κατάλληλα.

2.4.4 Αξιολόγηση και τεκμηρίωση των αποτελεσμάτων της καταγραφής

Για την παρουσίαση των τελικών αποτελεσμάτων της απογραφής του κύκλου ζωής είναι σημαντικό ο αναλυτής να περιγράψει λεπτομερώς τη μεθοδολογία που χρησιμοποιήθηκε. Η έκθεση θα πρέπει να καθορίζει ρητά τα συστήματα που αναλύθηκαν, τα όρια που τέθηκαν και τις παραδοχές που έγιναν κατά την εκτέλεση της απογραφής. Ο κύκλος ζωής δημιουργεί ένα μεγάλο αριθμό πληροφοριών, συχνά ετερογενούς χαρακτήρα, έτσι ο αναλυτής πρέπει να επιλέξει μια μορφή παρουσίασης και το περιεχόμενο της, ώστε να συνάδουν με τον σκοπό της μελέτης χωρίς να απλοποιήσει αυθαίρετα τις πληροφορίες μόνο για το σκοπό της παρουσίασης. Οι διάφορες οπτικές της ανάλυσης μπορούν να προσδιοριστούν κατά την διαδικασία μελέτης παρουσίασης των αποτελεσμάτων και περιλαμβάνουν το συνολικό σύστημα, τη σχετική συμβολή των σταδίων στο συνολικό σύστημα, τη σχετική συμβολή των συστατικών του προϊόντος στο συνολικό σύστημα, τις κατηγορίες των δεδομένων εντός και μεταξύ των σταδίων π.χ. την κατανάλωση ενέργειας και τις περιβαλλοντικές εκπομπές, τις παραμέτρους δεδομένων σε μια κατηγορία π.χ. οι εκπομπές στην ατμόσφαιρα, τα υγρά και στερεά απόβλητα, τις παραμέτρους δεδομένων σε μια ομάδα π.χ. οξείδια του θείου, διοξείδιο του άνθρακα, χλώριο κτλ. Ο αναλυτής πρέπει να επιλέξει ανάμεσα σε αυτές τις οπτικές και να αναπτύξει μια μορφή παρουσίασης που αυξάνει την κατανόηση των ευρημάτων τους, χωρίς υπεραπλούστευση. Οι αναλυτικές παρουσιάσεις μπορεί να βοηθήσουν στον εντοπισμό και στη συνέχεια στον έλεγχο της κατανάλωσης ενέργειας και των περιβαλλοντικών εκπομπών. Υπάρχουν δύο τρόποι παρουσίασης αποτελεσμάτων: με μορφή πίνακα ή γραφικά, δηλαδή με διαγράμματα και η καθεμία εξυπηρετεί διαφορετικό σκοπό.

2.5 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, για παράδειγμα γνωρίζουμε ότι οι εκπομπές 9000 tons CO₂ και 5000 tons CO είναι και οι δύο βλαβερές πρέπει όμως να προσδιοριστεί η βαρύτητα του κάθε αντίκτυπου. Η LCIA παρουσιάζει τις σχετικές/συγκριτικές διαφορές των επιπτώσεων

σε κάθε περιβαλλοντική κατηγορία, για παράδειγμα καθορίζει ποιό προϊόν συμβάλλει περισσότερο στο φαινόμενο του θερμοκηπίου.

Αυτή η φάση έχει τα εξής βήματα:

- Επιλογή και Ορισμός των κατηγοριών επιπτώσεων – προσδιορισμός των σχετικών περιβαλλοντικών επιπτώσεων και διαχωρισμός σε κατηγορίες (π.χ. η υπερθέρμανση του πλανήτη, χερσαία τοξικότητα).
- Κατάταξη – ανάθεση των αποτελεσμάτων στις διάφορες κατηγορίες επιπτώσεων (π.χ. την ταξινόμηση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα στην υπερθέρμανση του πλανήτη).
- Χαρακτηρισμός – 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).
- 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).
- Ομαδοποίηση – διαλογή ή κατάταξη των δεικτών (π.χ. διαλογή των δεικτών με βάση την τοποθεσία: τοπικό, περιφερειακό και παγκόσμιο επίπεδο).
- Βαρύτητα – έμφαση στις πιο σημαντικές πιθανές επιπτώσεις.
- Αξιολόγηση και υποβολή εκθέσεων αποτελεσμάτων LCA – καλύτερη κατανόηση της αξιοπιστίας των αποτελεσμάτων LCA.

2.6 Ερμηνεία των αποτελεσμάτων

Η ερμηνεία του κύκλου ζωής χρησιμοποιεί μια συστηματική διαδικασία για τον εντοπισμό, των έλεγχο τήρησης των προϋποθέσεων και την αξιολόγηση των συμπερασμάτων με βάση τα πορίσματα της LCA, σύμφωνα πάντα με τις απαιτήσεις της εφαρμογής όπως περιγράφονται στο στόχο και το πεδίο της μελέτης. Χρησιμοποιεί μία επαναληπτική διαδικασία τόσο εντός της φάσης όσο και σε συνδυασμό και με τις άλλες φάσεις. Η ερμηνεία καθιστά τις διατάξεις που επιτρέπουν την σύνδεση μεταξύ της LCA και των άλλων μεθόδων περιβαλλοντικής διαχείρισης με έμφαση στις δυνατότητες και τα όρια της LCA σε σχέση με το στόχο και το πεδίο ορισμού (ISO 14040-44).

2.7 Αρχές και πλαίσιο σύμφωνα με το ISO 14040-44

Σύμφωνα με τους Διεθνείς Κανονισμούς οι αρχές και το πλαίσιο της LCA συμπεριλαμβάνουν τα εξής:

1. Σκοπός και πεδίο εφαρμογής LCA
2. Απογραφή δεδομένων (LCI)

3. Εκτίμηση των επιπτώσεων (LCIA)
4. Αξιολόγηση- ερμηνεία της LCA
5. Υποβολή εκθέσεων και κριτική ανασκόπηση της LCA
6. Περιορισμοί LCA
7. Σχέση μεταξύ των φάσεων της LCA
8. Προϋποθέσεις για την χρήση των επιλογών αξίας και των προαιρετικών στοιχείων

Επιπλέον στο ISO 14040-44 δίνεται ο ορισμός του **προϊόντος** ως οποιοδήποτε αγαθό ή υπηρεσία και μπορεί να κατηγοριοποιηθεί στα παρακάτω:

- Υπηρεσίες πχ. μεταφορές
- Λογισμικά πχ. προγράμματα υπολογιστή, λεξικό
- Εξοπλισμοί πχ. μηχανικό μέρος του κινητήρα
- Επεξεργασμένα υλικά πχ. λιπαντικό

Οι υπηρεσίες έχουν υλικά και άυλα στοιχεία και μπορεί η παροχή μίας υπηρεσίας να αφορά τα παρακάτω:

- Μία δραστηριότητα που παρέχεται στον πελάτη σε απτό προϊόν (αυτοκίνητο που πρέπει να επισκευαστεί)
- Μία δραστηριότητα που παρέχεται στον πελάτη σε άυλο προϊόν (δήλωση εισοδήματος για επιστροφή φόρου)
- Η παράδοση ενός άυλου προϊόντος (παροχή πληροφοριών στο πλαίσιο της μετάδοσης γνώσεων)
- Η δημιουργία περιβάλλοντος – ατμόσφαιρας για τον πελάτη (ξενοδοχεία και εστιατόρια)

Το λογισμικό αποτελείται από πληροφορίες, είναι εν γένει άυλο και είναι υπό την μορφή προσεγγίσεων, συναλλαγών και διαδικασιών.

Οι εξοπλισμοί και τα επεξεργασμένα υλικά είναι απτά και η ποσότητα τους είναι μετρήσιμο χαρακτηριστικό.

Οι αρχές που περιγράφονται στο ISO 14040-44 είναι θεμελιώδεις και θα πρέπει να χρησιμοποιούνται ως οδηγός για αποφάσεις που αφορούν τόσο το σχεδιασμό όσο και την διεξαγωγή της LCA.

3. 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.

3.1 Παρουσίαση Παραδειγμάτων στην Βιομηχανία

3.1.1 1^ο 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 (Goedkoop and Spriensma, 2000) και η Centrum voor Milieuwetenschappen, CML (Guinee et al. 2001).

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:

Πίνακας 3: Εκπομπές και κατανάλωση πρώτων υλών για την LCA της τηλεόρασης plasma

		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

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.

3.1.2 2^ο Παράδειγμα LCA στη βιομηχανία

Ένα πολύ αναλυτικό παράδειγμα παρουσιάζεται στην μελέτη που αφορά την αξιολόγηση των οικοδομικών δαπέδων σε κτίσματα στην Τεχεράνη βασισμένη στην ανάλυση του κύκλου ζωής τους. Χρησιμοποιήθηκε ένα σύστημα τριών κριτηρίων: περιβαλλοντικές επιπτώσεις, οικονομικές και κοινωνικό-πολιτικές για να μπορέσουν να

επιλέξουν από τα εξής: σκυρόδεμα, πηλός και διογκωμένη πολυστερίνη, το δάπεδο με τις λιγότερες επιπτώσεις στην αειφόρο ανάπτυξη. Με την βοήθεια ενός δείκτη ποσοτικοποίησης της βιωσιμότητας επιλέχθηκε το δάπεδο με τον μεγαλύτερο δείκτη.

3.1.2.1 Καταγραφή δεδομένων

Η λειτουργική μονάδα που χρησιμοποιείται για τη φάση της κατασκευής έχει οριστεί ως η κατασκευή ενός τετραγωνικού μέτρου οριζόντιας επιφάνειας κατά τη διάρκεια σχεδιασμού τριάντα ετών. Για την συλλογή των δεδομένων χρησιμοποιήθηκαν τρεις βάσης δεδομένων: **CML baseline 2000**, **SETAC** και **LEED** και τρεις διεθνής κανονισμοί: **ISO 14042**, **ASTM E1991** και **ASTM 2129**. Επιπλέον τα οικονομικά στοιχεία λαμβάνονται από την ιρανική λίστα τιμών που εκδίδεται κάθε χρόνο από το **President Deputy Strategic Planning and Control** και τα κοινωνικό-πολιτικά στοιχεία από συνεντεύξεις με εμπειρογνώμονες.

3.1.2.2 Αξιολόγηση επιπτώσεων LCA

Οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις χωρίζονται σε επτά κατηγορίες και στην συνέχεια η κάθε κατηγορία χωρίζεται σε υπό-κατηγορίες όπως φαίνεται στο παρακάτω διάγραμμα:

Εξάντληση Πόρων	Απόβλητα	Διαχείριση Αποβλήτων	Κλιματικές Αλλαγές
ΦΑΣΕΙΣ			
<ol style="list-style-type: none"> 1. Πρωτογενής Ενέργεια 2. Ανανεώσιμες Πρώτες Υλες 3. Κατανάλωση Νερού 4. Παραγόμενη Ενέργεια Καύσης 5. Συντελεστής Απώλειας Υλικού 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Εξόρυξη και Παραγωγή 2. Κατασκευή (εργοτάξιο) 3. Χρήση(εσωτερικό κτιρίου) 4. Καταστροφή και Απόρριψη 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Επαναχρησιμοποίηση 2. Ανακύκλωση 3. Απόρριψη 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Αέρια θερμοκηπίου (CO₂, CH₄, NO_x) 2. Καταστροφή Οζοντος (CFCs, NO_x) 3. Οξίνιση (SO_x, NO_x) 4. Φωτοχημική Οξείδωση
Περιβαλλοντικό Ρίσκο		Ενέργεια	Απώλεια Ενέργειας
<ol style="list-style-type: none"> 1. Ρίσκο Ανθρώπινης Υγείας 2. Οικολογικό Ρίσκο 3. Ρίσκο Ασφάλειας 		Ενέργεια από την εξόρυξη ως το τέλος ζωής του προϊόντος	Χαμένη Ενέργεια από την φάση της κατασκευής

Σχήμα 5: Περιβαλλοντικές επιπτώσεις από τον κύκλο ζωής του δαπέδου (Bahareh etal, 2010)

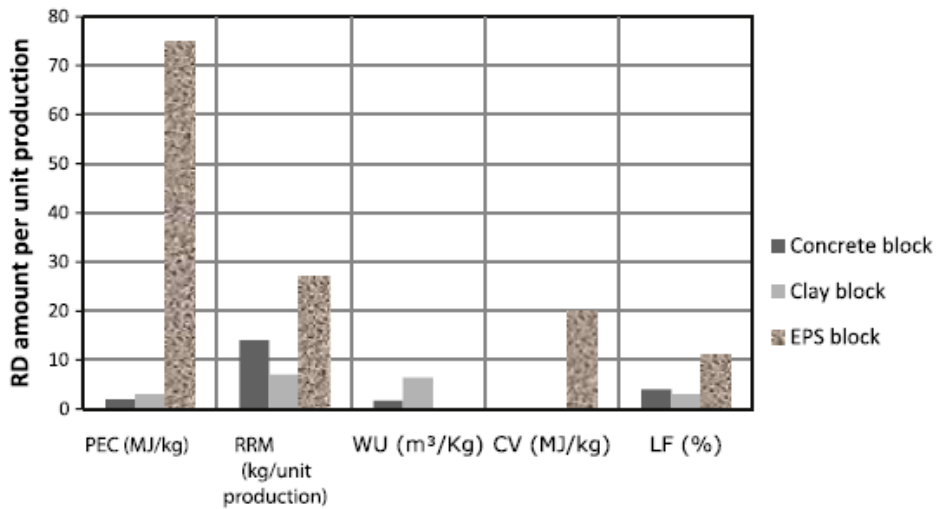
Κόστος Υλικών	Κόστος Κατασκευής	Κόστος Λειτουργίας και Συντήρησης
---------------	-------------------	-----------------------------------

Σχήμα 6: Οικονομικές επιπτώσεις από τον κύκλο ζωής του δαπέδου (Bahareh etal, 2010)

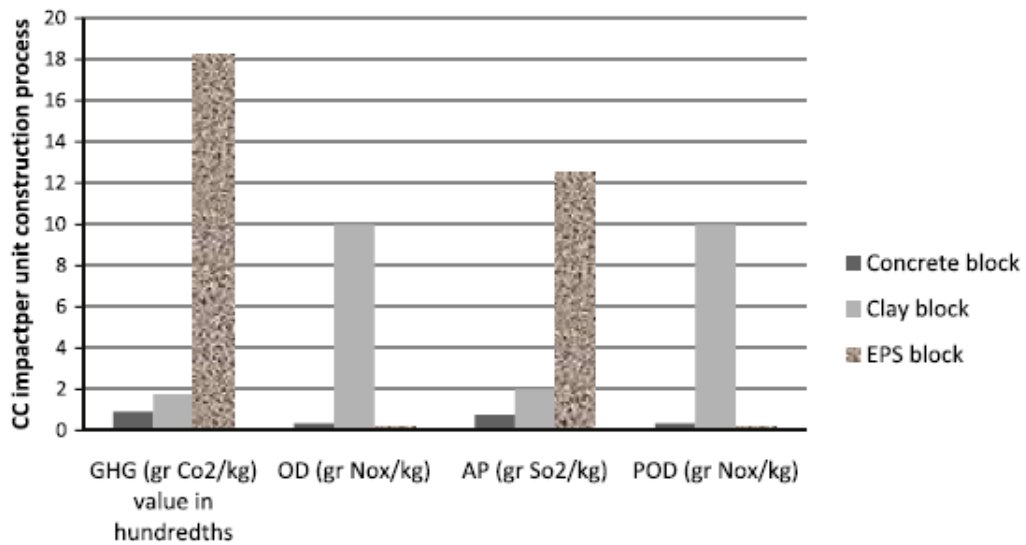
Κοινωνική Αποδοχή	Ευπάθεια Περιοχής	Βάρος Κτιρίου
1. Αισθητική 2. Ηχορύπανση	1. Σε Φυσικές Καταστροφές 2. Σε Κοινωνικούς Παράγοντες: θρησκευτικούς και κοινωνικούς	Σημαντικός συντελεστής λόγω μείωσης σεισμικής απορρόφησης του κτιρίου

Σχήμα 7: Κοινωνικοπολιτικές επιπτώσεις από τον κύκλο ζωής του δαπέδου (Bahareh etal, 2010)

Παρακάτω παρατίθενται ενδεικτικά κάποια διαγράμματα με τις επιπτώσεις ανά μονάδα παραγωγής για την εξάντληση των πόρων και την κλιματική αλλαγή:

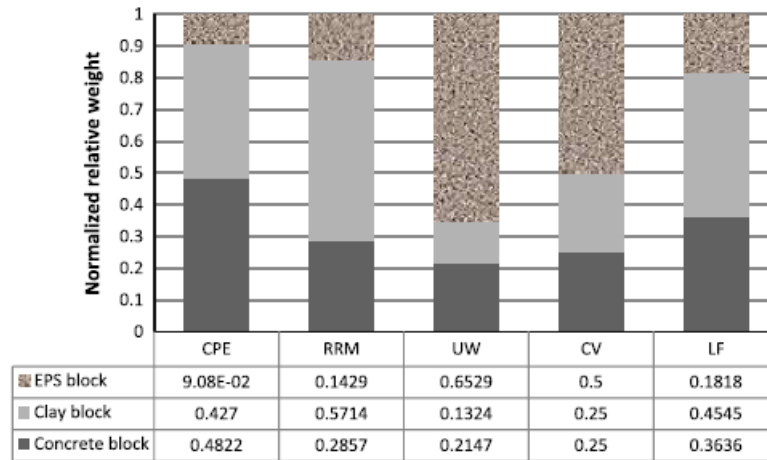


Σχήμα 8: Εξάντληση πόρων που προκαλεί η ανάλυση κύκλου ζωής κάθε είδους δαπέδου που είναι υπό σύγκριση (Bahareh etal, 2010)

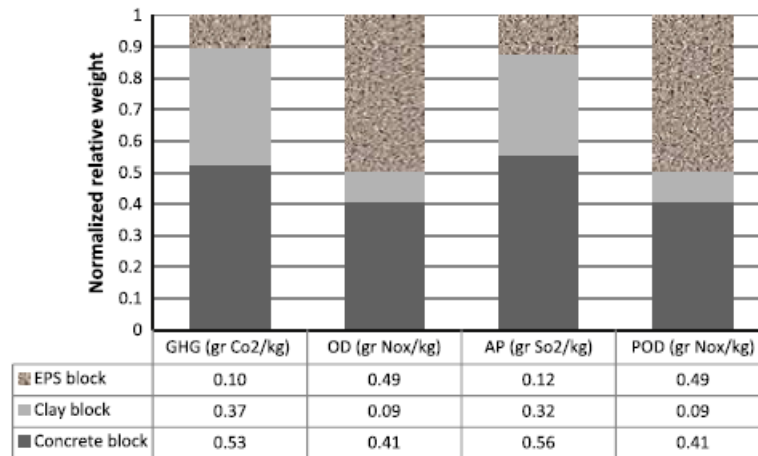


Σχήμα 9: Κλιματική αλλαγή που προκαλεί ο κύκλος ζωής κάθε είδους δαπέδου που είναι υπό σύγκριση (Bahareh etal, 2010)

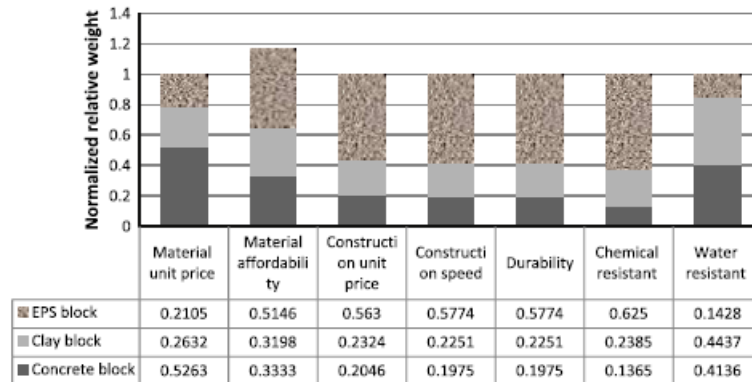
Στη συνέχεια παρατίθενται κάποια διαγράμματα με τα σχετικά βάρη για κάθε υποκατηγορία μετά από κανονικοποίηση στα οποία παρατηρούμε ότι μεγαλύτερος συντελεστής βαρύτητας αντιστοιχεί στην εναλλακτική με τις λιγότερες επιπτώσεις:



Σχήμα 10: Συντελεστές βαρύτητας με βάση την εξάντληση πόρων (Bahareh etal, 2010)

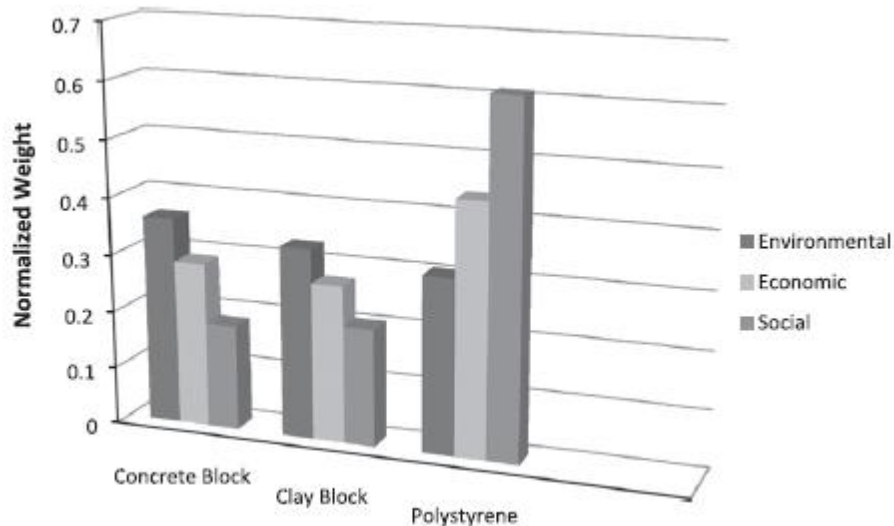


Σχήμα 11: Συντελεστές βαρύτητας με βάση την κλιματική αλλαγή (Bahareh etal, 2010)



Σχήμα 12: Συντελεστές βαρύτητας με βάση τις οικονομικές επιπτώσεις (Bahareh etal, 2010)

Τελικά η μελέτη κατέληξε στο παρακάτω διάγραμμα στο οποίο φαίνεται ότι ενώ το δάπεδο από διογκωμένη πολυστερίνη είναι η καλύτερη επιλογή σε γενικές γραμμές για την αειφόρο ανάπτυξη, υστερεί στις περιβαλλοντικές επιπτώσεις, προκαλώντας έτσι τους επιστήμονες να βρουν πρακτικές για μείωση αυτών των επιπτώσεων:



Σχήμα 13: Συντελεστής βαρύτητας με βάση όλα τα κριτήρια (Bahareh etal, 2010)

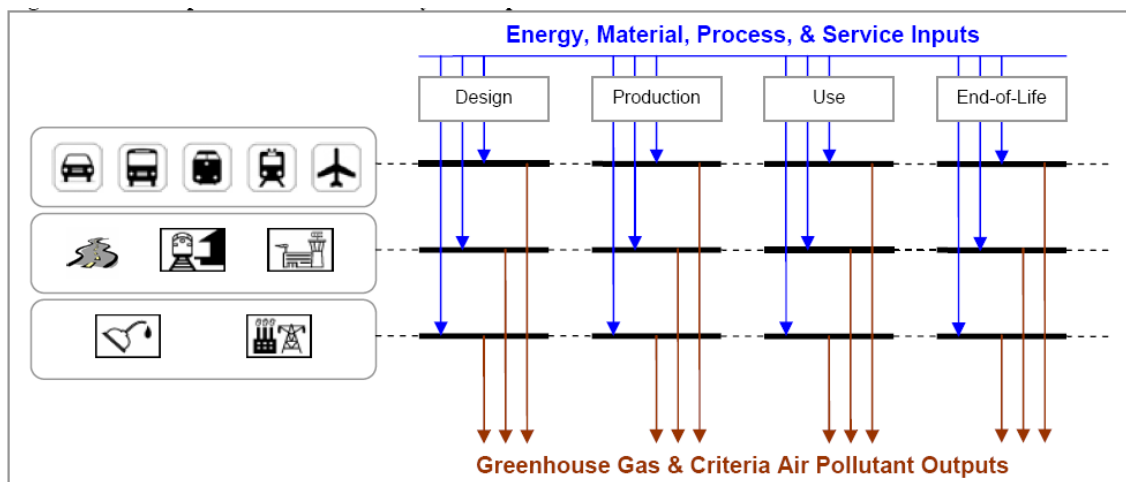
3.2 Παρουσίαση Παραδείγματος LCA στις Μεταφορές

Ο τομέας των μεταφορών αποτελεί ένα από τους μεγαλύτερους καταναλωτές ενέργειας και συνεπαγόμενων περιβαλλοντικών επιπτώσεων. Οι περισσότερες στατιστικές συγκρίνουν τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις των οχημάτων χερσαίων μεταφορών, ενώ ελάχιστες μελετούν το λειτουργικό αντίκτυπο των μεταφορικών μέσων. Για να αντιμετωπιστεί κατάλληλα ο αντίκτυπος των μεταφορικών μέσων πρέπει να εκτιμηθούν με ακρίβεια οι επιπτώσεις από όλο τον κύκλο ζωής των υποδομών και των οχημάτων. Η πλειονότητα των μελετών υπολογίζει το κοινωνικό κόστος σε κάθε στάδιο χωρίς να λαμβάνει υπόψη το συνολικό περιβαλλοντικό κόστος. Μία ακριβής ποσοτικοποίηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων θα παρέχει μία βελτιωμένη κατανόηση των εισροών και των εκροών που σχετίζονται με κάθε λειτουργία στο εκάστοτε στάδιο. Τα οχήματα, οι υποδομές και τα καύσιμα που εξυπηρετούν αυτές τις λειτουργίες είναι αρκετά πολύπλοκα με πολλές εισόδους και εξόδους και η ανάλυση τους περιλαμβάνει πολλές διαδικασίες επομένως η πιο κατάλληλη μεθοδολογία καθίσταται η LCA.

Σκοπός της μελέτης που παρουσιάζεται είναι να δημιουργήσει κατανοητά μοντέλα για τον υπολογισμό και την ποσοτικοποίηση των δεδομένων ενεργειακών εισροών και των εκπομπών που παράγονται από την ανάλυση κύκλου ζωής των εξής μεταφορικών μέσων: αυτοκίνητο, λεωφορείο, τρένο, τραμ και αεροπλάνο. Για τον παραπάνω στόχο χρησιμοποιήθηκε ένας συνδυασμός δύο μοντέλων LCA:

1. Το μοντέλο που προσδιορίζει και ποσοτικοποιεί τις εισροές πόρων και τις περιβαλλοντικές εκροές σε κάθε στάδιο και στη μοντελοποίηση της διαδικασίας και του υπολογισμού ισοζυγίου μάζας (Curran, 1996, Keoleian, 1993).
2. Την οικονομική ανάλυση εισροών – εκροών με βάση την LCA ως ένα μοντέλο οικονομικής ισορροπίας της οικονομίας των ΗΠΑ που ενσωματώνει την οικονομική ανάλυση εισροών- εκροών και τις διαθέσιμες στο κοινό περιβαλλοντικές βάσεις δεδομένων για την ανάλυση της απογραφής που σχετίζονται με ένα προϊόν ή μία υπηρεσία (Hendrickson, 1998).

Τα όρια του συστήματος φαίνονται στο παρακάτω στο παρακάτω σχήμα:



Σχήμα 14: Όρια συστήματος παραδείγματος LCA στις μεταφορές

Σε αυτή τη μελέτη υπολογίστηκαν οι ενεργειακές εισροές, τα αέρια του θερμοκηπίου (διοξείδιο του άνθρακα CO₂, υποξείδιο του αζώτου N₂O και μεθάνιο CH₄) και αέριες εκπομπές (μικροσωματίδια PM, μονοξείδιο του άνθρακα CO, διοξείδιο του θείου SO₂, οξείδια του αζώτου NO_x, μόλυβδος Pb, πτητικές οργανικές ενώσεις VOC) που προκύπτουν από τον κύκλο ζωής των οχημάτων, των υποδομών και των καυσίμων που σχετίζονται με το κάθε μέσο μεταφοράς. Τα παραπάνω επιλέχθηκαν να υπολογιστούν γιατί προκαλούν τις εξής επιπτώσεις:

- Τα αέρια του θερμοκηπίου → κλιματική αλλαγή
- SO₂ → αναπνευστικούς ερεθισμούς, εναπόθεση οξέων
- CO → ασφυξία
- NO_x → αναπνευστικούς ερεθισμούς, συμβάλλει στη δημιουργία των χαμηλών στρωμάτων της στοιβάδας του όζοντος
- VOC → πιθανή καρκινογένεση, συμβάλλει στη δημιουργία των χαμηλών στρωμάτων της στοιβάδας του όζοντος
- PM → επίδραση στο αναπνευστικό και καρδιαγγειακό σύστημα και στον πνευμονικό ιστό

Παρακάτω ακολουθεί σχήμα που παρουσιάζει τις πηγές από τις οποίες προέκυψαν τα δεδομένα και επιπλέον τις φάσεις και τις διεργασίες που συμπεριλαμβάνει η μελέτη για τον κύκλο ζωής του αυτοκινήτου. Στην LCA του αυτοκινήτου/λεωφορείο συμμετέχουν οι εξής διεργασίες: κατασκευή, λειτουργία και συντήρηση αυτοκινήτου, κατασκευή και συντήρηση των δρόμων, κατασκευή και συντήρηση των parking, φωτισμός δρόμων και παραγωγή καυσίμων:

Vehicle	Data Sources	LCA Type
<i>Manufacturing</i>		
Manufacturing	AN 2005	EIOLCA
<i>Operation</i>		
Running	EPA 2006, Mobile 2003	Process
Startup	Mobile 2003	Process
Braking	Mobile 2003	Process
Tire Wear	Mobile 2003	Process
Evaporative Losses	Mobile 2003	Process
Idling	CARB 2002, Clarke 2005, McCormick 2000	Process
<i>Maintenance</i>		
Vehicle	AAA 2006, FTA 2005b	EIOLCA
Tire Production	AAA 2006, FTA 2005b	EIOLCA
Automotive Repair	CARB 1997	Process
<i>Insurance</i>		
Fixed Costs / Insurance	AAA 2006, FTA 2005b, APTA 2006	EIOLCA
Infrastructure		
<i>Construction & Maintenance</i>		
Roadway Construction	FHWA 2000, AASHTO 2001, PaLATE, EPA 2001	Hybrid
Roadway Maintenance	FTA 2006, PaLATE, EPA 2001	Hybrid
Roadway & Parking Lighting	EERE 2002, Deru 2007	Process
Parking	IPI 2007, EPA 2005, TRB 1991, Census 2002, MR 2007, Guggemos 2005, PaLATE, EPA 2001	Hybrid
<i>Operation</i>		
Herbicides & Salt Production	EPA 2001b, TRB 1991	EIOLCA
Fuel		
Gasoline & Diesel Production	EIA 2007, EIA 2007b	EIOLCA

Σχήμα 15: Πηγές δεδομένων για το αυτοκίνητο

	Sedan	SUV	Pickup	Bus (Off-Peak)	Bus (Peak)
Energy (MJ/PMT)	4.6 (3.0)	6.3 (4.5)	7.8 (5.7)	6.4 (4.7)	0.80 (0.59)
GHG (g/PMT)	360 (230)	430 (280)	500 (330)	630 (490)	79 (61)

Σχήμα 16: Κατανάλωση ενέργειας και παραγόμενες εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου

	Sedan	SUV	Pickup	Bus (Off-Peak)	Bus (Peak)
CO (g/PMT)	12 (12)	13 (12)	16 (15)	2.1 (1.2)	0.26 (0.15)
SO ₂ (mg/PMT)	480 (72)	470 (16)	530 (18)	1,000 (150)	130 (18)
NO _x (mg/PMT)	1,000 (640)	1,000 (590)	1,400 (910)	4,300 (4,000)	530 (500)
VOC (mg/PMT)	1,300 (770)	1,300 (760)	1,600 (950)	660 (140)	82 (17)
PM ₁₀ (mg/PMT)	780 (81)	720 (73)	850 (87)	400 (160)	51 (20)

Σχήμα 17: Παραγόμενες αέριες εκπομπές

Παραπάνω φαίνονται τα συνολικά αποτελέσματα από την LCA του αυτοκινήτου/λεωφορείου. Στον πρώτο πίνακα στην πάνω γραμμή είναι η ενέργεια που

καταναλώνεται ανά μίλι ταξιδιού (per Passenger – Mile – Travelled, PMT) και στη δεύτερη γραμμή οι εκπομπές των αερίων του θερμοκηπίου που παράγονται ανά PMT. Μέσα στις παρενθέσεις βρίσκονται οι εκπομπές που προκύπτουν από τη λειτουργία των αυτοκινήτων. Στον δεύτερο πίνακα παρουσιάζονται οι αέριες εκπομπές (criteria air pollutant) πάλι ανά κατηγορία αυτοκινήτου σε gr/PMT.

Ακολουθούν οι πίνακες με τις εκπομπές από την LCA του τρένου και του αεροπλάνου:

	<u>BART</u>	<u>Caltrain</u>	<u>Muni</u>	<u>Green Line</u>	<u>CAHSR</u>
Energy (MJ/PMT)	2.2 (1.1)	2.2 (1.1)	3.0 (1.2)	2.3 (0.87)	1.6 (0.43)
GHG (g/PMT)	150 (84)	160 (74)	200 (90)	220 (120)	130 (32)

Σχήμα 18: Κατανάλωση ενέργειας και παραγόμενες εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου από την LCA του τρένου

	<u>BART</u>	<u>Caltrain</u>	<u>Muni</u>	<u>Green Line</u>	<u>CAHSR</u>
CO (mg/PMT)	520 (43)	420 (83)	670 (46)	720 (140)	770 (16)
SO ₂ (mg/PMT)	740 (450)	310 (11)	970 (480)	1,200 (730)	490 (170)
NO _x (mg/PMT)	290 (32)	1,600 (1,400)	290 (35)	410 (160)	360 (12)
VOC (mg/PMT)	200 (9.6)	200 (59)	150 (10)	130 (9.3)	250 (3.7)
PM ₁₀ (mg/PMT)	130 (4.9)	170 (38)	53 (5.2)	65 (7.4)	62 (1.8)

Σχήμα 19: Παραγόμενες αέριες εκπομπές από την LCA του τρένου

	<u>Embraer 145</u>	<u>Boeing 737</u>	<u>Boeing 747</u>
Energy (MJ/PMT)	4.1 (3.5)	3.0 (2.6)	4.6 (3.7)
GHG (g/PMT)	290 (230)	210 (170)	320 (250)

Σχήμα 20: Κατανάλωση ενέργειας και παραγόμενες εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου από την LCA του αεροπλάνου

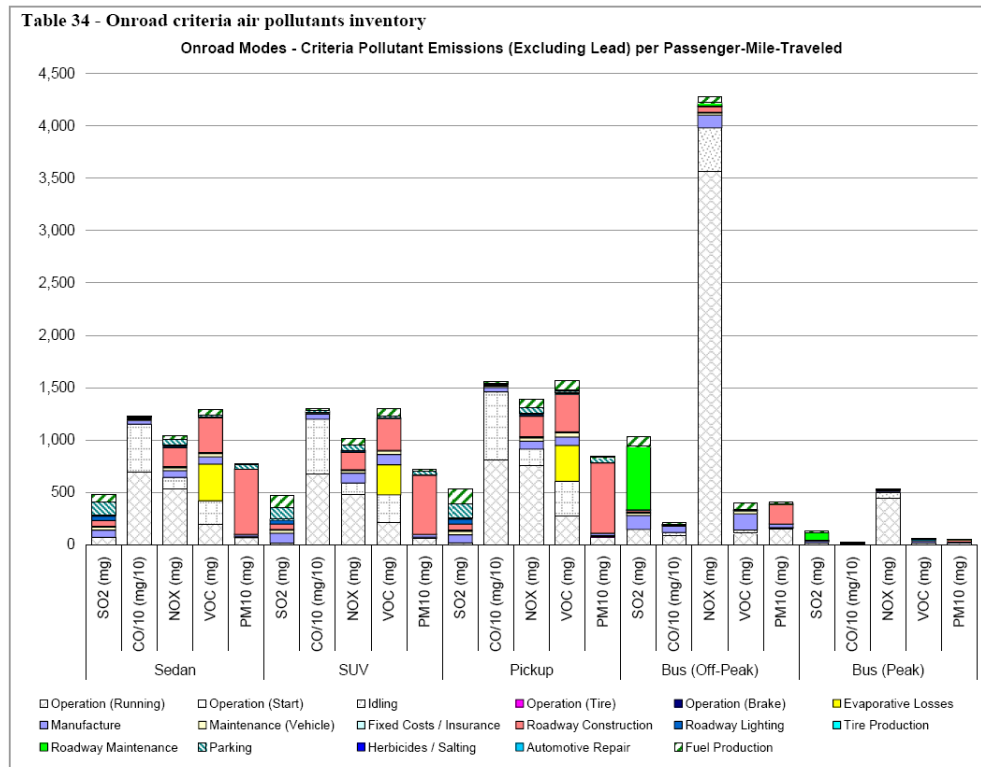
	<u>Embraer 145</u>	<u>Boeing 737</u>	<u>Boeing 747</u>
CO (mg/PMT)	740 (290)	550 (230)	720 (97)
SO ₂ (mg/PMT)	210 (84)	140 (58)	260 (79)
NO _x (mg/PMT)	750 (630)	670 (590)	1,100 (970)
VOC (mg/PMT)	150 (71)	72 (22)	130 (22)
PM ₁₀ (mg/PMT)	43 (6.6)	32 (3.7)	52 (5.1)

Σχήμα 21: Παραγόμενες αέριες εκπομπές από την LCA του αεροπλάνου

Η ενέργεια που καταναλώνεται στο αυτοκίνητο είναι κατά μέσο όρο 5.18 (MJ/PMT) ενώ στο τρένο είναι 2.26 (MJ/PMT) και στο αεροπλάνο 3.9 (MJ/PMT), επομένως το αυτοκίνητο καταναλώνει την περισσότερη ενέργεια ανά PMT. Τα αέρια του θερμοκηπίου για το αυτοκίνητο υπολογίστηκαν 400 (gr/PMT), για το τρένο 172 (gr/PMT) και για το αεροπλάνο 273.3 (gr/PMT) οπότε πάλι οι εκπομπές που

προκύπτουν από την LCA του αυτοκινήτου είναι περισσότερες, αναφερόμενες βέβαια σε υπολογισμούς ανά PMT.

Ενδεικτικά επιλέχθηκε το παρακάτω διάγραμμα στο οποίο παρουσιάζονται οι αέριες εκπομπές που παράγονται από το συνολικό κύκλο ζωής του αυτοκινήτου και των λεωφορείων ανά διεργασία που εκτελείται.



Σχήμα 22: Εκπομπές που προκύπτουν από την ανάλυση κύκλου ζωής του αυτοκινήτου

Η συγκεκριμένη μελέτη δεν εφάρμοσε το επόμενο στάδιο της LCA, την αξιολόγηση επιπτώσεων (LCI), δηλαδή παρέμεινε στον υπολογισμό των εκπομπών που παράγονται από τον κύκλο ζωής των μεταφορικών.

3.3 Μελέτες LCA στη Ναυτιλία

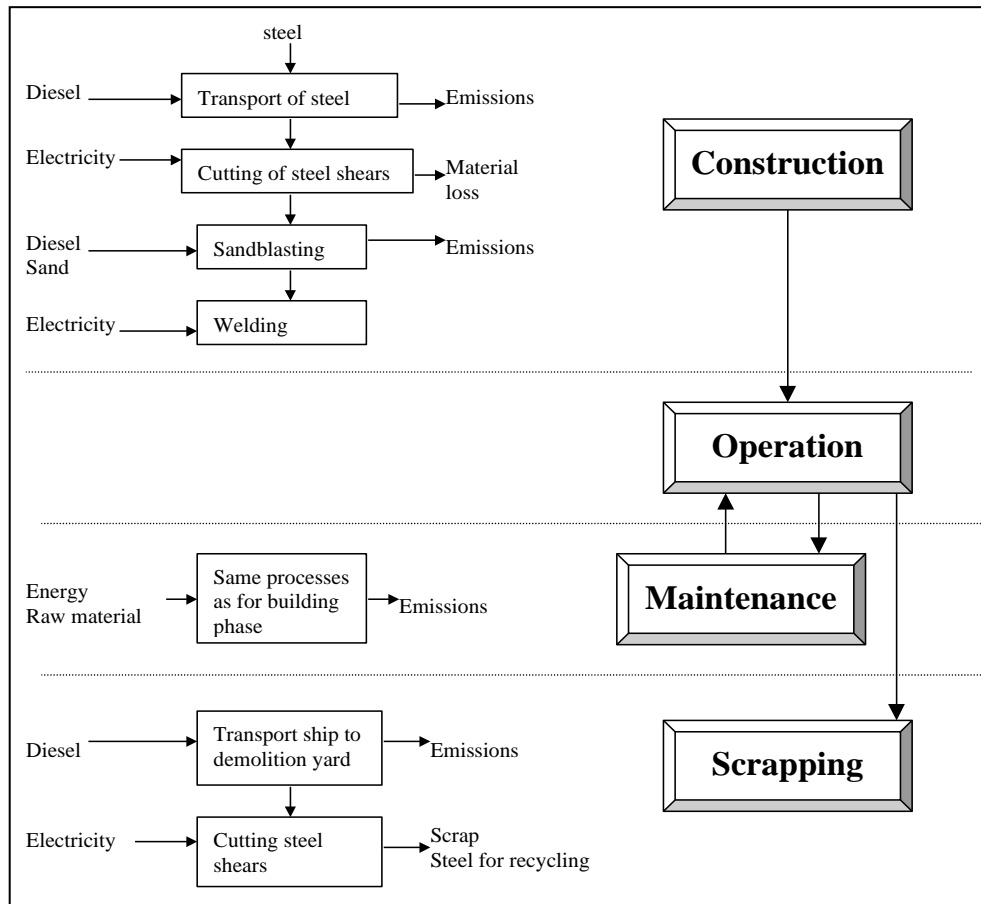
3.3.1 1^ο παράδειγμα εφαρμογής LCA στη ναυτιλία

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:

- Ο υπολογισμός των επιμέρους βαρών του πλοίου βασίστηκε σε υπολογιστικά μοντέλα στο επίπεδο των υποσυστημάτων και σε παραδοχές στα χαμηλότερα επίπεδα.
- 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.
- Τέλος, τα δεδομένα της ανακύκλωσης βασίστηκαν στο SimaPro και σε παραδοχές.

Παρακάτω παρατίθεται ένα διάγραμμα που απεικονίζει τις διαδικασίες που αφορούν το υλικό του χάλυβα και συμπεριλήφθηκαν στην LCA του Color Festival. Αντίστοιχα διαγράμματα έγιναν και για τα υπόλοιπα υποσυστήματα:



Σχήμα 23: Διάγραμμα ροής για τα υλικά και τις εργασίες της γάστρας του πλοίου (Fet, 1999)

Όπως φαίνεται στο παραπάνω διάγραμμα 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.

Στη συνέχεια της μελέτης έγινε η Αξιολόγηση των Επιπτώσεων του Κύκλου Ζωής (LCIA) όπου επιλέχθηκαν οι εξής επιπτώσεις: το φαινόμενο του θερμοκηπίου (greenhouse effect), η μείωση της στοιβάδας του όζοντος (ozone depletion), η οξύνιση (acidification), η φωτοχημική οξείδωση (photo-oxidant formation), ο ευτροφισμός (eutrophication), η χειμερινή αιθαλομίχλη (winter smog), οι οικολογικές επιπτώσεις (ecotoxicological impacts), οι τοξικολογικές επιπτώσεις στον άνθρωπο

(human toxicological impact), στερεά απόβλητα (solid waste), η χρήση πρώτων υλών (material use), η κατανάλωση ενέργειας (energy use). Ακολουθεί πίνακας που παρουσιάζει ποιες διαδικασίες συμβάλλουν σημαντικότερα και σε ποια κατηγορία επίπτωσης:

Impact category	Important substances	Percentage of contribution to impact	Most important contributing process
Greenhouse effect	CO ₂	100	Operation of engines
Ozone depletion	CFC (hard)	21	Production of PUR used in furniture
	Halon 1301	16	Production of hull steel
	Tetrachloromethane	63	Production of PUR used in furniture
Acidification	NO _x	72	Operation of engines
	SO ₂	26	Operation of engines
Photo-oxidant formation	C _x H _y	99	Operation of engines
Eutrophication	NO _x	100	Operation of engines
Winter smog	Dust (SPM)	15	Fuel production
	Soot	92	Operation of engines
	Dust (coarse)	-8	Recycling of hull steel
Ecology toxicology	Tributyltin	100	Leaking during operation
Human toxicology	Ni	8	Operation of engines
	NO _x	61	Operation of engines
	SO ₂	23	Operation of engines
	Vanadium	8	Operation of engines
Solid waste	Final waste (inert)	48	Fuel production
	Inorganic (general)	59	Production of hull steel
	Production waste (not inert)	-122	Recycling of hull steel
	Slag	75	Treatment of sludge
	Steel scrap	40	Scrapping of inventory
Material consumption	Bauxite	5	Fuel production
	Iron (ore)	119	Production of hull steel
	limestone	-43	Recycling of hull steel
	Sand	7	Sandblasting
Energy	Crude oil	94	Operation of engines

consumption			
-------------	--	--	--

Σχήμα 24: Διαδικασίες και εκπομπές που συνεισφέρουν σε κάθε επίπτωση (Fet, 1999)

Για παράδειγμα στο φαινόμενο του θερμοκηπίου συνεισφέρει μόνο η λειτουργία των μηχανών με τις εκπομπές CO₂, ενώ στην οξύνιση συνεισφέρει πάλι μόνο η λειτουργία των μηχανών αλλά με τις εκπομπές NO_x και SO₂.

Σημαντικά συμπεράσματα από την LCA του πλοίου ‘Color Festival’ είναι τα εξής:

- 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.
- 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 NO_x και SO_x 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 (Fet et al, 1999).

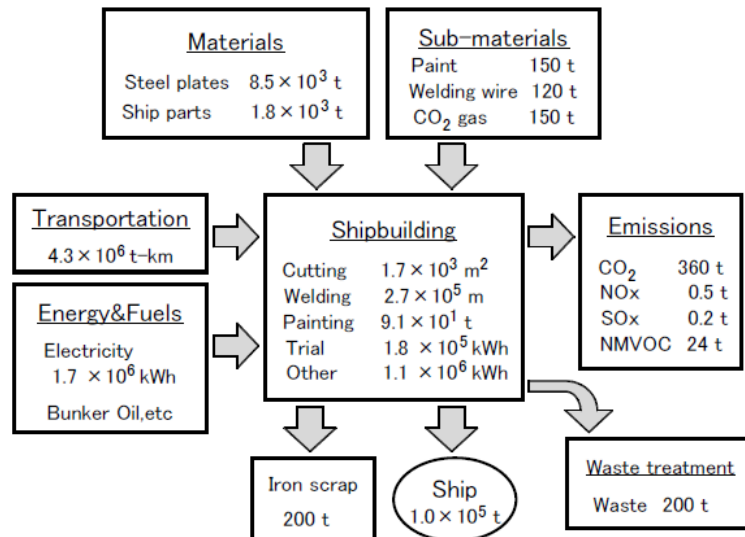
3.3.2 2^ο παράδειγμα εφαρμογής LCA στη ναυτιλία

Ένα πολύ αναλυτικό παράδειγμα της μεθοδολογίας LCA στη ναυτιλία, αποτελεί η LCA ενός Panamax bulk carrier 76000 tons DWT που εκπονήθηκε στην Ιαπωνία (Kameyama, 2004). Στη συγκεκριμένη μελέτη αναπτύχθηκε ειδικό λογισμικό για την εκτίμηση των επιπτώσεων του πλοίου κατά τη διάρκεια ζωής του πλοίου, το LIME, το οποίο ποσοτικοποιεί το πιθανό περιβαλλοντικό ρίσκο και δημιουργεί έναν μοναδικό οικονομικό δείκτη ειδικά για τις συνθήκες της Ιαπωνίας.

Σε αυτή τη μελέτη, σε αντίθεση με το Color Festival που περιγράφηκε παραπάνω, στόχος είναι να διευκρινιστούν οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις και το μέγιστο περιβαλλοντικό φορτίο καθ’ όλη τη διάρκεια ζωής του πλοίου. Συμπεριλαμβάνει τρεις

φάσεις: την κατασκευή του πλοίου, τη λειτουργία και τη διάλυση και ανακύκλωση του. Επιπλέον υπολογίζει την παραγωγή των καυσίμων και ανταλλακτικών που είναι απαραίτητα για όλη τη διάρκεια ζωής του, θεωρώντας ότι τα ανταλλακτικά δεν επαναχρησιμοποιούνται.

Τα δεδομένα στην κατασκευή και στη διάλυση του πλοίου αποκτήθηκαν από μελέτες πεδίου σε ένα ναυπηγείο κατασκευής και σε ναυπηγείο διάλυσης. Οι συντελεστές φορτίου για την κύρια μηχανή, τις γεννήτριες και του βοηθητικού boiler στη φάση της λειτουργίας βασίστηκαν σε στοιχεία από τα ημερολόγια πλοήγησης πραγματικών bulk carrier. Για την παραγωγή υλικών και καυσίμων τα δεδομένα προήλθαν από αντιπροσωπευτική βάση δεδομένων για LCA. Τα δεδομένα για την επεξεργασία του χάλυβα, δηλαδή για την κοπή, τη συγκόλληση, τη βαφή και την κάμψη του χάλυβα επιλέχτηκαν σύμφωνα με έρευνα στο ναυπηγείο κατασκευής και με υπολογισμούς βασισμένους σε καταλόγους προϊόντων. Τέλος, οι εκπομπές της κύριας μηχανής της γεννήτριας και του boiler στη φάση της λειτουργίας υπολογίστηκαν σύμφωνα με τους κανόνες IPCC. Ακολουθεί διάγραμμα που απεικονίζει τα δεδομένα που εισάγονται στο σύστημα και αυτά που εξέρχονται από αυτό για την φάση της κατασκευής του πλοίου. Στο σχήμα αυτό φαίνονται οι ποσότητες του χάλυβα και των βαφών που απαιτούνται, η μεταφορά τους, η ενέργεια και τα καύσιμα που χρειάζονται για την επεξεργασία του χάλυβα (κοπή, συγκόλληση, βαφή και δοκιμή) και όσον αφορά τα outputs συμπεριλαμβάνονται οι εκπομπές (CO₂, NO_x, SO_x και NMVOC), το iron scrap (θραύσματα σιδήρου) και το waste treatment (διαχείριση αποβλήτων):

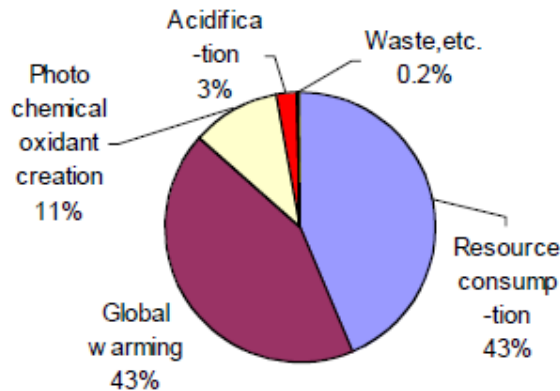


Σχήμα 25: Δεδομένα εισαγωγής και εξόδου στο ναυπηγείο κατασκευής του πλοίου μοντέλου (Kameyama et al, 2010)

Οι κατηγορίες των επιπτώσεων για κάθε φάση ζωής είναι οι εξής: υπερθέρμανση του πλανήτη (global warming), οξύνιση (acidification), φωτοχημική οξείδωση

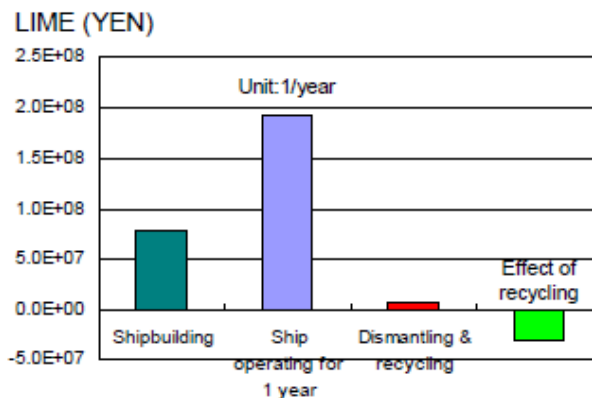
(photochemical oxidant creation), ευτροφισμός (eutrophication), αστική ατμοσφαιρική ρύπανση (urban air pollution), παραγωγή αποβλήτων και κατανάλωση πρώτων υλών (waste and resource consumption).

Παρακάτω ακολουθεί διάγραμμα που παρουσιάζει σε ποιες κατηγορίες επιπτώσεων επιδρά η φάση της κατασκευής του πλοίου και σε τι ποσοστό, σύμφωνα με τη συγκεκριμένη μελέτη:



Σχήμα 26: Κατηγορίες επιπτώσεων που προκαλούνται από την κατασκευή του πλοίου (Kameyama et al, 2004)

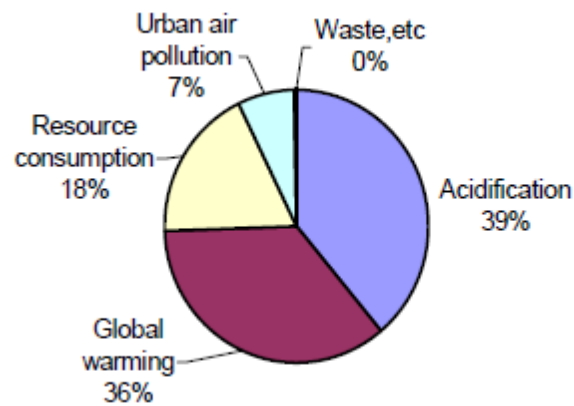
Η ανάλυση της αξιολόγησης των επιπτώσεων ενός πλοίου μοντέλου καθ όλη τη διάρκεια ζωής του καταλήγει στον υπολογισμό ενός δείκτη επιπτώσεων της τάξης του $4.9 \cdot 10^9 \text{ yen}$, ο οποίος ξεπερνάει την αρχική αξία παράδοσης του πλοίου. Ακολουθεί σχήμα που απεικονίζει τους δείκτες κάθε φάσης:



Σχήμα 27: Δείκτες LIME για κάθε φάση (Kameyama et al, 2004)

Είναι εμφανές στο παραπάνω σχήμα ότι σχεδόν όλες οι επιπτώσεις του πλοίου κατά την διάρκεια ζωής του προκύπτουν από τη φάση λειτουργίας του. Επιπλέον, στο παρακάτω

σχήμα γίνεται σαφές ότι οι κύριες επιπτώσεις είναι οι εξής: η οξύνιση, η υπερθέρμανση του πλανήτη, η κατανάλωση πόρων και η αστική ατμοσφαιρική ρύπανση:



Σχήμα 28: Ποσοστιαία συμβολή των κατηγοριών επιπτώσεων στο δείκτη LIME (Kameyama et al, 2004)

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 «Selini» τύπου tanker 74296 tons DWT με τα εξής χαρακτηριστικά:

$$L=219\text{m}$$

$$B=32.24\text{m}$$

$$D=20.60\text{m}$$

$$T=14.32\text{m}$$

$$C_B=0.85$$

Το πλοίο είναι τύπου Panamax ($L < 289.56\text{m}$, $B < 32.31\text{m}$ & 65000-80000 tons DWT). 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.

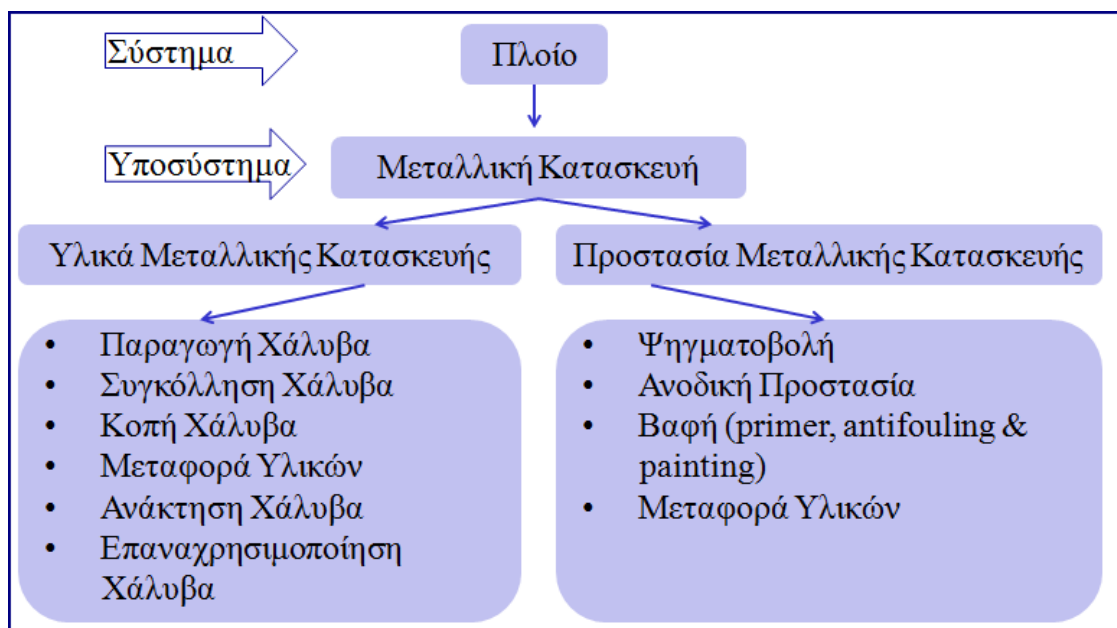
Η εφαρμογή της μεθόδου δεν απευθύνεται αυστηρά μόνο σε μελετητές, αλλά μπορεί να γίνει κατανοητή από το ευρύ κοινό. Γενικά, η LCA είναι μία μέθοδος που εφαρμόζεται σε πολλά προϊόντα με στόχο τη βελτίωση της απόδοσης τους και του περιβαλλοντικού τους αντίκτυπου, για τον παραπάνω λόγο αφορά και το ευρύ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

Στη συνέχεια, γίνεται περιγραφή του πεδίου εφαρμογής του συστήματος αναλύοντας τα όρια του.

4.2 Όρια συστήματος LCA στη μεταλλική κατασκευή του πλοίου

Αρχικά το σενάριο που επιλέχτηκε αφορά πλοίο tanker που ταξιδεύει κυκλικά από το Novorossiysk (Russia) στην Augusta (Italy) σε απόσταση 2464 ναυτικά μίλια. Η διάρκεια ταξιδιού είναι 20.67 ημέρες, 16.67 ημέρες βρίσκεται στη θάλασσα και 3 ημέρες στο λιμάνι για φόρτωση- εκφόρτωση. Επιπλέον, το πλοίο δεν ταξιδεύει για 15 ημέρες το χρόνο και για 1 ημέρα το χρόνο βρίσκεται αρόδω, οπότε το πλοίο κάνει 16.89 ταξίδια το χρόνο. Η διάρκεια ζωής του πλοίου λαμβάνεται ίση με 25 χρόνια και κάνει 422 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 29: Όρια συστήματος LCA μεταλλικής κατασκευής του πλοίου

Σύμφωνα με τον παραπάνω πίνακα 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 διαγράμματα φαίνεται για κάθε στοιχείο του συστήματος και για κάθε φάση της LCA ποιές διαδικασίες συμμετέχουν στη μελέτη.



Σχήμα 30: Διεργασίες για τα υλικά της μεταλλικής κατασκευής ανά φάση ζωής του πλοίου για τα υλικά της μεταλλικής κατασκευής



Σχήμα 31: Διεργασίες για την προστασία της μεταλλικής κατασκευής ανά φάση ζωής του πλοίου για την προστασία της μεταλλικής κατασκευής

4.2.1 Κατασκευή: Υλικά υποσυστήματος & Προστασία υποσυστήματος

Στην φάση της κατασκευής συμμετέχουν οι εξής διαδικασίες:

4.2.1.1 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 (Παπανικολάου, 1994).

4.2.1.2 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 και περιγράφεται στο επόμενο κεφάλαιο.

4.2.1.3 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 tanker 76000 tons DWT (Kameyama et al, 2004).

4.2.1.4 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.

4.2.1.5 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 (Παπαχαρίτου, 2008).

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 (Hansink, 1998).

4.2.1.6 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.

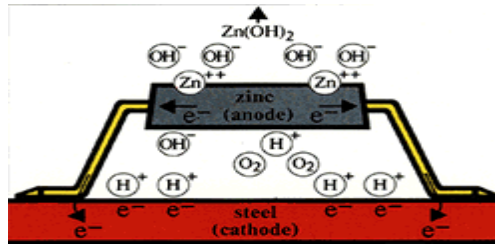
Λαμβάνοντας υπόψη τις πληροφορίες που παραχωρήθηκαν μετά από συνέντευξη με αντιπρόσωπο μεγάλης εταιρείας βαφών, έγινε σαφές ότι είναι αρκετά πολύπλοκο ζήτημα η επιλογή των βαφών και ότι και οι ίδιες οι εταιρείες έχουν ειδικά προγράμματα με αρκετές παραμέτρους με τα οποία κάνουν την επιλογή. Το ίδιο ισχύει 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.

4.2.1.7 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 θαλασσινό 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 (A. Mathiazhagan, 2010):

- 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 32: Λειτουργία καθοδικής προστασίας (NNWB, 2008)

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

4.2.2 Συντήρηση: Υλικά υποσυστήματος & Προστασία υποσυστήματος

Στη φάση της συντήρησης οι διαδικασίες είναι κοινές με αυτές της κατασκευής με τις παρακάτω παραδοχές:

- Όσον αφορά στην ποσότητα του χάλυβα που αντικαθίστανται σε όλη τη διάρκεια ζωής του πλοίου λαμβάνεται σύμφωνα με εμπειρικό τύπο (Touran, 2006). Ανάλογα με την ηλικία του πλοίου αυτή η ποσότητα διαφέρει.
- Το μήκος συγκόλλησης θεωρείται ίσο με το 10% του μήκους συγκόλλησης της κατασκευής.
- Η ενέργεια που απαιτείται για την κοπή του χάλυβα είναι ίση με το 10% της ενέργειας για την κοπή στην κατασκευή.
- Για την μεταφορά των υλικών ισχύουν οι ίδιες συνθήκες απλά αλλάζουν οι ποσότητες.
- 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.
- 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.
- Η καθοδική προστασία εφαρμόζεται τέσσερις φορές στα πλαίσια της συντήρησης του πλοίου.

4.2.3 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 παλίρροιας, 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 (Κουλογιάννη, 2009).

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.

4.3 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:

Πίνακας 4: Εκπομπές ανά διεργασία LCA

	Παραγωγή γάλβου	Συγκόλληση	Κοπή	Blasting	Μεταφορά υλικών	Βαφή (primer, antifouling & paints)	Καθδική προστασία
CO2	+	+	+	+	+	+	+
CO	+	+	+	+	+	+	+
CH4	+	+	+	+	+	+	+
NOx	+	+	+	+	+	+	+
PM (all)	+	+	+	+	+	+	+
SO2	+				+		+
SOx	+	+	+	+	+	+	+
VOC	+				+	+	+
NMVOc	+	+	+	+	+	+	+

5. ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΑΠΟΓΡΑΦΗΣ (LIFE CYCLE INVENTORY, LCI)

5.1 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.

5.1.1 Παραγωγή χάλυβα

Στην παραγωγή χάλυβα το W_{ST} , 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 (βλ. κεφάλαιο 5) 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. Ακολουθεί ο σχετικός πίνακας.

Πίνακας 5: Υπολογισμός εκπομπών από παραγωγή χάλυβα

<i>Hull material</i>	<i>Shipbuilding</i>	
Steel production		
Steel weight	W_{ST}	tons
Emission factor	$EF_{i/Steel}$	gr/ton
Emissions		
Process emissions	$m_{i/SteelProduction(shipbuilding)} = EF_{i/Steel} \times W_{ST}, (i = CO_2, \dots etc)$	tons

5.1.2 Συγκόλληση χάλυβα

Το μήκος των συγκολλήσεων υπολογίζεται αναλυτικά και περιγράφεται παρακάτω.

ΜΗΚΟΣ ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΕΩΝ

ΔΙΑΜΗΚΗ ΕΝΙΣΧΥΤΙΚΑ

$$\frac{B}{0.7} \times 3 \times L$$

$$\frac{D}{0.7} \times 2 \times L$$

$$\frac{D - 2}{0.7} \times 2 \times L$$

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). Η τελευταία σχέση αναφέρεται στο double hull γι' αυτό αφαιρούμε 2m. Γενικά το πλάτος το πολλαπλασιάζουμε με 3 γιατί αναφερόμαστε στα: deck, double bottom και bottom.

ΕΓΚΑΡΣΙΑ ΕΝΙΣΧΥΤΙΚΑ

$$\frac{L}{0.7} \times (3 \times B + 2 \times D)$$

$$\frac{L}{0.7} \times (D - 2) \times 2$$

Οι τύποι για τα εγκάρσια ενισχυτικά (spacing 0,7m) είναι οι παραπάνω και πάλι ο δεύτερος τύπος αναφέρεται στο double hull.

ΦΡΑΚΤΕΣ

$$8 \times \{3 \times B + 2 \times D + 2(D - 2)\}$$

$$8 \times \frac{B}{0.7} \times D$$

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

ΕΛΑΣΜΑΤΑ

$$\frac{L}{6(m)} \times \{3 \times B + 2 \times D + 2 \times (D - 2)\}$$

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

$$\frac{B}{2(m)} \times 3 \times L$$

$$\left(\frac{D}{2m} + \frac{D - 2}{2(m)}\right) \times 2 \times L$$

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

Ο υπολογισμός του μήκους welding για τις υπερκατασκευές έγινε αρχικά στο πλοίο Ektor ως εξής:

- Γνωρίζοντας την επιφάνεια και την διάσταση του ελάσματος 6×2, υπολογίζεται πόσα ελάσματα θα τοποθετηθούν σε κάθε πλευρά της επιφάνειας
- Έστω ότι κατά μήκος (l) τοποθετούνται n₁ ελάσματα και n₂ στην κάθετη πλευρά (b), προκύπτει ότι το μήκος συγκόλλησης θα είναι:

$$l_{wel} = l \times (n_2 + 1), \text{ σε m}$$

$$b_{wel} = b \times (n_1 + 1), \text{ σε m}$$

Και για το πλοίο Selini έγινε αναγωγή.

Επιπλέον, έγινε υπολογισμός των ενισχυτικών στα decks των υπερκατασκευών και στα τοιχώματα. Τοποθετήθηκαν ενισχυτικά ανά 0,5m εγκάρσια.

Τέλος προσθέτουμε 15% μήκος συγκόλλησης για τις λεπτομέρειες.

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 tanker από παλαιότερη μελέτη, ίση με 0,538 kW/m (Kameyama et al, 2004). 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.

Πίνακας 6: Υπολογισμός εκπομπών από τη συγκόλληση του χάλυβα

<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

5.1.3 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 (Kameyama et al., 2008). Οι συντελεστές των εκπομπών λαμβάνονται από το SimaPro για κατανάλωση ενέργειας, σύμφωνα με τη μέθοδο EcoIndicator 99. Ακολουθεί ο σχετικός πίνακας.

Πίνακας 7: Υπολογισμός εκπομπών από την κοπή του χάλυβα

<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

5.1.4 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 m^2 επιφάνειας λαμβάνεται ίσο με 17.10 kg/m^2 (Hansink, 1998). 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 (Fet et al. 1999), και είναι ίση με 0.023 kg/m^2 . 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 (National Pollutant Inventory – Australia, 1999). Τέλος, πολλαπλασιάζοντας αυτό το συντελεστή με την ολική ποσότητα του υλικού ψηγματοβολής προκύπτουν τα συνολικά PM από την διαδικασία. Ακολουθεί ο σχετικός πίνακας.

Πίνακας 8: Υπολογισμός εκπομπών από abrasive blasting

<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

5.1.5 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.

Πίνακας 9: Υπολογισμός εκπομπών από μεταφορά υλικών

<i>Hull material</i>	<i>Shipbuilding</i>
Transportation	

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

5.1.6 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:

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

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 (Hansink, 1998). Ο συντελεστής χρήσης u, για υπολογισμό

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.

Πίνακας 10: Υπολογισμός εκπομπών από καθοδική προστασία

<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	$Q_{Wetted} = \frac{(A_{Wetted} \times i_c) / 1000 \times t}{\epsilon \times u}$	kg
Zinc anodes quantity for ballast tanks	$Q_{Ballast} = \frac{(A_{Ballast} \times i_c) / 1000 \times 50\% \times t}{\epsilon \times u}$	kg
Emission factor	$EF_{i/ZincAnodes}$	gr/tons*km
Emissions	Zinc anodes	
Emissions for shipbuilding	$m_{i/ZincAnodes(shipbuilding)} = EF_{i/ZincAnodes} \times Q,$ $(i = CO_2, \dots etc)$	kg

5.1.7 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, παράδειγμα datasheet παρατίθεται στο Παράρτημα 1, 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 m^2 λαμβάνεται ίση με $1,67 \text{ kW/m}^2$, σύμφωνα με την ονομαστική ισχύ ενός spray βαφής (20 kWh) και με την παραδοχή ότι βάφεται 1 m^2 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:

Πίνακας 11: Υπολογισμός εκπομπών από βαφή

Hull protection	Shipbuilding	
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

5.1.8 Ανακύκλωση χάλυβα

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

Πίνακας 12: Ανακυκλώσιμος χάλυβας σύμφωνα με τον τύπο πλοίου (Tilwankar, etal 2008)

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%

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:

Πίνακας 13: Ποσοστιαία διαφορά παραγωγής χάλυβα από ανακύκλωση και από εξόρυξη

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%

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 (βλ. 3.2.1.1) 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 (Tilwankar, 2012) 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:

Πίνακας 14: Υπολογισμός εκπομπών από ανακύκλωση χάλυβα

<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

Στη συνέχεια γίνεται παρουσίαση των αποτελεσμάτων μετά από την εφαρμογή της μεθοδολογίας.

6. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Όλοι οι υπολογισμοί έγιναν στο Excel. Παρακάτω παρατίθενται οι πίνακες με τα αποτελέσματα που προκύπτουν από την εφαρμογή της LCA στο πλοίο Selini:

6.1 Εκπομπές από την φάση της κατασκευής

6.1.1 Υλικό κατασκευής

6.1.1.1 Παραγωγή χάλυβα

Στον πρώτο πίνακα φαίνονται στην πρώτη στήλη οι εκπομπές που έχουν επιλεγεί να υπολογιστούν, οι οποίες έχουν αναφερθεί σε προηγούμενο κεφάλαιο. Στη δεύτερη στήλη παρατίθενται οι συντελεστές, που έχει αναφερθεί παραπάνω από πού έχουν προκύψει με μονάδες gr/kg, οι οποίες φαίνονται στην τελευταία στήλη. Στον επόμενο πίνακα παρουσιάζονται οι συνολικές εκπομπές που προκύπτουν από την παραγωγή του χάλυβα. Είναι αισθητή η διαφορά της παραγωγής του CO₂ από τις υπόλοιπες εκπομπές, συγκεκριμένα το CO₂ υπολογίστηκε 13.17*10³ tons ενώ οι αμέσως περισσότερες εκπομπές είναι 420 tons και ανήκουν στο CO.

Πίνακας 15: Συντελεστές εκπομπών για την παραγωγή χάλυβα

EF for steel production	Factor	Unit
CO2	996,00	gr/kg
CO	31,83	gr/kg
CH4	163,17	mg/kg
NOx	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
NMVOG	10,84	mg/kg

Πίνακας 16: Εκπομπές από την παραγωγή του χάλυβα

Emissions from steel production		Unit
CO2	13172060,12	Kg
CO	420921,99	Kg
CH4	2157,92	Kg
NOx	77249,56	Kg
PM (all)	12285,46	Kg
SO2	69695,54	Kg
SOx	4148,93	Kg
VOC	166,24	Kg

NMVOC	143,41	Kg
-------	--------	----

6.1.1.2 Συγκόλληση χάλυβα

Παρακάτω παρατίθενται οι συντελεστές που χρησιμοποιήθηκαν και οι εκπομπές που παράχθηκαν από τη συγκόλληση του χάλυβα. Οι μονάδες των συντελεστών είναι gr/kWh γιατί αναφέρονται σε κατανάλωση ενέργειας. Σε αυτή την διεργασία όπως και στην προηγούμενη παρατηρείται ότι οι σημαντικότερες εκπομπές είναι αυτές του CO₂ 38*10³ kg και ακολουθούν οι εκπομπές του SO_x 36 kg έχοντας διαφορά τρεις τάξεις μεγέθους.

Πίνακας 17: Συντελεστές εκπομπών για τη συγκόλληση

EF for welding (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
NMVOC	101,97	mg/kwh

Πίνακας 18: Εκπομπές από την συγκόλληση του χάλυβα

Emissions from steel welding		
CO ₂	38273,22	Kg
CO	36,42	Kg
CH ₄	2,50	Kg
NO _x	15,46	Kg
PM (all)	25,51	Kg
SO _x	267,42	Kg
NMVOC	12,23	Kg

6.1.1.3 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.

Οι εκπομπές από την κοπή του χάλυβα σε σύγκριση με αυτές της συγκόλλησης είναι σχεδόν διπλάσιες γιατί η ενέργεια που απαιτείται για το χάλυβα που υπόκειται σε κοπή είναι σχεδόν διπλάσια από αυτή της συγκόλλησης. Για παράδειγμα το CO₂ που παράγεται από την κοπή είναι 71.8*10³ kg δηλαδή είναι κατά 47% περισσότερο από την ποσότητα του αντίστοιχου CO₂ από τη συγκόλληση.

Πίνακας 19: Συντελεστές εκπομπών για τη κοπή του χάλυβα

EF for cutting (electricity use)	Factor	Unit
CO2	319,16	gr/kwh
CO	303,68	mg/kwh
CH4	20,82	mg/kwh
NOx	128,89	mg/kwh
PM (all)	212,74	mg/kwh
SOx	2,23	gr/kwh
NMVOC	101,97	mg/kwh

Πίνακας 20: Εκπομπές από την κοπή του χάλυβα

Emissions from steel cutting		Unit
CO2	71753,45	Kg
CO	68,27	Kg
CH4	4,68	Kg
NOx	28,98	Kg
PM (all)	47,83	Kg
SOx	501,35	Kg
NMVOC	22,92	Kg

6.1.1.4 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.

Πίνακας 21: Συντελεστές εκπομπών για τη ψηγματοβολή του χάλυβα

EF for blasting (electricity use)	Factor	Unit
CO2	503,00	gr/kg
CO	867,00	mg/kg
CH4	4,42	gr/kg
NOx	2,64	gr/kg
PM (all)	0,69	kg/ton
SOx	2,76	gr/kg
NMVOC	8,33	gr/kg

Πίνακας 22: Εκπομπές από τη ψηγματοβολή του χάλυβα

Emissions from steel blasting

CO2	935,83	Kg
CO	1,61	Kg
CH4	8,23	Kg
NOx	4,92	Kg
PM (all)	954,43	Kg
SOx	5,13	Kg
NMVOOC	15,50	Kg

6.1.1.5 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 και είναι αντίστοιχα 16.7*10⁴ kg, 3039 kg και 2457 kg. 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. Επιπλέον ελέγχθησαν και οι εκπομπές από τη μεταφορά των paintings και του υλικού ψηφιατοβολής, η οποία πραγματοποιήθηκε με container οπότε είναι και διαφορετικοί οι συντελεστές και η απόσταση που επιλέχθηκε. Αυτό που πρέπει να τονιστεί είναι ότι στη μεταφορά με container ο συντελεστής του CO₂ είναι 4.5 φορές μικρότερος από ότι στη μεταφορά με bulk carrier. Αλλά και οι συντελεστές του NO_x και του SO₂ στη μεταφορά με container είναι 4.6 φορές μεγαλύτεροι από αυτούς της μεταφοράς με bulk carrier. 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 ψηφιατοβολής.

Πίνακας 23:Συντελεστές εκπομπών για τη μεταφορά του χάλυβα

EF for raw materials transport		
CO2	25,286	gr
CO	70,735	mg
CH4	1,948	mg
NOx	459,620	mg
PM (all)	1,854	mg
SO ₂	371,539	mg
SOx	1,805	mg
VOC	1,294	mg
NMVOOC	129,446	μg

Πίνακας 24:Εκπομπές από τη μεταφορά του χάλυβα

Emissions from materials transport		
CO2	167203,17	kg
CO	467,73	kg

CH4	12,88	kg
NOx	3039,23	kg
PM (all)	12,26	kg
SO2	2456,79	kg
SOx	11,94	kg
VOC	8,56	kg
NMVOC	0,86	kg

Στη μεταφορά των paintings παράγονται $80.2 \cdot 10^4$ kg CO₂, δηλαδή σχεδόν πενταπλάσια από τη μεταφορά του χάλυβα με bulk carrier. Επιπλέον, παράγονται $14.6 \cdot 10^3$ kg NO_x και $11.7 \cdot 10^3$ kg SO₂.

Πίνακας 25: Συντελεστές εκπομπών για τη μεταφορά των paintings

EF for raw materials transport		
CO2	115,288	gr
CO	340,182	mg
CH4	8,930	mg
NOx	2,103	gr
PM (all)	10,814	mg
SO2	1,687	gr
SOx	4,065	mg
VOC	5,931	mg
NMVOC	593,514	μg

Πίνακας 26: Εκπομπές από τη μεταφορά των paintings

Emissions from raw materials transport		
CO2	802232,52	kg
CO	2367,16	kg
CH4	62,14	kg
NOx	14633,74	kg
PM (all)	75,25	kg
SO2	11739,00	kg
SOx	28,29	kg
VOC	41,27	kg
NMVOC	4,13	kg

6.1.2 Προστασία μεταλλικής κατασκευής

6.1.2.1 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. Τέλος από την παραγωγή των VOC, η οποία είναι 2257 kg μόνο από την εφαρμογή του primer και μόνο στη βρεχόμενη επιφάνεια, γίνεται αντιληπτό ότι το σύνολο των VOC παράγονται κατά κύριο λόγο από την εναπόθεση των βαφών (primer, antifouling & paintings).

Πίνακας 27: Συντελεστές εκπομπών για την εναπόθεση primers

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 28: Εκπομπές από την εναπόθεση primers

Emissions from primers		
CO ₂	14960,626	Kg
CO	14,235	Kg
CH ₄	0,976	Kg
NO _x	6,042	Kg
PM (all)	4,986	Kg
SO _x	104,531	Kg
VOC	2257,205	Kg
NMVOC	4,780	Kg

6.1.2.2 Εναπόθεση antifouling

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

Πίνακας 29: Συντελεστές εκπομπών για την εναπόθεση antifouling

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
NM VOC	101,97	mg/kwh

Πίνακας 30: Εκπομπές από την εναπόθεση antifouling

Emissions from antifouling		
CO ₂	7480,313	Kg
CO	7,118	Kg
CH ₄	0,488	Kg
NO _x	3,021	Kg
PM (all)	4,986	Kg
SO _x	52,266	Kg
VOC	849,083	Kg
NM VOC	2,390	Kg

6.1.2.3 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.

Πίνακας 31: Συντελεστές εκπομπών για την εναπόθεση painting

EF for paintings & 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

SOx	2,23	gr/kwh
VOC	254	gr/lt
NMVOG	101,97	mg/kwh

Πίνακας 32:Εκπομπές από την εναπόθεση paintings

Emissions from paintings		
CO2	14960,626	Kg
CO	14,235	Kg
CH4	0,976	Kg
NOx	6,042	Kg
PM (all)	4,986	Kg
SOx	104,531	Kg
VOC	1485,311	Kg
NMVOG	4,780	Kg

6.1.2.4 Συνολικές εκπομπές της βαφής (primer, antifouling & paintings) σε όλες τις επιφάνειες

Παρακάτω παρουσιάζονται οι συνολικές εκπομπές από τη βαφή όλων των επιφανειών και γίνεται σαφής η αρκετά σημαντική ποσότητα VOC που παράγεται από την εναπόθεση των βαφών και υπολογίστηκε σε 21.334 tons. Αλλά επίσης πολύ μεγάλη ποσότητα εκπομπών αποτελεί και το σύνολο των εκπομπών του CO₂, που υπολογίστηκε 337 tons.

Πίνακας 33:Εκπομπές από την εναπόθεση βαφών (primer, antifouling & paintings)

TOTAL EMISSIONS FROM PAINTING		
CO2	337915,461	Kg
CO	321,526	Kg
CH4	22,043	Kg
NOx	136,464	Kg
PM (all)	215,269	Kg
SOx	2361,046	Kg
VOC	21334,003	Kg
NMVOG	107,962	Kg

6.1.2.5 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. Συγκριτικά με τις υπόλοιπες διεργασίες έχουμε αισθητή παραγωγή SO₂ που φτάνει και για τις δύο επιφάνειες τα 608. 87 kg.

Πίνακας 34: Συντελεστές εκπομπών για την καθοδική προστασία

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 35: Εκπομπές από την καθοδική προστασία ανά επιφάνεια

Emissions from anode's production (wetted surface & ballast tanks)					
CO ₂	4963,295	Kg	CO ₂	1511,836	Kg
CO	134,988	Kg	CO	41,118	Kg
CH ₄	108,992	Kg	CH ₄	33,199	Kg
NO _x	136,536	Kg	NO _x	41,589	Kg
PM (all)	78,588	Kg	PM (all)	23,938	Kg
SO ₂	466,705	Kg	SO ₂	142,160	Kg
SO _x	18,914	Kg	SO _x	5,761	Kg
VOC	1,324	Kg	VOC	0,403	Kg
NMVOC	7,441	Kg	NMVOC	2,267	Kg

Πίνακας 36: Συνολικές εκπομπές από την καθοδική προστασία

TOTAL EMISSIONS FROM ANODES		
CO ₂	6475,131	Kg
CO	176,105	Kg
CH ₄	142,192	Kg
NO _x	178,125	Kg
PM (all)	102,526	Kg
SO ₂	608,865	Kg
SO _x	24,675	Kg
VOC	1,727	Kg
NMVOC	9,708	Kg

6.2 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.

Στην παραγωγή χάλυβα οι εκπομπές που παράγονται υπολογίστηκαν αρκετά λιγότερες εφόσον από 13224.96 tons χάλυβα που παράχθηκαν στην κατασκευή, στη συντήρηση μειώθηκαν στους 1797.89 tons. Η συγκόλληση και η κοπή στη συντήρηση παράγουν το 10% των εκπομπών της κατασκευής εφόσον και η ποσότητα χάλυβα που συγκολλείται και κόβεται επιλέχθηκε στο 10% της κατασκευής. Η ψηγματοβολή παράγει τις ίδιες εκπομπές και στην κατασκευή και στη συντήρηση εφόσον θεωρήθηκε ότι στη διάρκεια ζωής του πλοίου πραγματοποιείται σε όλη την επιφάνεια του μια φορά ψηγματοβολή. 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. Στον σχετικό πίνακα που ακολουθεί οι εκπομπές των VOC για όλες τις επιφάνειες υπολογίστηκαν 77.313 tons από 21.334 tons στη φάση της κατασκευής, δηλαδή αυξήθηκαν κατά 3.6 φορές.

Τέλος, στην καθοδική προστασία οι εκπομπές στη συντήρηση προκύπτουν τετραπλάσιες από τις αντίστοιχες στην κατασκευή, αναμενόμενο εφόσον έχει επιλεγθεί να αντικαθίστανται τα ανόδια κάθε τέσσερα χρόνια.

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

6.2.1 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.

Πίνακας 37: Εκπομπές από την παραγωγή χάλυβα στη φάση της συντήρησης

Emissions from steel production		
CO ₂	1790697,37	Kg
CO	57222,93	Kg
CH ₄	293,36	Kg
NO _x	10501,82	Kg
PM (all)	1670,17	Kg
SO ₂	9474,87	Kg
SO _x	564,03	Kg

VOC	22,60	Kg
NMVOOC	19,50	Kg

6.2.2 Συγκόλληση χάλυβα

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται οι εκπομπές από την συγκόλληση στη φάση της συντήρησης. Οι οποίες είναι το 10% από τις αντίστοιχες εκπομπές της συγκόλλησης στη φάση της κατασκευής.

Πίνακας 38: Εκπομπές από τη συγκόλληση του χάλυβα στη φάση της συντήρησης

Emissions from steel welding		
CO2	7654,64	Kg
CO	7,28	Kg
CH4	0,50	Kg
NOx	3,09	Kg
PM (all)	5,10	Kg
SOx	53,48	Kg
NMVOOC	2,45	Kg

6.2.3 Κοπή χάλυβα

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

Πίνακας 39: Εκπομπές από την κοπή του χάλυβα στη φάση της συντήρησης

Emissions from steel cutting		
CO2	7175,35	Kg
CO	6,83	Kg
CH4	0,47	Kg
NOx	2,90	Kg
PM (all)	4,78	Kg
SOx	50,13	Kg
NMVOOC	2,29	Kg

6.2.4 Ψηματοβολή (abrasive blasting)

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

Πίνακας 40: Εκπομπές από τη ψηματοβολή στη φάση της συντήρησης

Emissions from steel blasting		
CO2	935,83	Kg

CO	1,61	Kg
CH4	8,23	Kg
NOx	4,92	Kg
PM (all)	954,43	Kg
SOx	5,13	Kg
NMVOG	15,50	Kg

6.2.5 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:

Πίνακας 41: Εκπομπές από τη μεταφορά του χάλυβα στη φάση της συντήρησης

Emissions from raw materials transport		
CO2	22730,71	kg
CO	63,59	kg
CH4	1,75	kg
NOx	413172,85	kg
PM (all)	1,67	kg
SO2	333992,93	kg
SOx	1,62	kg
VOC	1,16	kg
NMVOG	0,12	kg

Πίνακας 42: Εκπομπές από τη μεταφορά των paintings στη φάση της συντήρησης

Emissions from raw materials transport		
CO2	5487182,82	kg
CO	16191,11	kg
CH4	425,03	kg
NOx	100093,21	kg
PM (all)	514,70	kg
SO2	80293,50	kg
SOx	193,48	kg
VOC	282,29	kg
NMVOG	28,25	kg

6.2.6 Εναπόθεση primer

Ο παρακάτω πίνακας αφορά τις εκπομπές από την εναπόθεση του primer στη βρεχόμενη επιφάνεια κατά τη φάση της συντήρησης. Οι εκπομπές των VOC από την εναπόθεση του primer στη φάση της συντήρησης είναι αρκετά υψηλές της τάξης των 10 tons, όπως και τα CO₂ που υπολογίστηκαν 67tons:

Πίνακας 43: Εκπομπές από την εναπόθεση primer στη φάση της συντήρησης

Emissions from primers		
CO2	67322,817	Kg
CO	64,058	Kg
CH ₄	4,392	Kg
NO _x	27,188	Kg
PM (all)	44,875	Kg
SO _x	470,391	Kg
VOC	10157,420	Kg
NM VOC	21,509	Kg

6.2.7 Εναπόθεση antifouling

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

Πίνακας 44: Εκπομπές από την εναπόθεση antifouling στη φάση της συντήρησης

Emissions from antifouling		
CO2	67322,817	Kg
CO	64,058	Kg
CH ₄	4,392	Kg
NO _x	27,188	Kg
PM (all)	44,875	Kg
SO _x	470,391	Kg
VOC	7641,748	Kg
NM VOC	21,509	Kg

6.2.8 Εναπόθεση βαφών (paintings)

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

Πίνακας 45: Εκπομπές από την εναπόθεση των paintings στη φάση της συντήρησης

Emissions from paintings		
CO2	67322,817	Kg
CO	64,058	Kg
CH ₄	4,392	Kg
NO _x	27,188	Kg

PM (all)	44,875	Kg
SOx	470,391	Kg
VOC	13367,797	Kg
NMVOG	21,509	Kg

Τέλος, παρουσιάζονται οι εκπομπές από τη συνολική διαδικασία της βαφής στη βρεχόμενη επιφάνεια και σε όλη τη διάρκεια της συντήρησης τη μεταλλική κατασκευής του πλοίου. Παρατηρείται ότι τα VOC υπολογίστηκαν 77 tons και το CO₂ 646 tons:

Πίνακας 46:Συνολικές εκπομπές από την εναπόθεση των βαφών (primer, antifouling & paintings) στη φάση της συντήρησης

TOTAL EMISSIONS FROM PAINTING		
CO2	646783,274	Kg
CO	615,413	Kg
CH ₄	42,192	Kg
NOx	261,198	Kg
PM (all)	431,121	Kg
SOx	4519,134	Kg
VOC	77313,016	Kg
NMVOG	206,644	Kg

6.2.9 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:

Πίνακας 47:Εκπομπές από την καθοδική προστασία του χάλυβα ανά επιφάνεια στη φάση της συντήρησης

Emissions from anode's production (wetted surface & ballast tanks)					
CO2	19853,181	Kg	CO2	6047,343	Kg
CO	539,950	Kg	CO	164,471	Kg
CH ₄	435,970	Kg	CH ₄	132,798	Kg
NOx	546,145	Kg	NOx	166,357	Kg
PM (all)	314,352	Kg	PM (all)	95,753	Kg
SO ₂	1866,821	Kg	SO ₂	568,640	Kg
SOx	75,656	Kg	SOx	23,045	Kg
VOC	5,296	Kg	VOC	1,613	Kg
NMVOG	29,765	Kg	NMVOG	9,067	Kg

Πίνακας 48:Συνολικές εκπομπές από την καθοδική προστασία του χάλυβα στη φάση της συντήρησης

TOTAL EMISSIONS FROM ANODES		
CO2	25900,524	Kg

CO	704,421	Kg
CH ₄	568,768	Kg
NO _x	712,502	Kg
PM (all)	410,105	Kg
SO ₂	2435,461	Kg
SO _x	98,702	Kg
VOC	6,909	Kg
NMVOG	38,832	Kg

6.3 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, για τις υπόλοιπες εκπομπές οι συντελεστές επιλέχθηκαν κοινοί με αυτούς της παραγωγής χάλυβα και είναι αυτοί στα μπλε κελιά. Οι εκπομπές για την ανακύκλωση προκύπτουν σημαντικά λιγότερες από τις αντίστοιχες στην κατασκευή του πλοίου: από την παραγωγή χάλυβα 13224.96 tons παράγονται 13172 tons CO₂, ενώ από την ανακύκλωση χάλυβα 11905.88 tons παράγονται 4031.81 tons CO₂. Στην παραγωγή χάλυβα από την αρχή αντιστοιχεί ένας τόνος CO₂ σε ένα τόνο παραγωγής χάλυβα, ενώ στην ανακύκλωση αντιστοιχεί 0.34 τόνος CO₂ στην ανακύκλωση ενός τόνου χάλυβα. Η περιβαλλοντική επίπτωση της ανακύκλωσης προκύπτει κατ' επέκταση σημαντικά μικρότερη.

Πίνακας 49: Συντελεστές εκπομπών για την ανακύκλωση του χάλυβα

Emission Factors: steel recycling		
CO ₂	338,64	gr/kg
CO	31,83	gr/kg
CH ₄	86,48	mg/kg
No _x	4,38	gr/kg
PM (all)	928,96	mg/kg
SO ₂	5,27	gr/kg
SO _x	313,72	mg/kg
VOC	12,57	mg/kg
NMVOG	10,84	mg/kg

Πίνακας 50: Εκπομπές από την ανακύκλωση του χάλυβα

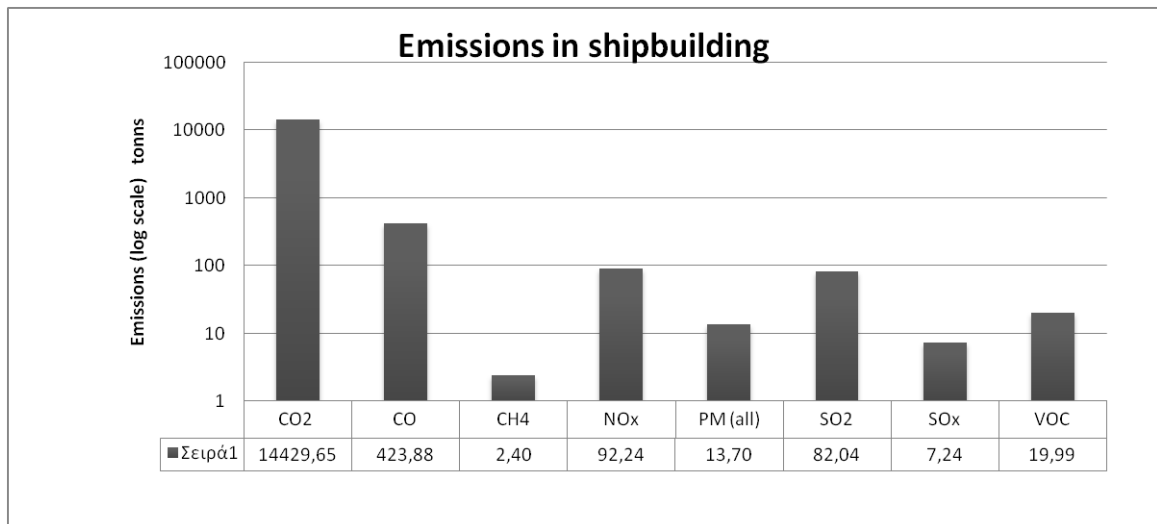
Emission for recycling		
CO ₂	4031,81	tons
CO	378,94	tons
CH ₄	1,03	tons

Nox	52,16	tons
PM (all)	11,06	tons
SO2	62,74	tons
SOx	3,74	tons
VOC	0,15	tons
NMVOOC	0,13	tons

6.4 Διαγράμματα παρουσίασης των αποτελεσμάτων

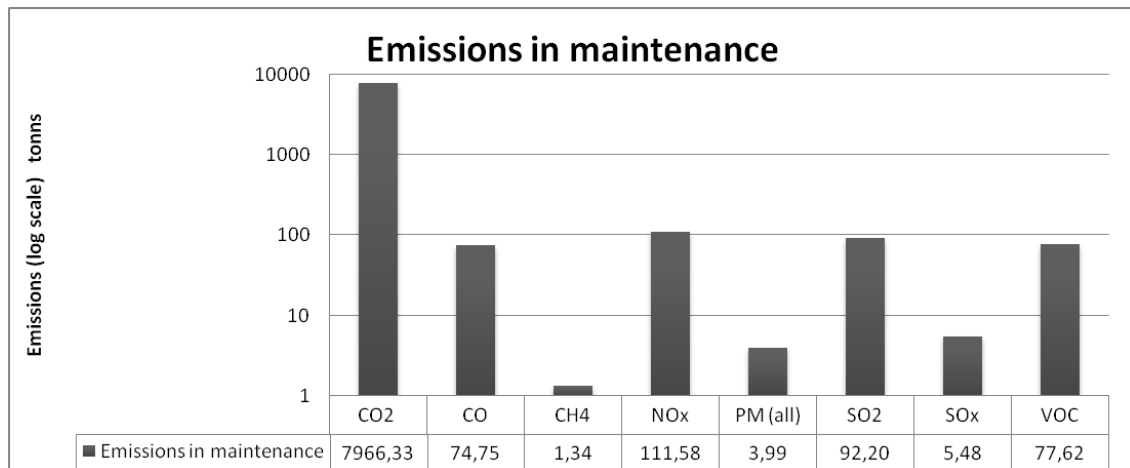
6.4.1 Συνολικές εκπομπές ανά φάση

Παρακάτω παρουσιάζονται οι εκπομπές στη διαδικασία της κατασκευής, όπου το CO₂ κατέχει την πρώτη θέση και με αρκετή διαφορά από την επόμενη κατηγορία εκπομπών που είναι το CO. Σε όλες τις φάσεις οι εκπομπές του μεθανίου (CH₄) και των NMVOOC είναι ελάχιστες και στη φάση της διάλυσης/ανακύκλωσης είναι μηδενικές. Επιπλέον στη ανακύκλωση ελάχιστες είναι και εκπομπές των VOC και για αυτό το λόγο δεν τοποθετήθηκαν στο διάγραμμα, (είναι λιγότερες από ένα τόνο, 0.15 tons). Οι εκπομπές του CO₂ είναι περισσότερες στην κατασκευή και αυτό οφείλεται στο ότι η ποσότητα του χάλυβα που χρειάζεται στην κατασκευή είναι πολύ μεγαλύτερη από την αντίστοιχη ποσότητα στη συντήρηση και αυτή τη διαφορά την αντισταθμίζει η μεγαλύτερη παραγωγή CO₂ στη διεργασία του painting.



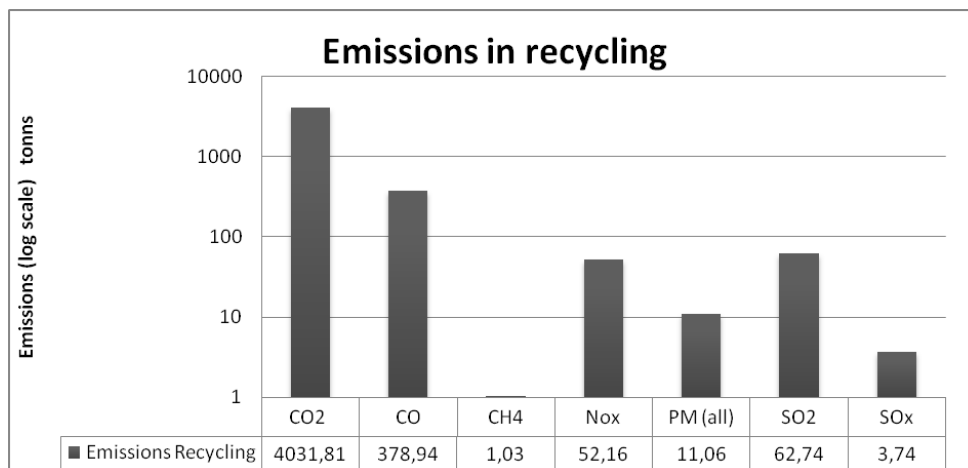
Σχήμα 33: Συνολικές εκπομπές από όλες τις διεργασίες στη φάση της κατασκευής

Στη φάση της συντήρησης που παρουσιάζεται παρακάτω πάλι πρώτη κατηγορία εκπομπών είναι το CO₂ και ακολουθούν τα NO_x και το SO₂ και με μικρή διαφορά το CO και τα VOC.



Σχήμα 34: Συνολικές εκπομπές από όλες τις διεργασίες στη φάση της συντήρησης

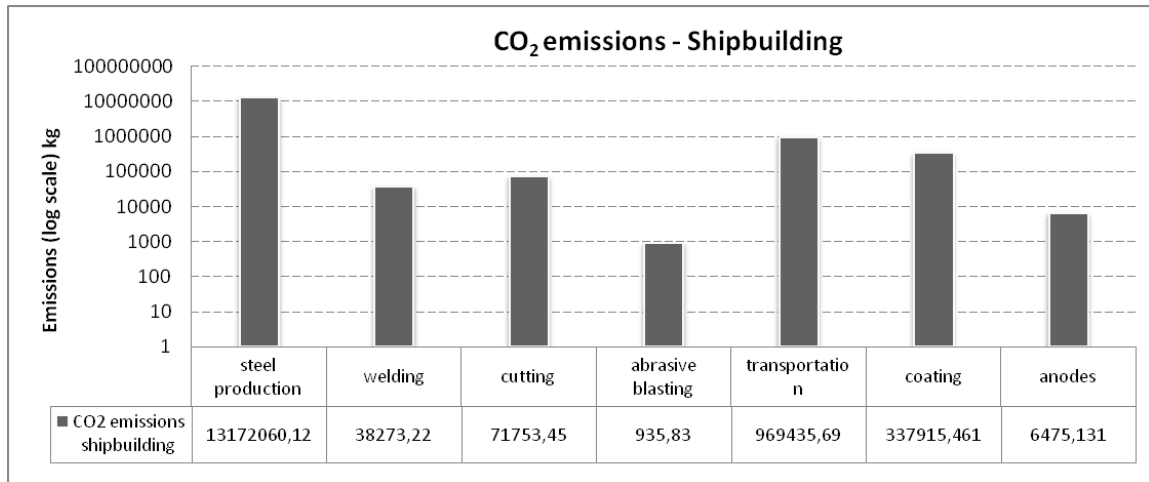
Τέλος, στη φάση της ανακύκλωσης πάλι οι περισσότερες εκπομπές ανήκουν στο CO₂ και ακολουθούνται από το CO. Παρακάτω ακολουθεί το σχετικό διάγραμμα:



Σχήμα 35: Συνολικές εκπομπές από όλες τις διεργασίες στη φάση της διάλυσης/ανακύκλωσης

6.4.2 Εκπομπές CO₂ στη φάση της κατασκευής

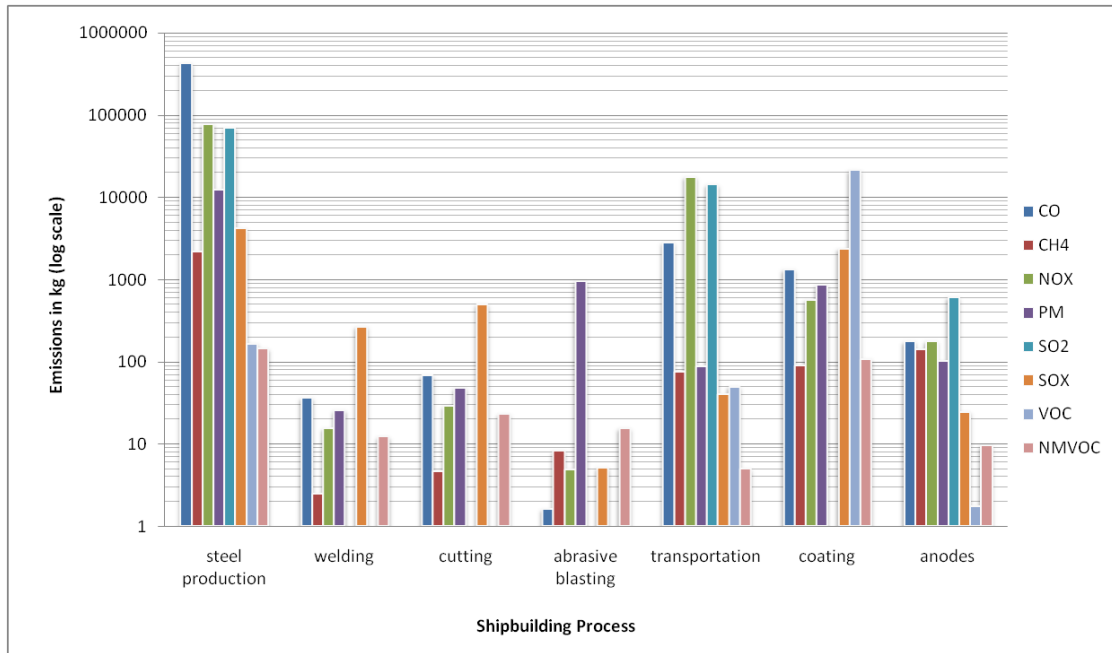
Παρακάτω ακολουθεί διάγραμμα που απεικονίζει τις εκπομπές του CO₂ που παράγονται σε κάθε διεργασία της φάσης της κατασκευής του πλοίου. Η μεγαλύτερη ποσότητα εκπομπών CO₂ παράγεται στην διεργασία της κατασκευής του χάλυβα με διαφορά μία τάξης μεγέθους από την επόμενη διεργασία που είναι το coating.



Σχήμα 36: Συνολικές εκπομπές CO₂ στη φάση της κατασκευής

6.4.3 Εκπομπές CO, CH₄, NO_x, PM, SO₂, VOC και SO_x στη φάση της κατασκευής

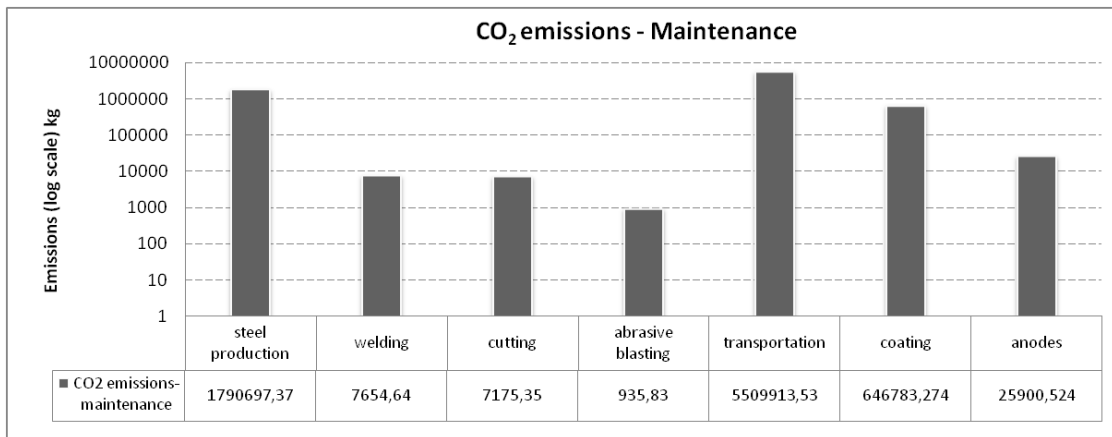
Στο παρακάτω διάγραμμα απεικονίζονται οι εκπομπές των CO, CH₄, NO_x, PM, SO₂, VOC και SO_x που παράγονται σε κάθε διεργασία της φάσης κατασκευής του πλοίου. Τοποθετήθηκαν όλες μαζί σε ένα διάγραμμα για να γίνει πιο εύκολα κάποια σύγκριση μεταξύ τους. Στην παραγωγή του χάλυβα όλες οι εκπομπές είναι αρκετά υψηλές και η συγκεκριμένη διαδικασία δίνει τις περισσότερες εκπομπές σε CO, PM και CH₄. Στις διαδικασίες του welding, του cutting και του abrasive blasting δεν έχουμε καθόλου παραγωγή SO₂ και VOC ενώ στη διαδικασία του coating δεν παράγεται SO₂. Στη διαδικασία της ψηγματοβολής όλες οι εκπομπές είναι αρκετά χαμηλές εκτός από τα PM. Οι περισσότερες εκπομπές NO_x και SO₂ αφορούν τη μεταφορά των υλικών και με αρκετή διαφορά από την παραγωγή του χάλυβα. Τέλος, η μεγαλύτερη ποσότητα VOC παράγεται στη διεργασία του coating.



Σχήμα 37: Συνολικές εκπομπές CO, CH₄, NO_x, PM, SO₂, VOC, SO_x και NMVOC στη φάση της κατασκευής

6.4.4 Εκπομπές CO₂ στη φάση της συντήρησης

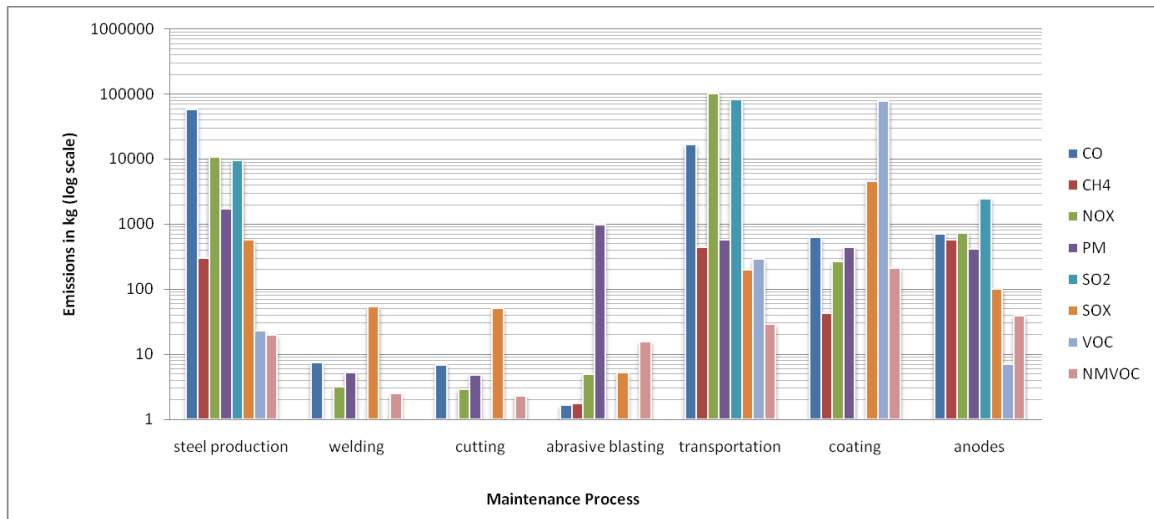
Τα αντίστοιχα διαγράμματα ακολουθούν για τη φάση της συντήρησης. Οι παρατηρήσεις που έγιναν για τη φάση της κατασκευής ισχύουν και στη συντήρηση.



Σχήμα 38: Συνολικές εκπομπές CO₂ στη φάση της συντήρησης

Στο παρακάτω σχήμα απεικονίζονται οι εκπομπές του CO₂ που παράγονται από διεργασίες που συντελούνται αποκλειστικά στο ναυπηγείο και είναι οι εξής: συγκόλληση χάλυβα, κοπή χάλυβα, ψηγματοβολή, βαφή και ανοδική προστασία.

6.4.5 Εκπομπές CO, CH₄, NO_x, PM, SO₂, VOC και SO_x στη φάση της συντήρησης

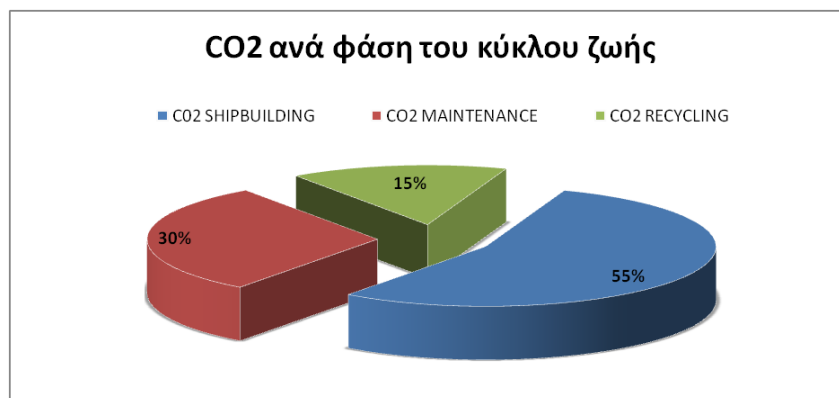


Σχήμα 39: Συνολικές εκπομπές CO, CH₄, NO_x, PM, SO₂, VOC και SO_x στη φάση της συντήρησης

Παρακάτω ακολουθούν σχήματα που απεικονίζουν το ποσοστό που καταλαμβάνει κάθε κατηγορία εκπομπών σε κάθε φάση της ζωής της μεταλλικής κατασκευής του πλοίου.

6.4.6 Ποσοστιαία επίδραση εκπομπών ανά φάση του κύκλου ζωής

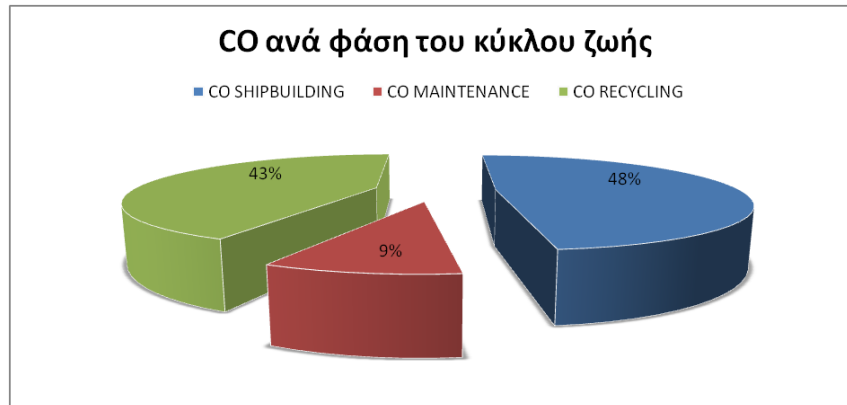
Παρακάτω απεικονίζεται η ποσοστιαία παραγωγή του CO₂ ανά φάση του κύκλου ζωής. Περίπου το 50% του CO₂ της LCA της μεταλλικής κατασκευής παράγεται στη φάση της κατασκευής και αυτό γιατί αφορά την παραγωγή του χάλυβα. Μετά ακολουθεί η συντήρηση που πάλι έχουμε παραγωγή χάλυβα αλλά μικρότερη ποσότητα και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



Σχήμα 40: Ποσοστιαία επίδραση CO₂ σε κάθε φάση ζωής του πλοίου

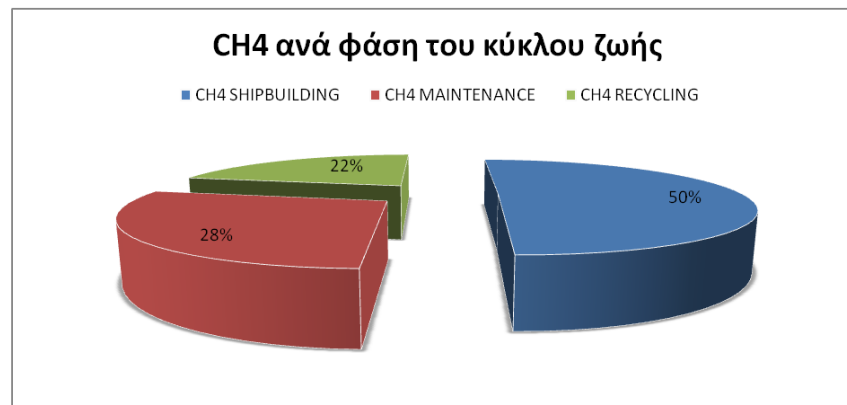
Παρακάτω απεικονίζεται η ποσοστιαία παραγωγή του CO κατά φάση κύκλου ζωής. Όπως και το CO₂ έτσι και το CO παράγεται το 50% στη φάση της κατασκευής. Στις φάσεις της συντήρησης και της ανακύκλωσης όμως υπάρχει διαφοροποίηση καθώς

δεύτερη για το CO έρχεται η φάση της ανακύκλωσης με 43% και τελευταία η φάση της συντήρησης.



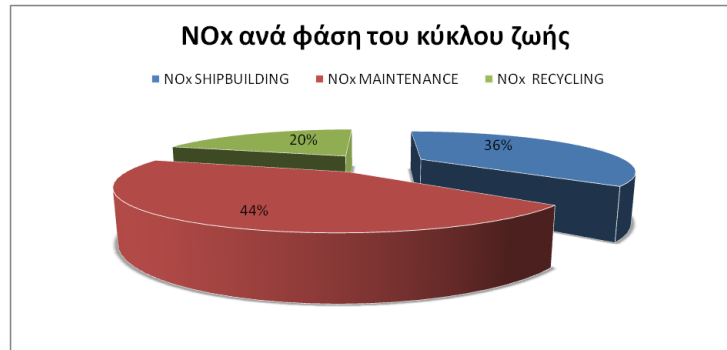
Σχήμα 41: Ποσοστιαία επίδραση CO σε κάθε φάση ζωής του πλοίου

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.

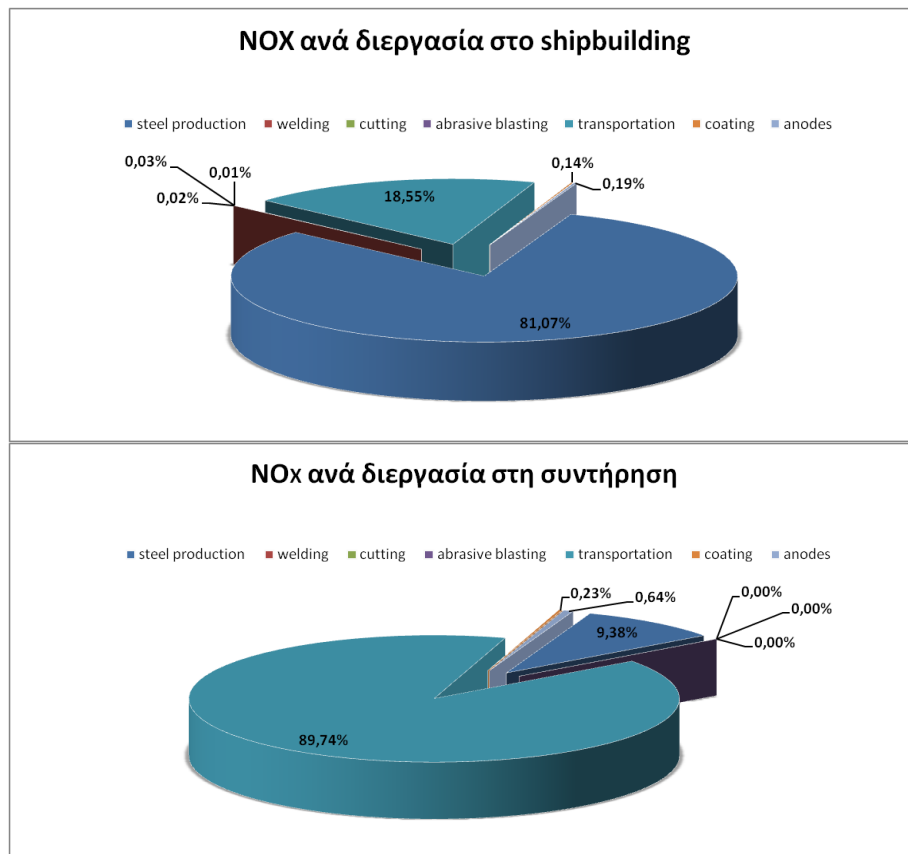


Σχήμα 42: Ποσοστιαία επίδραση CO₄ σε κάθε φάση ζωής του πλοίου

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. Στη φάση της συντήρησης υπάρχει μεγάλη αύξηση των NO_x από τη μεταφορά των υλικών: από 17.7 tons στην κατασκευή ανέρχονται σε 100.5 tons στη συντήρηση, αυτή η διαφορά παρουσιάζεται στο σχήμα 44. Οπότε αυτή η μικρή διαφορά του 8% της φάσης της συντήρησης από την κατασκευή οφείλεται στη μεταφορά των υλικών.

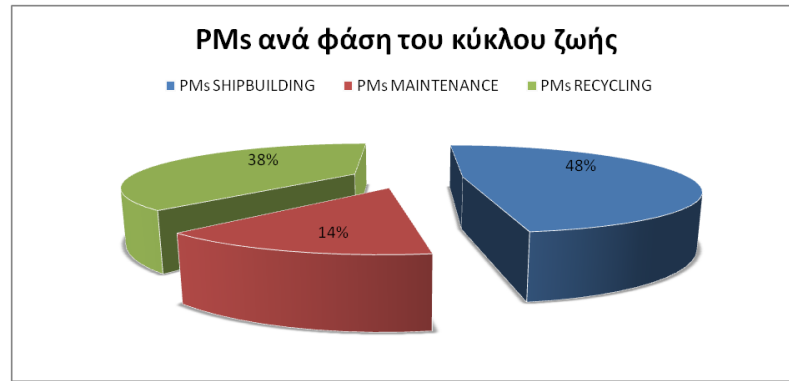


Σχήμα 43: Ποσοστιαία επίδραση NO_x σε κάθε φάση ζωής του πλοίου



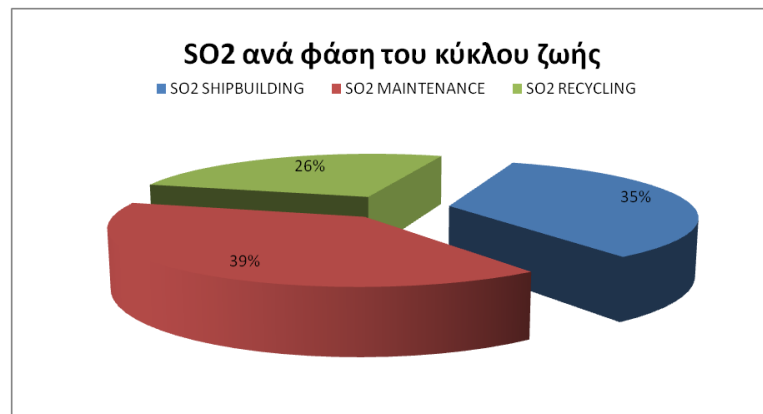
Σχήμα 44: Ποσοστιαία επίδραση NO_x ανά διεργασία στις φάσεις της κατασκευής και τις συντήρησης

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.



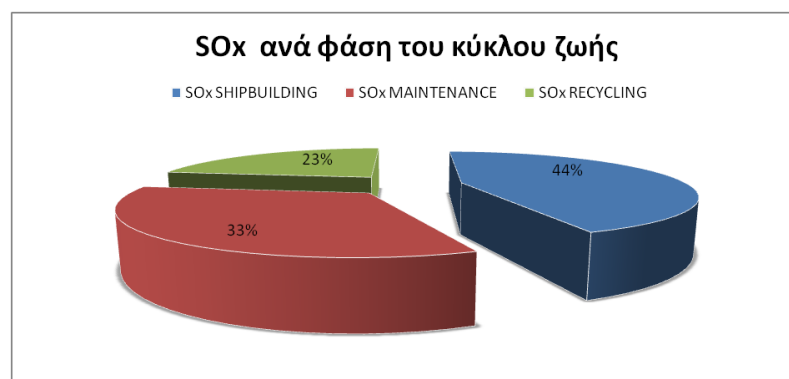
Σχήμα 45: Ποσοστιαία παραγωγή PM σε κάθε φάση ζωής του πλοίου

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%.



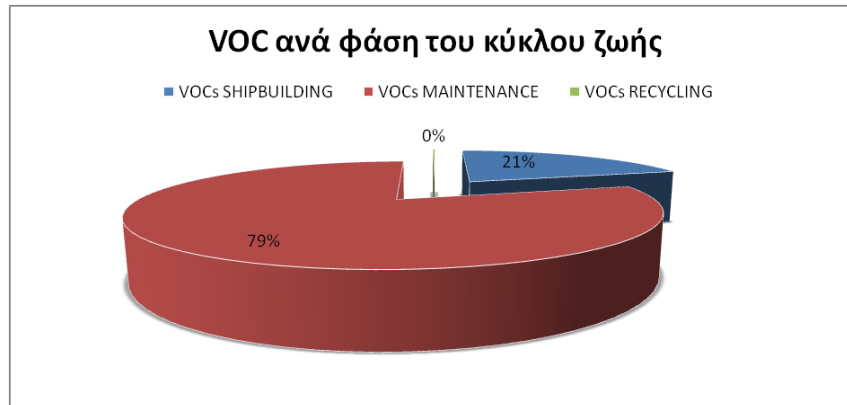
Σχήμα 46: Ποσοστιαία παραγωγή SO₂ σε κάθε φάση ζωής του πλοίου

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%.



Σχήμα 47: 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.

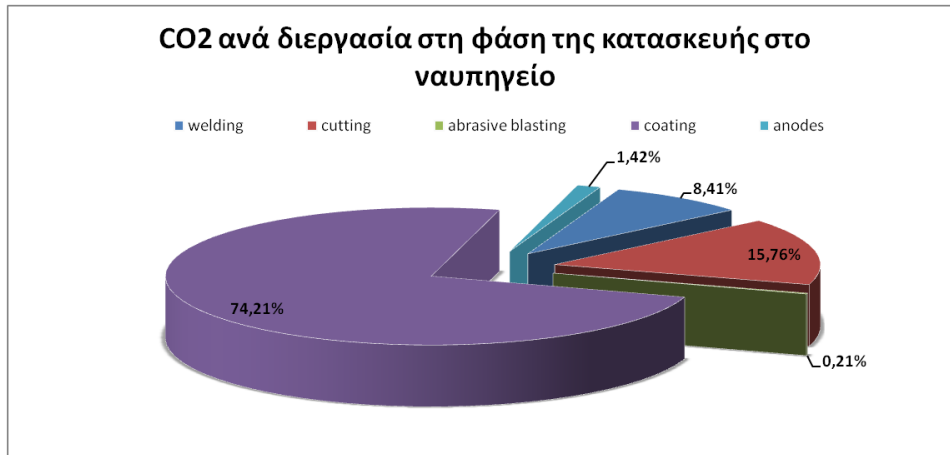


Σχήμα 48: Ποσοστιαία παραγωγή VOC σε κάθε φάση ζωής του πλοίου

6.4.7 Εκπομπές ανά διεργασία που συντελείται στο ναυπηγείο

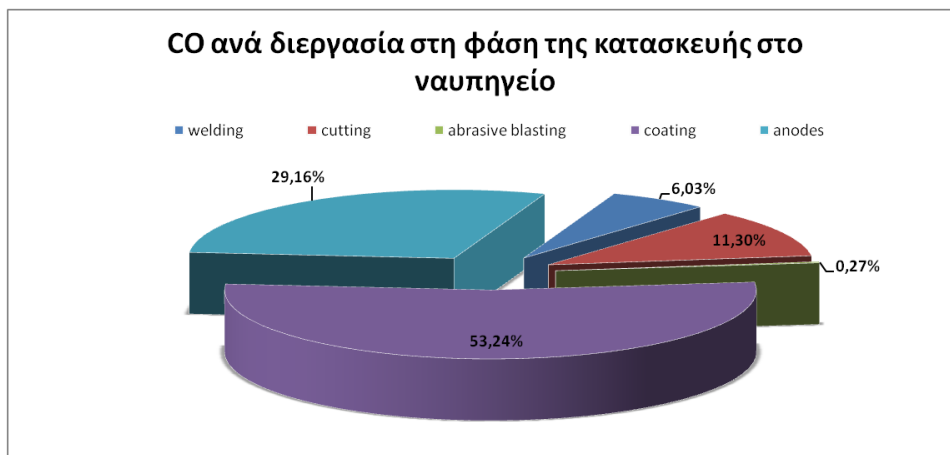
Οι διεργασίες που συντελούνται στο ναυπηγείο είναι οι εξής: συγκόλληση χάλυβα, κοπή χάλυβα, ψηγματοβολή, ανοδική προστασία και βαφή (primer, antifouling & painting). Παρακάτω ακολουθούν σχήματα που απεικονίζουν την ποσοστιαία επίδραση των εκπομπών ανά διεργασία που συντελείται στο ναυπηγείο κατά τη φάση της κατασκευής. Επιλέχθηκε και αυτός ο διαχωρισμός για την παρουσίαση αποτελεσμάτων ώστε να διαχωριστούν οι εκπομπές που παράγονται στο ναυπηγείο αποκλειστικά, αλλά και γιατί η ποσότητα των εκπομπών από την παραγωγή του χάλυβα και από τη μεταφορά των υλικών είναι σημαντικά μεγαλύτερη από αυτή των άλλων διεργασιών με εξαίρεση τη βαφή.

Στο πρώτο σχήμα που ακολουθεί παρουσιάζεται το CO₂ ανά διεργασία που συντελείται στο ναυπηγείο. Η μεγαλύτερη ποσότητα παράγεται κατά τη διαδικασία της βαφής και ακολουθεί η διαδικασία της κοπής του χάλυβα με αρκετά μεγάλη διαφορά.



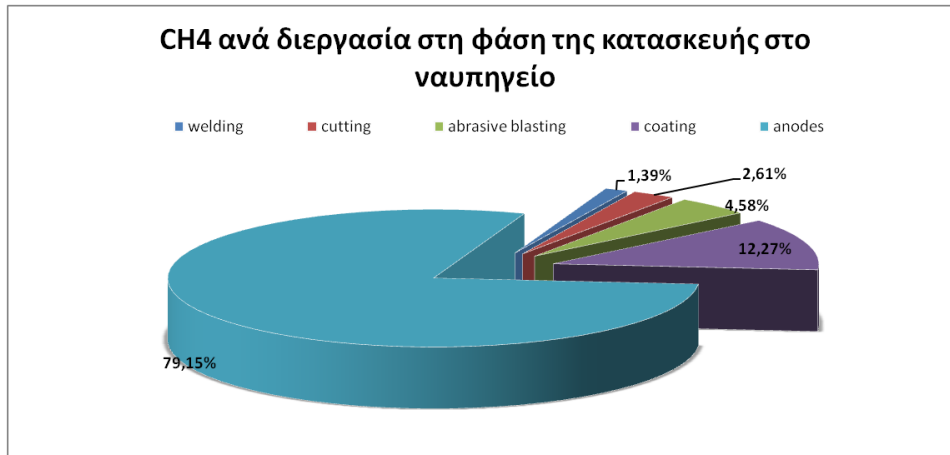
Σχήμα 49: Ποσοστιαία επίδραση CO₂ ανά διεργασία στο ναυπηγείο

Παρακάτω παρουσιάζεται η ποσοστιαία επίδραση του CO ανά διεργασία στη φάση της κατασκευής στο ναυπηγείο και παρατηρείται ότι παραπάνω από το μισό CO προέρχεται από τη βαφή και περίπου το 30% από την ανοδική προστασία.



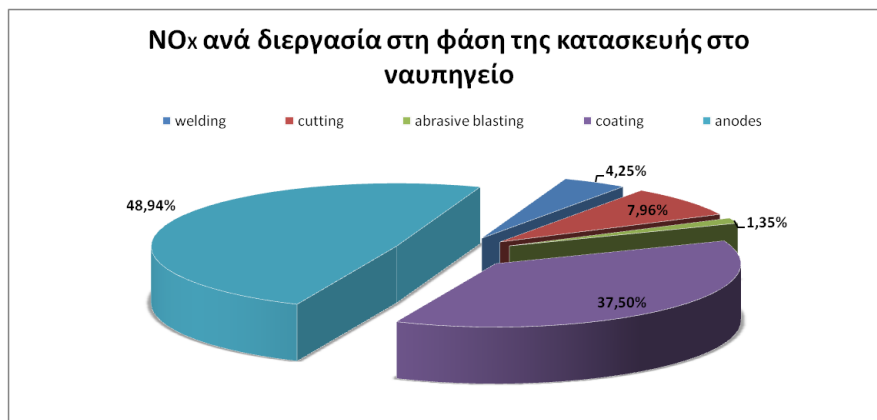
Σχήμα 50: Ποσοστιαία επίδραση CO ανά διεργασία στο ναυπηγείο

Ακολουθεί το σχήμα που παρουσιάζει το ποσοστό CH₄ ανά διεργασία στο ναυπηγείο και εύκολα κάποιος παρατηρεί ότι η μεγαλύτερη ποσότητα CH₄ (79%) παράγεται από τη διαδικασία της ανοδικής προστασίας και με πολύ μικρότερο ποσοστό ακολουθεί η διαδικασία της βαφής. Αποτελεί την πρώτη κατηγορία στην οποία οι εκπομπές από τη βαφή δεν καταλαμβάνουν την πρώτη θέση και αυτό ισχύει και για τις εκπομπές των NO_x και των PM που παρουσιάζονται ακριβώς μετά.



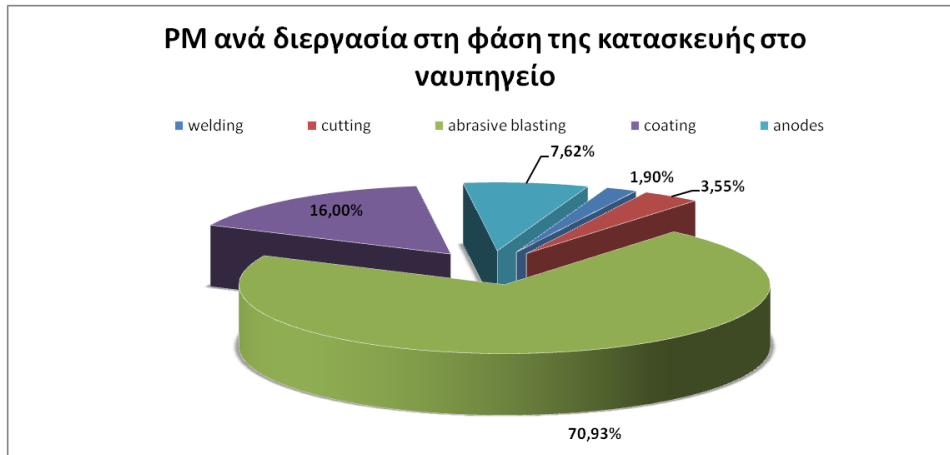
Σχήμα 51: Ποσοστιαία επίδραση CH₄ ανά διεργασία στο ναυπηγείο

Ακολουθούν οι εκπομπές των NO_x που παράγονται στο ναυπηγείο κατά τη φάση της κατασκευής των οποίων η μεγαλύτερη ποσότητα παράγεται στην ανοδική προστασία, σχεδόν το 50% και ακολουθεί η βαφή του χάλυβα με αρκετά υψηλό ποσοστό κι αυτή (37,5%).



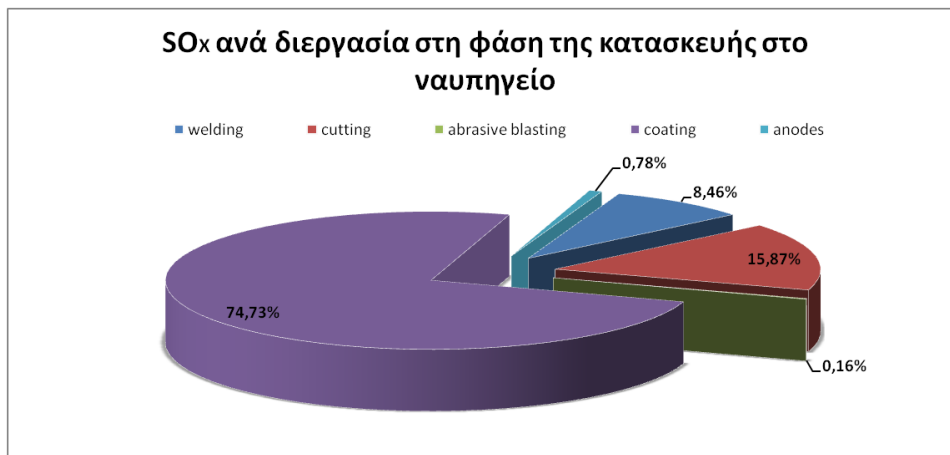
Σχήμα 52: Ποσοστιαία επίδραση NO_x ανά διεργασία στο ναυπηγείο

Ακολουθεί σχήμα που απεικονίζει τις εκπομπές των PM που παράγονται στο ναυπηγείο κατά τη φάση της κατασκευής. Εδώ κυρίαρχη διαδικασία είναι η ψηγματοβολή, όπως ήταν αναμενόμενο καθώς υπάρχει μεγάλη παραγωγή μικροσωματιδίων, με ποσοστό 70,9%. Δεύτερη διαδικασία σε παραγωγή PM στο ναυπηγείο είναι η βαφή αλλά με αρκετά μεγάλη διαφορά από τη ψηγματοβολή (16%) και τρίτη η ανοδική προστασία (7,62%).



Σχήμα 53: Ποσοστιαία επίδραση PM ανά διεργασία στο ναυπηγείο

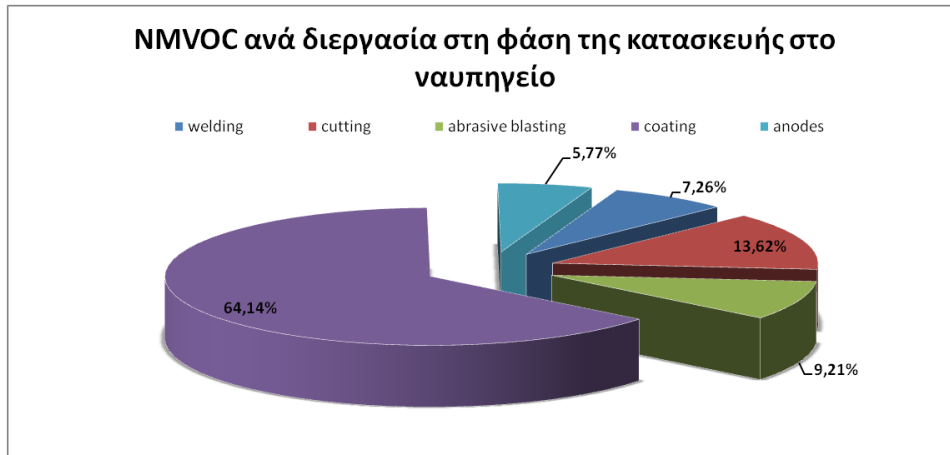
Τα σχήμα που ακολουθεί παρουσιάζει τις εκπομπές των SO_x ανά διεργασία που συντελείται στο ναυπηγείο. Το 75% των εκπομπών των SO_x παράγονται κατά τη διαδικασία της βαφής του χάλυβα και το 16% από τη διαδικασία της κοπής του χάλυβα.



Σχήμα 54: Ποσοστιαία επίδραση SO_x ανά διεργασία στο ναυπηγείο

Τέλος, παρουσιάζονται τα NMVOC που παράγονται στο ναυπηγείο κατά κύριο λόγο από τη διεργασία της βαφής με ποσοστό 64%. Η κοπή του χάλυβα συμμετέχει με ποσοστό 13,6% και ακολουθεί η ψηγματοβολή με ποσοστό 9,2%.

Οι εκπομπές των VOC δεν παρουσιάστηκαν γιατί από τις διεργασίες που συντελούνται στο ναυπηγείο παραγωγή VOC έχει υπολογιστεί μόνο για τη βαφή και την ανοδική προστασία. Επιπλέον η παραγωγή VOC στη διαδικασία της βαφής δεν είναι συγκρίσιμη με αυτή στη διαδικασία της ανοδικής προστασίας, καθώς η πρώτη είναι μεγαλύτερη κατά τέσσερις τάξεις μεγέθους.



Σχήμα 55: Ποσοστιαία επίδραση NMVOC ανά διεργασία στο ναυπηγείο

Συμπερασματικά, από τις διεργασίες που συντελούνται στο ναυπηγείο η βαφή είναι αυτή με τη μεγαλύτερη ποσότητα εκπομπών με εξαίρεση τις εκπομπές των PM, NOX και CH₄. Η μεγαλύτερη ποσότητα PM παράγεται στη ψηγματοβολή, όπως είναι αναμενόμενο λόγω της φύσης της διεργασίας και η μεγαλύτερη ποσότητα CH₄ και NOX παράγεται στη διαδικασία της ανοδικής προστασίας. Η διεργασία της βαφής παράγει αρκετά παραπάνω από 50% όσον αφορά τις υπόλοιπες εκπομπές. Δεν παρατίθεται διάγραμμα με την παραγωγή των VOC στο ναυπηγείο εφόσον το 99.99% παράγεται στη διεργασία της βαφής. Επίσης, πρέπει να τονιστεί ότι παρόλο που τα παραπάνω διαγράμματα αφορούν τη φάση της κατασκευής, ισχύουν τα ίδια ποσοστά και στη φάση της συντήρησης.

7. ΑΠΟΤΙΜΗΣΗ ΕΠΙΠΤΩΣΕΩΝ ΚΥΚΛΟΥ ΖΩΗΣ

7.1 Εισαγωγή

Η φάση Αποτίμησης Επιπτώσεων Κύκλου Ζωής (Life Cycle Impact Assessment, LCIA) σε συνδυασμό με τις υπόλοιπες φάσεις 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 – δείκτης. Η συλλογή των αποτελεσμάτων – δεικτών ή το προφίλ της LCIA παρέχει πληροφορίες σχετικά με περιβαλλοντικά ζητήματα που συνδέονται με τις εισόδους και τις εξόδους του συστήματος του προϊόντος. Δεν υπάρχει επιστημονική βάση για την απλοποίηση των αποτελεσμάτων της LCA σε ένα συνολικό σκορ ή αριθμό αφού η στάθμιση απαιτεί επιλογή τιμών.

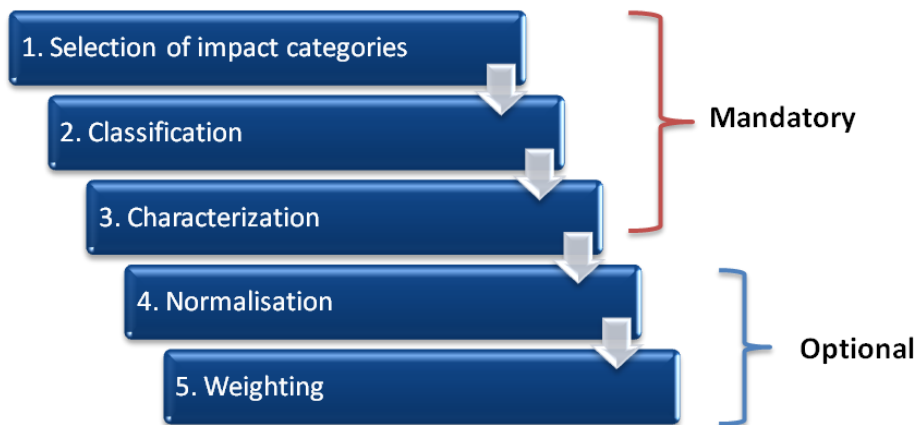
Η διαδικασία αυτή είναι τυποποιημένη σύμφωνα με το ISO 14040-44, που παρέχει μόνο γενικές κατευθύνσεις και απαιτήσεις ως προς την πρακτική εφαρμογή της διαδικασίας και τονίζει ότι οι επιλεγόμενες μέθοδοι μέτρησης επιπτώσεων στην LCA πρέπει να απολαμβάνουν διεθνή αναγνώριση. Σύμφωνα με το παραπάνω πρότυπο περιλαμβάνει τα παρακάτω στάδια:

1. Επιλογή και ορισμός των κατηγοριών επιπτώσεων (selection of impact categories): Προσδιορισμός των σχετικών περιβαλλοντικών επιπτώσεων και διαχωρισμός σε κατηγορίες (π.χ. η κλιματική αλλαγή, οξύνιση, ευτροφισμός κα).
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.

Ακολουθεί σχετικό διάγραμμα:



Σχήμα 56: Σχηματική αναπαράσταση της διαδικασίας αποτίμησης επιπτώσεων LCIA κατά ISO 14040-44 (πηγή: Chatziniolaou, 2013)

Ακολουθεί πίνακας στον οποίο παρουσιάζεται η ταξινόμηση των εκπομπών στις κατηγορίες επιπτώσεων:

Πίνακας 51: Ταξινόμηση εκπομπών στις κατηγορίες επιπτώσεων

Impact Category	Scale	Examples of LCI Data (i.e. classification)	Common Possible Characterization Factor	Description of Characterization Factor
Global Warming	Global	Carbon Dioxide (CO ₂) Nitrogen Dioxide (NO ₂) Methane (CH ₄) Chlorofluorocarbons (CFCs) Hydrochlorofluorocarbons (HCFCs) Methyl Bromide (CH ₃ Br)	Global Warming Potential	Converts LCI data to carbon dioxide (CO ₂) equivalents Note: global warming potentials can be 50, 100, or 500 year potentials.
Stratospheric Ozone Depletion	Global	Chlorofluorocarbons (CFCs) Hydrochlorofluorocarbons (HCFCs) Halons Methyl Bromide (CH ₃ Br)	Ozone Depleting Potential	Converts LCI data to trichlorofluoromethane (CFC-11) equivalents.
Acidification	Regional Local	Sulfur Oxides (SO _x) Nitrogen Oxides (NO _x) Hydrochloric Acid (HCL) Hydrofluoric Acid (HF) Ammonia (NH ₄)	Acidification Potential	Converts LCI data to hydrogen (H ⁺) ion equivalents.
Eutrophication	Local	Phosphate (PO ₄) Nitrogen Oxide (NO) Nitrogen Dioxide (NO ₂) Nitrates Ammonia (NH ₄)	Eutrophication Potential	Converts LCI data to phosphate (PO ₄) equivalents.
Photochemical Smog	Local	Non-methane hydrocarbon (NMHC)	Photochemical Oxidant Creation Potential	Converts LCI data to ethane (C ₂ H ₆) equivalents.
Terrestrial Toxicity	Local	Toxic chemicals with a reported lethal concentration to rodents	LC ₅₀	Converts LC ₅₀ data to equivalents; uses multi-media modeling, exposure pathways.
Aquatic Toxicity	Local	Toxic chemicals with a reported lethal concentration to fish	LC ₅₀	Converts LC ₅₀ data to equivalents; uses multi-media modeling, exposure pathways.
Human Health	Global Regional Local	Total releases to air, water, and soil.	LC ₅₀	Converts LC ₅₀ data to equivalents; uses multi-media modeling, exposure pathways.
Resource Depletion	Global Regional Local	Quantity of minerals used Quantity of fossil fuels used	Resource Depletion Potential	Converts LCI data to a ratio of quantity of resource used versus quantity of resource left in reserve.
Land Use	Global Regional Local	Quantity disposed of in a landfill or other land modifications	Land Availability	Converts mass of solid waste into volume using an estimated density.
Water Use	Regional Local	Water used or consumed	Water Shortage Potential	Converts LCI data to a ratio of quantity of water used versus quantity of resource left in reserve.

Οι μέθοδοι για την LCIA είναι αρκετές, όμως δεν υπάρχει κάποια που να έχει αναπτυχθεί αποκλειστικά για τη ναυτιλία. Ακολουθεί μία ενημερωμένη λίστα με κάποιες από αυτές για τις οποίες διατίθενται δεδομένα στην πρόσφατη έκδοση της βάσης δεδομένων ecoinvent (Hischier et al, 2010):

- CML 2002
- Cumulative energy demand

- Cumulative energy demand
- Eco-indicator 99
- Ecological footprint
- Ecological scarcity 1997
- Ecosystem damage potential - EDP
- EDIP'97 and 2003 - Environmental Design of Industrial Products
- EPS 2000 - environmental priority strategies in product development
- IMPACT 2002+
- IPCC 2001 (climate change)
- TRACI

Ακολουθεί πίνακας που παρουσιάζει ποιά μέθοδος είναι ιδανικότερη ανά κατηγορία επιπτώσεων για το στάδιο του χαρακτηρισμού. Σύμφωνα με τον παρακάτω πίνακα έγινε και η επιλογή των μεθόδων LCIA που εφαρμόστηκαν και στη συγκεκριμένη μελέτη:

Πίνακας 52: Ιδανικότερα διαθέσιμα μοντέλα χαρακτηρισμού (Michael Z. Hauschild et al, 2012)

Impact category	Best among existing characterization models	Indicator	Classification
Climate change	Model developed for ReCiPe (De Schryver and Goedkoop 2009a)	Disability Adjusted Life Years (DALY) for human health Potentially disappeared fraction of species (PDF m ³ year) for ecosystem health	Interim
Ozone depletion	Model for human health damage developed for ReCiPe (Struijs et al. 2009a)	DALY	Interim
Human toxicity, cancer effects	DALY calculation applied to USEtox midpoint (adapted from Huijbregts et al. 2005)	DALY	II/interim
Human toxicity, non-cancer effects	DALY calculation applied to USEtox midpoint (adapted from Huijbregts et al. 2005)	DALY	Interim
Particulate matter/Respiratory inorganics	Adapted DALY calculation applied to midpoint (adapted from van Zelm et al. 2008, Pope et al. 2002)	DALY	I/II
Ionizing radiation, human health	Frischknecht et al. (2000)	DALY	Interim
Ionizing radiation, ecosystems	None identified		
Photochemical ozone formation	Model for damage to human health as developed for ReCiPe (Van Zelm et al. 2008)	DALY	II
Acidification	Method developed by van Zelm et al. (2007) as in ReCiPe	Potentially disappeared fraction of plant species	Interim
Eutrophication, terrestrial	No methods found		
Eutrophication, aquatic	Model for damage to ecosystem (freshwater only) (Struijs et al. 2009b)	PDF m ³ year	Interim
Ecotoxicity	None identified		
Land use	Model for species diversity loss as in ReCiPe (De Schryver and Goedkoop 2009b)	PDF m ³ year	Interim
Resource depletion, water	None identified		
Resource depletion, mineral and fossil	Method developed for ReCiPe (De Schryver and Goedkoop 2009c; Goedkoop and De Schryver 2009)	Surplus costs	Interim

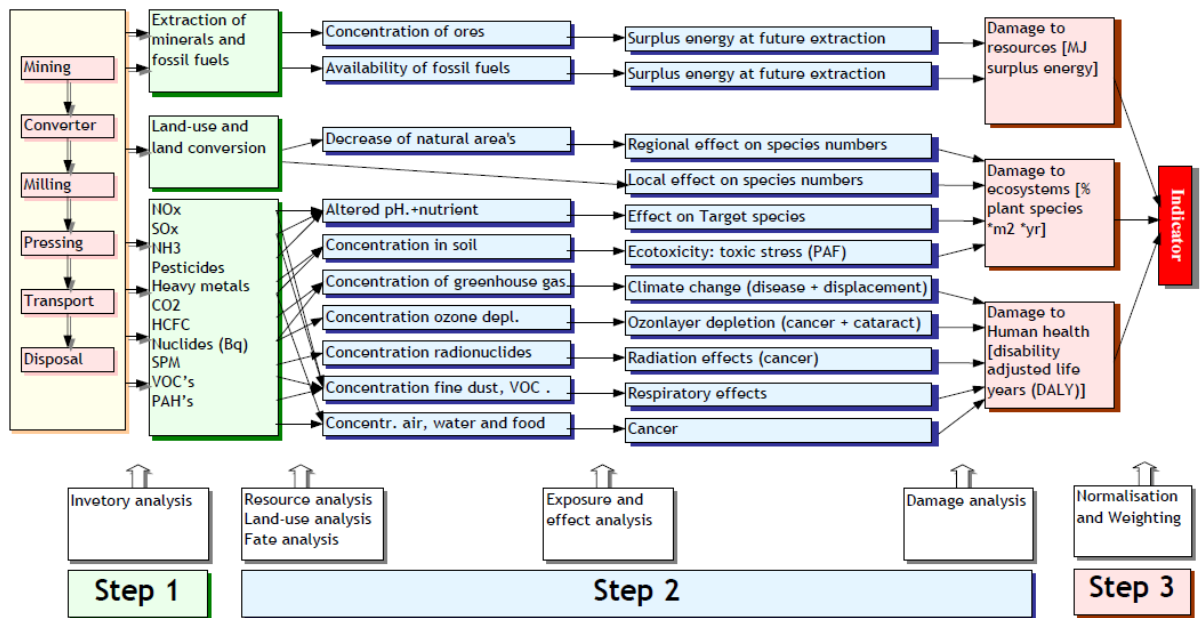
Για παράδειγμα για την κλιματική αλλαγή ελκυστική επιλογή μεθόδου χαρακτηρισμού αποτελεί η μέθοδος ReCiPe, ενώ για τον ευτροφισμό των υδάτων προτείνεται μοντέλο για βλάβη στο οικοσύστημα (Struijs et al, 2009b). Ακολουθεί αναλυτική περιγραφή δύο

μεθόδων της Eco Indicator και της ReCiPe οι οποίες θα εφαρμοστούν στην παρούσα μελέτη.

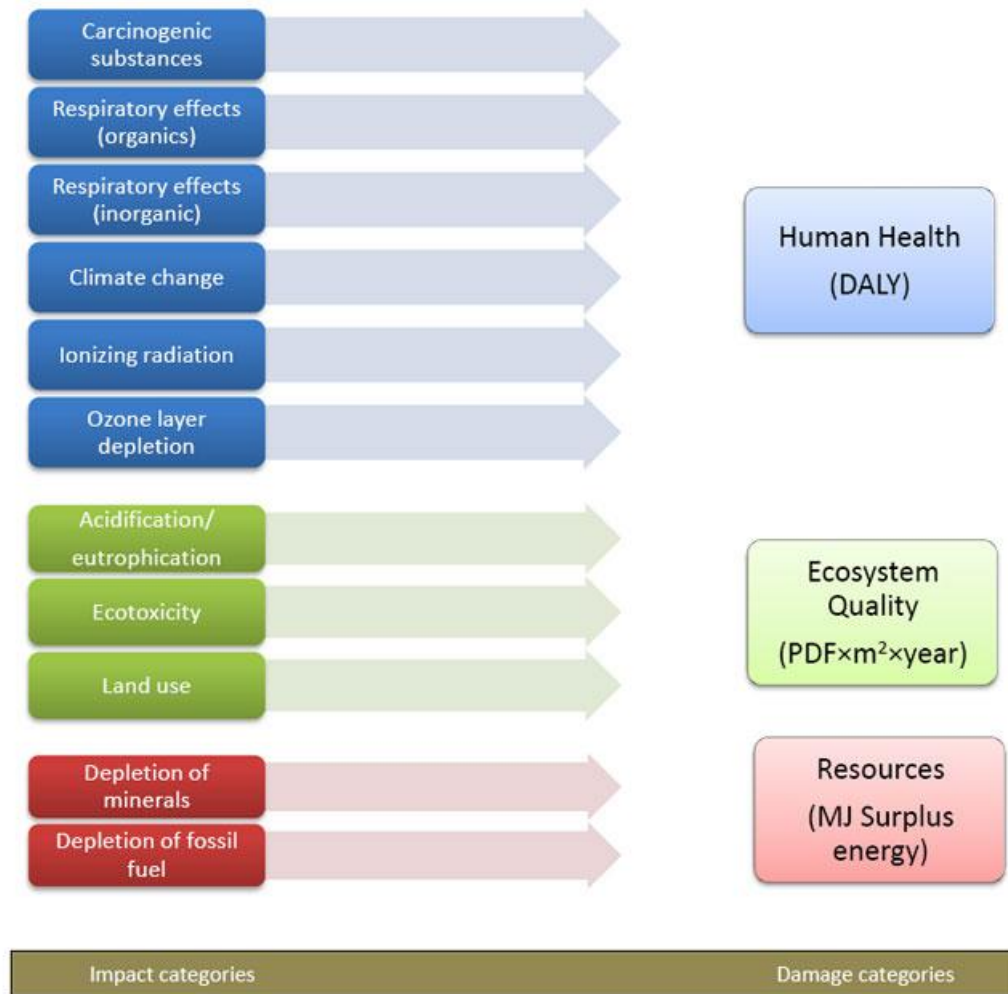
7.2 ECO INDICATOR

Σε αυτήν την μεθοδολογία υπάρχουν τα εξής τρία βασικά βήματα:

1. Καταγραφή όλων των εκπομπών, των πόρων και της χρήσης της γης που προκύπτουν από όλο τον κύκλο ζωής του προϊόντος, αυτό το βήμα αποτελεί βασική διαδικασία κάθε LCA.
2. Υπολογισμός των επιπτώσεων στην ανθρώπινη υγεία (Human Health), στην ποιότητα του οικοσυστήματος (Ecosystem Quality) και στους πόρους (Resources).
3. Στάθμιση των παραπάνω επιπτώσεων.



Σχήμα 57: Βήματα της μεθοδολογίας EcoIndicator (πηγή: PRé Consultants, 2008)



Σχήμα 58: Ομαδοποίηση των κατηγοριών επιπτώσεων (πηγή: <http://www.ecn.nl/lca>)

Παρατίθεται και το παραπάνω σχήμα που παρουσιάζει αναλυτικά την ομαδοποίηση των επιπτώσεων σε τρεις κατηγορίες βλαβών.

ΒΗΜΑ 1^ο

Στην EcoIndicator χρησιμοποιείται η βάση δεδομένων ESU-ETH in Zurich (ESU1996) που είναι αρκετά γνωστή και τεκμηριωμένη. Στην καταγραφή αυτών των δεδομένων είναι σημαντικό να ακολουθείται μια μεθοδολογία με συνέπεια όσον αφορά:

- Τα όρια του συστήματος, δηλαδή τι θα συμπεριληφθεί και τι όχι.
- Κατανομή, δηλαδή πως πρέπει να διαχειριστούν οι διαδικασίες που έχουν παραπάνω από μια επίπτωση.
- Θέματα που αφορούν την περιοχή που ενδιαφέρει τον μελετητή, δηλαδή θα γίνει χρήση βάσης δεδομένων για την Γερμανία ή για όλη την Ευρώπη.
- Ποιότητα δεδομένων, αναλυτικότερα ηλικία, αντιπροσωπευτικότητα, μέση ή σύγχρονη τεχνολογία κτλ.

Επιπλέον, θα πρέπει να δοθεί προσοχή στις αβεβαιότητες της μεθοδολογίας που χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό των δεικτών. Διακρίνονται δύο κατηγορίες:

1. Αβεβαιότητες σχετικά με την ορθότητα των μοντέλων που χρησιμοποιήθηκαν. Αφορά επιλογές όπως η επιλογή του χρονικού ορίζοντα στο μοντέλο βλάβης ή η επιλογή να συμπεριληφθεί μία επίπτωση παρόλο που η επιστημονική απόδειξη ότι υπάρχει είναι ανεπαρκής. Γενικά, σε αυτήν την κατηγορία μπορεί να υπάρξουν σημαντικές διαφωνίες που οφείλονται στα διαφορετικά επίπεδα γνώσεων, προοπτικής και νοοτροπίας. Για παράδειγμα, κάποιιοι μελετητές θεωρούν ότι οι μακροπρόθεσμες επιπτώσεις είναι πιο σημαντικές από τις βραχυπρόθεσμες, ενώ άλλοι υποστηρίζουν ότι οι πρώτες αντιμετωπίζονται με τις τεχνολογικές εξελίξεις και τη λήψη κατάλληλων μέτρων. Τα παραπάνω αποτελούν πρόβλημα για τον μελετητή γιατί θα έρθει συχνά αντιμέτωπος με την επιλογή κάποιου μοντέλου που θα εξαρτάται από την προσωπική προοπτική του. Εφόσον λοιπόν δεν μπορεί να δημιουργηθεί μία διαφορετική εκδοχή για κάθε ατομική προοπτική, αναπτύχθηκαν κάποια «Αρχέτυπα» προοπτικών:
 - 1ο. Ιεραρχικό (Hierarchist, H): ισορροπία μεταξύ μακροπρόθεσμων και βραχυπρόθεσμων επιπτώσεων, που βασίζονται σε ομοφωνία.
 - 2ο. Ατομικιστή (Individualist, I): αφορά μόνο τις βραχυπρόθεσμες επιπτώσεις, που έχουν αποδειχθεί.
 - 3ο. Ισονομιστή (Egalitarian, E): αφορά τις πολύ μακροπρόθεσμες επιπτώσεις, που είναι πιθανές και ας μην έχουν αποδειχθεί (Thompson, 1990 & Hofstetter, 1998).
2. Αβεβαιότητα σχετικά με τα δεδομένα στην περίπτωση σύγκρισης δύο LCA με διαφορετικές διαδικασίες, για την οποία προτείνετε η παρακάτω κατευθυντήρια γραμμή:
 - Καθορισμός των πιο σημαντικών διαδικασιών, δηλαδή αυτών με τις μεγαλύτερες επιπτώσεις.
 - Έλεγχος αυτών των διαδικασιών ώστε να προσδιοριστεί αν έχουν όμοιες πρώτες ύλες, αρχές λειτουργίας και επιπτώσεις.
 - Στην περίπτωση που οι διαδικασίες θεωρούνται παρόμοιες θα πρέπει η διαφορά στα αποτελέσματα του EcoIndicator να είναι της τάξης του 10-50% ώστε να γίνει η σύγκριση.
 - Στην αντίθετη περίπτωση θα πρέπει τα αποτελέσματα να διαφέρουν τουλάχιστον 100% ώστε να υπάρξει ένα αξιόπιστο συμπέρασμα.

ΒΗΜΑ 2^ο

Σε αυτό το στάδιο, που ονομάζεται μοντέλο βλαβών των εκπομπών, ακολουθείται η παρακάτω διαδικασία:

- Ανάλυση των πόρων - Ανάλυση της χρήσης της γης - Τυχαία ανάλυση
- Ανάλυση έκθεσης
- Ανάλυση επίδρασης
- Ανάλυση βλάβης

Στην EcoIndicator οι επιδράσεις που περιλαμβάνονται είναι οι εξής:

1. Πλεόνασμα ενέργειας για τις μελλοντικές εξορύξεις
 - a. Συγκέντρωση μεταλλευμάτων
 - b. Διαθεσιμότητα ορυκτών καυσίμων
2. Μείωση των εκμεταλλεύσιμων περιοχών γης και επίδραση στον αριθμό των τοπικών ειδών
 - a. Χρήση της γης (Land Use)
 - b. Μετατροπή της γης (Land Formation)
3. Επίδραση στα είδη στόχους
 - a. NO_x
 - b. SO_x
 - c. NH₃
4. Οικοτοξικότητα (Ecotoxicity, PAF)
 - a. Φυτοφάρμακα
 - b. Βαρέα μέταλλα
5. Κλιματική αλλαγή (Climate Change)
 - a. CO₂
 - b. HCFC
6. Μείωση της στοιβάδας του όζοντος (Ozone Depletion)
 - a. HCFC
7. Οξίνιση/ Ευτροφισμός (Acidification/Eutrophication)
8. Επιπτώσεις ακτινοβολίας (Radiation)
 - a. Nuclides (Bq)

9. Αναπνεύσιμες οργανικές και ανόργανες ουσίες (Respiratory Organics & Inorganics)
 - a. SPM
 - b. VOC_s
10. Καρκινογένεση (Carcinogens)
 - a. PAH_s
11. Ορυκτά καύσιμα και ορυκτοί πόροι (Fossil fuels & Mineral resources)

Παρακάτω ακολουθεί μία περιληπτική περιγραφή των επιδράσεων:

Με τον όρο **κλιματική αλλαγή** αναφερόμαστε στη μεταβολή του παγκόσμιου κλίματος και ειδικότερα σε μεταβολές των μετεωρολογικών συνθηκών που εκτείνονται σε μεγάλη χρονική κλίμακα. Τέτοιου τύπου μεταβολές περιλαμβάνουν στατιστικά σημαντικές διακυμάνσεις ως προς τη μέση κατάσταση του κλίματος ή τη μεταβλητότητά του, που εκτείνονται σε βάθος χρόνου δεκαετιών ή περισσότερων ακόμα ετών. Οι κλιματικές αλλαγές οφείλονται σε φυσικές διαδικασίες, καθώς και σε ανθρώπινες δραστηριότητες με επιπτώσεις στο κλίμα, όπως η τροποποίηση της σύνθεσης της ατμόσφαιρας. Επιπλέον δεν πρέπει συγχέεται με την έννοια κλιματική μεταβλητότητα που έχει μόνο φυσικά αίτια.

Μείωση της στειβάδας του όζοντος ονομάζεται το φαινόμενο κατά το οποίο το στρώμα του όζοντος που βρίσκεται στα ανώτερα στρώματα της ατμόσφαιρας της Γης μειώνεται σε πάχος πάνω από την Ανταρκτική. Επειδή το λεπτότερο σημείο του είναι πάνω από το Νότιο Πόλο, η μείωση του πάχους του στρώματος έχει ως αποτέλεσμα την ονομαζόμενη "τρύπα" στο στρώμα του όζοντος. Λόγω του ότι το όζον (αλλοτροπική μορφή του οξυγόνου, τριατομικό οξυγόνο, O₃) προστατεύει από την ηλιακή ακτινοβολία, απορροφώντας σημαντικό τμήμα της υπεριώδους, η δημιουργία της τρύπας του όζοντος έχει αρνητικά αποτελέσματα στην ανθρώπινη υγεία. Επίσης αυξάνει την θερμοκρασία στον πλανήτη και βοηθάει αρνητικά στο λιώσιμο των πάγων. Το φαινόμενο αυτό θεωρείται πως δημιουργήθηκε από υπερβολική χρήση χλωριοφθορανθράκων (CFC) που χρησιμοποιούνταν σε κλιματιστικά και γενικά σε ψυκτικές συσκευές. Στην επέκταση του επίσης συμβάλλουν τόσο τα καυσαέρια (από την κυκλοφορία των οχημάτων) όσο και τα αέρια απόβλητα των εργοστασίων.

Η **Οικοτοξικότητα** αναφέρεται στην πιθανότητα οι βιολογικοί, φυσικοί ή χημικοί στρεσογόνοι παράγοντες να επηρεάσουν τα οικοσυστήματα. Αυτοί οι παράγοντες είναι πιθανό να προκύψουν στο φυσικό περιβάλλον σε πυκνότητες, συγκεντρώσεις ή επίπεδα αρκετά υψηλά ώστε να διαταράξουν την φυσική βιοχημεία, την φυσιολογία, την συμπεριφορά και τις αλληλεπιδράσεις των ζωντανών οργανισμών που απαρτίζουν το οικοσύστημα. Συγκεκριμένα στη μέθοδο EcoIndicator υπολογίζεται το ποσοστό των φυτών και των ζώων που εκτίθενται στην οικοτοξικότητα.

Το **πλεόνασμα ενέργειας για μελλοντικές εξορύξεις μεταλλευμάτων** (surplus energy) αναφέρεται στο γεγονός ότι οι επόμενες γενιές θα πρέπει να καταβάλλουν μεγαλύτερη προσπάθεια για να εξορύξουν τους εναπομείναντες πόρους. Αυτό συμβαίνει γιατί ο άνθρωπος πάντα συλλέγει τους καλύτερους πόρους πρώτα, αφήνοντας τους λιγότερο ποιοτικούς για τις επόμενες γενιές και γενικά με την εξόρυξη ορυκτών γίνεται μείωση της ποιότητας των πόρων. Ένα παράδειγμα είναι η ότι στην Εποχή του Χαλκού οι πρόγονοι μας έβρισκαν μεταλλεύματα με μικρό ποσοστό χαλκού, ενώ σήμερα αυτό το ποσοστό είναι κατά μέσο όρο στο 0,7%, (Muller – Wenk, 1998).

Τα παραπάνω ισχύουν και για τα ορυκτά καύσιμα, σε αυτήν την περίπτωση δεν χρησιμοποιείται ο όρος μείωση της συγκέντρωσης αλλά υπάρχει μείωση των ορυκτών καυσίμων που εξορύσσονται εύκολα. Αυτό δεν σημαίνει ότι θα εξαντληθούν τα καύσιμα, αλλά θα χρησιμοποιούνται καύσιμα χαμηλότερης ποιότητας όπως το πετρέλαιο σχιστόλιθου. Εδώ πάλι μεταφράζεται η χαμηλή ποιότητα σε «πλεόνασμα ενέργειας» εφόσον για την εύρεση σχιστόλιθου απαιτείται πολύ περισσότερη ενέργεια από την εξόρυξη υγρού πετρελαίου.

Όσον αφορά την **μείωση των εκμεταλλεύσιμων περιοχών γης και την επίδραση στον αριθμό των τοπικών ειδών**, η ανθρωπότητα κατέχει μεγάλες περιοχές γης για αστική και γεωργική χρήση με αποτέλεσμα πολλά είδη να απειλούνται με εξαφάνιση, για αυτόν το λόγο η χρήση της γης συμπεριλαμβάνεται στην EcoIndicator και έχει ως μονάδες ζημίας την εξαφάνιση των ειδών. Στην μέθοδο αυτή τόσο η περιφερειακή όσο και η τοπική επίδραση λαμβάνονται υπόψη.

Ο **ευτροφισμός (eutrophication)** είναι περιβαλλοντικό πρόβλημα που παρουσιάζεται σε λίμνες ή κλειστούς αβαθείς κόλπους κάτω από ορισμένες συνθήκες. Στην ουσία δημιουργείται υπέρμετρη αύξηση της συγκέντρωσης θρεπτικών στοιχείων, που προκαλείται από τον εμπλουτισμό των υδάτων με απορροές θρεπτικών στοιχείων (νιτρικά και φωσφορικά ιόντα από λιπάσματα και απορρυπαντικά). Τα βακτήρια και οι άλγες (algae) αυξάνονται σε αριθμό τόσο, που σχηματίζουν επικάλυμμα στις υδάτινες επιφάνειες, προκαλώντας σκίαση στο νερό κάτω από την επιφάνεια. Χωρίς φως, οι φωτοσυνθετικοί οργανισμοί στον πυθμένα θανατώνονται, προσφέροντας ακόμη μεγαλύτερη ποσότητα τροφής σε άλλα βακτήρια, που συνεχίζουν να αναπτύσσονται. Καθώς ο αριθμός των βακτηρίων αυξάνεται, η κατανάλωση του διαλυμένου στο νερό οξυγόνου αυξάνεται δραματικά, ενώ η παραγωγή ελαττώνεται, με αποτέλεσμα να μην υπάρχει οξυγόνο για τους μη φωτοσυνθετικούς οργανισμούς, όπως, π.χ. τα ψάρια. Τα ψάρια είναι οι πρώτοι οργανισμοί που πεθαίνουν ενώ ακολουθούν και τα βακτήρια δημιουργώντας ένα νεκρό οικοσύστημα. Αποτέλεσμα του ευτροφισμού είναι η πτώση της ποιότητας του νερού, η μεταβολή της χλωρίδας και πανίδας των νερών, η μείωση της αισθητικής αξίας του περιβάλλοντος καθώς και οι περιορισμένες δυνατότητες για αναψυχής (Smith et al, 1999).

Η οξύνιση ή αύξηση της οξύτητας (**acidification**) των υδάτων αναφέρεται στη συνεχή μείωση του PH των ωκεανών της γης, που προκαλείται από την πρόσληψη των ανθρωπογενών εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) από την ατμόσφαιρα. Περίπου το 30-40% του CO₂ που απελευθερώνεται στην ατμόσφαιρα διαλύεται στους ποταμούς, τις λίμνες και τους ωκεανούς και για να διατηρηθεί η χημική ισορροπία κάποια ποσότητα αντιδρά με το νερό και σχηματίζεται ανθρακικό οξύ. Κάποια μόρια ανθρακικού οξέος αντιδρούν με ένα μόριο νερού και δίνουν ένα όξινο ανθρακικό ιόν και ένα ιόν υδρονίου αυξάνοντας έτσι την οξύτητα του ωκεανού. Μεταξύ 1751 και 1994 μειώθηκε το PH της επιφάνειας των ωκεανών κατά 30% από 8.25 σε 8.14 (Caldeira et al, 2003). Ωστόσο δεν είναι μόνο από τις εκπομπές του CO₂ που προκύπτει η αύξηση της οξύτητας των υδάτων αλλά και από άλλες εκπομπές της ναυτιλίας. Κάθε χρόνο απελευθερώνονται στην ατμόσφαιρα από την ναυτιλία 9.5 εκατομμύρια τόνοι S και 16.2 εκατομμύρια τόνοι NO_x, που μετατρέπονται σε θειικό και νιτρικό οξύ όταν εισέρθουν στο θαλασσινό νερό. Στο βόρειο ημισφαίριο η οξύνιση είναι υψηλότερη και συντελείται σε σημεία με πλαγκτόν και αυγά ψαριών, που προκαλείται μεγαλύτερη βλάβη. Σε τοπικό επίπεδο η οξύνιση ήταν ίση με τις ετήσιες επιπτώσεις οξύνισης του CO₂ – πτώση του PH 0.0015-0.0020 (Hasselton et al, 2013).

Με βάση τις υπολογιζόμενες συγκεντρώσεις υπολογίζεται η **έκθεση**, δηλαδή το πόσο μία ουσία λαμβάνεται από τον άνθρωπο, τα φυτά και άλλες μορφές ζωής. Γνωρίζοντας την έκθεση είναι δυνατόν να προβλεφθούν οι τύποι και η συχνότητα των ασθενειών και άλλων επιπτώσεων.

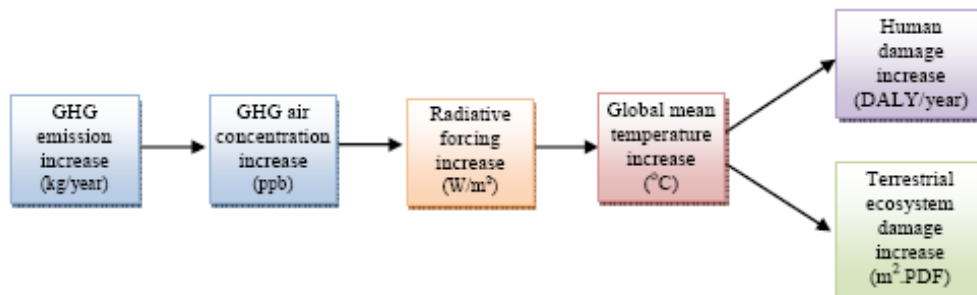
ΒΗΜΑ 3^ο

Γενικά στην LCA οι εκπομπές που παράγονται και οι πόροι που καταναλώνονται εκφράζονται ως δέκα βασικές κατηγορίες επιπτώσεων όπως είναι η κλιματική αλλαγή, η οξύνιση (acidification), η καταστροφή του όζοντος (ozone depletion), η οικοτοξικότητα και η εξόρυξη πόρων. Η δυσκολία είναι να υπολογιστεί η βαρύτητα της κάθε κατηγορίας, καθώς δεν είναι εύκολο να προσδιοριστούν οι συνέπειες που συνδέονται με την κάθε κατηγορία. Σαν αποτέλεσμα, στην μέθοδο EcoIndicator ζητείται από τον μελετητή να σταθμίσει τις βλάβες και όχι τις κατηγορίες επιπτώσεων. Οι βλάβες περιορίζονται σε τρεις και είναι οι εξής:

1. Βλάβη στην ανθρώπινη υγεία. Στην κατηγορία αυτή περιλαμβάνεται ο συνολικός αριθμός ετών αναπηρίας που προκαλούνται από την έκθεση σε τοξικό υλικό πολλαπλασιασμένος με το 'συντελεστή αναπηρίας', έναν αριθμό ανάμεσα στο 0 και στο 1 που περιγράφει τη σοβαρότητα της βλάβης (το 0 αναφέρεται σε ένα πλήρως υγιές άτομο ενώ το 1 αναφέρεται στο θάνατο ενός ατόμου). Το άθροισμα αυτό εκφράζεται με τον δείκτη DALY (Disability Adjusted Life Years) ο οποίος χρησιμοποιείται και από τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας (<http://www.ecn.ln/lca>).

2. Ποιότητα Οικοσυστήματος (Ecosystem Quality). Στην κατηγορία αυτή περιλαμβάνονται απώλειες στην ποιότητα των οικοσυστημάτων. Οι επιπτώσεις στα χερσαία οικοσυστήματα εκφράζονται ως την πιθανή εξαφάνιση ειδών, συμπεριλαμβανομένων φυτών, πεταλούδων, πουλιών και θηλαστικών. Η μονάδα που χρησιμοποιείται είναι η $\text{PDF} \times \text{m}^2 \times \text{year}$ (Potentially Disappeared Fraction, PDF) ανά μονάδα επιφάνειας σε δεδομένο χρονικό διάστημα.
3. Βλάβη στους πόρους, που εκφράζεται ως το πλεόνασμα της ενέργειας που απαιτείται για την εξαγωγή μετάλλων και ορυκτών καυσίμων (σε μονάδες μέτρησης ενέργειας, MJ).

Το παρακάτω σχήμα παρουσιάζει μία γραφική επισκόπηση του πλαισίου της μεθοδολογίας, δηλαδή των βημάτων με τα οποία καταλήγει η μέθοδος στους συντελεστές τους με τους οποίους ο μελετητής μετατρέπει τις εκπομπές στις τρεις βλάβες που αναφέρονται παραπάνω. Αναφέρεται συγκεκριμένα στα αέρια του θερμοκηπίου (GHG) και απεικονίζει με ποια βήματα υπολογίζονται οι συντελεστές χαρακτηρισμού (CF) που πολλαπλασιασμένοι με τις εκπομπές δίνουν τη βλάβη στον άνθρωπο και στο οικοσύστημα (De Stryver, 2010):

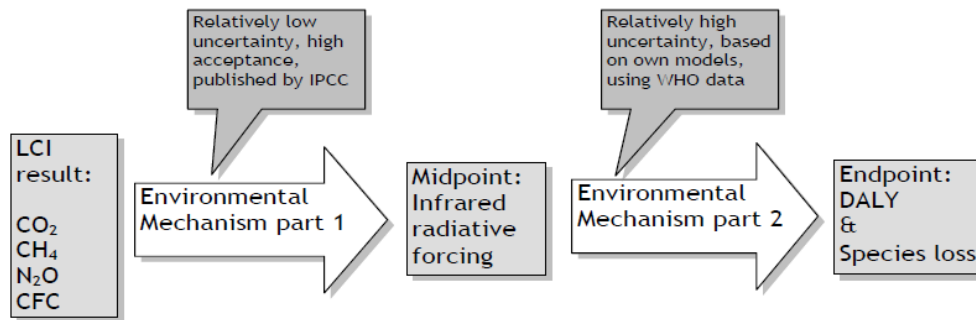


Σχήμα 59: Πλαίσιο υπολογισμού συντελεστών χαρακτηρισμού (CF) για τα GHG (De Stryver, 2010)

7.3 ReCiPe

Η μέθοδος ReCiPe, αποτελείται από δύο ομάδες επιπτώσεων στις οποίες αποδίδονται οι αντίστοιχοι συντελεστές χαρακτηρισμού. Ο πρώτος στόχος είναι η σύνδεση του καταλόγου των εκπομπών που έχουν υπολογιστεί στη προηγούμενη φάση με τις κατηγορίες επιπτώσεων του ενδιάμεσου επιπέδου (midpoint level).

Η μέθοδος αυτή είναι της ίδιας λογικής με την EcoIndicator και στο παρακάτω σχήμα φαίνονται τα βήματα που ακολουθούνται:



Σχήμα 60: Παράδειγμα της μεθόδου για την κλιματική αλλαγή (Goedkoop et al, 2013)

Δεκαοκτώ κατηγορίες επιπτώσεων έχουν αναγνωρισθεί για το ενδιάμεσο επίπεδο, (Goedkoop et al, 2013):

1. Κλιματική αλλαγή (Climate change, CC)
2. Μείωση της στοιβάδας του όζοντος (Ozone depletion, OD)
3. Οξίνιση του εδάφους (Terrestrial acidification, TA)
4. Ευτροφισμός γλυκού νερού (Freshwater eutrophication, FE)
5. Ευτροφισμός θαλασσινού νερού (Marine eutrophication, ME)
6. Ανθρώπινη τοξικότητα (Human toxicity, HT)
7. Φωτοχημική οξείδωση (Photochemical oxidant formation, POF)
8. Σχηματισμός μικροσωματιδίων (Particulate matter formation, PMF)
9. Οικοτοξικότητα εδάφους (Terrestrial ecotoxicity, TET)
10. Τοξικότητα οικοσυστημάτων γλυκού νερού (Freshwater ecotoxicity, FET)
11. Τοξικότητα οικοσυστημάτων θαλασσινού νερού (Marine ecotoxicity, MET)
12. Ιονίζουσα ακτινοβολία (Ionizing radiation, IR)
13. Δέσμευση αγροτικής γης (Agricultural land occupation, ALO)
14. Δέσμευση αστικού χώρου (Urban land occupation, ULO)
15. Μετατροπή φυσικού χερσαίου χώρου (Natural land transformation, NLT)
16. Υποβάθμιση υδάτων (Water depletion, WD)
17. Μείωση ορυκτών αποθεμάτων (Mineral resource depletion, MRD)
18. Μείωση ορυκτών καυσίμων (Fossil fuel depletion, FD)

Στο τελικό στάδιο (endpoint) οι παραπάνω κατηγορίες μετατρέπονται στις παρακάτω κατηγορίες:

1. Επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία (HH) σε DALY

2. Επιπτώσεις στο οικοσύστημα (ED) σε species per year
3. Επιπτώσεις στην διαθεσιμότητα των πόρων (RA) σε \$

Στο παρακάτω σχήμα παρουσιάζεται ποιες κατηγορίες από το ενδιάμεσο στάδιο συμβάλλουν στις παραπάνω τρεις επιπτώσεις του τελικού σταδίου. Η περίπτωση όπου υπάρχει σύνδεση μεταξύ των δύο επιπέδων αλλά δεν υπάρχει τρόπος αυτή να καταμετρηθεί με αξιόπιστο τρόπο, σημειώνεται με (-) και τελικά παραλείπεται από το τελικό αποτέλεσμα βλαβών. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αυτής της αδυναμίας αποτελεί η περίπτωση της ενδιάμεσης επίπτωσης του ευτροφισμού του θαλάσσιου περιβάλλοντος (marine eutrophication, ME). Στο πλαίσιο διαμόρφωσης της μεθόδου ReCiPe δεν έγινε εφικτό να εντοπιστεί ένα αξιόπιστο μοντέλο για την μετατροπή της συγκεκριμένης ενδιάμεσης επίδρασης σε κάποια από τις μορφές του τελικού σταδίου (endpoint impact categories):

Πίνακας 53: Συσχέτιση μεταξύ ενδιάμεσου και τελικού σταδίου στην ReCiPe, (Goedkoop, etal 2013)

Midpoint impact category Name	abbr.	Endpoint impact category*		
		HH	ED	RA
climate change	CC	+	+	
ozone depletion	OD	+	-	
terrestrial acidification	TA		+	
freshwater eutrophication	FE		+	
marine eutrophication	ME		-	
human toxicity	HT	+		
photochemical oxidant formation	POF	+	-	
particulate matter formation	PMF	+		
terrestrial ecotoxicity	TET		+	
freshwater ecotoxicity	FET		+	
marine ecotoxicity	MET		+	
ionising radiation	IR	+		
agricultural land occupation	ALO		+	-
urban land occupation	ULO		+	-
natural land transformation	NLT		+	-
water depletion	WD			-
mineral resource depletion	MRD			+
fossil fuel depletion	FD			+

Στο επόμενο σχήμα παρουσιάζεται ένα από τα σημαντικότερα αποτελέσματα της μεθόδου που είναι η ποσοτική διασύνδεση ενδιάμεσων και τελικών επιπτώσεων της μεθόδου. Στην αριστερή στήλη του πίνακα αναγράφονται σε συντομογραφίες οι δεκαοκτώ κατηγορίες ενδιάμεσων επιπτώσεων. Η δεύτερη στήλη αναγράφει τη μονάδα που χρησιμοποιείται στην ποσοτικοποίηση της συγκεκριμένης κατηγορίας (πχ για την κλιματική αλλαγή, [CC], kg CO₂ to air). Οι επόμενες τρεις στήλες περιέχουν τους συντελεστές χαρακτηρισμού για την μετατροπή στις τρεις αντίστοιχες τελικές κατηγορίες επιπτώσεων. Οι αβεβαιότητες λόγω υποκειμενισμού έχουν συμπεριληφθεί με τις ενδείξεις (I), (H), και (E), που αντιστοιχούν στα αρχέτυπα ατομικιστή (individualist) ιεραρχικού (hierarchist) και ισονομιστή (egalitarian) αντίστοιχα.

Ο τρόπος που πρέπει να διαβάζονται τα αποτελέσματα του πίνακα που παρατίθεται στο σχήμα αυτό είναι ως εξής: για την μετατροπή ενός kg CO₂ της ενδιάμεσης κατηγορίας κλιματικής αλλαγής (CC), στην τελική κατηγορία ανθρώπινη υγεία (HH), η οποία

δίνεται σε μονάδες χρόνου (yr), απαιτείται πολλαπλασιασμός με τον συντελεστή 1.19×10^{-06} yr/kg, αν επιλεγεί το υποκειμενικό αρχέτυπο του ατομικιστή, 1.40×10^{-06} yr/kg για επιλογή του ιεραρχικού αρχέτυπου και 3.51×10^{-06} yr/kg για το αρχέτυπο του ισονομιστή.

Πίνακας 54: Συντελεστές μετατροπής στο τελικό επίπεδο στην μέθοδο ReCiPe 2008 (πηγή: Goedkoop et al, 2013)

Midpoint impact category		Endpoint impact category*		
abbr.	Unit	HH (DALY)	ED (species.yr)	RC (\$)
CC	kg (CO ₂ to air) ¹¹	1.19×10^{-06} (I) 1.40×10^{-06} (H) 3.51×10^{-06} (E)	8.73×10^{-6} (I+H) 18.8×10^{-6} (E)	0
OD	kg (CFC-11 to air)	See below	0	0
TA	kg (SO ₂ to air)	0	1.52×10^{-9} (I) 5.8×10^{-9} (H) 14.2×10^{-9} (E)	0
FE	kg (P to freshwater)	0	4.44×10^{-8}	0
ME	kg (N to freshwater)	0	0	0
HT	kg (14DCB to urban air)	7.0×10^{-7} (I, H, E)	0	0
POF	kg (NMVOC to urban air)	3.9×10^{-8}	0	0
PMF	kg (PM ₁₀ to air)	2.6×10^{-4}	0	0
TET	kg (1,4-DCB to ind. soil)	0	1.51×10^{-7} (I, H, E)	0
FET	kg (1,4-DCB to freshwater)	0	8.61×10^{-10} (I, H, E)	0
MET	kg (1,4-DCB to marine water)	0	1.76×10^{-10} (I, H, E)	0
IR	kg (U235 to air)	1.64E-08	0	0
ALO	m ² ×yr (agricultural land)	0	–	0
ULO	m ² ×yr (urban land)	0	–	0
NLT	m ² (natural land)	0	–	0
WD	m ³ (water)	0	0	NA
MD	kg (Fe)	0	0	0.0715
FD	kg (oil)	0	0	0.052 (I) 0.165 (H+E)

8. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΜΕΘΟΔΩΝ ΑΠΟΤΙΜΗΣΗΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΩΝ ΣΤΗ ΜΕΤΑΛΛΙΚΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΤΟΥ ΠΛΟΙΟΥ

8.1 Εισαγωγή για τη φάση της αξιολόγησης των επιπτώσεων (LCIA)

Για την αξιολόγηση των επιπτώσεων, που υπολογίστηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο εφαρμόστηκε η μέθοδος EcoIndicator 99 και η μέθοδος ReCiPe. Στη συνέχεια έγινε σύγκριση των δύο μεθόδων. Και στις δύο μεθόδους ο υπολογισμός των επιπτώσεων έγινε σύμφωνα με τον παρακάτω τύπο:

$$Impact = Emissions\ Quantity \times Emission\ Factor$$

Αρχικά πραγματοποιήθηκαν τα τρία πρώτα στάδια της LCIA, τα οποία είναι και τα υποχρεωτικά σύμφωνα με το σχετικό πρότυπο ISO και είναι τα εξής:

1. Επιλογή και ορισμός των κατηγοριών επιπτώσεων
2. Ταξινόμηση (classification)
3. Χαρακτηρισμός (characterization)

Ακολουθούν οι πίνακες με τα αποτελέσματα των μεθόδων:

8.1.1 Χαρακτηρισμός

8.2 Αποτελέσματα με Εφαρμογή της Eco Indicator 99

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται οι εκπομπές που έχουν επίδραση στην κλιματική αλλαγή. Αυτές είναι οι εκπομπές CO₂ και CH₄. Στην πρώτη στήλη φαίνονται οι συνολικές ποσότητες των εκπομπών, στην τρίτη στήλη οι συντελεστές που πρέπει να πολλαπλασιαστούν οι εκπομπές για να προκύψει η επίδραση τους στην κλιματική αλλαγή και στην έκτη έχει υπολογιστεί η επίδραση. Οι παρακάτω εκπομπές μέσω της κλιματικής αλλαγής οδηγούν συνολικά σε απώλεια 2.89 ετών λόγω αναπηρίας ή θανάτου (DALY). Οι συντελεστές που δίνονται είναι μόνο για τα GHG και στη συγκεκριμένη μελέτη έχουν συμπεριληφθεί μόνο το CO₂ και το CH₄ (De Schryver, 2010).

Πίνακας 55: Επίδραση εκπομπών GHG στην κλιματική αλλαγή (human health) με τη μέθοδο EcoIndicator 99

CLIMATE CHANGE						
			FACTORS		IMPACT	
CO ₂	2,64E+07	kg	4,00E-07	DALY/kg	1,06E+01	DALY
CH ₄	4,77E+03	kg	8,00E-06	DALY/kg	3,81E-02	DALY
				TOTAL	1,06E+01	DALY

Η κλιματική αλλαγή έχει επίπτωση και στο οικοσύστημα η οποία φαίνεται στον παρακάτω πίνακα. Οι υπολογισμοί έχουν γίνει όπως και στην προηγούμενη περίπτωση:

Πίνακας 56: Επίδραση εκπομπών GHG στην κλιματική αλλαγή (ecosystem quality) με τη μέθοδο EcoIndicator 99

CLIMATE CHANGE						
			FACTORS		IMPACT	
CO2	2,64E+07	kg	4,00E-07	PDF*km ² /kg	1,06E+01	PDF*km ²
CH4	4,77E+03	kg	8,00E-06	PDF*km ² /kg	3,81E-02	PDF*km ²
				TOTAL	1,06E+01	PDF*km²

Στην μείωση της στοιβάδας του όζοντος από τις εκπομπές που έχουν υπολογιστεί σε αυτήν τη μελέτη επιδρά μόνο το μεθάνιο (CH₄) και οδηγεί σε 0.101 ανθρώπινα έτη που χάνονται λόγω αναπηρίας ή θανάτου και παρουσιάζεται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 57: Επίδραση εκπομπών στην τρύπα του όζοντος με τη μέθοδο EcoIndicator

OZONE LAYER						
			FACTORS		IMPACT	
CH4	4,77E+03	kg	2,11E-05	DALY/Kg	1,01E-01	DALY
				TOTAL	1,01E-01	DALY

Όσον αφορά στον ευτροφισμό των υδάτων και την οξύνιση του εδάφους συμμετέχουν οι ίδιες εκπομπές NO_x, SO_x και SO₂ με κοινούς συντελεστές. Στη συγκεκριμένη μέθοδο επειδή δεν είναι εφικτό να προσδιοριστεί αν η ζημιά προκαλείται από τις αλλαγές στο επίπεδο των θρεπτικών συστατικών ή στην οξύτητα, αυτές οι δύο επιπτώσεις συνδυάζονται.

Οι μονάδες σε αυτή την κατηγορία διαφοροποιούνται και είναι σε PDF*m²yr/kg δηλαδή 1.78*10⁶ είναι η πιθανή εξαφάνιση ειδών ανά επιφάνεια σε όλη τη διάρκεια ζωής του πλοίου. Ακολουθεί ο σχετικός πίνακας:

Πίνακας 58: Επίδραση εκπομπών στον ευτροφισμό και στην οξίνιση του περιβάλλοντος με τη μέθοδο EcoIndicator

EUTROPHICATION/ACIDIFICATION						
			FACTORS		IMPACT	
NO _x	2,58E+05	kg	5,71E+00	PDF*m ² yr/kg	1,47E+06	PDF*m ² yr
SO ₂	2,37E+05	kg	1,04E+00	PDF*m ² yr/kg	2,47E+05	PDF*m ² yr
SO _x	5,34E+04	kg	1,04E+00	PDF*m ² yr/kg	5,56E+04	PDF*m ² yr
				TOTAL	1,78E+06	PDF*m²yr

Αναπνεύσιμες οργανικές ουσίες είναι το CH₄, τα VOC και τα NMVOC και οι συντελεστές με τους οποίους συμμετέχουν σύμφωνα με τη μέθοδο EcoIndicator φαίνονται στον παρακάτω πίνακα. Οπότε οι παραπάνω εκπομπές μέσω των οργανικών αναπνεύσιμων ουσιών οδηγούν σε απώλεια 0.0642 ετών λόγω πρόωρων θανάτων και διάρκειας ασθενειών (DALY):

Πίνακας 59: Επίδραση εκπομπών στις αναπνεύσιμες οργανικές ουσίες με τη μέθοδο EcoIndicator

RESPIRATORY ORGANICS						
			FACTORS		IMPACT	
CH ₄	4,77E+03	kg	1,28E-08	DALY/kg	6,10E-05	DALY
VOC	9,78E+04	kg	6,46E-07	DALY/kg	6,32E-02	DALY
NMVOC	7,54E+02	kg	1,28E-06	DALY/kg	9,65E-04	DALY
				TOTAL	6,42E-02	DALY

Αναπνεύσιμες ανόργανες ουσίες είναι το CO, τα NO_x, τα PM, το SO₂ και το SO. Οι συντελεστές εκπομπών τους παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα και προκαλούν απώλεια 48.1 ετών ανθρώπινης ζωής (λόγω αναπηριών ή θανάτων, μονάδες DALY). Παρατηρείται μεγάλη απόκλιση ανάμεσα στις επιπτώσεις των οργανικών και των ανόργανων αναπνεύσιμων ουσιών και αυτό γιατί στις ανόργανες ουσίες συμμετέχουν τα PM και όπως είναι αναμενόμενο ο συντελεστής τους παρατηρείται ότι είναι πάνω από μία τάξη μεγέθους μεγαλύτερος από τους υπόλοιπους. Τα PM είναι κυρίως υπεύθυνα για τα αναπνευστικά προβλήματα:

Πίνακας 60: Επίδραση εκπομπών στις αναπνεύσιμες ανόργανες ουσίες με τη μέθοδο EcoIndicator

RESPIRATORY INORGANICS						
			FACTORS		IMPACT	
CO	8,78E+05	kg	7,31E-07	DALY/kg	6,42E-01	DALY
NO _x	2,56E+05	kg	8,91E-05	DALY/kg	2,28E+01	DALY
PM(all)	2,87E+04	kg	3,75E-04	DALY/kg	1,08E+01	DALY
SO ₂	2,37E+05	kg	5,46E-05	DALY/kg	1,29E+01	DALY
SO _x	1,65E+04	kg	5,46E-05	DALY/kg	8,99E-01	DALY
				TOTAL	4,81E+01	DALY

Πίνακας 61: Επίδραση εξαγωγής χάλυβα στην χρήση της γης

LAND USE						
			FACTORS		IMPACT	
Total Wst	15022848,88	kg	0,029	Mjsurplus/kg	435662,6	Mjsurplus

8.2.1 Κανονικοποίηση (Normalization) και Στάθμιση (Weighting)

Η κανονικοποίηση και η στάθμιση έγινε σύμφωνα με τους παρακάτω τύπους (De Schryver, 2010):

$$\text{Normalization Result} = \text{Normalization Factor} \times \text{Impact}$$

$$\text{Single Score} = \text{Normalization Result} \times \text{Weighting Factor}$$

Τελικά, ο υπολογισμός καταλήγει σε ένα μόνο αποτέλεσμα με μονάδες Points (Pt) που αντιστοιχούν στο ένα χιλιοστό του περιβαλλοντικού φορτίου που αποδίδεται στον μέσο Ευρωπαϊκό πολίτη σε ένα χρόνο.

$$1Pt = \frac{1}{1000} EC$$

Όπου το E.C. = περιβαλλοντικό φορτίο του μέσου Ευρωπαίου πολίτη για ένα χρόνο.

Οι παραπάνω πράξεις οδήγησαν στα αποτελέσματα που παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 62: Υπολογισμός κανονικοποίησης και στάθμισης με τη μέθοδο EcoIndicator 99

Impact Categories			Normalization factor	Normalization result	Weighting factor	Single Score	
Human Health	5,41E+01	DALY	6,51E+01	3,52E+03	400		
Ecosystem Quality	1,73E+06	PDF*m2yr	1,95E-04	3,37E+02	400	1,54E+06	Pt
Land Use	435662,6	Mjsurplus	1,19E-04	5,18E+01	200		

Το περιβαλλοντικό φορτίο που παράγεται στη διάρκεια του κύκλου ζωής της μεταλλικής κατασκευής του πλοίου αντιστοιχεί στο ετήσιο περιβαλλοντικό φορτίο 1540 Ευρωπαίων πολιτών. Έχει υπολογιστεί ότι ο μέσος Ευρωπαίος πολίτης παράγει το χρόνο 7.5 tons CO₂ που έχουν, σύμφωνα με τις μονάδες της μεθόδου, περιβαλλοντικό φορτίο 1000 Pt (Jos Olivier, 2012). Στον κύκλο ζωής της μεταλλικής κατασκευής έχουν υπολογιστεί 26427 tons CO₂ που σύμφωνα με την παραπάνω αντιστοιχία έχουν περιβαλλοντικό φορτίο 3.5*10⁶ Pt ενώ στην παρούσα μελέτη έχουν υπολογιστεί 1.54*10⁶ Pt.

8.3 ReCiPe

Στην συνέχεια γίνεται παρουσίαση των αποτελεσμάτων της μεθόδου ReCiPe. Στον πρώτο πίνακα παρουσιάζονται οι εκπομπές και οι αντίστοιχοι συντελεστές τους που επιδρούν στην κλιματική αλλαγή και είναι το CO₂ και το CH₄. Η κλιματική αλλαγή οδηγεί σε 37.2 χαμένα έτη λόγω ασθενειών ή θανάτων στον άνθρωπο (DALY).

Πίνακας 63: Επίδραση εκπομπών στην κλιματική αλλαγή με τη μέθοδο ReCiPe

CLIMATE CHANGE						
			FACTORS		IMPACT	
CO2	2,64E+07	kg	1,40E-06	DALY/Kg	3,70E+01	DALY
CH4	4,77E+03	kg	3,50E-05	DALY/Kg	1,67E-01	DALY
				TOTAL	3,72E+01	DALY

Στη μέθοδο ReCiPe ο ευτροφισμός του θαλασσινού νερού και η οξίνιση του εδάφους διαφοροποιούνται και έχουν διαφορετικές εκπομπές και συντελεστές. Σε αυτή τη μελέτη υπολογίστηκε μόνο η επίπτωση της οξίνισης του εδάφους και παρουσιάζεται παρακάτω ο υπολογισμός της. Το αποτέλεσμα που προκύπτει είναι 2.3*10⁻³ species*yr.

Πίνακας 64: Επίδραση εκπομπών στην οξίνιση του εδάφους με τη μέθοδο ReCiPe

TERRASTRIAL ACIDIFICATION						
			FACTORS		IMPACT	
NO _x	2,56E+05	kg	3,25E-09	species. Yr/kg	8,32E-04	species. Yr
SO ₂	2,37E+05	kg	5,80E-09	species. Yr/kg	1,37E-03	species. Yr
SO _x	1,65E+04	kg	5,80E-09	species. Yr/kg	9,55E-05	species. Yr
				TOTAL	2,30E-03	species. Yr

Ακολουθεί ο πίνακας με τις επιπτώσεις που επιδρούν στη φωτοχημική οξείδωση οι οποίες είναι το CO, το CH₄, το SO₂, τα SO_x και τα NMVOC και προκαλούν απώλεια $2.42 \cdot 10^{-3}$ έτη λόγω αναπηριών ή θανάτου (DALY) σε όλη τη διάρκεια ζωής του πλοίου.

Πίνακας 65: Επίδραση εκπομπών στην φωτοχημική οξείδωση του εδάφους με τη μέθοδο ReCiPe

PHOTOCHEMICAL OXIDANT FORMATION						
			FACTORS		IMPACT	
CO	8,78E+05	kg	1,80E-09	DALY/kg	1,58E-03	DALY
CH ₄	4,77E+03	kg	4,00E-10	DALY/kg	1,91E-06	DALY
SO ₂	2,37E+05	kg	3,20E-09	DALY/kg	7,58E-04	DALY
SO _x	1,65E+04	kg	3,20E-09	DALY/kg	5,27E-05	DALY
NMVOC	7,54E+02	kg	3,90E-08	DALY/kg	2,94E-05	DALY
				TOTAL	2,42E-03	DALY

Και στον τελευταίο πίνακα παρουσιάζονται οι εκπομπές που επιδρούν στο σχηματισμό μικροσωματιδίων και είναι οι εξής: NO_x, PM, SO₂ και SO_x. Δίνοντας συνολικό αποτέλεσμα 35.3 έτη που χάνονται λόγω αναπηριών ή θανάτων (DALY):

Πίνακας 66: Επίδραση εκπομπών στο σχηματισμό μικροσωματιδίων με τη μέθοδο ReCiPe

PARTICULATE MATTER FORMATION						
			FACTORS		IMPACT	
NO _x	2,56E+05	kg	5,72E-05	DALY/kg	1,46E+01	DALY
PM(all)	2,87E+04	kg	2,60E-04	DALY/kg	7,47E+00	DALY
SO ₂	2,37E+05	kg	5,20E-05	DALY/kg	1,23E+01	DALY
SO _x	1,65E+04	kg	5,20E-05	DALY/kg	8,56E-01	DALY
				TOTAL	3,53E+01	DALY

8.4 Σύγκριση μεθόδων EcoIndicator και ReCiPe

Οι κατηγορίες των επιπτώσεων στις δύο μεθόδους είναι διαφορετικές οπότε δεν μπορεί να γίνει άμεση σύγκριση των αποτελεσμάτων. Παρατηρείται όμως στην κλιματική αλλαγή που είναι κοινή και στις δύο μεθόδους ότι προκύπτει μεγάλη διαφορά. Η μέθοδος EcoIndicator υπολογίζει 10.6 χαμένα ανθρώπινα έτη λόγω θανάτων ή αναπηριών καθ' όλη τη διάρκεια ζωής του πλοίου (DALY) ενώ η μέθοδος ReCiPe 37.2 (DALY). Ο συντελεστής στην πρώτη μέθοδο για τις εκπομπές του CO₂ είναι $4 \cdot 10^{-7}$ DALY/kg ενώ στη ReCiPe $14 \cdot 10^{-7}$ DALY/kg και όσον αφορά το CH₄ στην

EcoIndicator έχει συντελεστή $0.8 \cdot 10^{-5}$ ενώ στη ReCiPe $3.5 \cdot 10^{-5}$. Γι' αυτό το λόγο οι εκπομπές στη ReCiPe προκύπτουν παραπάνω από τριπλάσιες. Είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι οι συντελεστές της μεθόδου EcoIndicator για την κλιματική αλλαγή προέκυψαν από διδακτορική διατριβή περιγραφής της μεθόδου, ενώ οι συντελεστές της μεθόδου ReCiPe από πίνακες (www.lcia-ReCiPe.net).

Επιπλέον, κοινή κατηγορία θεωρείται οι ανόργανες αναπνεύσιμες ουσίες ή αλλιώς ο σχηματισμός μικροσωματιδίων όπως ονομάζεται στη ReCiPe. Σε αυτή την περίπτωση τα αποτελέσματα συγκλίνουν, όπως παρατηρείται η μέθοδος EcoIndicator οδηγεί σε απώλεια 48.1 έτη λόγω πρόωρων θανάτων και διάρκειας ασθενειών ενώ η μέθοδος ReCiPe 35.3 έτη. Στη ReCiPe δεν συμμετέχουν οι εκπομπές του CO οι οποίες βέβαια είναι αρκετά χαμηλές στην EcoIndicator 0.315 DALY.

Σε αυτό το στάδιο της μελέτης αντιμετωπίστηκαν οι εξής δυσκολίες-αβεβαιότητες:

- Οι κατηγορίες επιπτώσεων που επιλέγονται σε αυτή την μελέτη καταλήγουν σε έναν συγκεκριμένο τρόπο παρουσίασης των αποτελεσμάτων, ενώ άλλες προσεγγίσεις θα μπορούσαν να δώσουν διαφορετικά αποτελέσματα.
- Εξαρχής σε αυτή τη μελέτη επιλέχθηκαν κάποιες βασικές εκπομπές με αποτέλεσμα στο στάδιο της αξιολόγησης σε κάθε κατηγορία επιπτώσεων να συμβάλλουν ως επί το πλείστον ελάχιστες εκπομπές.
- Τέλος, παρόλο που αυτή η μελέτη δεν αφορά τη φάση της λειτουργίας του πλοίου θα πρέπει να τονιστεί ότι η προσέγγιση που έχει επιλεγεί βασίζεται σε στοιχεία χερσαίας βιομηχανίας, όπου οι εκπομπές εμφανίζονται κοντά στους αποδέκτες. Επομένως για τις επιπτώσεις της λειτουργίας του πλοίου που λαμβάνουν χώρα μακριά από την στεριά θα πρέπει να επιλεγεί κάποια άλλη μέθοδος.

9. ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ (SENSITIVITY ANALYSIS)

Παρακάτω εφαρμόστηκε η μέθοδος της Ανάλυσης Ευαισθησίας στις διαδικασίες της συγκόλλησης του χάλυβα, της κοπής του χάλυβα και στη βαφή. Η διαδικασία με τους περισσότερους ρύπους είναι η παραγωγή του χάλυβα όμως δεν ήταν εφικτή η εφαρμογή της Ανάλυσης Ευαισθησίας για το λόγο ότι δεν υπήρχε κάποιο δεδομένο εισαγωγής που να είναι δυνατή η κλιμακωτή αλλαγή του που θα οδηγούσε σε κάποιο συμπέρασμα. Έτσι, επιλέχθηκαν οι τρεις διαδικασίες από τις πέντε που συντελούνται στο ναυπηγείο για την εφαρμογή της μεθοδολογίας. Ακολουθεί η περιγραφή της εφαρμογής της μεθόδου και η παρουσίαση των αποτελεσμάτων.

9.1 Ανάλυση Ευαισθησίας (ΑΕ) στη διαδικασία της συγκόλληση του χάλυβα

Στη συγκόλληση του χάλυβα εφαρμόστηκε δύο φορές η ΑΕ, δηλαδή για δύο δεδομένα εισαγωγής. Αρχικά, εφαρμόστηκε στην επιλογή του μήκους συγκόλλησης με τον εξής τρόπο: στον υπολογισμό του μήκους συγκόλλησης έχει υπολογιστεί μία προσαύξηση 15% στο τέλος λόγω λεπτομερειών, οπότε η ΑΕ εφαρμόστηκε για προσαύξηση λόγω λεπτομερειών από 10% έως 20% με βήμα 2,5%. Στο παρακάτω διάγραμμα παρουσιάζεται η ΑΕ για το μήκος συγκόλλησης στη φάση της κατασκευής του πλοίου και η μεταβολή που προκαλεί στις εκπομπές του CO₂.

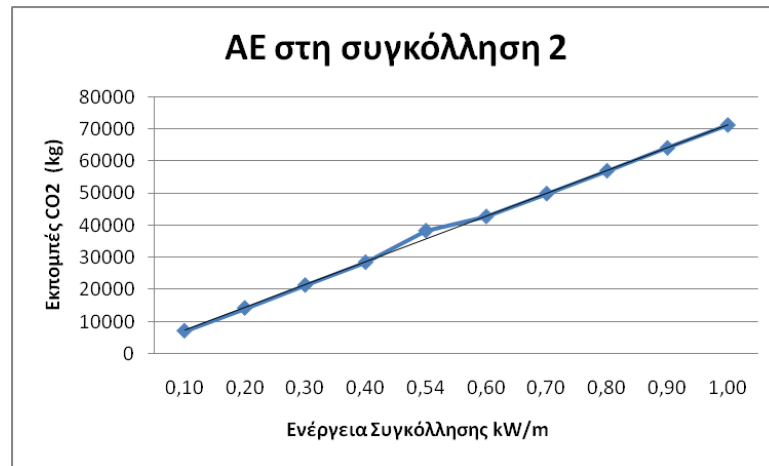


Σχήμα 61: ΑΕ στη διαδικασία της συγκόλλησης του χάλυβα για το μήκος συγκόλλησης

Η μεταβολή των εκπομπών του CO₂ εξαρτάται γραμμικά από τη μεταβολή του μήκους συγκόλλησης, αυτό ισχύει και για όλες τις υπόλοιπες εκπομπές. Όσο αυξάνεται το μήκος συγκόλλησης αυξάνονται γραμμικά και οι εκπομπές. Σύμφωνα με την κλίση του παραπάνω διαγράμματος για αύξηση 2.5% του μήκους συγκόλλησης προκύπτει αύξηση 2.13% των εκπομπών του CO₂.

Στη συνέχεια εφαρμόστηκε ΑΕ στη συγκόλληση, αλλά για την κατανάλωση ενέργειας που απαιτείται. Ανάλογα με τον τύπο της συγκόλλησης που θα επιλεγεί

διαφοροποιείται σημαντικά και η κατανάλωση ενέργειας ανά μέτρο. Εφαρμόστηκε ΑΕ για την ενέργεια συγκόλλησης στην κατασκευή με όρια από 0,1 kW/m έως 0,10 kW/m με βήμα 0,1 kW/m, εφόσον στη μελέτη που έχει πραγματοποιηθεί είχε επιλεγεί ενέργεια συγκόλλησης 0,538 kW/m. Και σε αυτή την περίπτωση οι εκπομπές του CO₂ μεταβάλλονται γραμμικά με την αλλαγή της ενέργειας ανά μήκος συγκόλλησης. Δεν υπάρχει λόγος να παρουσιαστούν οι μεταβολές των υπολοίπων εκπομπών εφόσον θα μεταβάλλονται και αυτές γραμμικά.



Σχήμα 62: ΑΕ στη διαδικασία της συγκόλλησης του χάλυβα για την ενέργεια ανά μήκος συγκόλλησης

9.2 Ανάλυση Ευαισθησίας (ΑΕ) στη διαδικασία της βαφής του χάλυβα

Όσον αφορά τη διαδικασία της βαφής (primer, antifouling & painting) εφαρμόστηκε ΑΕ για την παραγωγή των VOC, που είναι η μεγαλύτερη ποσότητα εκπομπών σε αυτή τη διαδικασία. Χρησιμοποιήθηκαν διάφορα είδη primer και antifouling, με διαφορετική Θεωρητική Κάλυψη (Theoretical Coverage, TC) το καθένα. Συγκεκριμένα ξεκινώντας από τη μικρότερη TC 4,8 m²/lt, η οποία χρησιμοποιήθηκε και στα primer και στα antifouling, υπολογίστηκαν οι εκπομπές των VOC. Οι βαφές που χρησιμοποιήθηκαν και οι αντίστοιχες TC της κάθε βαφής προήλθαν από site γνωστής εταιρίας βαφών πλοίου και παρουσιάζονται παρακάτω:

Intershield 300 → 4,80 m²/lt

Intergard 400 → 5,20 m²/lt

Intergard 403 → 5,44 m²/lt

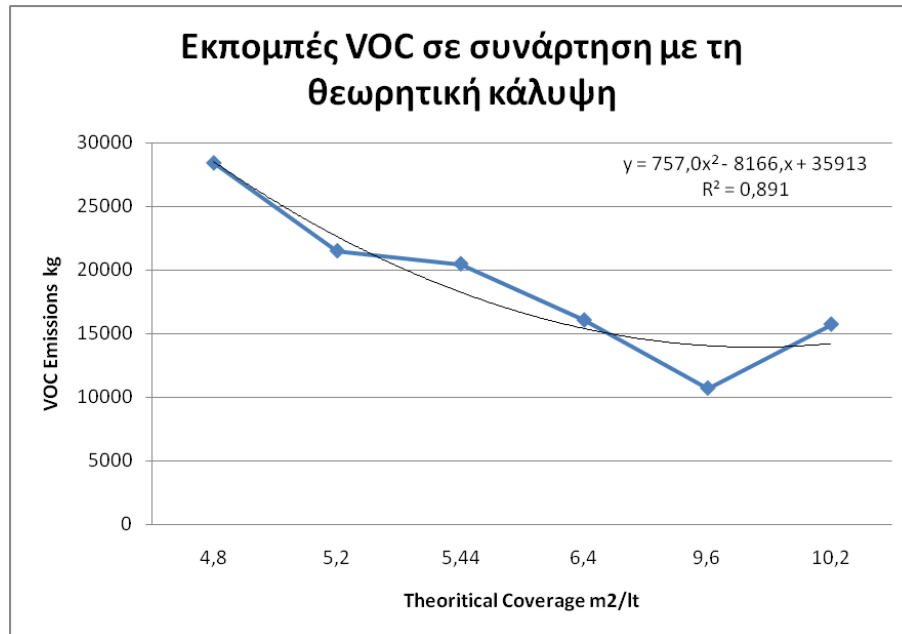
Interbond 501 → 6,40 m²/lt

Interfine 878 → 9,60 m²/lt

Intergard 740 → 10,2 m²/lt

Να σημειωθεί ότι η επιλογή του antifouling παρέμεινε σταθερή για όλες τις επαναλήψεις. Παρακάτω ακολουθεί το διάγραμμα στο οποίο απεικονίζεται η μεταβολή

των εκπομπών των VOC αναλογικά με τη μεταβολή της Θεωρητικής Κάλυψης των βαφών:



Σχήμα 63: ΑΕ στη διαδικασία της βαφής του χάλυβα για μεταβολή της Θεωρητικής Κάλυψης

Η παρατήρηση που μπορεί να γίνει είναι ότι σε γενικές γραμμές οι εκπομπές των VOC μειώνονται όσο αυξάνεται η Θεωρητική Κάλυψη, με εξαίρεση τη βαφή Intergard 740 με TC 10,2 m²/lt, όπου παρατηρείτε μία μικρή αύξηση των εκπομπών. Επιπλέον πάνω στο διάγραμμα φαίνεται και η πολυωνυμική σχέση που συνδέει τις εκπομπές VOC με τη Θεωρητική Κάλυψη.

10. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

10.1 Ανασκόπηση Μελέτης

Στόχος της μελέτης ήταν να μελετηθούν οι αέριες εκπομπές με την τυποποιημένη μεθοδολογία της ανάλυσης κύκλου ζωής, LCA. Συγκεκριμένα μελετήθηκαν οι εκπομπές της μεταλλικής κατασκευής του πλοίου με στόχο να διαμορφωθεί η μεθοδολογία με τρόπο που να μπορεί να εφαρμοστεί και σε μεταγενέστερες μελέτες που θα αφορούν διαφορετικά πλοία. Αρχικά καθορίστηκαν ο στόχος και το πεδίο εφαρμογής της μελέτης όπως ορίζεται στο σχετικό με τη μέθοδο πρότυπο ISO 14040-44. Στη συνέχεια έγινε αναλυτική περιγραφή των ορίων του συστήματος, δηλαδή των φάσεων και των διεργασιών που θα πρέπει να συμπεριληφθούν στη LCA της μεταλλικής κατασκευής. Το επόμενο βήμα ήταν να συγκεντρωθούν όλα τα απαραίτητα δεδομένα για τη διεξαγωγή της LCA. Η συγκέντρωση των δεδομένων πραγματοποιήθηκε από παλαιότερες μελέτες, από τη βάση δεδομένων του προγράμματος SimaPro, από επιστημονική βιβλιογραφία, από πρωτογενή στοιχεία από κατασκευαστές (πχ Data Sheet paintings), από αλγόριθμους που δημιουργήθηκαν αποκλειστικά για το λόγο αυτό (πχ μήκος συγκόλλησης) και στις περιπτώσεις όπου δεν βρέθηκαν σαφή δεδομένα επιλέχθηκαν λογικές παραδοχές.

Η επόμενη φάση της μελέτης, ήταν ο υπολογισμός των αέριων εκπομπών που προκύπτουν από τον κύκλο ζωής της μεταλλικής 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 επόμενο στάδιο της μελέτης ήταν η Αποτίμηση των Επιπτώσεων για την οποία επιλέχθηκαν δύο ευρέως χρησιμοποιούμενες μέθοδοι, η Eco Indicator και η ReCiPe. Σε αυτό το στάδιο οι εκπομπές που παράγονται από τη συνολική διάρκεια ζωής της μεταλλικής κατασκευής του πλοίου μετατράπηκαν σε επιπτώσεις στο περιβάλλον και στον άνθρωπο. Αυτό το στάδιο της LCA περιλαμβάνει τα εξής βήματα: επιλογή και ορισμό των κατηγοριών επιπτώσεων, κατάταξη των εκπομπών στις κατηγορίες επιπτώσεων, χαρακτηρισμός, κανονικοποίηση, ομαδοποίηση και βαρύτητα των επιπτώσεων.

Το τελικό στάδιο της LCA της μεταλλικής 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 ποιές παράγουν περισσότερες εκπομπές αλλά και σε ποιες φάσεις του κύκλου ζωής του πλοίου. Εν συνεχεία έγινε μία πρώτη εκτίμηση του αντίκτυπου του κύκλου ζωής της μεταλλικής κατασκευής στο περιβάλλον και στον άνθρωπο. Τέλος, στόχος της μελέτης είναι να μπορεί να γίνει μελλοντική σύγκριση των αποτελεσμάτων της LCA της μεταλλικής κατασκευής με τα αποτελέσματα από τα υπόλοιπα υποσυστήματα του πλοίου, ώστε να διεξαχθεί συμπέρασμα για το ποιες διεργασίες επιδέχονται βελτίωση που θα οδηγήσει στην μείωση των εκπομπών από τη συνολική λειτουργία του πλοίου.

10.2 Ανάλυση Αποτελεσμάτων

Οι συνολικές εκπομπές που υπολογίστηκαν μέσω της LCA για τον κύκλο ζωής της μεταλλικής κατασκευής του πλοίου φαίνονται στον παρακάτω πίνακα. Το υποσύστημα του πλοίου που αναλύθηκε, δηλαδή η μεταλλική κατασκευή, δεν περιλαμβάνει διεργασίες στη φάση της λειτουργίας. Η μόνη διαδικασία όσον αφορά τη μεταλλική κατασκευή στη φάση της λειτουργίας είναι η διαρροή των paintings. Οι εκπομπές από αυτή τη διαδικασία είναι Tributyltin (TBT) και οξείδιο του χαλκού στο νερό, εκπομπές που δεν συμπεριλαμβάνονται στις εκπομπές που μελετούνται σε αυτή τη μελέτη. Επομένως δεν βρέθηκαν εκπομπές από τη φάση της λειτουργίας του πλοίου για τη μεταλλική κατασκευή.

Η ποσότητα του CO₂ είναι σημαντικά μεγαλύτερη από τις υπόλοιπες εκπομπές σε όλες τις φάσεις, στη συνέχεια ακολουθούν οι εκπομπές του CO με διαφορά δύο τάξεις μεγέθους και μετά τα NO_x και το SO₂ που είναι περίπου ίσα στη τρίτη θέση. Η ποσότητα των VOC σχεδόν τετραπλασιάζεται στη φάση της συντήρησης σε σχέση με την κατασκευή και στην ανακύκλωση είναι αμελητέα. Παρόλο που οι ποσότητες του CH₄ και των NMVOC είναι αρκετά μικρές συμπεριλαμβάνονται στη μελέτη εφόσον στην επόμενη φάση της αποτίμησης των επιπτώσεων συμβάλλουν στον περιβαλλοντικό αντίκτυπο.

Πίνακας 67: Συνολικές εκπομπές από την LCA της μεταλλικής κατασκευής του πλοίου

Total emissions	shipbuilding	operation	maintenance	dismantling	TOTAL	
CO ₂	14429,65	-	7966,33	4031,81	26427,78	tons
CO	423,88	-	74,75	378,94	877,57	tons
CH ₄	2,40	-	1,34	1,03	4,77	tons
No _x	92,24	-	111,58	52,16	255,98	tons
PM (all)	13,70	-	3,99	11,06	28,75	tons
SO ₂	82,04	-	92,20	62,74	236,99	tons
SO _x	7,24	-	5,48	3,74	16,46	tons
VOC	19,99	-	77,62	0,15	97,77	tons
NMVOC	0,31	-	0,31	0,13	0,75	tons

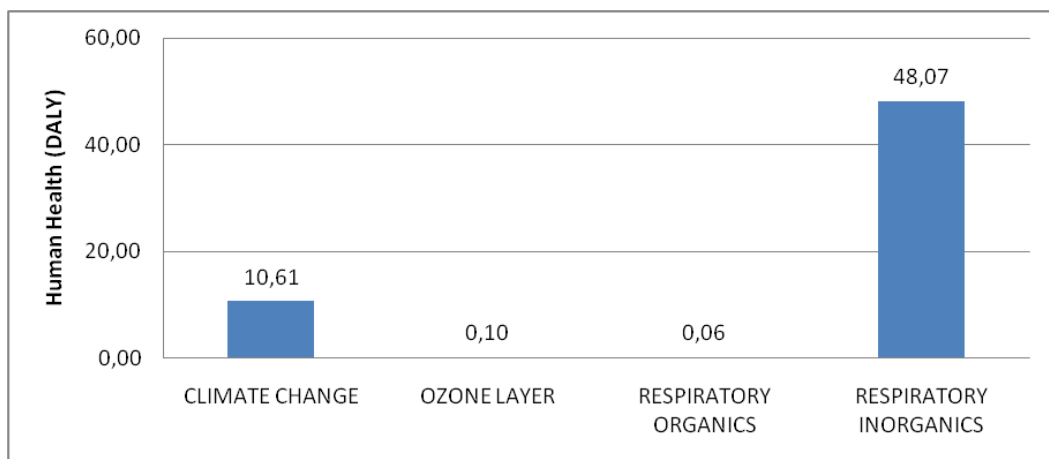
Το σύνολο των εκπομπών προέκυψε από το άθροισμα των εκπομπών κάθε φάσης, μια παραδοχή που θα άλλαζε το αποτέλεσμα θα ήταν αν η ποσότητα του χάλυβα που ανακυκλώνεται και επαναχρησιμοποιείται αφαιρούταν από της εκπομπές της παραγωγής του χάλυβα. Τότε θα προέκυπταν οι παρακάτω εκπομπές:

Πίνακας 68: Συνολικές εκπομπές από την LCA της μεταλλικής κατασκευής του πλοίου μετά από αφαίρεση τις ποσότητας του χάλυβα που επαναχρησιμοποιείται στη φάση της κατασκευής

Total emissions	shipbuilding	operation	maintenance	dismantling	TOTAL	
CO ₂	2571,40	-	7966,33	4031,81	14569,53	tons
CO	44,94	-	74,75	378,94	498,63	tons
CH ₄	0,46	-	1,34	1,03	2,83	tons
No _x	22,70	-	111,58	52,16	186,44	tons
PM (all)	2,64	-	3,99	11,06	17,69	tons
SO ₂	19,28	-	92,20	62,74	174,23	tons
SO _x	3,50	-	5,48	3,74	12,72	tons
VOC	19,84	-	77,62	0,15	97,62	tons
NM _{VOC}	0,18	-	0,31	0,13	0,62	tons

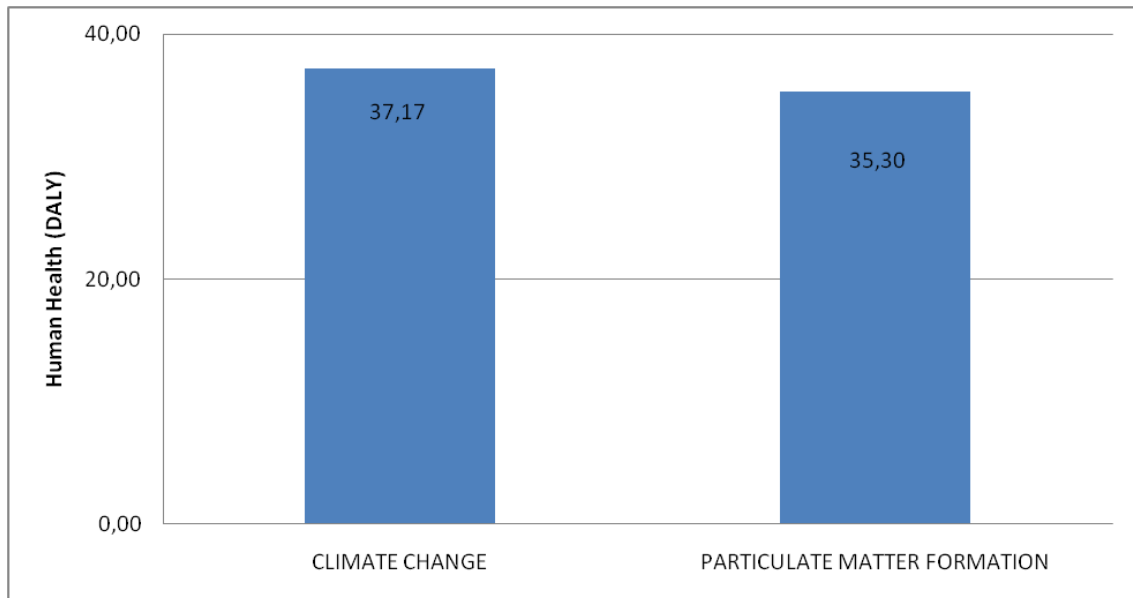
Είναι σημαντικό να τονιστεί η μεγάλη διαφορά που προκύπτει στην ποσότητα των εκπομπών στη περίπτωση που ο χάλυβας που ανακυκλώνεται συμβάλλει στη μείωση των εκπομπών του συγκεκριμένου κύκλου ζωής. Το CO₂ μειώθηκε κατά 63% και το CO κατά 57% και γενικά όλες οι εκπομπές μειώθηκαν αισθητά εκτός από τα VOC, των οποίων η μεγαλύτερη παραγωγή λαμβάνει χώρα στη διεργασία της βαφής που δεν διαφοροποιείται από την συγκεκριμένη αλλαγή. Αν λοιπόν τα δεδομένα της ανακύκλωσης δεν συμπεριληφθούν στο σύστημα, τότε το ίδιο το σύστημα δεν θα έχει κάποιο όφελος από τα ανακυκλώσιμα υλικά.

Παρακάτω ακολουθούν δύο διαγράμματα που παρουσιάζουν τις επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία καθ' όλη τη διάρκεια ζωής του πλοίου. Το πρώτο διάγραμμα αφορά τη μέθοδο EcoIndicator 99 και συμπεριλαμβάνει τις εξής κατηγορίες: κλιματική αλλαγή, στειβάδα του όζοντος, αναπνεύσιμες οργανικές και ανόργανες ουσίες.



Σχήμα 64: Επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία σύμφωνα με τη μέθοδο EcoIndicator 99 σε DALY

Στη φάση της αποτίμησης των επιπτώσεων παρατηρείται ότι σύμφωνα με τη μέθοδο EcoIndicator 99, σημαντικότερο αντίκτυπο στην ανθρώπινη υγεία έχουν οι ανόργανες αναπνεύσιμες ουσίες οδηγώντας σε 48.07 χαμένα έτη λόγω αναπηρίας ή θανάτων (DALY).



Σχήμα 65: Επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία σύμφωνα με τη μέθοδο ReCiPe σε DALY

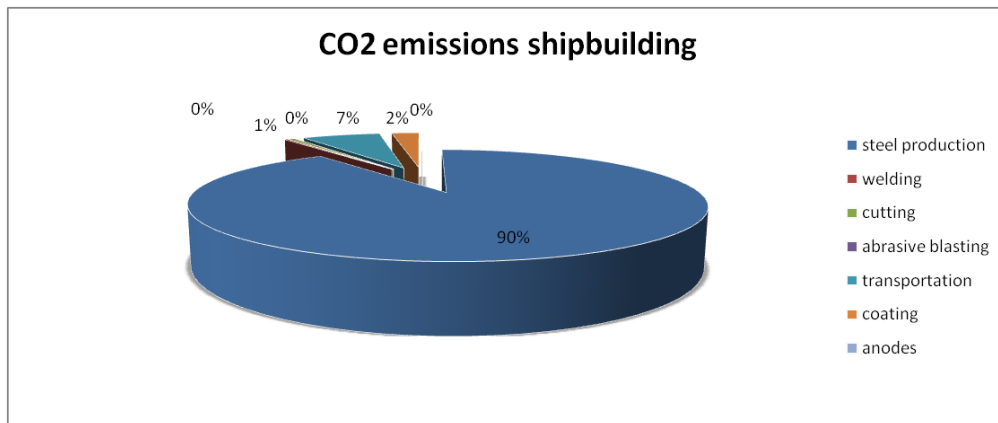
Σύμφωνα με τη μέθοδο ReCiPe οι επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής και του σχηματισμού μικροσωματιδίων κυμαίνονται στα ίδια επίπεδα 37.17 DALY και 35.30 DALY. Αυτό που πρέπει να υπογραμμιστεί είναι ότι αυτή η μέθοδος υπολογίζει συνολικά 82.5 χαμένα έτη λόγω αναπηρίας ή θανάτων, ενώ η EcoIndicator 99 υπολογίζει 58.8 χαμένα έτη λόγω αναπηρίας ή θανάτων. Η παραπάνω διαφορά δεν είναι αμελητέα ωστόσο δεν είναι εφικτό να διευκρινιστεί που ακριβώς οφείλεται καθώς οι δύο μέθοδοι παρουσιάζουν διαφορετικές αντιλήψεις κατηγορίες επιπτώσεων και στους συντελεστές χαρακτηρισμού που χρησιμοποιούν στους σχετικούς υπολογισμούς.

10.3 Σύγκριση αποτελεσμάτων με παλαιότερες μελέτες

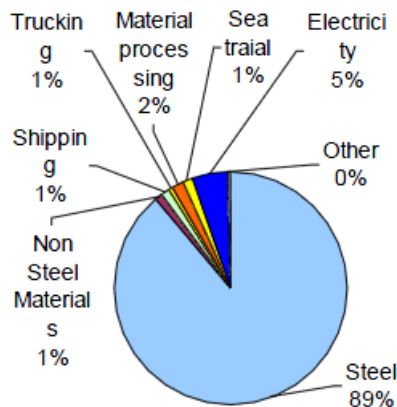
Οι εκπομπές που προκύπτουν από τον κύκλο ζωής της μεταλλικής κατασκευής του πλοίου είναι σημαντικά λιγότερες από τις εκπομπές που παράγονται από τον αντίστοιχο κύκλο ζωής της μηχανολογικής εγκατάστασης. Συγκεκριμένα από προηγούμενη διπλωματική εργασία προέκυψαν οι εκπομπές CO₂ από όλο τον κύκλο ζωής της μηχανολογικής εγκατάστασης 1.016*10⁶ tons. Οι συνολικές εκπομπές CO₂ από όλη τη διάρκεια ζωής της μεταλλικής κατασκευής υπολογίστηκαν 2.64*10⁴ tons, δηλαδή έχουν διαφορά δύο τάξης μεγέθους από αυτές της μηχανολογικής εγκατάστασης. Το παραπάνω συμπέρασμα οφείλεται στο γεγονός ότι στις εκπομπές της μηχανολογικής

εγκατάστασης συμπεριλαμβάνεται η λειτουργία του πλοίου που έχει σαφώς δυσανάλογα μεγάλη παραγωγή CO₂ (Μαντάκος, 2012). Στη φάση της κατασκευής οι εκπομπές της μηχανολογικής εγκατάστασης υπολογίστηκαν 6090 tons ενώ της μεταλλικής κατασκευής 14429 tons, είναι δηλαδή 2.36 φορές περισσότερες οι εκπομπές από την μεταλλική κατασκευή.

Στα παρακάτω σχήματα γίνεται σύγκριση των εκπομπών του CO₂ στη φάση του shipbuilding ανά διεργασία ανάμεσα στο πλοίο Selini που υπολογίστηκαν σε αυτή τη μελέτη και σε πλοίο τύπου bulk carrier 76000 tons DWT (Kameyama et al, 2004).



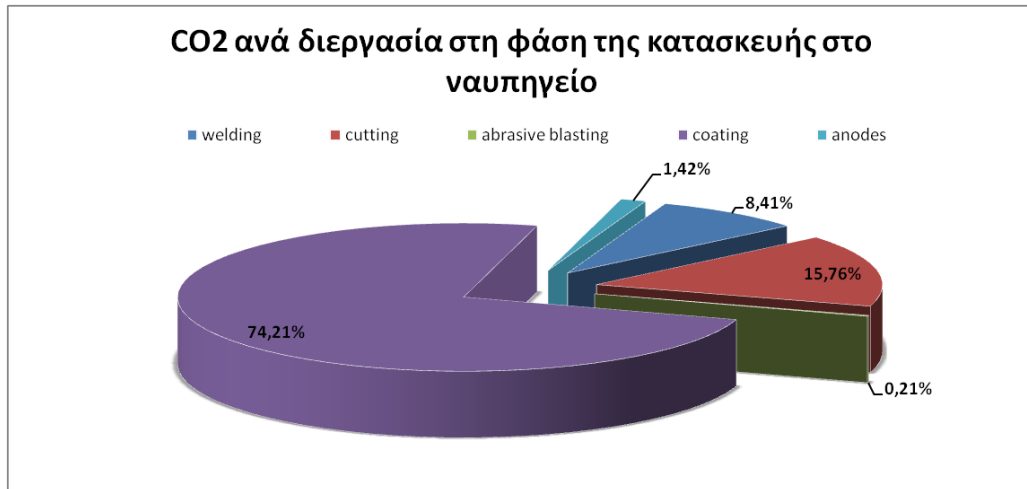
Σχήμα 66: Εκπομπές CO₂ στο shipbuilding ανά διεργασία για το πλοίο Selini



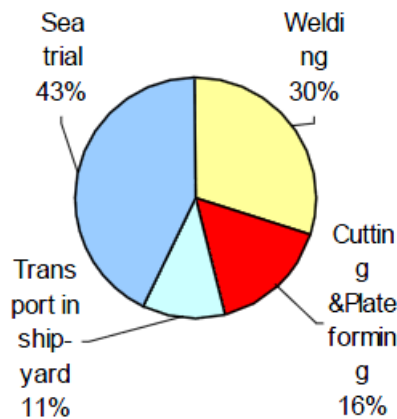
Σχήμα 67: Εκπομπές CO₂ στο shipbuilding ανά διεργασία για πλοίο bulk carrier 76000 tons DWT (Kameyama et al, 2004)

Αυτό που είναι σημαντικό να τονιστεί είναι ότι σχεδόν όλη η ποσότητα του CO₂ εκλύεται από την παραγωγή του χάλυβα, σε ποσοστό 90% και στις δύο περιπτώσεις. Επιπλέον η μελέτη για το bulk carrier αφορά όλο το πλοίο και όχι μόνο τη μεταλλική κατασκευή, επομένως γίνεται σαφές ότι στη φάση της κατασκευής κυρίαρχο ρόλο διαδραματίζει η παραγωγή του χάλυβα.

Παρακάτω ακολουθούν σχήματα που απεικονίζουν τις εκπομπές CO₂ αποκλειστικά από το ναυπηγείο:



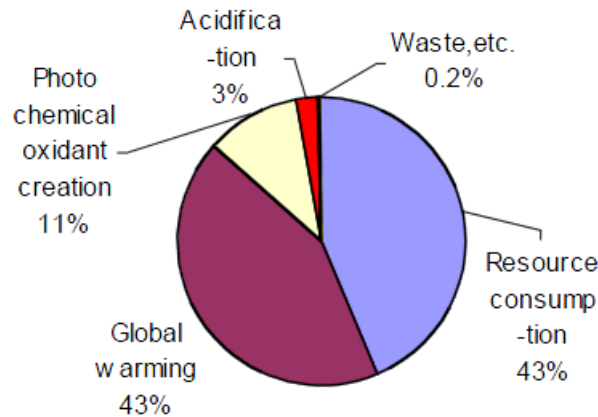
Σχήμα 68: Εκπομπές CO₂ στο shipbuilding ανά διεργασία στο ναυπηγείο για το πλοίο Selini



Σχήμα 69: Εκπομπές CO₂ στο shipbuilding ανά διεργασία στο ναυπηγείο για πλοίο bulk carrier 76000 tons DWT (Kameyama et al, 2004)

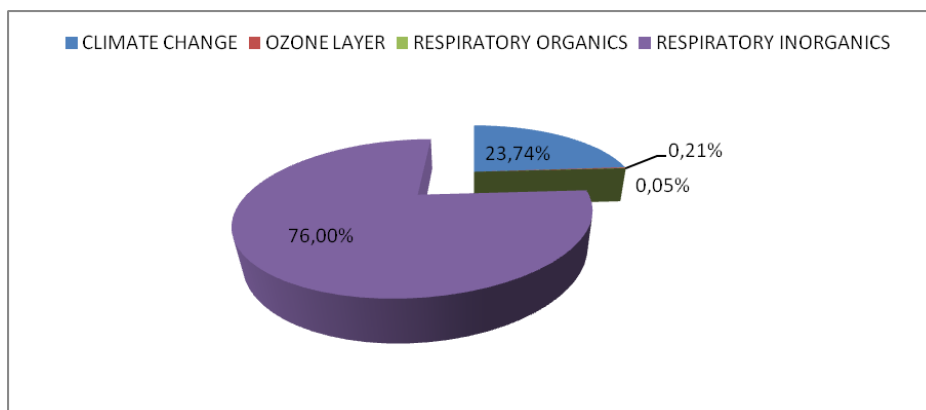
Στο δεύτερο σχήμα περιλαμβάνεται και η δοκιμή στη θάλασσα εφόσον η μελέτη αφορά όλο το πλοίο και εξαιρείται η διαδικασία της βαφής. Η κοπή και στις δύο μελέτες παράγει το 16% των εκπομπών. Για το πλοίο Selini η σημαντικότερη διεργασία είναι η βαφή που καταλήγει να παράγει το 74% των εκπομπών ενώ για το δεύτερο πλοίο είναι η δοκιμή στη θάλασσα που παράγει το 43% και ακολουθεί το welding με ποσοστό 30%.

Για πλοίο bulk carrier 76000 tons DWT έχουν υπολογιστεί οι επιπτώσεις από τη φάση της κατασκευής και φαίνονται σχηματικά ανά κατηγορία επίπτωσης στο παρακάτω διάγραμμα:



Σχήμα 70: Κατηγορίες επιπτώσεων στη φάση της κατασκευής για πλοίο bulk carrier 76000 tons DWT (Kameyama et al, 2004)

Παρακάτω ακολουθεί αντίστοιχο διάγραμμα που αφορά το πλοίο αυτής της μελέτης και φαίνονται οι κατηγορίες επιπτώσεων στη φάση της κατασκευής που αφορούν την ανθρώπινη υγεία:

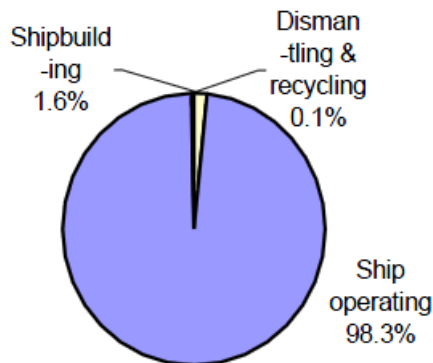


Σχήμα 71: Επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία ανά κατηγορία επιπτώσεων

Δεν ήταν εφικτό να συμπεριληφθούν στο διάγραμμα όλες οι κατηγορίες επιπτώσεων γιατί οι μονάδες δεν είναι κοινές. Ενώ στην παραπάνω μελέτη έχουν υπολογιστεί οι επιπτώσεις σε γεν και μπορούν να συγκριθούν. Και στις δύο περιπτώσεις υψηλή θέση κατέχει η κλιματική αλλαγή. Στην πρώτη περίπτωση οι συνολικές επιπτώσεις σε περιβάλλον και άνθρωπο ανέρχονται σε $7.8 \cdot 10^7$ γεν, αυτό το ποσό αφορά μόνο τη φάση της κατασκευής. Από αυτό το νούμερο το 24%, δηλαδή $1.9 \cdot 10^7$ γεν, αφορά τις διεργασίες που συντελούνται στο ναυπηγείο.

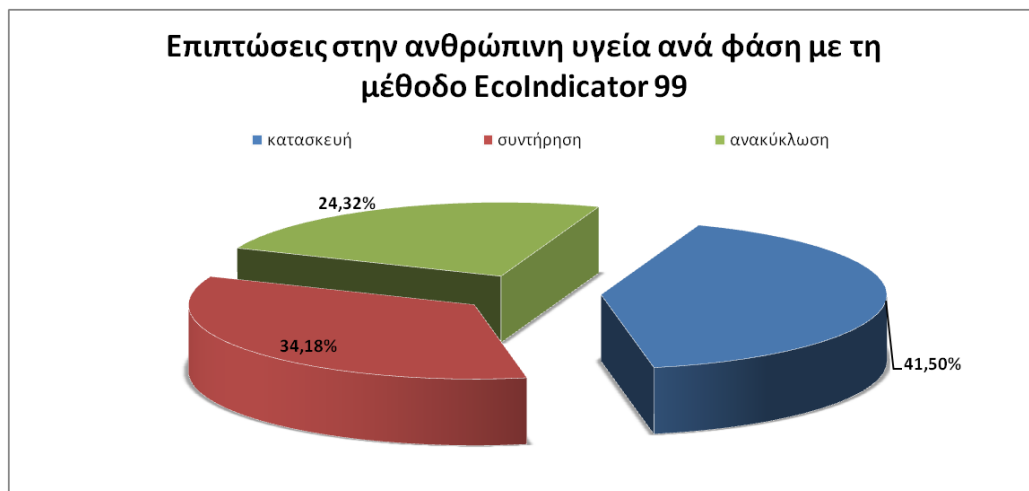
Οι επιπτώσεις από όλο τον κύκλο ζωής του πλοίου υπολογίστηκαν $4.9 \cdot 10^9$ γεν, δηλαδή η φάση της κατασκευής εκλύει εκπομπές που ευθύνονται για 1.6% των συνολικών επιπτώσεων. Ενώ σε αυτή τη μελέτη η φάση της κατασκευής είναι υπεύθυνη για το 41.5% των συνολικών επιπτώσεων, γνωρίζοντας βέβαια ότι στην πρώτη περίπτωση η μελέτη αφορά όλο το πλοίο και όλες τις επιπτώσεις, ενώ στη δεύτερη περίπτωση

μελετάται μόνο η μεταλλική κατασκευή και οι επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία. Ακολουθεί διάγραμμα στο οποίο παρουσιάζεται η ποσοστιαία συνεισφορά κάθε φάσης στις επιπτώσεις για πλοίο bulk carrier 76000 tons DWT.



Σχήμα 72: Επιπτώσεις ανά φάση του κύκλου ζωής για πλοίο bulk carrier 76000 tons DWT

Παρακάτω φαίνεται η ποσοστιαία συνεισφορά κάθε φάσης στις επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία από τον κύκλο ζωής της μεταλλικής κατασκευής του πλοίου για το πλοίο Selini.



Σχήμα 73: Επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία ανά φάση του κύκλου ζωής με τη μέθοδο EcoIndicator 99

Το περιβαλλοντικό φορτίο από τον κύκλο ζωής της μεταλλικής κατασκευής υπολογίστηκε $1.54 \cdot 10^6$ Pt και ανά χρόνο προκύπτει 61600 Pt, που αντιστοιχεί στο ετήσιο περιβαλλοντικό φορτίο 61.6 Ευρωπαίων πολιτών. Δηλαδή, η μεταλλική κατασκευή του πλοίου έχει περιβαλλοντική ετήσια επίπτωση ίση με την περιβαλλοντική επίπτωση 61.6 Ευρωπαίων πολιτών.

10.4 Προβλήματα που αντιμετωπίστηκαν στη μελέτη

Η συλλογή των δεδομένων για τον κύκλο ζωής της μεταλλικής κατασκευής του πλοίου ήταν αρκετά χρονοβόρα και δύσκολη διαδικασία. Στόχος ήταν να συγκεντρωθούν

δεδομένα και να προσδιοριστούν οι αέριες εκπομπές με τέτοιο τρόπο ώστε το τελικό αποτέλεσμα να προσεγγίζει με τον καλύτερο δυνατό τρόπο την πραγματικότητα. Η άμεση λήψη πληροφοριών από ναυπηγεία και εγκαταστάσεις συντήρησης πλοίων, που έχουν πρόσβαση σε δεδομένα που ενδιέφεραν τη μελέτη, δεν ήταν δυνατή. Αποτέλεσμα ήταν να καθίσταται αναγκαία η λήψη κάποιων παραδοχών οι οποίες έγιναν με την απαραίτητη διασταύρωση και προσοχή ώστε να μην υπάρχουν στρεβλώσεις στο τελικό αποτέλεσμα. Τονίζεται ότι κυρίως για τη φάση της διάλυσης – ανακύκλωσης υπάρχει μικρή διαθεσιμότητα σε δεδομένα.

Η γενικότερη έλλειψη μελετών με χρήση της μεθοδολογίας LCA στη ναυτιλία επίσης αποτέλεσε πρόβλημα καθώς δεν υπήρχε τρόπος να γίνει έλεγχος του αποτελέσματος μέσα από τη διαδικασία της σύγκρισης. Η σύγκριση με τη μελέτη για το ‘Color Festival’, που έχει περιγραφεί στα προηγούμενα, δεν ήταν εφικτή γιατί πρώτον στη συγκεκριμένη μελέτη δεν παρουσιάζονται τα συνολικά αποτελέσματα των εκπομπών, δεύτερον ο στόχος των μελετητών ήταν περισσότερο η περιγραφή της μεθοδολογίας και όχι η ορθότητα του αποτελέσματος και τέλος δεν παρουσιάστηκαν τα αποτελέσματα από την αποτίμηση των επιπτώσεων. Αλλά και η σύγκριση με τη μελέτη για bulk carrier, που επίσης έχει περιγραφεί παραπάνω, είναι αδύνατη όσον αφορά στις επιπτώσεις, εφόσον η εν λόγω μελέτη χρησιμοποιεί άλλη μεθοδολογία αποτίμησης (LIME) και εξάγει αποτελέσματα επιπτώσεων σε ιαπωνικό νόμισμα (yen).

Στην αποτίμηση των επιπτώσεων δεν βρέθηκε μέθοδος που να αναφέρεται αποκλειστικά στην LCA πλοίου ή στις μεταφορές γενικότερα. Για αυτό το λόγο επιλέχθηκαν δύο μέθοδοι αποτίμησης που χρησιμοποιούνται περισσότερο στις μελέτες LCA. Είναι εύλογο αλλά πρέπει να τονιστεί ότι οι συντελεστές χαρακτηρισμού που χρησιμοποιούν οι μέθοδοι αυτές, δεν αναφέρονται πάντα σε επιπτώσεις που προκαλεί ο κύκλος ζωής ενός πλοίου.

Γενικά, η LCA ενός πλοίου είναι αρκετά χρονοβόρα και απαιτεί απλούστευση αλλά και καλό προσδιορισμό των δεδομένων, γι’ αυτό το λόγο άλλωστε το πλοίο χωρίζεται σε υποσυστήματα τα οποία αναλύονται και μελετώνται ξεχωριστά.

10.5 Προτάσεις για μελλοντικές μελέτες LCA

Δεδομένου ότι το βασικότερο πρόβλημα εμφανίστηκε στην συλλογή στοιχείων, πολύ χρήσιμη για τις μελλοντικές μελέτες θα ήταν η ανάπτυξη μιας βάσης δεδομένων και μίας μεθοδολογίας αποκλειστικά για τον κύκλο ζωής του πλοίου ώστε οι μελλοντικές εκτιμήσεις να εκτελούνται πιο αποτελεσματικά. Ειδικά για τη φάση της αποτίμησης των επιπτώσεων είναι απαραίτητη η εύρεση συντελεστών που θα αφορούν συγκεκριμένα το πλοίο, ώστε η ανάλυση να γίνεται σε ικανοποιητικό επίπεδο λεπτομέρειας και να περιορίζεται η αναζήτηση σε άλλες πηγές γενικών δεδομένων. Βασικό για τη φάση της αποτίμησης όσον αφορά το πλοίο είναι να ληφθεί υπόψη το

γεγονός ότι η φάση της λειτουργίας του που είναι κατά κύριο λόγο στην ανοιχτή θάλασσα δεν είναι δυνατό να έχει ίδιο αντίκτυπο με την χερσαία βιομηχανία.

Πρέπει να λάβουν χώρα ολοκληρωμένες και περιεκτικές μελέτες που θα καλύπτουν διάφορες περιοχές και τύπους πλοίων ώστε να δημιουργηθεί μία βάση για τα δεδομένα των διαφόρων διεργασιών, την αποτίμηση των επιμέρους επιπτώσεων και των ορίων του εξεταζόμενου συστήματος. Η επίτευξη των παραπάνω θα διευκολύνει περαιτέρω την ορθότερη ανάλυση του κύκλου ζωής του πλοίου και θα προσδώσει σημαντικά οφέλη στην προσπάθεια κατανόησης και εκτίμησης των περιβαλλοντικών ζητημάτων των θαλάσσιων μεταφορών.

11. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Fet Annik Magerholm (1998) “Screening Life Cycle Assessment of M/V Color Festival” Research report HiÅ 10/B101/R-98/009/00 Aalesund College (HiÅ) in co-operation with Det Norske Veritas (DNV) διαθέσιμο στη διεύθυνση:
2. Kameyama, M, Hiraoka K, Sakurai A, Naruse T, Tauchi H. (2004). Development of LCA software for ships and LCI analysis based on actual shipbuilding and operation. In: Proceedings of the 6th International Conference on EcoBalance; 2004 Oct.25-Oct. 27; Tsukuba, Japan; pp. 159-162.
3. Lazarevic David et al (2010) “Plastic Waste Management in the Context of a European Recycling Society: Comparing Results and Uncertainties in a Life Cycle Perspective” *Recourses, Conservation and Recycling* doi:10.1016/j.resconrec.2010.09.014
4. Hansink James D. (1998) “Economics of Abrasive Selection for Shipyard Use” GMA Garnet Pty Ltd Australia διαθέσιμο στη διεύθυνση http://www.paintsquare.com/library/articles/Economics_of_Abrasive_Selection_for_Shipyard_Use.pdf
5. Παπαχαρίτου Νίκος (2008) “Αμμοβολή – Υδροβολή και επιπτώσεις στο περιβάλλον και στον άνθρωπο” Διπλωματική Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Ναυπηγών Μηχανολόγων Μηχανικών.
6. Smith V.H. et al (1999) “Eutrophication: Impacts of excess nutrient inputs in freshwater, marine and terrestrial ecosystem” *Environmental Pollution Elsevier Science* PII: S0269-7491(99)00091-3
7. Caldeira et al (2003) “Anthropogenic carbon and ocean PH” *NATURE|VOL 425 | 25 SEPTEMBER 2003* διαθέσιμο στη διεύθυνση www.nature.com/nature
8. Curran Mary Ann (2006) “Life Cycle Assessment: Principles and Practice” Environmental Protection Agency (EPA) διαθέσιμο στη διεύθυνση <http://www.epa.gov/ORD/NRMRL/lcaccess>
9. Bahareh Reza (2013) “Sustainability Assessment of Flooring System in Tehran: an AHP- based Life Cycle Analysis” *Construction and Building Materials* www.elsevier.com doi:10.1016/j.conbuildmat.2010.11.041
10. Hischier Roland et al (2010) “LCA Study of a Plasma Television Device” *Life Cycle Assess* DOI 10.1007/s11367-010-0169-2
11. Chester Mikhail et al (2008) “Environmental Life-cycle Assessment of Passenger Transportation: A Detailed Methodology for Energy, Greenhouse Gas and Pollutant

- Inventories of Buses, Light Rail, Heavy Rail and Air v.2.” UC Berkley Center for Future Urban Transport
12. Bengtsson Selman (2011) “Life Cycle Assessment of Present and Future Marine Fuels” Thesis for the Degree of Licentiate of Engineering at the Department of Shipping and Marine Technology Chalmers University of Technology
 13. Mohd Nor Azman Hassan et al (2011) “Life Cycle GHG Emissions from Malaysian Oil Palm Bioenergy Development: the Impact on Transportation Sector’s Energy Security” Energy Policy doi:10.1016/j.enpol.2011.02030
 14. Srinivasa M. Reddy et al (2003) “Quantification and classification of ship scrapping waste at Alang-Sosiya, India” Marine Pollution Bulletin doi:10.1016/S0025-326X(03)00329-1
 15. Yellishetty Mohan et al (2011) “Environmental life cycle comparison of steel production and recycling: sustainability issues, problems and prospects” Environmental Science and Policy doi:10.1016/j.envsci.2011.04.008
 16. Tilwankar Atit K., Amit B. Mahindrakar and Shyam R. Asolekar (2008) “Steel Recycling Resulting from Ship Dismantling in India: Implications for Green House Gas Emissions” In proceedings of the second International Conf. on Dismantling of Obsolete Vessels, 15-16 Sept. 2008, Glasgow, Scotland UK.
 17. Andersen Aage Bjorn et al (2001) “Technological and Economic Feasibility Study of Ship Scrapping in Europe” DNV εκτελέστηκε για: Commission of the European Communities REPORT NO. 2000-3527
 18. Sarraf Maria et al (2010) “Ship Breaking and Recycling Industry in Bangladesh and Pakistan” διαθέσιμο στη διεύθυνση <http://siteresources.worldbank.org/INTPOPS/Publications/22816687/ShipBreakingReportDec2010.pdf>
 19. Madhur Ahuja et al (2011) “An overview of the end-of-life treatment of ships” Project: Innovation in Global Maritime Production 2020 (IGLO-MP 2020) 8946/140
 20. Mathiazhagan A. (2010) “Design and Programming of Cathodic Protection for Ships” International Journal of Engineering and Applications, Vol. No. 3, October 2010 ISSN: 2010-0221
 21. Hondo Hiroki (2004) “Life cycle GHG emission analysis of power generation systems: Japanese case” Published by Elsevier Ltd. doi: 10.1016/j.energy.2004.07.020

22. Finnveden Goran et al (2004) “Life cycle assessment of energy from solid waste- part 1: general methodology and results” *Journal of Cleaner Production* doi:10.1016/j.clepro.2004.02.023
23. Lazarevic David et al (2012) “The application of life cycle thinking in the context of European waste policy” *Journal of Cleaner Production* doi:10.1016/j.clepro.2012.01.030
24. Shen Wei et al (2012) “Well-to-wheels life cycle analysis of alternative fuels and vehicle technologies in China” *Energy Policy* <http://dx.doi.org/10.1016/j.enpol.2012.06.038>
25. Zamagni A. et al (2009) “D20 Blue Paper on Life Cycle Sustainability Analysis” Project CALCAS Project no. 037075
26. Schepelmann Philipp et al (2009) “D17 Final Report: Options for Deeping and Broadening LCA” Project CALCAS Project no. 037075
27. Heijungs Reinout et al (2009) “D15 A Scientific framework for LCA” Project CALCAS Project no. 037075
28. Fet Annik Magerholm “Environmental reporting in marine transport based on LCA” διαθέσιμο στη διεύθυνση <http://www.iot.ntnu.no/users/fet/Konferanser/2001-IMAResT-London.pdf>
29. Moberg Asa (2006) “Environmental systems analysis tools for decision-making” Licentiate thesis for the Royal Institute of Technology Department of Urban Planning and Environment
30. Rebitzer G. (2003) “Life cycle assessment Part 1: Framework, goal and scope definition, inventory analysis and applications” *Environmental International* doi:10.1016/j.envint.2003.11.005
31. Williams Aid Sefic (2009) “Life Cycle Analysis: A Step by Step Approach” Illinois Sustainable Technology Center Institute of Natural Resource Sustainability University of Illinois at Urbana-Champaign www.istc.illinois.edu
32. Guinee Jeroen B. et al (2010) “Life Cycle Assessment: Past, Present and Future” *American Chemical Society* 10.1021/es101316v
33. Dandres Thomas et al “Macroanalysis of the economic and environmental impacts of a 2005–2025 European Union bioenergy policy using the GTAP model and life cycle assessment” *Renewable and Sustainable Energy Reviews* doi:10.1016/j.rser.2011.11.003
34. Goedkoop Mark et al (2002) “Introduction into LCA methodology and practice with SimaPro 5.1” www.pre.nl/simapro/support

35. Cirotth Andreas et al (2006) “Validation – The Missing Link in Life Cycle Assessment Towards pragmatic LCAs” DOI: <http://dx.Doi.org/10.1065/lca2006.09.271>
36. De Scryver An Maria (2010) “Value choices in life cycle impact assessments” PhD - Thesis Radboud University, Nijmegen
37. NETHERLANDS NATIONAL WATER BOARD - WATER UNIT (2008) “Emission estimates for diffuse sources Netherlands Emission Inventory - Sacrificial anodes, merchant shipping and fisheries” Διαθέσιμο στη ηλ. Διεύθυνση: <http://www.emissieregistratie.nl/ERPUBLIEK/documenten/Water/Factsheets/Englsh/Sacrificial%20anodes,%20merchant%20shipping.pdf>
38. Μαντάκος Νικόλαος (2012) “Αξιολόγηση του κύκλου ζωής της μηχανολογικής εγκατάστασης πλοίων” Διπλωματική στη σχολή Ναυπηγών Μηχανολόγων Μηχανικών ΕΜΠ
39. Stern, N. (2006). The Stern Review: The Economics of Climate Change. Executive Summary, available at (Assessed at 23.3.2013): <http://www.webcitation.org/5nCeyEYJr>
40. Chatzinikolaou S.D., Ventikos N.P. (2011), “Sustainable maritime transport: an operational definition”, Sustainable Maritime Transportation and Exploitation of Sea Resources, (IMAM 2011), CRC Press, vol. 2, pp. 931-939
41. IMO (2009) “Prevention of air pollution from ship”, Marine Environment Protection Committee, MEPC 59/INF.10
42. Chatzinikolaou S.D., Ventikos N.P. (2013), “Assessment of Ship Emissions in a Life Cycle Perspective”, Proceedings of the 3rd International Energy, Life Cycle Assessment and Sustainability Workshop & Symposium (ELCAS3), Eds: Koroneos C., Rovas D. and Dompros A., ISBN: 978-960-243-691-2, Nisyros, Greece, pp. 1225-1234.
43. J. Brandt et al (2013) “Public health costs of air pollution fall in Europe but remain high for maritime shipping” Atmospheric Chemistry and Physics Discussions. 13: 5923–5959 Doi:10.5194/acpd-13-5923-2013.
44. Hauschild Michael D. et al (2012) “Identifying best existing practice for characterization modeling in life cycle impact assessment” Life Cycle Impact Assessment doi:10.1007/s11367-012-0489-5
45. Haselov et al (2013) “Shipping emissions can lead to high local ocean acidification” Shipping Contributes to Ocean Acidification. Geophysical Research Letters. 40. DOI: 10.1002/grl.50521.

46. Olivier Jos G.J. (2012) “Trends in global CO₂ emissions” © PBL Netherlands Environmental Assessment Agency This publication can be downloaded from: www.pbl.nl/en or edgar.jrc.ec.europa.eu.

12. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι

Παρακάτω παρατίθεται ως παράδειγμα το datasheet της βαφής Intershield 300, η οποία επιλέχθηκε από site γνωστής εταιρείας και όπως φαίνεται μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως primer. Από το datasheet χρησιμοποιήθηκε το theoretical coverage στο παράδειγμα φαίνεται 4.8 m²/lt και τα VOC που παράγονται από τη εναπόθεση της βαφής 386 gr/lt.

3



Intershield 300 Abrasion Resistant Aluminium Pure Epoxy

PRODUCT DESCRIPTION	A light coloured, abrasion resistant, aluminium pure epoxy coating giving excellent long term anticorrosive protection and low temperature application capability.			
INTENDED USES	A universal primer which can be applied directly to mechanically prepared shop primer or suitably prepared bare steel. Suitable for use with controlled cathodic protection. For use at Newbuilding or Maintenance & Repair.			
PRODUCT INFORMATION	Colour	ENA300-Bronze, ENA301-Aluminium		
	Finish/Sheen	Not applicable		
	Part B (Curing Agent)	ENA303		
	Volume Solids	60% ±2% (ISO 3233:1998)		
	Mix Ratio	2.50 volume(s) Part A to 1 volume(s) Part B		
	Typical Film Thickness	125 microns dry (208 microns wet). Range 100 - 200 microns dry (167 - 333 microns wet) may be specified depending upon end use.		
	Theoretical Coverage	4.8 m ² /litre at 125 microns dft, allow appropriate loss factors		
	Method of Application	Airless Spray, Brush, Roller		
	Flash Point (Typical)	Part A 28°C; Part B 26°C; Mixed 28°C		
	Induction Period	Not required		

Drying Information	-5°C	5°C	25°C	35°C
Touch Dry [ISO 9117/3:2010]	7 hrs	5 hrs	3 hrs	2 hrs
Hard Dry [ISO 9117-1:2009]	10 hrs	8 hrs	6 hrs	3 hrs
Pot Life	6 hrs	6 hrs	150 mins	60 mins

Note See Limitations section when Intershield 300 is used as part of an Intersleek scheme.

Overcoating Data - see limitations	Substrate Temperature							
	-5°C		5°C		25°C		35°C	
Overcoated By	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max
Interfine 691	10 hrs	3 days	8 hrs	3 days	6 hrs	3 days	3 hrs	3 days
Interfine 979	-	-	8 hrs	7 days	6 hrs	7 days	3 hrs	7 days
Intergard 263	14 hrs	14 days	9 hrs	14 days	7 hrs	14 days	4 hrs	14 days
Intergard 269	14 hrs	6 mths	9 hrs	6 mths	7 hrs	6 mths	4 hrs	3 mths
Intergard 282	14 hrs	14 days	9 hrs	14 days	7 hrs	14 days	4 hrs	14 days
Intergard 740	14 hrs	14 days	9 hrs	14 days	7 hrs	14 days	4 hrs	14 days
Intershield 300 Immersed Areas	14 hrs	14 days	9 hrs	14 days	7 hrs	14 days	4 hrs	14 days
Intershield 300 Non Immersed Areas	14 hrs	6 mths	9 hrs	6 mths	7 hrs	6 mths	4 hrs	3 mths
Intersleek 717	-	-	9 hrs	14 days	7 hrs	14 days	4 hrs	14 days
Intersleek 731	-	-	-	-	4 hrs	2 days	3 hrs	2 days
Intersleek 737	-	-	7 hrs	24 hrs	5 hrs	2 days	3 hrs	2 days
Interthane 990	14 hrs	5 days	9 hrs	5 days	7 hrs	3 days	4 hrs	2 days

Note When overcoating with Intersleek 386, refer to the Intersleek 737 data.
Intershield 300 may be overcoated with Intersleek 737 at 0°C, the minimum interval being 12 hours and the maximum 30 hours.
Intershield 300 may be overcoated with Intersleek 731 above 15°C. At 15°C, the minimum interval being 5 hours and the maximum being 2 days.
When overcoating with Interbond 201 or Interbond 501, refer to the Intergard 740 data.
Interthane 990 may be used on boottop areas at reduced overcoating intervals. Consult International Paint.
Interfine 691 is currently only available in Europe.
When overcoating with Interfine 878, refer to the Interfine 979 data.

REGULATORY DATA	VOC	386 g/lt as supplied (EPA Method 24) 318 g/kg of liquid paint as supplied. EU Solvent Emissions Directive (Council Directive 1999/13/EC)
------------------------	------------	---

Note: VOC values are typical and are provided for guidance purposes only. These may be subject to variation depending on factors such as differences in colour and normal manufacturing tolerances.



Intershield 300

Abrasion Resistant Aluminium Pure Epoxy

APPLICATION

Mixing	Material is supplied in two containers as a unit. Always mix a complete unit in the proportions supplied. Once the unit has been mixed it must be used within the working pot life specified. (1) Agitate Base (Part A) with a power agitator. (2) Combine entire contents of Curing Agent (Part B) with Base (Part A) and mix thoroughly with power agitator.
Thinner	International GTA220. DO NOT thin more than allowed by local environmental legislation.
Airless Spray	Recommended Tip Range 0.66-0.79 mm (26-31 thou) Total output fluid pressure at spray tip not less than 211 kg/cm ² (3000 p.s.i.)
Brush	Application by brush is recommended for small areas only. Multiple coats may be required to achieve specified film thickness.
Roller	Application by roller is recommended for small areas only. Multiple coats will be required to achieve specified film thickness.
Cleaner	International GTA822/GTA220
Work Stoppages and Cleanup	Do not allow material to remain in hoses, gun or spray equipment. Thoroughly flush all equipment with International GTA822/GTA220. Once units of paint have been mixed they should not be resealed and it is advised that after prolonged stoppages work recommences with freshly mixed units. Clean all equipment immediately after use with International GTA822/GTA220. It is good working practice to periodically flush out spray equipment during the course of the working day. Frequency of cleaning will depend upon amount sprayed, temperature and elapsed time, including any delays. Do not exceed pot life limitations. All surplus materials and empty containers should be disposed of in accordance with appropriate regional regulations/legislation.
Welding	In the event welding or flame cutting is performed on metal coated with this product, dust and fumes will be emitted which will require the use of appropriate personal protective equipment and adequate local exhaust ventilation. In North America do so in accordance with instruction in ANSI/ASC Z49.1 "Safety in Welding and Cutting."

SAFETY

All work involving the application and use of this product should be performed in compliance with all relevant national Health, Safety & Environmental standards and regulations.

Prior to use, obtain, consult and follow the Material Safety Data Sheet for this product concerning health and safety information. Read and follow all precautionary notices on the Material Safety Data Sheet and container labels. If you do not fully understand these warnings and instructions or if you can not strictly comply with them, do not use this product. Proper ventilation and protective measures must be provided during application and drying to keep solvent vapour concentrations within safe limits and to protect against toxic or oxygen deficient hazards. Take precautions to avoid skin and eye contact (ie. gloves, goggles, face masks, barrier creams etc.) Actual safety measures are dependant on application methods and work environment.

EMERGENCY CONTACT NUMBERS:

USA/Canada - Medical Advisory Number 1-800-854-6813

Europe - Contact (44) 191 4696111. For advice to Doctors & Hospitals only contact (44) 207 6359191

China - Contact (86) 532 83889090 Shanghai - Contact (86) 21 62679090

R.O.W. - Contact Regional Office