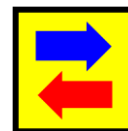




ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
Σχολή Ναυπηγών Μηχανολόγων Μηχανικών
Εργαστήριο Θαλασσίων Μεταφορών



ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΟΥ ΚΥΚΛΟΥ ΖΩΗΣ ΤΗΣ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΚΗΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΠΛΟΙΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΜΑΝΤΑΚΟΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ-ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ

Επιβλέπων: Επίκουρος Καθηγητής **ΝΙΚΟΛΑΟΣ Π. ΒΕΝΤΙΚΟΣ**

Αθήνα, Ιούλιος 2012

ΣΤΟΥΣ ΓΟΝΕΙΣ ΜΟΥ, ΠΕΤΡΟ & ΣΤΑΥΡΟΥΛΑ

ΣΤΟΝ ΑΔΕΡΦΟ ΜΟΥ ΔΗΜΗΤΡΗ

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. Με την σωστή καθοδήγηση και τις γνώσεις τους αυτόν τον ένα χρόνο με στήριξαν με πολύ υπομονή και επιμονή για να παραχθεί αυτό το αποτέλεσμα. Σημαντική συνεισφορά είχαν δύο πολύ αξιόλογοι συνεργάτες και συμφοιτητές μου, ο Λάμπρος Νικολόπουλος και ο Μιχάλης Πυθαρούλης με τους οποίους και συνεργαστήκαμε στη μελέτη για τον διεθνή διαγωνισμό ναυπηγικής VISIONS OLYMPICS 2012, μέρος της οποίας αποτελεί το 7^ο κεφάλαιο της διπλωματικής εργασίας.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ	6
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ.....	8
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ.....	9
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΩΝ-ΔΙΕΡΜΗΝΕΙΩΝ.....	10
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	11
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	12
2. ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΟΥ ΚΥΚΛΟΥ ΖΩΗΣ	13
2.1 ΕΡΓΑΛΕΙΑ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ.....	13
2.1 LIFE CYCLE ASSESSMENT (LCA).....	13
2.2 ΒΗΜΑΤΑ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ LIFE CYCLE ASSESSMENT (LCA).....	15
2.3 ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΣΤΟΧΟΥ ΚΑΙ ΤΟΥ ΣΚΟΠΟΥ ΤΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ	19
2.3.1 Προσδιορισμός του Στόχου της Μελέτης	20
2.3.2 Προσδιορισμός του Είδους των Πληροφοριών που χρειάζεται ο λήπτης των αποφάσεων.....	20
2.3.3 Προσδιορισμός Απαιτούμενης Ακρίβειας	20
2.3.4 Προσδιορισμός του Τρόπου Οργάνωσης και παρουσίασης Αποτελεσμάτων.....	22
2.3.5 Προσδιορισμός του σκοπού της μελέτης.....	23
2.3.6 Προσδιορισμός πλαισίου κανόνων	27
2.4 LIFE CYCLE INVENTORY	28
2.4.1 Βασικά στάδια του Life Cycle Inventory(LCI).....	29
2.4.2 Δεδομένα εισόδου στο Life Cycle Inventory(LCI) του προϊόντος	33
2.4.3 Δεδομένα εξόδου από το Life Cycle Inventory(LCI) του προϊόντος.....	36
2.5 LIFE CYCLE IMPACT ASSESSMENT(LCIA)	40
2.5.1 Λόγοι εκπόνησης Life Cycle Impact Assessment(LCIA)?	40
2.5.2 Αποτελέσματα του Life Cycle Impact Assessment(LCIA).....	41
2.5.3 Βασικά στάδια του Life Cycle Impact Assessment(LCIA)	41
2.6 LIFE CYCLE INTERPRETATION.....	44
2.6.1 Τα βασικά στάδια του Life Cycle Interpretation.....	45
2.6.2 Συλλογή δεδομένων	48
2.7 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ LCA.....	49
2.8 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΟΥ LCA ΣΤΗ ΝΑΥΤΙΛΙΑ	52
3. ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΚΗ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ	56
3.1 ΕΙΔΗ ΚΑΥΣΙΜΩΝ ΚΑΙ ΚΙΝΗΤΗΡΩΝ ΠΡΩΩΣΗΣ.....	56
3.1.1 Είδη καυσίμου.....	56
3.1.2 Είδη κινητήρων πρόωσης.....	59
3.1.2.1 Μηχανές ντίζελ	60
3.1.2.2 Μηχανές αερίου και υβριδικά συστήματα	60
3.2 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΟΥ LCA ΣΤΗΝ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΚΗ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ	61
3.3 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΚΗΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ	64
3.3.1 Ισχύς κύριας μηχανής (PME).....	64
3.3.2 Ισχύς βοηθητικών μηχανών (PAE)	65
3.3.3 Ισχύς λέβητα (Boiler).....	68
3.3.4 Αντλίες.....	69
4. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ	71
4.1 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΜΟΝΤΕΛΟΥ MICROSOFT OFFICE EXCEL	71
4.1.1 Πίνακας Υπομνήματος.....	71
4.1.2 Περιγραφή Πλοίου Μελέτης.....	72
4.1.3 Περιγραφή Μηχανολογικής Εγκατάστασης	72

4.1.4	Περιγραφή Σεναρίου Λειτουργίας.....	73
4.1.5	Περιγραφή Σταδίου Κατασκευής.....	80
4.1.6	Περιγραφή Σταδίου Λειτουργίας.....	92
4.1.7	Περιγραφή Σταδίου Συντήρησης Μηχανολογικής Εγκατάστασης.....	109
4.1.8	Περιγραφή Σταδίου Διάλυσης-Ανακύκλωσης.....	110
4.1.9	Συνοπτικά Αποτελέσματα.....	112
4.2	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΜΟΝΤΕΛΟΥ SIMULINK-MATLAB.....	113
4.3	ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ.....	121
4.3.1	Αποτελέσματα Microsoft Office Excel.....	121
4.3.2	Αποτελέσματα Matlab Simulink.....	122
5.	ΣΕΝΑΡΙΑ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ.....	123
5.1	ΣΕΝΑΡΙΟ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΗΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ (DEFAULT SCENARIO).....	124
5.1.1	Σχολιασμός αποτελεσμάτων.....	127
5.2	ΣΕΝΑΡΙΟ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ SLOW STEAMING.....	128
5.2.1	Σχολιασμός αποτελεσμάτων.....	130
5.3	ΣΕΝΑΡΙΟ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΜΕ ΗΛ. ΔΙΑΣΥΝΔΕΣΗ ΣΤΟ ΛΙΜΑΝΙ (COLD IRONING).....	130
5.3.1	Σχολιασμός Αποτελεσμάτων.....	131
5.4	ΣΕΝΑΡΙΟ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΜΕ ΟΡΙΟ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ (SPEED LIMIT).....	132
5.4.1	Σχολιασμός Αποτελεσμάτων.....	133
5.5	ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ.....	133
5.5.1	Default Scenario και Slow Steaming Scenario.....	133
5.5.2	Default Scenario και Speed Limit Scenario.....	135
5.6	ΚΑΛΥΨΗ ΧΑΜΕΝΟΥ ΜΕΤΑΦΟΡΙΚΟΥ ΕΡΓΟΥ ΜΕ ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΔΕΥΤΕΡΟΥ ΠΛΟΙΟΥ.....	138
5.6.1	Σενάριο Slow Steaming.....	139
5.6.2	Σενάριο Speed Limit.....	140
5.7	ΕΝΑΛΛΑΓΗ ΔΡΟΜΟΛΟΓΙΩΝ.....	141
5.7.1	Χρηματιστήριο της Βαλτικής - Baltic Exchange.....	141
5.7.1.1	Βασική υποχρέωση των εκτιμητών (panellists) – κριτήρια επιλογής από το Χρηματιστήριο της Βαλτικής.....	142
5.7.1.2	Οι διαδρομές – επιλογή, κανονισμοί, αλλαγές.....	143
5.7.1.3	Πίνακας Πιθανών Διαδρομών.....	144
5.7.2	Σενάριο πραγματικής λειτουργίας.....	147
5.7.3	Σενάριο Slow Steaming.....	148
5.7.4	Σενάριο Cold Ironing.....	150
5.7.5	Σενάριο Speed Limit.....	150
5.7.6	Συγκριτικά Αποτελέσματα.....	155
5.8	ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΑ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΠΟΙΗΣΗΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΟΥ ΕΡΓΑΛΕΙΟΥ.....	155
5.9	ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΣΕΝΑΡΙΩΝ.....	156
5.10	ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ.....	158
6.	ΠΛΗΡΩΣ ΕΞΗΛΕΚΤΡΙΣΜΕΝΟ ΠΛΟΙΟ ΜΕ ΦΥΣΙΚΟ ΑΕΡΙΟ ΓΙΑ ΚΑΥΣΙΜΟ.....	161
6.1	ΙΣΧΥΣ ΠΡΩΩΣΗΣ.....	163
6.2	ΦΟΡΤΙΑ ΒΟΗΘΗΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΩΝ.....	164
6.3	ΣΥΝΟΛΙΚΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΦΟΡΤΙΑ.....	164
6.4	ΓΕΝΝΗΤΡΙΕΣ ΚΑΙ ΔΙΑΤΑΞΗ ΤΟΥ ΥΒΡΙΔΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΠΡΩΩΣΗΣ.....	165
6.4.1	Κύρια μηχανικά μέρη.....	165
6.4.2	Ηλεκτρομηχανές με δυνατότητα καύσης δύο καυσίμων.....	168
6.4.3	Ηλεκτρογεννήτρια 8L50 DF.....	169
6.4.4	Ηλεκτρογεννήτρια 6L34 DF.....	170
6.4.5	Ηλεκτρογεννήτρια 6L20 DF.....	171
6.5	ΔΙΑΤΑΞΗ ΧΩΡΟΥ ΜΗΧΑΝΟΣΤΑΣΙΟΥ.....	171
6.6	ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ ΜΗΧΑΝΟΣΤΑΣΙΟΥ.....	172
6.7	ΑΝΑΚΤΗΣΗ ΧΑΜΕΝΗΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ ΚΑΙ ΘΕΡΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ.....	174
6.8	ΥΒΡΙΔΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΠΡΩΩΣΗΣ.....	176
6.9	ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΚΥΨΕΛΩΝ ΚΑΥΣΙΜΟΥ ΣΕ ΥΒΡΙΔΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ.....	177

6.10	ΔΙΑΤΑΞΗ ΔΕΞΑΜΕΝΩΝ ΦΥΣΙΚΟΥ ΑΕΡΙΟΥ	177
6.11	ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ	179
6.12	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	183
7.	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	184
7.1	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗΣ ΣΕΝΑΡΙΩΝ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ	184
7.2	ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΠΕΡΑΙΤΕΡΩ ΜΕΛΕΤΗ ΚΑΙ ΕΠΕΚΤΑΣΗ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ	185
8.	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	188
9.	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1 (MICROSOFT OFFICE EXCEL).....	193
10.	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 2 (MATLAB SIMULINK).....	262

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1. Κύριες κατηγορίες επιπτώσεων.....	43
Πίνακας 2. Σύσταση υγροποιημένου φυσικού αερίου.....	57
Πίνακας 3. Ιδιότητες χαμηλών σε περιεκτικότητα θείου καυσίμων HFO,MGO,GTL και LNG	58
Πίνακας 4. Πρότυπα καυσίμων ISO 8217.....	58
Πίνακας 5. Πίνακας Υπομνήματος.....	71
Πίνακας 6. Κύρια χαρακτηριστικά πλοίου.....	72
Πίνακας 7. Χαρακτηριστικά Κύριας Μηχανής.....	72
Πίνακας 8. Χαρακτηριστικά Ηλεκτρογεννήτριας.....	73
Πίνακας 9. Χαρακτηριστικά Λέβητα.....	73
Πίνακας 10. Χαρακτηριστικά συστημάτων αντλιών.....	73
Πίνακας 11. Δρομολόγια πλοίου κατά την διάρκεια του κύκλου ζωής.....	74
Πίνακας 12. Παράμετροι περιγραφής εξεταζόμενου σεναρίου.....	75
Πίνακας 13. Συντελεστές ρύπων παραγωγής χάλυβα.....	81
Πίνακας 14. Υπολογισμός συνολικού βάρους μηχανολογικής εγκατάστασης.....	81
Πίνακας 15. Συνολικές εκπομπές από την διαδικασία παραγωγής χάλυβα.....	82
Πίνακας 16. Συντελεστές ρύπων κατασκευής μηχανής.....	82
Πίνακας 17. Συνολική ισχύς μηχανολογικής εγκατάστασης.....	82
Πίνακας 18. Συνολικές εκπομπές από την κατασκευή του μηχανικού συνόλου.....	83
Πίνακας 19. Συντελεστές κατανάλωσης ανά μονάδα ισχύος.....	83
Πίνακας 20. Συνολική κατανάλωση (Shop tests).....	84
Πίνακας 21. Συντελεστές αέριων ρύπων παραγωγής καυσίμου.....	84
Πίνακας 22. Συντελεστές αέριων ρύπων παραγωγής καυσίμου.....	84
Πίνακας 23. Συντελεστές εκπομπής αέριων ρύπων από την κατανάλωση καυσίμου.....	85
Πίνακας 24. Αέριοι ρύποι από την κατανάλωση καυσίμων δοκιμών θαλάσσης.....	86
Πίνακας 25. Συνολικές εκπομπές από την παραγωγή καυσίμου για τις δοκιμές θαλάσσης.....	86
Πίνακας 26. Δαπανώμενη ηλεκτρική ενέργεια συναρμολόγησης ναυπηγείου.....	87
Πίνακας 27. Αδιαστατοποιημένη δαπανώμενη ενέργεια για ολόκληρο το πλοίο.....	87
Πίνακας 28. Αδιαστατοποιημένη δαπανώμενη ενέργεια για την μηχανολογική εγκατάσταση πλοίου μεταφοράς ξηρού φορτίου.....	88
Πίνακας 29. Αδιαστατοποιημένη δαπανώμενη ενέργεια για την μηχανολογική εγκατάσταση δεξαμενοπλοίου.....	88
Πίνακας 30. Δαπανώμενη ενέργεια για δοκιμές λειτουργίας εγκατάστασης.....	89
Πίνακας 31. Συνολική δαπανώμενη ενέργεια (ναυπηγείο + δοκιμές εγκατάστασης).....	90
Πίνακας 32. Συντελεστές εκπομπής αέριων ρύπων ανά μονάδα δαπανώμενης ενέργειας.....	90
Πίνακας 33. Συνολικές εκπομπές αέριων ρύπων σταδίου συναρμολόγησης στο ναυπηγείο.....	91
Πίνακας 36. Συνολικές εκπομπές αέριων ρύπων σταδίου κατασκευής.....	92
Πίνακας 37. Μεταβλητές σταδίου λειτουργίας πλοίου.....	93
Πίνακας 38. Διάγραμμα φόρτισης-κατανάλωσης της κύριας μηχανής του δεξαμενοπλοίου αναφοράς Tsakos Group [52].....	97
Πίνακας 39. Συνολική κατανάλωση καυσίμου σταδίου λειτουργίας (ME & AE).....	97
Πίνακας 40. Συνολικές εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα (CO ₂).....	99
Πίνακας 41. Συντελεστής εκπομπής μονοξειδίου του άνθρακα(CO).....	100
Πίνακας 42. Συνολικές εκπομπές μονοξειδίου του άνθρακα (CO).....	101
Πίνακας 43. Συντελεστής εκπομπής μεθανίου (CH ₄).....	102
Πίνακας 44. Συνολικές εκπομπές μεθανίου κατά το στάδιο λειτουργίας.....	102
Πίνακας 45. Συντελεστές εκπομπής οξειδίων αζώτου (NO _X) για κύρια μηχανή.....	103
Πίνακας 46. Συντελεστές εκπομπής οξειδίων αζώτου (NO _X) ηλεκτρογεννητριών.....	103
Πίνακας 47. Συνολικές εκπομπές οξειδίου του αζώτου κατά το στάδιο λειτουργίας.....	104
Πίνακας 48. Συντελεστής εκπομπής σωματιδίων αιθάλης.....	105
Πίνακας 49. Συνολικές εκπομπές σωματιδίων αιθάλης κατά το στάδιο λειτουργίας.....	106
Πίνακας 50. Συντελεστής εκπομπής διοξειδίου του θείου (SO ₂).....	106
Πίνακας 51. Συνολικές εκπομπές διοξειδίων του θείου κατά το στάδιο λειτουργία.....	107

Πίνακας 52. Συνολική κατανάλωση καυσίμου λεβήτων	108
Πίνακας 53. Συνολικές εκπομπές αέριων ρύπων από την λειτουργία των λεβήτων.....	109
Πίνακας 54. Ποσότητα απαιτούμενων ανταλλακτικών για την μηχανολογική εγκατάσταση στην ζωή του πλοίου.....	110
Πίνακας 55. Συντελεστές ρύπων παραγωγής χάλυβα.....	110
Πίνακας 56. Συνολικές εκπομπές αέριων ρύπων κατά το στάδιο της συντήρησης	110
Πίνακας 57. Στοιχεία ανακύκλωσης πλοίων στην Ινδία	111
Πίνακας 58. Ανακυκλώσιμο βάρος μηχανολογικής εγκατάστασης.....	112
Πίνακας 59. Περιβαλλοντικό όφελος ανακύκλωσης μηχανολογικής εγκατάστασης	112
Πίνακας 60. Αποτελέσματα σταδίων λειτουργίας ανά έτος	113
Πίνακας 61. Εκπομπές αέριων ρύπων σε όλο τον κύκλο ζωής της μηχανολογικής εγκατάστασης πλοίου.....	113
Πίνακας 60. Χαρακτηριστικά Κύριας Μηχανής.....	125
Πίνακας 61. Χαρακτηριστικά Ηλεκτρογεννήτριας.....	125
Πίνακας 62. Χαρακτηριστικά Λέβητα	125
Πίνακας 63. Χαρακτηριστικά Αντλίας	126
Πίνακας 64. Συνολικές εκπομπές αέριων ρύπων του κύκλου ζωής της μηχανολογικής εγκατάστασης.....	127
Πίνακας 65. Συνολικές εκπομπές αέριων ρύπων του κύκλου ζωής της μηχανολογικής εγκατάστασης σε συνθήκες λειτουργίας Slow Steaming.....	129
Πίνακας 66. Συνολικές εκπομπές αέριων ρύπων του κύκλου ζωής της μηχανολογικής εγκατάστασης σε συνθήκες λειτουργίας Cold Ironing.....	131
Πίνακας 67. Συνολικές εκπομπές αέριων ρύπων του κύκλου ζωής της μηχανολογικής εγκατάστασης σε συνθήκες λειτουργίας Speed Limit.	133
Πίνακας 68. Συγκριτικά Αποτελέσματα βασικού σεναρίου και Slow Steaming(15 +10 έτη) σε βάση κύκλου ζωής χρησιμοποιώντας 1 πλοίο.	134
Πίνακας 69. Συγκριτικά Αποτελέσματα βασικού σεναρίου και Speed Limit (5+20 έτη) σε βάση κύκλου ζωής χρησιμοποιώντας 1 πλοίο.....	136
Πίνακας 70. Αριθμός χαμένων ταξιδιών και χαμένο μεταφορικό έργο λόγω μειωμένων ταξιδιών	138
Πίνακας 71. Συγκριτικά Αποτελέσματα βασικού σεναρίου και Slow Steaming(15 +10 έτη) σε βάση κύκλου ζωής χρησιμοποιώντας 2 πλοία.	139
Πίνακας 72. Συγκριτικά Αποτελέσματα βασικού σεναρίου και Speed Limit (5+20 έτη) σε βάση κύκλου ζωής χρησιμοποιώντας 1 πλοίο.....	140
Πίνακας 73. Πίνακας διαδρομών υπολογιστικού μοντέλου σύμφωνα με τους δείκτες του Χρηματιστηρίου της Βαλτικής.....	147
Πίνακας 74. Συνολικές εκπομπές αέριων ρύπων για όλο τον κύκλο ζωής του πλοίου με πραγματικά δεδομένα δρομολογίων για το σενάριο κανονικής λειτουργίας.....	148
Πίνακας 75. Συνολικές εκπομπές αέριων ρύπων για όλο τον κύκλο ζωής του πλοίου με πραγματικά δεδομένα δρομολογίων για το σενάριο του Slow Steaming	148
Πίνακας 76. Συγκριτικά Αποτελέσματα βασικού σεναρίου και Slow Steaming(15 +10 έτη) σε βάση κύκλου ζωής χρησιμοποιώντας 1 πλοίο.	149
Πίνακας 77. Συνολικές εκπομπές αέριων ρύπων για όλο τον κύκλο ζωής του πλοίου με πραγματικά δεδομένα δρομολογίων για το σενάριο Cold Ironing.....	150
Πίνακας 78. Συνολικές εκπομπές αέριων ρύπων για όλο τον κύκλο ζωής του πλοίου με πραγματικά δεδομένα δρομολογίων για το σενάριο Speed Limit.....	151
Πίνακας 82. Συγκριτικά Αποτελέσματα βασικού σεναρίου και Speed Limit (5+20 έτη) σε βάση κύκλου ζωής χρησιμοποιώντας 1 πλοίο.....	151
Πίνακας 80. Αριθμός χαμένων ταξιδιών και χαμένη μεταφορική ικανότητα λόγω μειωμένων ταξιδιών.....	153
Πίνακας 84. Συγκριτικά Αποτελέσματα βασικού σεναρίου και Slow Steaming(15 +10 έτη) σε βάση κύκλου ζωής χρησιμοποιώντας 2 πλοία.	153
Πίνακας 82. Συγκριτικά Αποτελέσματα βασικού σεναρίου και Speed Limit (5+20 έτη) σε βάση κύκλου ζωής χρησιμοποιώντας 2 πλοία.....	154
Πίνακας 83. Δεδομένα εισόδου παραμετροποίησης υπολογιστικού εργαλείου	156

Πίνακας 84. Συγκεντρωτικά αποτελέσματα εκπομπής αέριων ρύπων σε βάση κύκλου ζωής με την λειτουργία 2 πλοίων.....	157
Πίνακας 85. Ανάλυση ηλεκτρικού φορτίου.....	164
Πίνακας 86. Εγκατεστημένη ισχύς και προφίλ λειτουργίας της μηχανολογικής εγκατάστασης.....	168
Πίνακας 87. Πίνακας ανάκτησης θερμότητας από τον ανακομιστή θερμότητας.....	175
Πίνακας 88. Πίνακας ανάκτησης θερμότητας από τον ανακομιστή θερμότητας.....	176
Πίνακας 89. Συντελεστές εκπομπών φυσικού αερίου.....	179

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ

Διάγραμμα 1. Κατανάλωση καυσίμου ναυτιλίας (2007) ανά τύπο καυσίμου και είδος μηχανής [22].....	56
Διάγραμμα 2. Απαιτούμενος όγκος δεξαμενών LNG και MGO.....	59
Διάγραμμα 3. Ημέρες μη διαθεσιμότητας του πλοίου λόγω επισκευών [33].....	79
Διάγραμμα 4. Δαπανούμενη ενέργεια για την κατασκευή της μηχανολογικής εγκατάστασης δεξαμενοπλοίου.....	89
Διάγραμμα 5. Μεταβολή απαιτούμενης φόρτισης μηχανής λόγω ρύπανσης της γάστρας.....	95
Διάγραμμα 6. Υπολογισμός αέριων ρύπων με την χρήση του Microsoft Office Excel σε λογαριθμική κλίμακα.....	121
Διάγραμμα 7. Υπολογισμός αέριων ρύπων με την χρήση του Matlab Simulink κλίμακα.....	122
Διάγραμμα 8. Στάδια κύκλου ζωής της μηχανολογικής εγκατάστασης πλοίου.....	127
Διάγραμμα 9. Συγκριτικά Αποτελέσματα εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα (CO ₂) βασικού σεναρίου και Slow Steaming(15+10έτη) σε ετήσια βάση χρησιμοποιώντας 1 πλοίο.	134
Διάγραμμα 10. Συγκριτικά Αποτελέσματα εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα (CO ₂) βασικού σεναρίου και Speed Limit (5+20 έτη) σε ετήσια βάση χρησιμοποιώντας 1 πλοίο.....	136
Διάγραμμα 11. Συγκριτικά Αποτελέσματα εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα (CO ₂) βασικού σεναρίου και Slow Steaming(15+10έτη) σε ετήσια βάση χρησιμοποιώντας 2 πλοία.	139
Διάγραμμα 12. Συγκριτικά Αποτελέσματα εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα (CO ₂) βασικού σεναρίου και Speed Limit (5+20 έτη) σε ετήσια βάση χρησιμοποιώντας 2 πλοία.....	141
Διάγραμμα 13. Συγκριτικά Αποτελέσματα εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα (CO ₂) βασικού σεναρίου και Slow Steaming(15+10έτη) σε ετήσια βάση χρησιμοποιώντας 2 πλοία.	149
Διάγραμμα 14. . Συγκριτικά Αποτελέσματα εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα (CO ₂) βασικού σεναρίου και Speed Limit (5+20 έτη) σε ετήσια βάση χρησιμοποιώντας 1 πλοίο.....	152
Διάγραμμα 15. Συγκριτικά Αποτελέσματα εκπομπών CO,CH ₄ ,NOX, PM και SO ₂ βασικού σεναρίου και Slow Steaming (15+10 έτη) σε βάση κύκλου ζωής χρησιμοποιώντας 2 πλοία.....	154
Διάγραμμα 16. Συγκριτικά Αποτελέσματα εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα (CO ₂) βασικού σεναρίου και Speed Limit (5+20 έτη) σε ετήσια βάση χρησιμοποιώντας 2 πλοία.....	155
Διάγραμμα 17. Συγκριτικές εκπομπές CO ₂ στον κύκλο ζωής του πλοίου.....	180
Διάγραμμα 18. Συγκριτικές εκπομπές NOX στον κύκλο ζωής του πλοίου.....	181
Διάγραμμα 19. Συγκριτικές εκπομπές PM στον κύκλο ζωής του πλοίου.....	181
Διάγραμμα 20. Συγκριτικές εκπομπές SO ₂ στον κύκλο ζωής του πλοίου.....	182
Διάγραμμα 21. Συγκριτικές εκπομπές CH ₄ στον κύκλο ζωής του πλοίου.....	182

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 1. Εργαλεία περιβαλλοντικής ανάλυσης.....	13
Σχήμα 2. Βασικά στάδια κύκλου ζωής	15
Σχήμα 3. Δεδομένα και αποτελέσματα μίας παραγωγικής διαδικασίας. [5].....	16
Σχήμα 4. Ενέργεια και περιβάλλον του προπαρασκευαστικού σταδίου [5]	16
Σχήμα 5. Σχηματική αναπαράσταση των 4 φάσεων του LCA. [8].	17
Σχήμα 6. Στάδια του κύκλου ζωής ενός προϊόντος.....	24
Σχήμα 7. Διάγραμμα ροής κύκλου ζωής μίας μηχανής πλοίου	26
Σχήμα 8. Γενικό σύστημα διαδικασίας[9].....	30
Σχήμα 9. Σύνδεση των σταδίων του Life Cycle Interpretation με τα υπόλοιπα στάδια του LCA.	45
Σχήμα 10. Η προσέγγιση των αρμόδιων φορέων [13].	50
Σχήμα 11. Λειτουργία μηχανής δύο καυσίμων με χρήση φυσικού αερίου.....	61
Σχήμα 12. Γενική διάταξη μηχανολογικής εγκατάστασης	70
Σχήμα 13. Διάγραμμα φόρτισης της μηχανής 6S60MC-C8.2-ΠΠ.....	94
Σχήμα 14. Εισαγωγή γεωμετρικών στοιχείων πλοίου.....	114
Σχήμα 15. Εισαγωγή στοιχείων λειτουργίας κύριας μηχανής	115
Σχήμα 16. Εισαγωγή στοιχείων περιγραφής σεναρίου λειτουργίας	116
Σχήμα 17. Εισαγωγή συντελεστών εκπομπής αέριων ρύπων για την λειτουργία της κύριας μηχανής	117
Σχήμα 18. Υπολογισμοί αέριων εκπομπών κατά την κατασκευή της κύριας μηχανής	119
Σχήμα 19. Υπολογισμοί αέριων εκπομπών κατά την διάρκεια δοκιμών της κύριας μηχανής στο ναυπηγείο	120
Σχήμα 20. Διαδρομές δρομολογίων στην διάρκεια ζωής του πλοίου	124
Σχήμα 21. Διάγραμμα επιλογής ηλεκτροκινητήρων.....	163
Σχήμα 23. Πλάγια όψη της μηχανής 8L50 DF (Wartsila)	170
Σχήμα 24. Πλάγια όψη της μηχανής 6L34 DF (Wartsila)	171
Σχήμα 24. Αποτύπωση της γενικής διάταξης από το πρόγραμμα AVEVA όπου φαίνονται οι ηλεκτρογεννήτριες και όλες οι δεξαμενές.....	172
Σχήμα 25. Γενική διάταξη των υπερκατασκευών	174
Σχήμα 27. Απεικόνιση της γενικής διάταξης της μηχανολογικής εγκατάστασης.....	174
Σχήμα 27. Διάταξη δεξαμενών αποθήκευσης φυσικού αερίου στο κατάστρωμα.....	178

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΩΝ-ΔΙΕΡΜΗΝΕΙΩΝ

Συμβολισμός	Επεξήγηση	Διερμηνεία
LCA	Life Cycle Assessment	Αξιολόγηση κύκλου ζωής
DFE	Design for the Environment	Περιβαλλοντική Σχεδίαση
LCS	Life Cycle Screening	Απεικόνιση κύκλου ζωής
EA	Environmental Auditing	Περιβαλλοντικός Έλεγχος
EPE	Environmental Performance Evaluation	Αξιολόγηση Περιβαλλοντικής Απόδοσης
EMS	Environmental Management System	Περιβαλλοντικό Σύστημα Διαχείρισης
LCI	Life Cycle Inventory	Απογραφή Κύκλου ζωής
HFO	Heavy Fuel Oil	Βαρύ καύσιμο ναυσιπλοίας
MDO	Marine Diesel Oil	Καύσιμο ντήζελ ναυσιπλοίας
MCR	Maximum Continues Rating	Μέγιστη Συνεχόμενης Ισχύ
IMO	International Maritime Organization	Διεθνής Οργανισμός Ναυτιλίας
EEDI	Energy Efficiency Design Index	Δείκτης Σχεδιασμού Ενεργειακής Αποδοτικότητας
CO2	Carbon Dioxide	Διοξείδιο του Άνθρακα
CO	Carbon Oxide	Οξείδιο του Άνθρακα
CH4	Methane	Μεθάνιο
NOX	Nitroxen Oxide	Οξείδιο του Αζώτου
PM	Particulate Matter	Αιωρούμενα Σωματίδια
SO2	Sulphur Dioxide	Διοξείδιο του Θείου

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε στο πλαίσιο των προπτυχιακών σπουδών της σχολής των Ναυπηγών Μηχανολόγων Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου και έχει θέμα: «Αξιολόγηση του κύκλου ζωής της μηχανολογικής εγκατάστασης του πλοίου». Πραγματοποιήθηκε υπό την επίβλεψη του Επίκουρου Καθηγητή Ν. Βεντίκου.

Ο βασικός στόχος της εργασίας αυτής ήταν να γίνει μία αξιολόγηση των εκπεμπόμενων αέριων ρύπων οι οποίοι προέρχονται από την λειτουργία της μηχανολογικής εγκατάστασης του πλοίου σε διάφορες συνθήκες λειτουργίας της μηχανής. Η εργασία χωρίζεται στις παρακάτω κύριες θεματικές ενότητες. Στην πρώτη θεματική ενότητα αναπτύσσεται όλο το θεωρητικό υπόβαθρο σχετικά με την αξιολόγηση του κύκλου ζωής ενός προϊόντος και ειδικότερα της μηχανολογικής εγκατάστασης. Στην δεύτερη θεματική ενότητα γίνεται μία περιγραφή της μηχανολογικής εγκατάστασης η οποία υπάρχει σε ένα πλοίο ενώ στην τρίτη ενότητα γίνεται μία εκτενής περιγραφή του υπολογιστικού εργαλείου το οποίο και δημιουργήθηκε για να είναι δυνατός ο υπολογισμός των εκπεμπόμενων ποσοτήτων αέριων ρύπων που προέρχονται από την λειτουργία της μηχανολογικής εγκατάστασης. Η τέταρτη ενότητα είναι αποτελεί το κύριο κομμάτι υπολογισμών της διπλωματικής εργασίας καθώς εξετάζεται η λειτουργία της μηχανολογικής εγκατάστασης σε 4 διαφορετικά σενάρια λειτουργίας. Τα σενάρια αυτά είναι το σενάριο κανονικής λειτουργίας όπου αποτελεί και το βασικό σενάριο της εργασίας (**Default**), το σενάριο λειτουργίας με μειωμένη ταχύτητα (**Slow Steaming**), το σενάριο ηλεκτρικής σύνδεσης του πλοίου με το λιμάνι (**Cold Ironing**) και τέλος το σενάριο λειτουργίας με περιορισμένη ταχύτητα (**Speed Limit**). Στην επόμενη και τελευταία ενότητα γίνεται μία προσπάθεια να γίνει μία σύγκριση ανάμεσα στην λειτουργία του πλοίου με συμβατικό καύσιμο ναυσιπλοΐας και με φυσικό αέριο και παρουσιάζονται όλα τα συγκριτικά αποτελέσματα.

Βασική επιδίωξη της εργασίας αυτής ήταν η ποσοτική απεικόνιση του κύκλου ζωής της μηχανολογικής εγκατάστασης του πλοίου μέσα από τον υπολογισμό των εκπεμπόμενων ποσοτήτων αέριων ρύπων έτσι ώστε να παρέχεται ένα αξιόπιστο εργαλείο υπολογισμού των αέριων ρύπων στους υπεύθυνους λήπτες των αποφάσεων.

Με αυτή την διπλωματική εργασία κατατίθεται ένα ολοκληρωμένο και καινοτόμο εργαλείο, του οποίου η σχεδίαση παρέχει την δυνατότητα στον έχοντα την ευθύνη της απόφασης να ρυθμίσει αυτός τις παραμέτρους του εργαλείου και να το προσαρμόσει ο ίδιος στις ανάγκες της μελέτης του και να εξάγει τα αντίστοιχα αποτελέσματα.

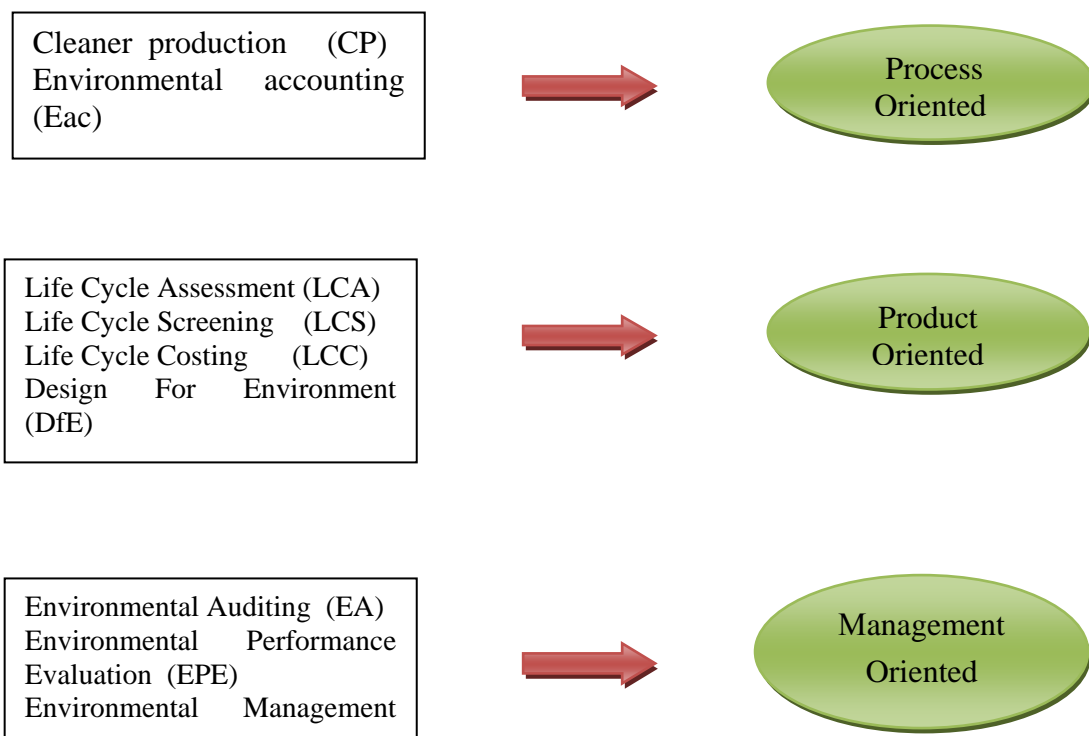
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Λόγω των ολοένα και μεγαλύτερων κλιματικών αλλαγών που παρουσιάζονται στο περιβάλλον λόγω των αέριων ρύπων που εκπέμπονται στην ατμόσφαιρα η ναυτιλία έχει στρέψει το ενδιαφέρον της προς την προσπάθεια μείωσης των εκπεμπόμενων ρύπων που προέρχονται από την λειτουργία των πλοίων σε παγκόσμια κλίμακα. Στην παρούσα διπλωματική εργασία γίνεται προσπάθεια να υπολογιστούν οι ποσότητες αέριων ρύπων οι οποίες εκπέμπονται από την μηχανολογική εγκατάσταση ενός πλοίου κατά την διάρκεια του κύκλου ζωής του. Για αυτό το λόγο αναπτύχθηκε ένα υπολογιστικό εργαλείο έτσι ώστε να είναι δυνατός ο κοντινότερος στην πραγματικότητα υπολογισμός των εκπεμπόμενων ρύπων. Για να υπάρχει μία καλύτερη προσέγγιση των ρεαλιστικών συνθηκών λειτουργίας του πλοίου ο χρήστης του εργαλείου έχει την δυνατότητα να εισάγει μεταβλητές των οποίων η τιμή μπορεί να κυμαίνεται μεταξύ διαφόρων περιοχών ώστε να μπορεί να προσομοιάζει ακριβώς τις συνθήκες λειτουργίας του πλοίου που επιθυμεί να εξετάσει. Για αυτόν τον λόγο εξετάστηκαν μία σειρά από σενάρια που επιτρέπουν μία ποσοτική σύγκριση μεταξύ των διαφόρων συνθηκών λειτουργίας. Επίσης μελετήθηκε και το ενδεχόμενο χρήσης του φυσικού αερίου σαν καύσιμο κίνησης για το πλοίο από το οποίο προκύπτουν πολύ αισιόδοξα αποτελέσματα για την χρήση του ως κύριο καύσιμο της ναυτιλίας στα επόμενα χρόνια.

2. ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΟΥ ΚΥΚΛΟΥ ΖΩΗΣ

2.1 Εργαλεία περιβαλλοντικής ανάλυσης

Για μια εταιρία που παράγει προϊόντα δεν είναι εύκολο να αξιολογήσει την ‘‘περιβαλλοντική αποδοτικότητα’’ του παραγόμενου προϊόντος της. Η περιβαλλοντική εικόνα της εταιρίας αυτής δεν εξαρτάται μόνο από τις επιπτώσεις στο περιβάλλον που προκαλεί η διαδικασία παραγωγής του προϊόντος αλλά εξαρτάται και από όλες τις συνέπειες που προέρχονται από όλη την διάρκεια ζωής του προϊόντος. Για αυτό το λόγο κρίνεται απαραίτητη η θέσπιση κάποιων μεθόδων-μηχανισμών αξιολόγησης με απώτερο σκοπό την μείωση όλων αυτών των συνεπειών για το περιβάλλον. Τέτοιοι μηχανισμοί είναι τα λεγόμενα ‘‘περιβαλλοντικά εργαλεία’’. Η Fet [2] έχει κατηγοριοποιήσει μεθόδους περιβαλλοντικής ανάλυσης όπως φαίνεται στο Σχήμα 1.



Σχήμα 1. Εργαλεία περιβαλλοντικής ανάλυσης

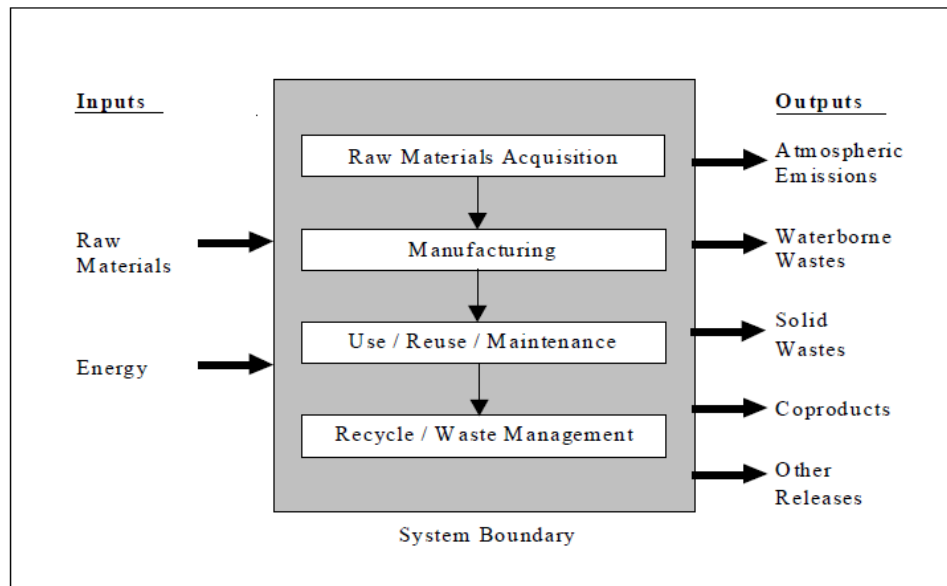
2.1 Life Cycle Assessment (LCA)

Καθώς η περιβαλλοντική επαγρύπνηση αυξάνεται, οι βιομηχανίες και οι εταιρείες προσπαθούν να αξιολογήσουν όλο και περισσότερο το κατά πόσο οι δραστηριότητες τους επιδρούν στην λειτουργία του περιβάλλοντος. Το κοινωνικό σύνολο γίνεται ολοένα και πιο ευαίσθητο σε περιβαλλοντικά ζητήματα που αφορούν τους φυσικούς πόρους και την εκμετάλλευση του φυσικού περιβάλλοντος. Πολλές επιχειρήσεις έχουν ανταποκριθεί σε αυτού του είδους τις περιβαλλοντικές ανησυχίες καταβάλλοντας προσπάθεια να παράγουν ολοένα και πιο φιλικά προς το περιβάλλον προϊόντα μέσα από φιλικότερες προς το περιβάλλον παραγωγικές διαδικασίες. Η περιβαλλοντική

ταυτότητα των προϊόντων και των διαδικασιών αποτελεί το κυρίως θέμα, και το οποίο αποτελεί τον λόγο για τον οποίο οι περισσότερες εταιρίες ερευνούν τρόπους για να ελαχιστοποιήσουν τις επιπτώσεις της παραγωγικής τους διαδικασίας στο περιβάλλον. Πολλές εταιρίες έχουν στραφεί προς αυτή τη κατεύθυνση διότι έχουν κατανοήσει πως είναι πολύ αποδοτικό το να προσπαθείς να βρεθείς μπροστά από τον ανταγωνισμό των εταιριών ερευνώντας και χρησιμοποιώντας στρατηγικές αποφυγής μόλυνσης του περιβάλλοντος ενώ ταυτόχρονα με την διαχείριση περιβαλλοντικών συστημάτων επιτυγχάνεις τη βελτίωση και εξέλιξη της περιβαλλοντικής σου ταυτότητας. Ένα τέτοιο εργαλείο είναι η “Αξιολόγηση του κύκλου ζωής”(LCA).

Η Ανάλυση Κύκλου Ζωής, (Life Cycle Assessment, LCA) είναι ένας συστηματικός τρόπος μελέτης και προσέγγισης όλων των περιβαλλοντικών συνεπειών που απορρέουν από τον κύκλο ζωής του προϊόντος δηλαδή από την εξαγωγή των πρώτων υλών από το φυσικό περιβάλλον και μέσω της παραγωγής, μεταφοράς και χρήσης του προϊόντος αυτού, στην τελική φάση διάσπασης-ανακύκλωσης του προϊόντος [4]. Ο κύκλος ζωής ξεκινάει με την συγκέντρωση των πρώτων υλών από το έδαφος, συνεχίζει με την κατασκευή του προϊόντος και τελειώνει με την επιστροφή των υλικών στο έδαφος από όπου και αρχικά συγκεντρώθηκαν. Το Life Cycle Assessment (LCA) αξιολογεί όλα τα στάδια της ζωής ενός προϊόντος θεωρώντας πως δεν είναι πλήρως ανεξάρτητα, το οποίο σημαίνει πως η μία διαδικασία οδηγεί στην επόμενη. Το Life Cycle Assessment (LCA) ενός προϊόντος χρησιμοποιείται έτσι ώστε να αναγνωρίσει και να αξιολογήσει την κατανάλωση ενέργειας και τις βλαβερές συνέπειες που δημιουργούνται από όλη την διάρκεια ζωής του προϊόντος [3]. Όταν μέσα στην μελέτη αυτή περιλαμβάνονται οι επιδράσεις στο περιβάλλον κατά την διάρκεια όλης της ζωής του πλοίου τότε το Life Cycle Assessment (LCA) μπορεί και παρέχει μία πιο συγκεντρωμένη οπτική της επίδρασης του προϊόντος η της διαδικασίας στο περιβάλλον και τότε δημιουργείται μια πιο ξεκάθαρη εικόνα της αλληλεπίδρασης που υπάρχει μεταξύ του περιβάλλοντος και της επιλογής ενός προϊόντος ή μίας διαδικασίας.

Στο **Σχήμα 2** απεικονίζονται τα πιθανά στάδια που αποτελούν τον κύκλο ζωής τα οποία συναντιούνται μέσα σε μια μελέτη Life Cycle Assessment (LCA) και επίσης φαίνονται και τα τυπικά εισερχόμενα και εξερχόμενα προϊόντα.



Σχήμα 2. Βασικά στάδια κύκλου ζωής

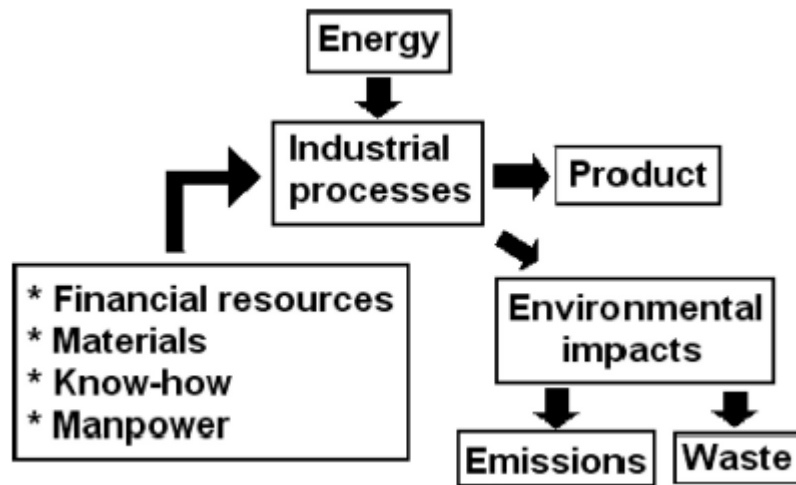
Ειδικότερα το Life Cycle Assessment (LCA) είναι μία τεχνική αξιολόγησης όλων εκείνων των περιβαλλοντικών συνεπειών που προέρχονται από την χρήση ενός προϊόντος ή μίας διαδικασίας μέσω της συγκέντρωσης των απαραίτητων πόρων και ενέργειας, της παραγωγής προϊόντων και της αξιολόγησης των αποβλήτων που προκύπτουν. Αξιολογεί όλες εκείνες τις περιβαλλοντικές συνέπειες που συνδέονται με την αξιοποίηση των πρώτων υλών και έτσι παρέχεται μία εικόνα στον λήπτη αποφάσεων του ποια είναι τα τελικά προϊόντα που παράγονται και από ποιες πρώτες ύλες έχουν προέλθει.

2.2 Βήματα εφαρμογής της μεθόδου Life Cycle Assessment (LCA)

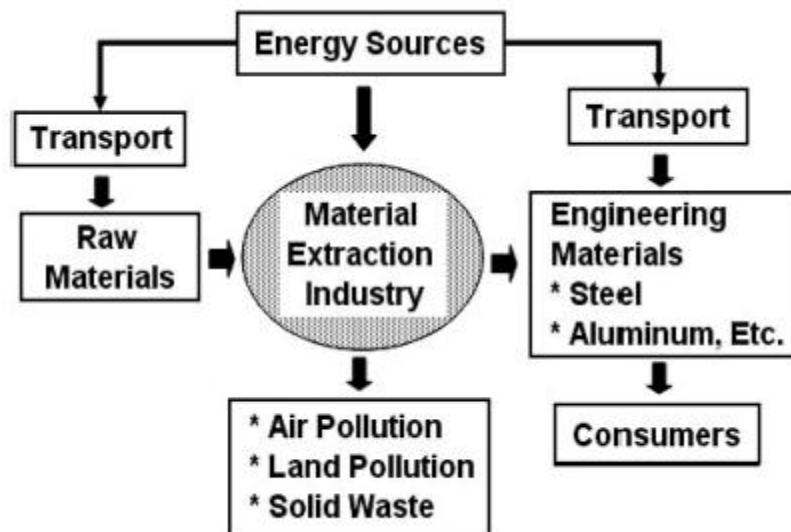
Η ανάλυση του κύκλου ζωής ενός προϊόντος εξετάζει τις περιβαλλοντικές συνέπειες που προέρχονται από την χρήση του προϊόντος λαμβάνοντας υπόψη του τις κύριες φάσεις που διέπουν την διάρκεια ζωής του προϊόντος αυτού και οι οποίες είναι:

- Εξαγωγή πρώτων υλών και το οποίο περιλαμβάνει την εξαγωγή της πρώτης ύλης (πχ από το υπέδαφος) και την μεταφορά της στις βιομηχανικές μονάδες. Αυτή η φάση περιλαμβάνει και την αρχική κατεργασία της πρώτης ύλης.
- Διαδικασία παραγωγής η οποία περιλαμβάνει την κατασκευή και συναρμολόγηση του τελικού προϊόντος, αποθήκευση και μεταφορά στον τελικό προορισμό.
- Διάρκεια ζωής προϊόντος όπου αποτελείται από την ενέργεια και τις εκπομπές βλαβερών ουσιών κατά την διάρκεια χρήσης του προϊόντος όπως επίσης και από την συντήρηση του προϊόντος καθώς και από την ενδεχόμενη επαναχρησιμοποίηση του προϊόντος σαν ανακυκλώσιμο.
- Διαχείριση αποβλήτων/θάνατος προϊόντος. Η φάση αυτή αποτελεί τον τερματικό σταθμό της ζωής του προϊόντος περιλαμβάνοντας την ανακύκλωση, τα υγρά απόβλητα, τις αέριες εκπομπές κ.α.

Στα παρακάτω σχήματα **Σχήμα 3**, **Σχήμα 4** απεικονίζονται οι κύριες φάσεις ζωής του προϊόντος όπως αναφέρονται παραπάνω



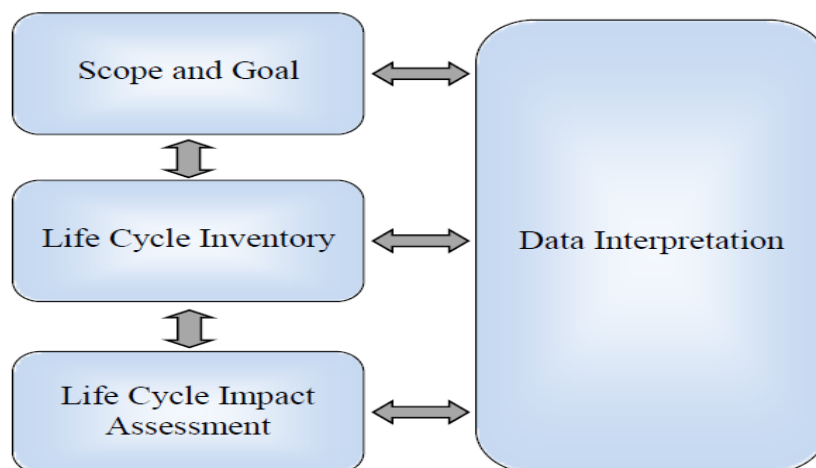
Σχήμα 3. Δεδομένα και αποτελέσματα μίας παραγωγικής διαδικασίας. [5]



Σχήμα 4. Ενέργεια και περιβάλλον του προπαρασκευαστικού σταδίου [5]

Η τεχνική του LCA μπορεί να διαχωριστεί σε τέσσερις (4) κυρίως φάσεις όπου η κάθε μία μπορεί να αντιπροσωπεύει μία ή και παραπάνω φάσεις της διάρκειας ζωής του προϊόντος. Ο διαχωρισμός αυτός γίνεται σύμφωνα με τα διεθνή πρότυπα **ISO 14040** [6] και **ISO 14044** [7]. Συνήθως αυτές οι φάσεις είναι αλληλοεξαρτώμενες μεταξύ τους και έτσι τα αποτελέσματα της μίας φάσης είναι δυνατόν να παρέχουν πληροφορίες σχετικά με το πότε έχουν ολοκληρωθεί οι υπόλοιπες. Αυτές είναι :

1. **Σκοπός και Στόχος**-Καθορίζει και περιγράφει το προϊόν ,διαδικασία-δραστηριότητα. Θέτει το περιεχόμενο γύρω από το οποίο θα κινηθεί η μελέτη. Προδιαγράφει τα όρια της μελέτης και προσεγγίζει τις συνέπειες εκείνες οι οποίες και θα μελετηθούν.
2. **Ανάλυση Κύκλου Ζωής(LCI)**-Αναγνωρίζει και ποσοτικοποιεί την ενέργεια, το νερό, τα υλικά εκείνα που θα χρησιμοποιηθούν καθώς και αυτά που θα απελευθερωθούν στο περιβάλλον (αέριοι ρύποι, στερεά απόβλητα).
3. **Ανάλυση Επιπτώσεων Κύκλου Ζωής(LCIA)**-Αξιολογεί όλες τις ανθρώπινες και όλες τις περιβαλλοντικές συνέπειες που προέρχονται από την χρήση της ενέργειας, νερού και υλικών και όλων εκείνων των αποβλήτων που παράχθηκαν και έχουν προσεγγιστεί από το LCI.
4. **Ερμηνεία του Κύκλου Ζωής**-Υπολογίζει τα αποτελέσματα της ανάλυσης και της αξιολόγησης συνεπειών έτσι ώστε να επιλεγθεί το προτεινόμενο προϊόν, διαδικασία ή υπηρεσία έχοντας γίνει πλήρως κατανοητές όλες οι διασυνδέσεις μεταξύ όλων των παραπάνω φάσεων.



Σχήμα 5. Σχηματική αναπαράσταση των 4 φάσεων του LCA. [8].

Όταν πρέπει να γίνει επιλογή μεταξύ δύο εναλλακτικών τότε το Life Cycle Assessment (LCA) είναι εκείνο το οποίο μπορεί να βοηθήσει τους λήπτες της απόφασης καθώς συνδυάζει όλες τις περιβαλλοντικές συνέπειες που προέρχονται από τα προϊόντα, τις διαδικασίες ή τις υπηρεσίες.

Μια μελέτη Life Cycle Assessment(LCA) μπορεί να βοηθήσει του λήπτες αποφάσεων να επιλέξουν εκείνο το προϊόν το οποίο έχει τις ελάχιστες επιβλαβείς συνέπειες για το περιβάλλον. Όλες αυτές οι πληροφορίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε συνδυασμό και με άλλους παράγοντες όπως είναι το κόστος. Η ανάλυση των πληροφοριών που θα προκύψουν από μία τέτοια μελέτη μπορούν να φανερώσουν την σύνδεση που μπορεί να υπάρχει μεταξύ των διαφορετικών σταδίων ζωής ενός προϊόντος καθώς να φανερωθεί και το πώς μπορεί μία αλλαγή στην παραγωγική διαδικασία να επηρεάσει την επίδραση

που προκύπτει προς το περιβάλλον. Σε περίπτωση που δεν πραγματοποιηθεί μελέτη αξιολόγησης κύκλου ζωής, κάτι τέτοιο δεν θα ήταν δυνατό καθώς δεν θα ήταν εμφανής η σύνδεση των περιβαλλοντικών συνεπειών με τα στάδια ζωής του προϊόντος. Αυτή η ικανότητα να εντοπίζονται και να καταγράφονται οι διασυνδέσεις μεταξύ των διαφόρων σταδίων ζωής ενός προϊόντος με τις περιβαλλοντικές συνέπειες έχει σαν άμεσο αποτέλεσμα να μπορούν οι αναλυτές να δημιουργούν μια περιβαλλοντική ταυτότητα για τα προϊόντα ή της διαδικασίες αυτές.

Με την πραγματοποίηση μιας μελέτης Life Cycle Assessment (LCA) ο αναλυτής μπορεί να:

- Αναπτύσσει ένα συστηματικό υπολογισμό των περιβαλλοντικών συνεπειών που συνδέονται με ένα προϊόν
- Αναλύει τις περιβαλλοντικές συνέπειες που προέρχονται από ένα προϊόν/διαδικασία με απώτερο σκοπό να βοηθήσει τα διάφορα ενδιαφερόμενα μέρη (κοινωνία, επιχειρήσεις) να πάρουν τις σωστές αποφάσεις.
- Ποσοτικοποιεί τις περιβαλλοντικές εκπομπές σε αέρα, νερό και έδαφος σε σχέση πάντα με τα στάδια του κύκλου ζωής του κάθε προϊόντος.
- Αξιολογεί τις ανθρώπινες και περιβαλλοντικές συνέπειες που εκπίπτουν από την χρήση διαφόρων υλικών και πως αυτές επιδρούν στην τοπική κοινότητα, περιοχή και στον κόσμο.
- Αναγνωρίζει τις συνέπειες που έχει η χρήση του ίδιου προϊόντος σε δύο διαφορετικές περιοχές και μπορεί να τις συγκρίνει.

Μία μελέτη Life Cycle Assessment(LCA) μπορεί να είναι πολύ μεγάλη σε έκταση και πολύ χρονοβόρα. Εξαρτάται από τον ερευνητή πόσο εκτενής είναι η μελέτη και συγκέντρωση των πληροφοριών η οποία μπορεί να είναι μια αρκετά δύσκολη διαδικασία Ένα σημαντικό πρόβλημα είναι η μη διαθεσιμότητα πληροφοριών και για αυτό το λόγο πριν ξεκινήσει ο ερευνητής την έρευνα είναι σημαντικό να αξιολογηθεί η διαθεσιμότητα των αναγκαίων πληροφοριών καθώς επίσης να αξιολογηθεί και ο απαραίτητος χρόνος που χρειάζεται για την εκπόνηση της μελέτης αυτής όπως επίσης και τα αναγκαία οικονομικά κεφάλαια. Όλα αυτά θα πρέπει να συνυπολογιστούν πάντα σε σχέση με τα οφέλη τα οποία θα προκύψουν από την μελέτη του Life Cycle Assessment(LCA). Μία τέτοια μελέτη δεν πρόκειται να εξάγει σαν αποτέλεσμα το ποιο από όλα τα προϊόντα είναι πιο αποδοτικό και καλύτερο προς χρήση αλλά θα παράγει ένα σύνολο πληροφοριών που η αξιολόγηση τους θα οδηγήσει τους λήπτες αποφάσεων στο να επιλέξουν το καταλληλότερο προϊόν-διαδικασία για την δουλειά που έχει επιλεχθεί.

2.3 Προσδιορισμός του Στόχου και του Σκοπού της μελέτης

Η εφαρμογή του LCA ξεκινάει με την κατηγορηματική δήλωση του στόχου και του πεδίου ορισμού της μελέτης, το οποίο καθορίζει το περιεχόμενο της μελέτης και εξηγεί πώς και σε ποιόν θα κοινοποιηθούν τα αποτελέσματα αυτά. Αυτό είναι ένα στάδιο κλειδί και τα διεθνή πρότυπα ISO είναι αυτά τα οποία απαιτούν να προσδιορίζεται επαρκώς ο στόχος και το πεδίο ορισμού της μελέτης και να είναι πλήρως ορισμένα και συνεπή απέναντι στην όλη εφαρμογή. Σε αυτή τη φάση τα παρακάτω πεδία πρέπει να είναι πλήρως καθορισμένα: το είδος των πληροφοριών που απαιτούνται για να προσθέσουν την απαιτούμενη αξία στη διαδικασία απόφασης, πόσο ακριβή πρέπει να είναι τα αποτελέσματα για να συμβάλλουν στην λήψη μιας απόφασης και πώς τα αποτελέσματα πρέπει να ερμηνευθούν και να αξιολογηθούν με απώτερο σκοπό να είναι χρήσιμα προς αξιοποίηση.

Η διαδικασία του Life Cycle Assessment(LCA) μπορεί να χρησιμοποιηθεί με στόχο να καθοριστούν οι περιβαλλοντικές συνέπειες από κάθε προϊόν, διαδικασία, υπηρεσία. Ο καθορισμός του στόχου και του σκοπού του Life Cycle Assessment (LCA) μπορεί να προσδιορίσει τον απαιτούμενο χρόνο και τις πηγές που χρειάζονται για την εκπόνηση της μελέτης αυτής. Με αυτόν τον τρόπο θα διασφαλιστεί ότι ολόκληρη η διαδικασία θα παράγει αποτελέσματα ορθά και των οποίων η αξιοποίηση θα δημιουργήσει κέρδος. Κάθε απόφαση που παίρνεται κατά την διάρκεια αυτής της φάσης επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό είτε τον τρόπο διεξαγωγής της έρευνας είτε τα αποτελέσματα που θα προκύψουν από αυτήν. Η επόμενη παράγραφος αναφέρεται στις αποφάσεις που πρέπει να ληφθούν στην αρχή μίας μελέτης Life Cycle Assessment (LCA) και πώς αυτές επηρεάζουν την υπόλοιπη διαδικασία.

Οι παρακάτω έξι αποφάσεις είναι εκείνες οι οποίες απαραίτητα πρέπει να ληφθούν στην αρχή μίας μελέτης Life Cycle Assessment (LCA) έτσι ώστε να γίνει αποτελεσματική αξιοποίηση του χρόνου και των πηγών που υπάρχουν. Προσδιορισμός του στόχου της μελέτης

1. Προσδιορισμός του είδους των πληροφοριών που χρειάζεται ο λήπτης των αποφάσεων
2. Προσδιορισμός της απαιτούμενης ακρίβειας
3. Προσδιορισμός του τρόπου με τον οποίο πρέπει να οργανώνονται οι πληροφορίες και να παρουσιάζονται τα αποτελέσματα
4. Προσδιορισμός του σκοπού της μελέτης
5. Προσδιορισμός ενός πλαισίου κανόνων που πλαισιώνουν την παραγωγική διαδικασία

2.3.1 Προσδιορισμός του Στόχου της Μελέτης

Το Life Cycle Assessment(LCA) είναι ένα επακριβές εργαλείο για να ποσοτικοποιήσεις τις περιβαλλοντικές συνέπειες που προκύπτουν από το ένα προϊόν, διαδικασία ή υπηρεσία. Ο πρωταρχικός στόχος είναι η επιλογή του καταλληλότερου προϊόντος, διαδικασίας-υπηρεσίας με τις λιγότερες συνέπειες στην ανθρώπινη υγεία και στο περιβάλλον. Η διεξαγωγή μιας τέτοιας έρευνας μπορεί να οδηγήσει στην μελλοντική ανάπτυξη καινούργιων προϊόντων τα οποία θα είναι φιλικότερα προς το περιβάλλον και η κατασκευή τους θα απαιτεί μικρότερες ποσότητες πρώτων υλών. Είναι λογικό πάντα να υπάρχουν και δευτερεύοντες στόχοι σε κάθε μία τέτοια μελέτη και οι οποίοι ποικίλουν ανάλογα με το αντικείμενο της μελέτης.

2.3.2 Προσδιορισμός του Είδους των Πληροφοριών που χρειάζεται ο λήπτης των αποφάσεων

Το Life Cycle Assessment(LCA) μπορεί να δώσει απάντηση σε ένα μεγάλο αριθμό από σημαντικές ερωτήσεις. Η αναγνώριση των ερωτήσεων οι οποίες απασχολούν τους λήπτες αποφάσεων είναι ένα πολύ σημαντικό βήμα και θα οδηγήσει στον προσδιορισμό των παραμέτρων που πρέπει να μελετηθούν. Κάποια παραδείγματα είναι:

- Ποια είναι η επιρροή και η επίδραση σε όλα τα ενδιαφερόμενα μέλη
- Ποιο είναι το προϊόν με την ελάχιστη επιβάρυνση για το περιβάλλον (ποσοτικά) τόσο σε κάθε στάδιο ξεχωριστά αλλά και σε όλα τα στάδια της ζωής του προϊόντος
- Πως μερικές ενδεχόμενες αλλαγές στο συγκεκριμένο προϊόν-διαδικασία θα επηρεάσουν τις περιβαλλοντικές συνέπειες καθόλη την διάρκεια ζωής του προϊόντος σε όλα τα στάδια του.
- Ποια τεχνολογία ή διαδικασία προξενεί τις λιγότερες παραγόμενες ποσότητες από όξινη βροχή και ζημιές στην τοπική πανίδα.
- Πως μπορεί να αλλάξει η συγκεκριμένη διαδικασία έτσι ώστε να μειώνονται συγκεκριμένες κατηγορίες περιβαλλοντικών συνεπειών που μας ενδιαφέρουν

Μόλις επιτευχθεί η αναγνώριση των κατάλληλων ερωτήσεων, είναι σημαντικό να προσδιοριστούν και τα είδη των πληροφοριών που απαιτούνται για να απαντηθούν αυτές οι ερωτήσεις.

2.3.3 Προσδιορισμός Απαιτούμενης Ακρίβειας

Σε κάθε μελέτη πρέπει να καθορίζεται πλήρως το επίπεδο ακρίβειας το οποίο απαιτείται. Σε κάποιες περιπτώσεις το όριο αυτό είναι προφανές από την εφαρμογή ή από την προηγούμενη χρήση των πληροφοριών. Σε άλλες περιπτώσεις όπου υπάρχουν διάφορες επιλογές καλύτερο είναι να αρχειοθετηθούν από τις πιο γενικές προσεγγίσεις στις πιο συγκεκριμένες που περιλαμβάνουν κάθε λεπτομέρεια. Υπάρχουν κάποιου

είδους ερωτήσεις οι οποίες καθορίζουν επακριβώς πότε οι πληροφορίες που συλλέγονται αναφέρονται σε μια επακριβή εταιρία ή παραγωγική μονάδα και πότε θα έπρεπε να είναι πιο γενικές και να αντιπροσωπεύουν μια γενικότερη βιομηχανική τακτική.

Η κατάλληλη απάντηση σε αυτές τις ερωτήσεις συνήθως διαφέρει σύμφωνα με το αν η μελέτη προορίζεται για αξιοποίηση εντός της εταιρίας ή πραγματοποιείται για το κοινό συμφέρον. Η διαθεσιμότητα πληροφοριών για το προϊόν ή την διαδικασία επίσης παίζει πολύ σημαντικό ρόλο. Μία εταιρία μπορεί να ενδιαφέρεται να αξιολογήσει την δικιά της λειτουργία και όχι τόσο του να αναλύσει την γενικότερη λειτουργία της βιομηχανίας στην οποία ανήκει και λειτουργεί. Το Life Cycle Assessment(LCA) μπορεί να λειτουργήσει και με ένα μείγμα πληροφοριών οι μισές από τις οποίες να είναι πολύ συγκεκριμένες ενώ οι άλλες μισές να είναι πιο γενικές.

Οι πληροφορίες οι οποίες συλλέγονται θα μπορούσαν να είναι εστιασμένες στην ιδιαιτερότητα του προϊόντος ή θα μπορούσαν να είναι και πιο γενικές και να αναφέρονται γενικά στο στάδιο της κατασκευής. Στην περίπτωση που οι ιδιαιτερότητες του προϊόντος προσεγγιστούν με αυτόν τον τρόπο εμφανίζονται τα εξής τρία πλεονεκτήματα: οι συγκεντρωμένες πληροφορίες αντανakλούν την εικόνα της όλης παραγωγικής διαδικασίας, η κατανάλωση ενέργειας και πηγών που συνδέονται με αυτό το στάδιο μπορούν να συγκριθούν με αυτές που έχουν παρόμοιες ιδιαιτερότητες. Ένας ανασταλτικός-περιοριστικός παράγοντας που προκύπτει είναι το κόστος και ο απαιτούμενος χρόνος για να συγκεντρωθούν όλες οι πληροφορίες σχετικά με τις ιδιαιτερότητες αυτές καθώς επίσης απαιτείται και ένα αρκετά υψηλό επίπεδο συνεργασίας με τις λοιπές επιχειρήσεις. Η ύπαρξη μακροχρόνιων εμπιστευτικών συνεργασιών μεταξύ των εταιριών μπορεί να προωθεί διάφορες οριοθετήσεις οι οποίες μπορεί να μην είναι αποδεκτές.

Η εναλλακτική περίπτωση είναι όταν κρίνεται απαραίτητο η λήψη κάποιας απόφασης να γίνει με βάση τις γενικές πληροφορίες που έχουν προκύψει από ολόκληρη την βιομηχανία και το οποίο περιέχει πλεονεκτήματα και περιορισμούς. Η χρησιμοποίηση γενικότερων πληροφοριών μπορεί να έχει σαν πλεονέκτημα την γνώση του τι προϊόν παράγουν οι υπόλοιποι ανταγωνιστές και έτσι θα μπορέσει να κατευθυνθεί η εξέλιξη των προϊόντων της εταιρίας σε νέα όρια πέρα από τα σπάντα βιομηχανικά όρια και να μελετήσει την ανάπτυξη προϊόντων που οι ανταγωνίστριες εταιρείες δεν έχουν ακόμα μελετήσει. Στην περίπτωση που η ποιότητα των πληροφοριών αυτών μπορεί να αξιολογηθεί και είναι αποδεκτή τότε ίσως να είναι και προτιμότερο το να γίνει χρήση αυτών των γενικών πληροφοριών. Το μειονέκτημα το οποίο και υπάρχει είναι ότι τα δεδομένα που προκύπτουν από αυτού του είδους τις πληροφορίες ίσως να μην είναι τόσο συγκρίσιμα με τα δεδομένα που προκύπτουν από τις πληροφορίες που περιλαμβάνουν όλες τις πιθανές ιδιαιτερότητες και έτσι η σύγκριση τους να μην είναι επιτυχής. Η θέσπιση κάποιων ορίων είναι πολύ σημαντική σε περιπτώσεις όπου υπάρχει

μίξη πληροφοριών που περιλαμβάνουν ιδιαιτερότητες με κάποιες άλλες πιο γενικές πληροφορίες όταν και τα δύο είδη αναφέρονται στο ίδιο στάδιο του κύκλου ζωής του προϊόντος. Για παράδειγμα το να προσπαθήσουμε να κάνουμε σύγκριση ενός λιπαντικού που έχει βγει από την παραγωγική μονάδα με ένα λιπαντικό που έχει προέλθει από ανακύκλωση κάποιων άλλων παλαιών μεταχειρισμένων λιπαντικών δεν θα είναι και τόσο επιτυχής και ίσως να αποδειχθεί και προβληματική στην περίπτωση που για το ένα προϊόν χρησιμοποιήσουμε συγκεκριμένες πληροφορίες παραγωγής που θα περιλαμβάνουν μέσα διάφορες ιδιαιτερότητες ενώ για το άλλο χρησιμοποιήσουμε γενικότερες πληροφορίες.

Γενικά προτείνεται το επίπεδο ιδιαιτερότητας που έχουν οι πληροφορίες να είναι από την πρώτη στιγμή ξεκάθαρο έτσι ώστε να είναι πιο εύκολο για τον αναγνώστη να κατανοήσει τις όποιες διαφορές στα τελικά αποτελέσματα. Πριν ξεκινήσει η συγκέντρωση των πληροφοριών και περιοδικά κατά την διάρκεια της μελέτης θα πρέπει ο αναλυτής να επανελέγχει τις αποφάσεις σχετικά με τις ιδιαιτερότητες και να ελέγχει κατά πόσο οι αποφάσεις που έχουν ληφθεί στο κάθε στάδιο παραμένουν έγκυρες και σύμφωνες με τον προγραμματισμό χρήσης που έχει γίνει.

2.3.4 Προσδιορισμός του Τρόπου Οργάνωσης και παρουσίασης Αποτελεσμάτων

Ο μελετητής της μεθόδου Life Cycle Assessment(LCA) προσδιορίζει τον τρόπο με τον οποίο θα πρέπει να οργανώνονται οι πληροφορίες και επιλέγει την βασική μονάδα μέτρησης. Η προσεκτική επιλογή της μονάδας μέτρησης μπορεί να αναδείξει τα αποτελέσματα της μελέτης Life Cycle Assessment(LCA), και να βελτιώσει την ακρίβεια και την χρησιμότητα των εξαγόμενων αποτελεσμάτων. Όταν μία μελέτη Life Cycle Assessment(LCA) χρησιμοποιείται για την σύγκριση δύο ή περισσότερων προϊόντων η βάση της σύγκρισης θα πρέπει να είναι κοινή και για τα δύο προϊόντα. Για παράδειγμα κάθε παραγωγικό σύστημα θα πρέπει να καθορίζεται έτσι ώστε η ποσότητα του υλικού ή της υπηρεσίας που θα φτάνει στον καταναλωτή θα πρέπει να είναι ίση και στα δύο προϊόντα και πλήρως καθορισμένη από την αρχή.

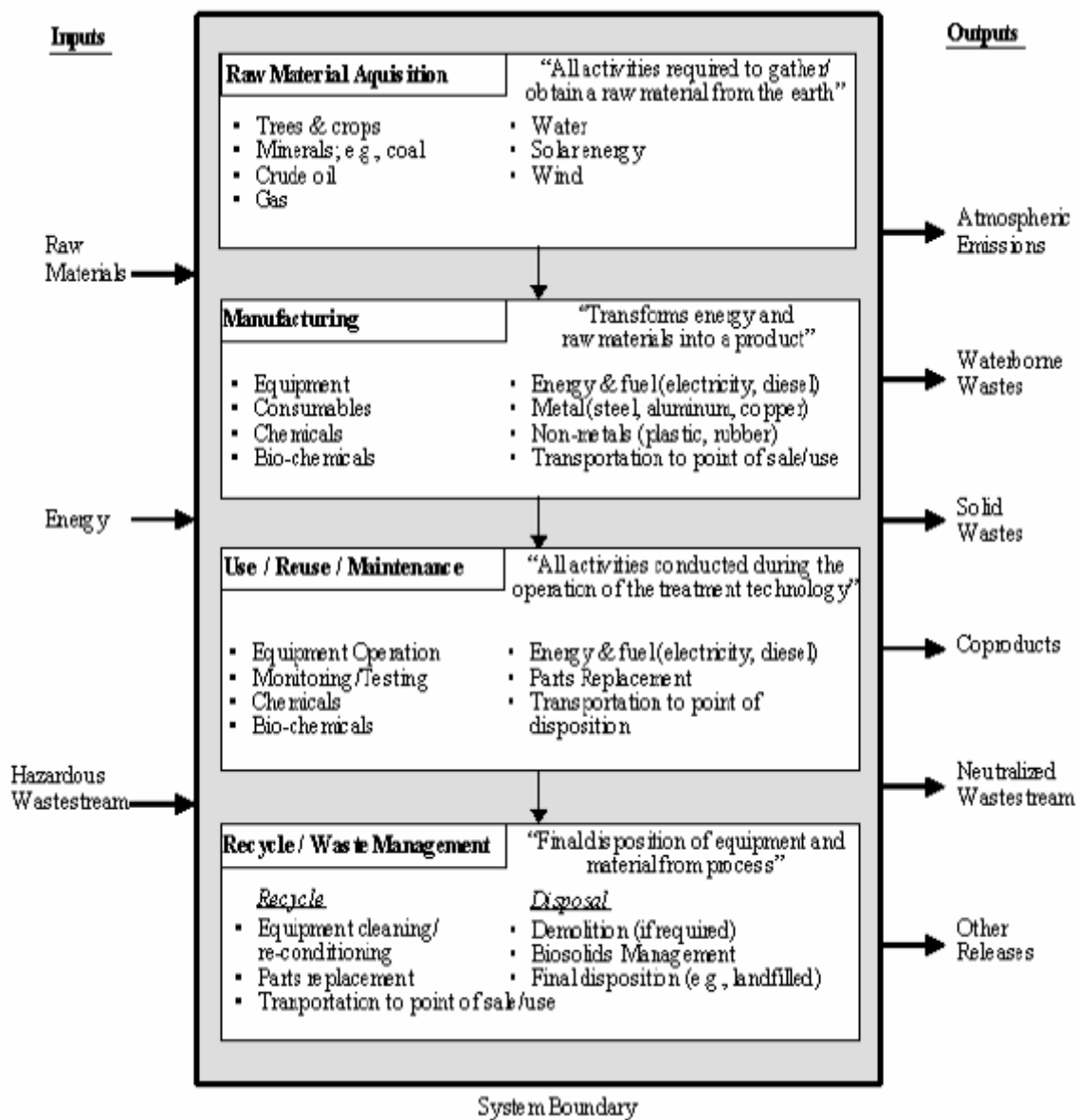
Μία ισοδύναμη χρήση δύο διαφορετικών-ανταγωνιστικών μελετών πολύ συχνά μπορεί να βασίζεται στην ποσότητα ή στο βάρος ειδικά όταν για παράδειγμα συγκρίνεται η συσκευασία για αποστολή ενός συγκεκριμένου προϊόντος. Για παράδειγμα μία μελέτη που αναφέρεται στην μεταφορά με εμπορευματοκιβώτια 1000 λίτρων λιπαντικών για την μηχανή του πλοίου, θα θεωρήσει την ποσότητα των 1000 λίτρων σαν μία ισοδύναμη βάση σύγκρισης και αυτό διότι το προϊόν αυτό πρέπει να μεταφερθεί στον καταναλωτή σε μία ποικιλία διαφορετικών δοχείων και χωρητικότητων και τα οποία θα έχουν διαφορετικά χαρακτηριστικά στον κύκλο ζωής τους.

2.3.5 Προσδιορισμός του σκοπού της μελέτης

Μια μελέτη Life Cycle Assessment(LCA) συνήθως περιλαμβάνει τα επόμενα 4 στάδια της ζωής ενός προϊόντος: την εξαγωγή των πρώτων υλών από το έδαφος και την χρησιμοποίησή τους, την κατασκευή του προϊόντος, την περίοδο χρήσης και τέλος την φάση κατά την οποία το προϊόν φτάνοντας στο τέλος της ζωής του αποσυναρμολογείται και επιστρέφει υπό κάποια μορφή στο περιβάλλον. Για να καθοριστεί πότε ένα από αυτά τα στάδια πρέπει να περιλαμβάνονται μέσα στον καθορισμό του σκοπού του Life Cycle Assessment(LCA) πρέπει να αξιολογηθούν τα παρακάτω: ο στόχος της μελέτης, η απαιτούμενη ακρίβεια των αποτελεσμάτων και οι διαθέσιμες πηγές και χρόνος προς εκμετάλλευση. Στην παρακάτω εικόνα φαίνεται ένα διάγραμμα όλων των σταδίων του κύκλου ζωής ενός προϊόντος.

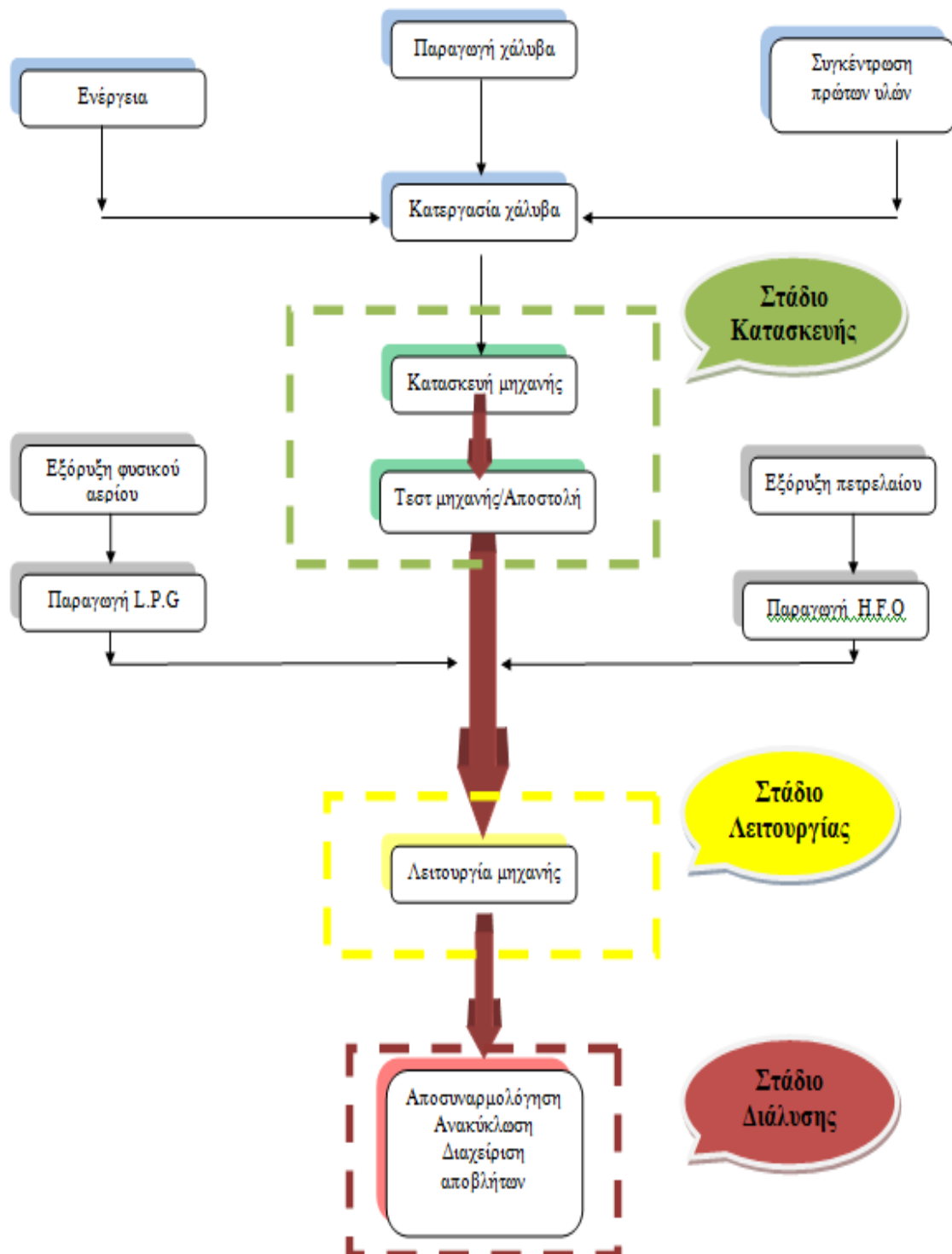
- **Συγκέντρωση πόρων:** Ο κύκλος ζωής ενός προϊόντος ξεκινάει με την περισυλλογή των φυσικών πόρων από το έδαφος που λειτουργούν σαν πρώτες ύλες. Για παράδειγμα η υλοτόμηση των δέντρων, η εξόρυξη διαφόρων μετάλλων από το υπέδαφος όπου εκεί βρίσκονται ακατέργαστα μπορούν να θεωρηθούν σαν διεργασίες συγκέντρωσης πόρων. Η μεταφορά αυτών των φυσικών πόρων από το σημείο εξαγωγής μέχρι και το σημείο επεξεργασίας τους είναι μια διαδικασία που εμπεριέχεται σε αυτό το στάδιο.
- **Κατασκευή:** Κατά την διάρκεια του κατασκευαστικού σταδίου οι πρώτες ύλες μετατρέπονται σε κάποιο προϊόν μέσω μίας παραγωγικής διαδικασίας. Μετά από αυτό το τελικό προϊόν που παράχθηκε μεταφέρεται στον τελικό καταναλωτή. Το στάδιο της κατασκευής αποτελείται από τρία στάδια: κατασκευή υλικών, κατασκευή προϊόντος και συσκευασία προϊόντος.
 - a) **Κατασκευή υλικών:** Το στάδιο της κατασκευής των υλικών περιλαμβάνει όλες εκείνες τις δραστηριότητες που έχουν ως στόχο την μετατροπή των πρώτων υλών σε υλικά τα οποία θα είναι εκείνα από τα οποία θα παραχθεί το τελικό προϊόν.
 - b) **Κατασκευή προϊόντων:** Το στάδιο της κατασκευής των προϊόντων περιλαμβάνει τις δραστηριότητες εκείνες που τα κατασκευασμένα-επεξεργασμένα υλικά μετατρέπονται σε προϊόν είναι έτοιμο προς συσκευασία και αποστολή.
 - c) **Συσκευασία προϊόντος:** Το στάδιο αυτό τελειοποιεί το προϊόν και το ετοιμάζει για την αποστολή του. Περιλαμβάνει όλες εκείνες τις διαδικασίες που είναι απαραίτητες για την τελειοποίηση, διαχωρισμό και συσκευασία. Τα προϊόντα μεταφέρονται είτε σε διάφορες αποθήκες είτε κατευθείαν στον καταναλωτή. Αυτό το στάδιο έχει μεγάλη σημασία για τις περιβαλλοντικές συνέπειες καθώς περιλαμβάνει τα στάδια της χερσαίας ή θαλάσσιας μεταφοράς .

- **Χρήση/επαναχρησιμοποίηση/Συντήρηση:** Σε αυτό το στάδιο περιλαμβάνεται η τελική χρήση από τον καταναλωτή, η επαναχρησιμοποίηση του προϊόντος και η συντήρηση του. Το στάδιο αυτό περιλαμβάνει όλη την ενέργεια εκείνη που απαιτείται για την χρήση του προϊόντος όπως επίσης και τα απόβλητα που παράγονται από την χρήση του προϊόντος. Το προϊόν ίσως να χρειάζεται να επιθεωρηθεί και να επισκευαστεί έτσι ώστε να παραμείνει η απόδοση του στο επιθυμητό επίπεδο.
- **Ανακύκλωση/διαχείριση αποβλήτων:** Το στάδιο της ανακύκλωσης/διαχείρισης των αποβλήτων περιλαμβάνει τα ποσά ενέργειας που απαιτούνται για την διάσπαση του τελικού προϊόντος και την ανακύκλωση του.



Σχήμα 6. Στάδια του κύκλου ζωής ενός προϊόντος

Κάθε βήμα στον κύκλο ζωής ενός προϊόντος μπορεί να καταταχθεί μέσα σε παραπάνω από ένα στάδια ζωής του προϊόντος όπως φαίνονται στο σχήμα. Κάθε βήμα ή διαδικασία μπορεί να θεωρηθεί σαν ένα υποσύστημα του όλου παραγωγικού συστήματος. Ο προσδιορισμός των ορίων που διέπουν την λειτουργία του κυρίου συστήματος δεν είναι αρκετός καθώς πρέπει να καθοριστούν και τα όρια λειτουργίας του κάθε υποσυστήματος ξεχωριστά. Τα συστήματα παραγωγής είναι πολύ πιο εύκολο να προσδιοριστούν εφόσον όλες οι διαδικασίες που έχουν να κάνουν με την παραγωγή του προϊόντος διαχωριστούν σε κύριες και δευτερεύουσες διαδικασίες. Οι κύριες διαδικασίες είναι εκείνες οι οποίες απευθύνονται άμεσα σε κατασκευή, χρήση και αποσυναρμολόγηση. Οι δευτερεύουσες διαδικασίες είναι εκείνες οι οποίες εμπεριέχονται κατά κάποιο τρόπο μέσα στις κύριες και αναφέρονται στην κατασκευή κάποιων δευτερευόντων στοιχείων του προϊόντος. Κατά τη θέσπιση των ορίων του συστήματος ο αναλυτής θα πρέπει να οριοθετήσει πλήρως το ποιες διαδικασίες θα είναι κύριες και ποιες δευτερεύουσες και δεν θα πρέπει να υφίστανται λόγοι αμφισβήτησης αυτών. Στο **Σχήμα 7** απεικονίζεται ένα παράδειγμα όπου θέτονται τα όρια του συστήματος για μια βασική ανάλυση προϊόντος για ένα υποθετικό σύστημα κατασκευής μίας μηχανής για ένα πλοίο. Ο χάλυβας είναι το κύριο υλικό για την κατασκευή της μηχανής. Η τελική αποσυναρμολόγηση της μηχανής μετά την περίοδο χρήσης της είναι το τελευταίο στάδιο του κύκλου ζωής της μηχανής. Επιμέρους εισαγωγές δεδομένων θα μπορούσαν να είναι για παράδειγμα το καύσιμο που χρησιμοποιείται για την λειτουργία της μηχανής, όπως επίσης και τα επίπεδα ενέργειας που απαιτούνται για την λειτουργία ολόκληρου του μηχανικού συνόλου.



Σχήμα 7. Διάγραμμα ροής κύκλου ζωής μίας μηχανής πλοίου

Στο παραπάνω διάγραμμα μπορούμε να παρατηρήσουμε όλα τα στάδια του κύκλου ζωής ενός προϊόντος που στην περίπτωση μας είναι μία μηχανή που χρησιμοποιείται για την κίνηση ενός πλοίου. Στα πρώτα στάδια παρατηρούμε πως είναι αυτά της συγκέντρωσης των πρώτων υλών ξεκινώντας από την εξόρυξη του μετάλλου από το υπέδαφος που βρίσκεται σε μη κατεργάσιμη μορφή. Στην συνέχεια γίνονται οι απαραίτητες διαδικασίες κατεργασίας της πρώτης ύλης για την παραγωγή του χάλυβα

και δημιουργούνται τα απαραίτητα υλικά για την κατασκευή της μηχανής. Το επόμενο στάδιο του κύκλου ζωής του προϊόντος είναι η κατασκευή της μηχανής όπου μετά την συγκέντρωση των απαραίτητων υλικών αρχίζει η κατασκευή της μηχανής. Σε αυτό το στάδιο είναι απαραίτητη η κατανάλωση πόρων όπως είναι η ενέργεια. Αφού πραγματοποιηθεί η κατασκευή της μηχανής γίνονται τα απαραίτητα τεστ και ακολουθεί η αποστολή της στον καταναλωτή που στην περίπτωση μας είναι το πλοίο όπου και περιλαμβάνεται και η τοποθέτηση της μηχανής μέσα στο πλοίο για να είναι έτοιμη προς χρήση. Εδώ τελειώνει το στάδιο της κατασκευής και ξεκινάει το στάδιο της χρήσης του προϊόντος όπου η μηχανή του πλοίου βρίσκεται στο πλοίο και λειτουργεί για τα επόμενα περίπου 20-25 χρόνια με τις απαραίτητες επισκευές-επιθεωρήσεις-συντηρήσεις. Το τελευταίο στάδιο του κύκλου ζωής της μηχανής είναι μετά την περίοδο χρήσης της όπου έρχεται η στιγμή απόσυρσης της μηχανής και πρέπει να γίνει αποσυναρμολόγηση της και ανακύκλωση των διαφόρων υλικών. Με αυτόν τον τρόπο επιτυγχάνεται να διαχειριστούν ορθά τα όποια απόβλητα δημιουργούνται από την αποσυναρμολόγηση της μηχανής. Σε αυτό το στάδιο υπάρχει η δυνατότητα ο αναλυτής να κάνει όποιες συγκρίσεις επιθυμεί σε όποιο στάδιο και να θελήσει. Για παράδειγμα ως υποθέσουμε πως ο αναλυτής θέλει να κάνει μία σύγκριση μεταξύ δύο μηχανών εκ των οποίων η μία είναι κατασκευασμένη από χάλυβα και η άλλα είναι φτιαγμένη από έναν εξελιγμένο χυτοσίδηρο υψηλής αντοχής. Επειδή τα δύο υλικά έχουν διαφορετικές πρώτες ύλες η ανάλυση θα πρέπει να ξεκινήσει από τα πρώτα στάδια ζωής του πλοίου. Επειδή τα δύο προϊόντα έχουν τελείως διαφορετικές χημικές φόρμουλες θα πρέπει στην μελέτη να συμπεριληφθούν και τα στάδια της κατασκευής των υλικών που προορίζονται για την κατασκευή της μηχανής και επίσης το στάδιο του ελέγχου και του πακεταρίσματος καθώς τα δύο διαφορετικά προϊόντα που έχουν προκύψει έχουν διαφορετικές ιδιότητες κατά την λειτουργία τους και ίσως και ελαφρώς διαφορετικό μέγεθος και βάρος καθώς με τον χυτοσίδηρο υψηλής αντοχής είναι λογικό να απαιτείται λιγότερο υλικό. Επίσης τα δεδομένα τα οποία θα προκύψουν από την χρήση του προϊόντος σε όλη την διάρκεια ζωής του πρέπει να ελέγχονται πάντα από τον αναλυτή καθώς η διαφορετικότητα στο υλικό κατασκευής των δύο προϊόντων μπορεί να επιφέρει πολύ σημαντικές αλλαγές στην κατανάλωση ενέργειας καθώς και στα απόβλητα τα οποία θα προκύψουν από την λειτουργία της μηχανής. Για αυτό το λόγο ο αναλυτής πρέπει να συγκεντρώνει και να αξιολογεί δεδομένα από όλη την διάρκεια ζωής και των δύο προϊόντων για να μπορέσει να καταλήξει στα σωστά συμπεράσματα.

2.3.6 Προσδιορισμός πλαισίου κανόνων

Πριν προχωρήσουμε στην φάση της ανάλυσης απογραφής είναι σημαντικό να καθορίσουμε μερικές από τις υπολογιστικές διαδικασίες για την μελέτη.

- a) **Καταγραφή παραδοχών:** Κατά την φάση της καταγραφής των τελικών αποτελεσμάτων κρίνεται απαραίτητο να αναφερθούν όλες εκείνες οι υποθέσεις ή οι αποφάσεις που λήφθηκαν κατά την διάρκεια ολόκληρης της μελέτης. Σε

περίπτωση που οι παραδοχές που έγιναν δεν καταγραφθούν υπάρχει ο κίνδυνος τα αποτελέσματα τα οποία και θα προκύψουν να παρερμηνευθούν. Καθώς το Life Cycle Assessment(LCA) εξελίσσεται από φάση σε φάση, κάποιες υποθέσεις-παραδοχές και περιορισμοί είναι απαραίτητο να τίθενται για να ολοκληρωθεί η μελέτη με τις διαθέσιμες πηγές που ήδη υπάρχουν.

- b) **Ποιοτική διασφάλιση διαδικασιών:** Η ποιοτική διασφάλιση των διαδικασιών είναι απαραίτητη έτσι ώστε να επιτευχθεί ο στόχος και ο σκοπός για τον οποίο πραγματοποιήθηκε η μελέτη του Life Cycle Assessment(LCA). Το επίπεδο των διαδικασιών της ποιοτικής διασφάλισης εξαρτάται από τον διαθέσιμο χρόνο που υπάρχει και τις διαθέσιμες πηγές και από τον τρόπο που τα αποτελέσματα θα χρησιμοποιηθούν. Στην περίπτωση που τα αποτελέσματα δημοσιοποιηθούν τότε θα ήταν φρόνιμο να υπάρξει και έλεγχος από κάποιους περαιτέρω ειδικούς σε τέτοιες μελέτες έτσι ώστε τα τελικά αποτελέσματα τους να έχουν την πλήρη υποστήριξη τους. Αντίθετα εάν τα αποτελέσματα προορίζονται για εσωτερική χρήση και αξιολόγηση εντός της εταιρίας τότε ένας εσωτερικός παρατηρητής ο οποίος είναι γνώστης του αντικειμένου του Life Cycle Assessment(LCA) είναι εύκολο να διασφαλίσει την ποιότητα των διαδικασιών. Προτείνεται να υπάρχει μια επίσημη αναφορά από τους αναλυτές στην οποία και θα καταγράφονται οι αξιολογήσεις για όλα τα στάδια ξεχωριστά αλλά και συνολικά και η οποία αναφορά θα εμπεριέχεται στην τελική έκθεση της μελέτης.
- c) **Καταγραφή απαιτήσεων:** Έτσι προσδιορίζεται ο τρόπος με τον οποίο θα πρέπει τα τελικά αποτελέσματα να καταγραφθούν και να δημοσιοποιηθούν και τι ακριβώς πρέπει να εμπεριέχεται από τα αποτελέσματα αυτά μέσα στην τελική αναφορά. Με αυτόν τον τρόπο θα διασφαλιστεί το ότι το τελικό προϊόν είναι συμβατό με τις αρχικές απαιτήσεις. Όταν αναφερθούν τα τελικά αποτελέσματα επιβάλλεται να αναφέρεται και να περιγράφεται η μεθοδολογία η οποία ακολουθήθηκε σε ολόκληρη την μελέτη. Μέσα στην αναφορά επίσης πρέπει να αναφέρονται και τα όρια τα οποία και τέθηκαν μέσα στην μελέτη καθώς επίσης και όλες οι παραδοχές που έγιναν.[8]. Τέλος είναι σημαντικό τα αποτελέσματα να μην υπεραπλοποιούνται προς χάριν της παρουσίασης διότι ίσως τότε να παρακαμφθούν μερικά πολύ σημαντικά δεδομένα.

2.4 Life Cycle Inventory

Το Life Cycle Inventory (LCI) είναι μία διαδικασία ποσοτικοποίησης της ενέργειας, των πρώτων υλών, των ατμοσφαιρικών εκπομπών, των στερεών αποβλήτων και όλων των άλλων εκπομπών στο περιβάλλον κατά την διάρκεια όλης της ζωής του προϊόντος.

Στην φάση του LCI όλες οι σχετικές πληροφορίες συγκεντρώνονται και ομαδοποιούνται. Χωρίς την ύπαρξη του LCI δεν θα ήταν δυνατόν να υπάρχει μία βάση έτσι ώστε να μπορέσουν να αξιολογηθούν οι περιβαλλοντικές συνέπειες. Το επίπεδο

ακρίβειας και λεπτομέρειας των πληροφοριών που συλλέγονται παίζει πολύ σημαντικό ρόλο σε όλη αυτή την διαδικασία. Το LCI μπορεί να χρησιμοποιηθεί με πολλούς διαφορετικούς τρόπους. Μπορεί να ιδρυθεί ένας οργανισμός ο οποίος να συγκρίνει τα προϊόντα και τις υπηρεσίες με βάση παράγοντες οι οποίοι έχουν να κάνουν με την περιβαλλοντική συνέπεια που προκύπτει από την χρήση των υλικών αυτών. Για παράδειγμα μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για πολιτικές αποφάσεις καθώς μπορεί να βοηθήσει την κυβέρνηση να έχει μία αντικειμενική βάση έτσι ώστε να αναπτύξει κανονισμούς οι οποίοι θα είναι σύμφωνα με την κατανάλωση των φυσικών πόρων και βάση των αέριων ρύπων που εκπέμπονται.

2.4.1 Βασικά στάδια του Life Cycle Inventory(LCI)

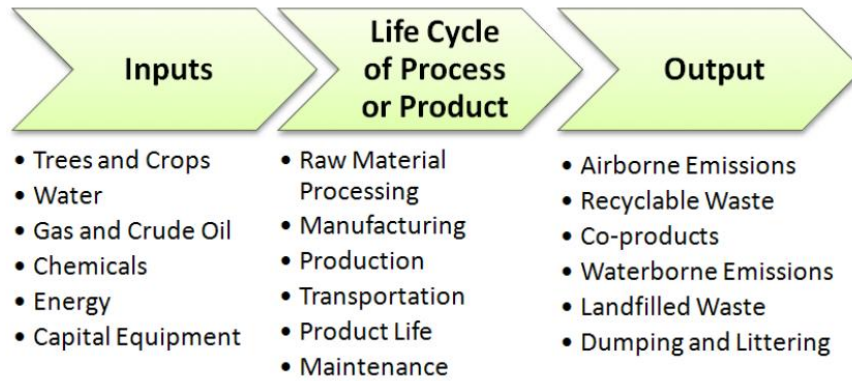
Τα σχετικά άρθρα[10], [11] παρέχουν το γενικότερο πλαίσιο για την πραγματοποίηση μίας τέτοιας ανάλυσης και την αξιολόγηση της ποιότητας των πληροφοριών που έχουν χρησιμοποιηθεί και των αποτελεσμάτων. Από τα δύο αυτά έγγραφα προκύπτουν τα τέσσερα βασικά στάδια μίας Life Cycle Inventory(LCI)

1. Ανάπτυξη ενός διαγράμματος ροής των διαδικασιών που αξιολογούνται
2. Ανάπτυξη ενός σχεδίου συλλογής πληροφοριών
3. Συλλογή πληροφοριών
4. Υπολογισμοί και αναφορά αποτελεσμάτων

Το κάθε ένα στάδιο περιγράφεται αναλυτικότερα παρακάτω.

Στάδιο 1. Ανάπτυξη ενός διαγράμματος ροής των διαδικασιών που αξιολογούνται

Το διάγραμμα ροής είναι ένα εργαλείο το οποίο μας βοηθάει να κατανοήσουμε και να απεικονίσουμε τα δεδομένα εισόδου, τα αποτελέσματα και τις διαδικασίες που πραγματοποιούνται σε ένα σύστημα **Aida Sefic Williams**[9]. Η φάση του προσδιορισμού του στόχου και του σκοπού θέτει κάποια αρχικά όρια τα οποία και τα οποία καθορίζουν τι θα περιλαμβάνεται μέσα στο LCA. Αυτά χρησιμοποιούνται σαν όρια συστήματος για το διάγραμμα ροής. Η σύνδεση μεταξύ των δεδομένων, αποτελεσμάτων και διαδικασιών που υπάρχει μέσα σε ένα διάγραμμα ροής είναι ικανή και αναγκαία για να μας παρέχουν μία πλήρη εικόνα του κύκλου ζωής του προϊόντος και του ποια είναι τα απαραίτητα δεδομένα εισόδου που χρειάζεται το σύστημα. Στο **Σχήμα 8** που φαίνεται παρακάτω αναπαρίσταται το διάγραμμα ροής ενός πολύ γενικού συστήματος το οποίο καθορίζει πλήρως τα όρια του συστήματος.



Σχήμα 8. Γενικό σύστημα διαδικασίας[9]

Είναι κοινώς αποδεκτό πως όσο πιο πολύπλοκο είναι το διάγραμμα ροής τόσο μεγαλύτερη ακρίβεια υπάρχει και μεγαλύτερη χρησιμότητα των αποτελεσμάτων. Δυστυχώς η αυξανόμενη περιπλοκότητα του διαγράμματος ροής έχει σαν αποτέλεσμα να χρειάζεται περισσότερος χρόνος που πρέπει να δαπανηθεί για φτιαχτεί το διάγραμμα ροής σε αυτό το στάδιο. Σε αυτό το μειονέκτημα συμβάλλει και ο ολοένα και μεγαλύτερος αριθμός των πληροφοριών που χρειάζονται να συγκεντρωθούν και να αναλυθούν.

Τα διαγράμματα ροής είναι πολύ χρήσιμα διότι μπορούν και παρουσιάζουν και όλα τα εναλλακτικά συστήματα τα οποία μπορεί να υπάρχουν. Στην περίπτωση που χρειάζεται να γίνει κάποια συγκριτική μελέτη είναι απαραίτητο και τα δύο συστήματα που συγκρίνονται, τόσο το βασικό όσο και το εναλλακτικό να έχουν τα ίδια όρια και να αναφέρονται στο ίδιο επίπεδο λεπτομερειών [12]. Εάν δεν συμβαίνει αυτό η ακρίβεια των αποτελεσμάτων μπορεί να διαστρεβλωθεί.

Για γίνει σωστά η συγκέντρωση των απαραίτητων πληροφοριών κρίνεται απαραίτητο το σύστημα να θεωρηθεί σαν ένα σύνολο υποσυστημάτων. Ένα υποσύστημα ορίζεται σαν ένα ανεξάρτητο κομμάτι του συνολικού συστήματος παραγωγής που μελετάται. Κάποια μικρότερα στάδια μέσα σε ένα σύστημα ίσως χρειάζεται να ομαδοποιηθούν σε ένα υποσύστημα εξαιτίας της έλλειψης συγκεκριμένων πληροφοριών για τα ανεξάρτητα στάδια. Κάθε υποσύστημα χρειάζεται την εισαγωγή δεδομένων για την ενέργεια και τα υλικά τα οποία καταναλίσκονται σε αυτό και μπορεί να δώσει τα αποτελέσματα τα οποία μπορεί να είναι τα προϊόντα, κάποια άλλα υποπροϊόντα, αέριες εκπομπές, υγρά και στερεά απόβλητα. Για κάθε υποσύστημα ο αναλυτής θα πρέπει να περιγράψει πλήρως τα υλικά και το ποσό της ενέργειας που απαιτείται και όλες τις αποβολές αποβλήτων που μπορεί να υπάρχουν προς το περιβάλλον. Πληροφορίες θα πρέπει να συγκεντρώνονται για όλη την ποσότητα και όλα τα είδη των υλικών που χρησιμοποιούνται σαν είσοδο στο σύστημα. Οι περιβαλλοντικές εκπομπές σε αέρα, νερό και έδαφος πρέπει να ποσοτικοποιούνται με βάση το είδος της μόλυνσης. Επίσης είναι βασική η αναγνώριση και η καταγραφή όλων των υποπροϊόντων που παράγονται

έτσι ώστε να υπάρχει μία πλήρης εικόνα της παραγωγής. Τα υποπροϊόντα είναι αποτελέσματα μιας διαδικασίας τα οποία και έχουν αξία όταν αυτά δεν θεωρούνται σαν απόβλητα. Η αξία που κωδικοποιείται σε ένα υποπροϊόν μπορεί να είναι η αξία που έχει στην αγορά ή μπορεί να είναι μία αξία η οποία ορίζεται από την εταιρία.

Στάδιο 2. Ανάπτυξη ενός σχεδίου συλλογής πληροφοριών

Στο προηγούμενο στάδιο που καθορίστηκε ο στόχος και ο σκοπός της μελέτης του LCA η απαραίτητη ακρίβεια των πληροφοριών έχει καθοριστεί. Όταν συγκεντρώνεις πληροφορίες για να ολοκληρώσεις την μελέτη απογραφής τότε το σχέδιο συλλογής πληροφοριών είναι εκείνο το οποίο σου διασφαλίζει την ακρίβεια των πληροφοριών που συγκεντρώθηκαν και πως συμβαδίζουν με τις απαιτήσεις που έχει θέσει ο λήπτης αποφάσεων.

Τα στάδια “κλειδιά” ενός σχεδίου συλλογής δεδομένων είναι τα παρακάτω:

- Προσδιορισμός της ποιότητας των πληροφοριών που απαιτείται
- Αναγνώριση των πηγών πληροφοριών και του είδους αυτών
- Αναγνώριση των δεικτών ποιότητας πληροφοριών
- Ανάπτυξη ενός φύλλου εργασίας συλλογής πληροφοριών

Προσδιορισμός της ποιότητας των πληροφοριών που απαιτείται: Ένας στόχος της μελέτης είναι να επιτευχθεί ένα είδος ισορροπίας ανάμεσα στον διαθέσιμο χρόνο που απαιτείται και στις πηγές που διαθέτουμε σε σχέση πάντα με την ποιότητα των πληροφοριών που επιδιώκουμε να έχουμε έτσι ώστε να γίνει όσο το δυνατόν πιο σωστή λήψη αποφάσεων από τον λήπτη. Δυστυχώς δεν υπάρχει κάποια λίστα με στόχους ποιότητας των πληροφοριών για τις μελέτες LCA. Ο αριθμός και η φύση των στόχων ποιότητας των πληροφοριών εξαρτάται σε κάθε περίπτωση από το επίπεδο ακρίβειας που απαιτείται έτσι ώστε ο λήπτης αποφάσεων που εμπλέκεται στην διαδικασία να είναι πλήρως ενημερωμένος.

Αναγνώριση των πηγών πληροφοριών και του είδους αυτών: Για κάθε στάδιο του κύκλου ζωής ενός προϊόντος, για κάθε διαδικασία και για κάθε είδος περιβαλλοντικών εκπομπών πρέπει να καθορίζεται η πηγή των πληροφοριών που απαιτούνται και να παρέχεται η απαιτούμενη και επαρκής ακρίβεια και ποιότητα έτσι ώστε να είναι πάντα σύμφωνη με τους αρχικούς στόχους της μελέτης. Όταν ο καθορισμός των απαραίτητων ειδών πηγών πληροφοριών γίνει πριν από την περισυλλογή των πληροφοριών τότε μπορεί να μειωθεί το κόστος και ο χρόνος που απαιτείται για την συγκέντρωση των πληροφοριών.

Αναγνώριση των δεικτών ποιότητας πληροφοριών: Οι δείκτες ποιότητας πληροφοριών είναι κάποια μέτρα αναφοράς με τα οποία και μπορεί να συγκριθεί η ποιότητα των πληροφοριών που επιλέγουμε έτσι ώστε να μπορούμε να αξιολογήσουμε κατά πόσο η ποιότητα των πληροφοριών μας είναι ικανοποιητική και σύμφωνα με τον αρχικό μας σχεδιασμό της μελέτης. Όπως διαπιστώθηκε και με τους στόχους ποιότητας

των πληροφοριών ούτε σε αυτή την περίπτωση υπάρχει κάποια έτοιμη λίστα δεικτών ποιότητας για όλα τα LCI. Το ποιοί δείκτες ποιότητας πληροφοριών θα επιλεγθούν εξαρτάται από το ποιοι είναι πιο κατάλληλοι και εφαρμόσιμοι για το συγκεκριμένο είδος πληροφοριών που εξετάζεται. Κάποια παραδείγματα δεικτών ποιότητας πληροφοριών είναι η ακρίβεια, πληρότητα, αναπαραγωγικότητα, συνέπεια και αντιπροσωπευτικότητα.

Ανάπτυξη ενός φύλλου εργασίας συλλογής πληροφοριών: Το επόμενο βήμα είναι η ανάπτυξη ενός φύλλου εργασίας για τον κύκλο ζωής του προϊόντος το οποίο και καλύπτει όλες τις περιοχές από τις οποίες θα μπορούσε να προέλθει η λήψη κάποιας απόφασης για την μελέτη. Το φύλλο εργασίας αυτό μπορεί να δημιουργηθεί με τέτοιο τρόπο ώστε να είναι δυνατή η καθοδήγηση της περισυλλογής πληροφοριών και να συμβάλλει στην κατασκευή μίας βάσης δεδομένων που να μπορεί να αποθηκεύει τις πληροφορίες ηλεκτρονικά. Στις παρακάτω 8 περιοχές λήψης αποφάσεων θα πρέπει να απευθύνεται το φύλλο εργασίας.

- Σκοπός της απογραφής
- Όρια συστήματος
- Γεωγραφικός σκοπός
- Τα είδη των πληροφοριών που χρησιμοποιήθηκαν
- Διαδικασίες συγκέντρωσης δεδομένων
- Μέτρα ποιότητας των πληροφοριών
- Υπολογιστική κατασκευή του φύλλου εργασίας
- Παρουσίαση των αποτελεσμάτων

Το φύλλο εργασίας αυτό είναι ένα πάρα πολύ χρήσιμο εργαλείο για να διασφαλιστούν οι δείκτες ποιότητας πληροφοριών που αναφέρθηκαν παραπάνω όπως είναι η ακρίβεια, πληρότητα και η συνέπεια. Είναι επίσης πολύ σημαντικό και πολύ χρήσιμο σε περιπτώσεις μεγάλων μελετών όταν πολλοί άνθρωποι εμπλέκονται στην συλλογή πληροφοριών για διάφορους σκοπούς. Το διάγραμμα ροής το οποίο αναφέρθηκε προηγουμένως για όλο το σύστημα είναι πολύ σημαντικό για την δημιουργία του φύλλου εργασίας καθώς είναι εκείνο που καθορίζει τις σχέσεις μεταξύ των επιμέρους υποσυστημάτων και πώς συνδέονται όλα αυτά μεταξύ τους κατά την παραγωγική διαδικασία του προϊόντος. Μία άλλη πολύ μεγάλη χρησιμότητα του φύλλου εργασίας αυτού είναι ότι μπορεί να εκφράζει τους διαφορετικούς συντελεστές βαρύτητας που μπορεί να έχουν κάποια υποσυστήματα στην όλη λειτουργία του συστήματος. Είναι σημαντικό κάθε υποσύστημα να συνεργάζεται πλήρως με το φύλλο εργασίας και με τα αντίστοιχα δεδομένα έτσι ώστε να αποφευχθεί κάποιος διπλός υπολογισμός κάποιων πραγμάτων το οποίο και θα οδηγούσε σε λάθος αποτελέσματα.

Στάδιο 3. Συλλογή πληροφοριών

Η διαδικασία συλλογής πληροφοριών είναι μία προσπάθεια που συνδυάζει την έρευνα, την επίσκεψη σε διαδικτυακούς ιστότοπους και την απευθείας επαφή με διάφορους ειδικούς με αποτέλεσμα την συγκέντρωση μεγάλων ποσοτήτων πληροφοριών. Σαν μία

εναλλακτική ιδέα ίσως να ήταν πιο οικονομικά συμφέρον να αγορασθεί μία έτοιμη βάση δεδομένων LCA. Εφόσον η ποιότητα και η ποσότητα των πληροφοριών που έχουν συγκεντρωθεί είναι ικανοποιητική για τον αναλυτή τότε είναι προτιμότερο να χρησιμοποιηθούν οι ήδη συγκεντρωμένες πληροφορίες και να μην χρησιμοποιηθεί κάποια έτοιμη βάση δεδομένων.

Μία δεύτερη μέθοδος για να μειωθεί κατά το δυνατόν ο απαιτούμενος χρόνος για την συγκέντρωση των πληροφοριών είναι να χρησιμοποιηθούν κάποιες ανεπίσημες βάσεις δεδομένων. Υπάρχουν διάφοροι οργανισμοί οι οποίοι έχουν αναπτύξει κάποιες βάσεις δεδομένων LCA οι οποίες περιέχουν κάποια βασικά στοιχεία μέσα όσα ακριβώς απαιτούνται για την για να γίνει μία σωστή απογραφή του κύκλου ζωής ενός προϊόντος. Ο κίνδυνος ο οποίος μπορεί να υπάρχει με την χρήση μίας τέτοιου είδους βάσης δεδομένων είναι λόγω της γενικότητας των πληροφοριών ο τελικός στόχος της μελέτης να παρεκκλίνει λίγο από τον αρχικό σχεδιασμό. Επίσης μέσα σε αυτές τις βάσεις δεδομένων δεν υπάρχει πουθενά κάποια καταγραφή όλων εκείνων των υποθέσεων-παραδοχών που έχουν γίνει με αποτέλεσμα να μην μπορεί να της εντοπίσει ο αναλυτής. Κάτι τέτοιο θα μπορούσε να αποδειχθεί καταστροφικό στην περίπτωση που τα αποτελέσματα της μελέτης πρόκειται να δημοσιευθούν. Όλες οι βιομηχανικές διαδικασίες έχουν έναν μεγάλο αριθμό πολλαπλών εισόδων και αντίστοιχα και ένα μεγάλο αριθμό παραγώγων που προέρχονται από την παραγωγική διαδικασία. Στις περισσότερες των περιπτώσεων μας ενδιαφέρει να μελετήσουμε ένα από όλα αυτά τα παράγωγα και είναι και εκείνο για το οποίο κάνουμε την μελέτη του LCA. Για αυτό το λόγο ο αναλυτής είναι εκείνος ο οποίος πρέπει να αποφανθεί σχετικά με το ποσό της ενέργειας και των υλικών που απαιτούνται για την παρασκευή του προϊόντος αυτού όπως επίσης και να διαχωρίσει όλες εκείνες τις εκπομπές προς το περιβάλλον που προέρχονται από το προϊόν αυτό. Είναι πολύ σημαντικό ο αναλυτής να μπορεί να αξιολογήσει και τα υποπροϊόντα που παράχθηκαν από την παραγωγική διαδικασία μήπως και κάποια από αυτά μπορούν να χρησιμοποιηθούν και σε κάποιες άλλες χρήσεις πάντα με τις απαραίτητες μετατροπές-βελτιώσεις του αναλυτή όσον αφορά τα όρια του συστήματος παραγωγής.

2.4.2 Δεδομένα εισόδου στο Life Cycle Inventory(LCI) του προϊόντος

Η απόφαση του ποια θα είναι τα δεδομένα τα οποία θα χρησιμοποιήσει το σύστημα σαν είσοδο είναι δύσκολη και εξαρτάται σε πάρα πολύ μεγάλο βαθμό από την παραγωγική διαδικασία και από το τελικό προϊόν το οποίο και πρέπει να παραχθεί σύμφωνα με τον αρχικό σχεδιασμό. Μερικά από αυτά τα πιθανά δεδομένα εισόδου περιγράφονται παρακάτω [49]:

Ενέργεια

Ο όρος ενέργεια αντιπροσωπεύει τον συνδυασμό όλων των απαιτήσεων σε ενέργεια που έχει ένα σύστημα για την σωστή λειτουργία του. Υπάρχουν τρεις κύριες κατηγορίες στις οποίες θα μπορούσε να διαχωριστεί η ενέργεια: ενέργεια διαδικασίας, ενέργεια μεταφοράς, ενέργεια των υλικών που χρησιμοποιούνται

Ενέργεια διαδικασίας είναι η ενέργεια εκείνη που απαιτείται για να μπορούν να λειτουργούν όλα τα υποσυστήματα του συστήματος όπως είναι οι αντιδραστήρες, οι εναλλάκτες θερμότητας, οι αντλίες, τα μπόιλερ κ.α. Ενέργεια μεταφοράς είναι η ενέργεια η οποία απαιτείται για να λειτουργήσουν τα διάφορα συστήματα μεταφοράς όπως για παράδειγμα είναι τα φορτηγά, τα πλοία, το δίκτυο σωληνώσεων κ.α. Επίσης ως ενέργεια μεταφοράς θεωρείται και η ενέργεια εκείνη η οποία δαπανάται για την μεταφορά των υλικών ανάμεσα στα διάφορα στάδια της παραγωγής.

Υπάρχουν δύο τρόποι για να απεικονιστεί η ενέργεια η οποία καταναλώνεται σε ένα σύστημα. Ο ένας είναι στην φάση εισαγωγής των δεδομένων εισόδου να αναγράφονται και οι τιμές της ενέργειας που προστίθενται στο σύστημα με την χρήση κάποιων μετρητικών μονάδων όπως είναι η κιλοβατώρα (kw/h) για την ηλεκτρική ενέργεια και το κυβικό μέτρο (m^3) για την κατανάλωση καυσίμων. Ο εναλλακτικός τρόπος είναι να υπολογίζονται και να αναγράφονται οι ποσότητες του καυσίμου που δαπανήθηκαν για να παραχθεί η απαιτούμενη ενέργεια για την λειτουργία του συστήματος. Το πλεονέκτημα για τον πρώτο τρόπο προσέγγισης είναι πως συνήθως είναι γνωστά όλα τα ποσά ενέργειας τα οποία απαιτεί κάθε υποσύστημα για την λειτουργία του. Ο δεύτερος τρόπος προσέγγισης μας επιτρέπει να κάνουμε μία σύνδεση ανάμεσα στην ποσότητα καυσίμου που χρειάζεται να καταναλωθεί και στην ενέργεια που αντιστοιχεί σε αυτά τα καύσιμα. Έτσι για παράδειγμα μπορούμε να γνωρίζουμε πως τα X κυβικά μέτρα καυσίμου μπορούν να μας αποφέρουν Y κιλοβατώρες ηλεκτρισμού.

Πηγές ενέργειας

Η ενέργεια που χρησιμοποιείται μπορεί να προέρχεται από διάφορες πηγές. Μερικές από αυτές είναι ο άνθρακας, πυρηνική ενέργεια, υδροηλεκτρική ενέργεια, φυσικό αέριο, πετρέλαιο, ενέργεια ανέμου, ηλιακή ενέργεια, στερεά απόβλητα, βιομάζα κ.α. Υπάρχουν πολλές κατηγορίες καυσίμων τα οποία διαφέρουν μεταξύ τους στην χημική τους σύνθεση και στην ενέργεια την οποία παράγουν. Η χρησιμότητα είναι ο πιο σημαντικός παράγοντας που επηρεάζει την λήψη της απόφασης σχετικά με το ποια μορφή ενέργειας θα χρησιμοποιηθεί. Επίσης διάφορες οικονομικές στρατηγικές ίσως και να επηρεάζουν την επιλογή της μορφής ενέργειας καθώς εκτός από την χρησιμότητα μίας μορφής ενέργειας πρέπει να είναι και οικονομική σαν εφαρμογή. Με το πέρασμα των ετών το περιβάλλον παίζει ολοένα και σημαντικότερο ρόλο στην διαδικασία λήψης απόφασης σχετικά με την επιλογή μίας μορφής ενέργειας καθώς οι εκπομπές προς το περιβάλλον και η γενικότερη επιβάρυνση του από την αξιοποίηση της ενέργειας επηρεάζουν την επιλογή της μορφής της ενέργειας διότι σε κάθε φάση της παραγωγής πρέπει να βρισκόμαστε μέσα στα όρια τα οποία και έχουν τεθεί κατά τον αρχικό περιβαλλοντικό σχεδιασμό. Η μεγάλη ποικιλία που υπάρχει στις πηγές ενέργειας είναι κάτι πολύ θετικό καθώς αποδεικνύεται σωτήριο σε περιόδους όπου για παράδειγμα υπάρχει έλλειψη πετρελαίου τότε οι απαιτήσεις μίας παραγωγικής μονάδας σε ενέργεια μπορούν να καλυφθούν με την αξιοποίηση άλλων μορφών ενέργειας. Η

εξέλιξη της τεχνολογίας μας έχει οδηγήσει στο να μην θεωρείται πια μόνο η ηλεκτρική ενέργεια σαν βασικός τύπος ενέργειας αλλά και τα υπόλοιπα είδη ενέργειας καθώς τώρα είναι πολύ πιο εύκολη και οικονομικά συμφέρουσα η αξιοποίηση τους.

Ηλεκτρισμός

Με την λέξη ηλεκτρισμός περιλαμβάνουμε ως πηγή τα καύσιμα τα οποία και χρειάστηκαν για να παραχθεί η ηλεκτρική αυτή ενέργεια όπως επίσης περιλαμβάνει και τον βαθμό αποδοτικότητας των ηλεκτροπαραγωγών μηχανημάτων. Οι πιο συνηθισμένες πηγές που χρησιμοποιούνται για να παραχθεί η ηλεκτρική ενέργεια είναι ο άνθρακας, η πυρηνική ενέργεια, ο άνεμος και το νερό. Όταν ο ηλεκτρισμός παράγεται από μία από αυτές τις πηγές διοχετεύεται στο δίκτυο μεταφοράς και έτσι μεταφέρεται ο ηλεκτρισμός. Αντίστοιχα συμβαίνει και με τον ηλεκτρισμό ο οποίος παράγεται από κάποιες άλλες μορφές ενέργειας και αυτό έχει σαν αποτέλεσμα όλα αυτά τα δίκτυα να καταλήγουν σε ένα κόμβο όπου και ενώνονται. Από εκείνο το σημείο και μετά ο ηλεκτρισμός δεν μπορεί να διαχωριστεί και να γνωρίζουμε από ποια ακριβώς πηγή προήλθε. Σε αυτό το σημείο πρέπει να τονιστεί πως πολύ σημαντικό ρόλο παίζει και ο δείκτης αποδοτικότητας του δικτύου μεταφοράς του ηλεκτρισμού καθώς στις περισσότερες των περιπτώσεων οι απώλειες είναι αξιοπρόσεκτες.

Πυρηνική ενέργεια

Η εκμετάλλευση της πυρηνικής ενέργειας έχει διαδοθεί τα τις τελευταίες δεκαετίες. Είναι ίσως και η πιο “πράσινη” μορφή ενέργειας καθώς οι περιβαλλοντικές τις συνέπειες είναι ελάχιστες σύμφωνα με διάφορες μελέτες. Το κόστος της αρχικής επένδυσης που απαιτείται για την κατασκευή μίας μονάδας παραγωγής ενέργειας με χρήση πυρηνικής ενέργειας είναι τεράστιο. Ίσως ο πιο ισχυρός ανασταλτικός παράγοντας για την εκμετάλλευση της ενέργειας αυτής είναι το μεγάλο ρίσκο το οποίο υπάρχει κατά την λειτουργία των πυρηνικών αντιδραστήρων καθώς τα παραδείγματα πυρηνικών ατυχημάτων στον σύγχρονο κόσμο δεν είναι λίγα και πάντα με καταστροφικές ανθρώπινες απώλειες.

Υδροηλεκτρική ενέργεια

Οι περισσότεροι ερευνητές ακολουθώντας τον παραδοσιακό δρόμο υπολογίζουν την υδροηλεκτρική ενέργεια σύμφωνα με την ισοδυναμία της θεωρητικής ενέργειας που είναι 3.61MJ ανά KWh. Κατά την μεταφορά της ενέργειας μέσα από το δίκτυο μεταφοράς δεν υπάρχουν ιδιαίτερες απώλειες και αυτό έρχεται να ταιριάζει με το σχετικά μικρό κόστος επένδυσης-εγκατάστασης μίας τέτοιας μονάδας παραγωγής σε σχέση πάντα με τα οφέλη που προέρχονται από την εκμετάλλευση της μονάδας αυτής. Για την κατασκευή μίας τέτοια παραγωγικής μονάδας έχουν επέλθει μερικές αλλαγές στο τοπικό περιβάλλον όπως για παράδειγμα η δημιουργία κάποιου φράγματος το οποίο έχει επηρεάσει την βιοποικιλότητα της περιοχής. Αυτός ο παράγοντας έχει ληφθεί υπόψη σοβαρά μέσα στα πρώτα στάδια της μελέτης. Αντίστοιχα υπάρχουν και

κάποιοι άλλοι παράγοντες όπως είναι ο απαιτούμενος χρόνος αποκατάστασης του περιβάλλοντος που άλλαξε και αυτοί οι παράγοντες βρίσκονται ακόμα υπό συζήτηση και μελέτη.

Απαιτούμενο νερό

Οι ποσότητες νερού που απαιτούνται για την λειτουργία της μονάδας κρίνεται απαραίτητο να περιλαμβάνονται μέσα στην ανάλυση κάποιες περιοχές το νερό υπάρχει σε αφθονία αλλά υπάρχουν και περιοχές όπου υπάρχει σχετική έλλειψη φυσικής υδροδότησης. Κατά μήκος των ακτών το νερό είναι άφθονο και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ψύξη των μηχανημάτων και για όποια άλλη διαδικασία χρειάζεται. Σε άλλες περιπτώσεις όπου το νερό δεν βρίσκεται σε αφθονία η περισυλλογή του πρέπει να γίνεται με μεγάλη προσοχή και η χρήση του πρέπει να γίνεται με πολύ σύνεση και σύμφωνα με τον αρχικό σχεδιασμό. Υπάρχουν περιοχές όπου κάποια έτη το νερό είναι αρκετό και κάποια άλλα έτη που υπάρχει έλλειψη νερού. Σε αυτές τις περιπτώσεις πρέπει να υπάρχει συγκεκριμένος σχεδιασμός έτσι ώστε να αποθηκεύεται νερό για κάποια ενδεχόμενη μελλοντική χρήση σε περίπτωση που χρειαστεί.

Το νερό θα μπορούσε να επηρεάσει σε πολύ μεγάλο βαθμό μία μελέτη και αυτό διότι μας ενδιαφέρει να έχουμε μία εικόνα της ποσότητας του νερού που απαιτείται για την παραγωγή μίας μονάδας προϊόντος. Το νερό μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε πολλές διαδικασίες μέσα στην παραγωγή όπως στην παραγωγή ατμού, στην ψύξη των μηχανημάτων, στον καθαρισμό των γραμμών παραγωγής κ.α. Για αυτό πρέπει να υπάρχει πλήρη εικόνα της κατάστασης. Όταν εκπονείται μία γενική μελέτη δεν μπορεί να εξαχθεί κάποιο συμπέρασμα για αυτό το θέμα καθώς τόσο συγκεκριμένες πληροφορίες δεν είναι διαθέσιμες.

2.4.3 Δεδομένα εξόδου από το Life Cycle Inventory(LCI) του προϊόντος

Μία τέτοια μελέτη παραδοσιακά περιλαμβάνει τρεις τύπους εκπομπών προς το περιβάλλον: αέριες εκπομπές, υγρά απόβλητα, στερεά απόβλητα. Ως αποτελέσματα εξόδου μπορούν να θεωρηθούν και τα προϊόντα και υποπροϊόντα που παράγονται από την παραγωγική διαδικασία ανεξάρτητα εάν κάποια από τα υποπροϊόντα δεν είναι εμπορικά εκμεταλλεύσιμα και κατατάσσονται στην κατηγορία των αποβλήτων. Όλα τα δεδομένα εξόδου που προκύπτουν πρέπει να καταγράφονται καθώς σε περίπτωση που χρειαστεί να γίνει κάποια σύγκριση από κάποιων αναλυτή να έχει στη διάθεση του όλα τα απαραίτητα δεδομένα.

Αέριες εκπομπές

Οι αέριες εκπομπές αναφέρονται και μετρούνται σε μονάδες βάρους. Όταν αναφερόμαστε σε αέριες εκπομπές αναφερόμαστε μόνο σε αυτούς τους ρύπους που αναφέρονται μέσα στους κανονισμούς. Οι τιμές των εκπομπών αυτών μετρούνται την ώρα που εκτίθενται στον αέρα δηλαδή αφού έχουν περάσει από όλα τα φίλτρα και

όλους εκείνους τους μηχανισμούς που έχουν τοποθετηθεί για την μείωση των βλαβερών εκπομπών. Οι εκπομπές ρύπων που προέρχονται από τις περιοχές αποθήκευσης υλικών δεν περνάνε από κάποιον έλεγχο εκπομπών και απελευθερώνονται έτσι στην ατμόσφαιρα. Μέσα στην μελέτη Life Cycle Inventory(LCI) περιλαμβάνονται επίσης οι εκπομπές κατά την διάρκεια της παραγωγικής διαδικασίας όπως επίσης και όλες οι εκπομπές που προέρχονται από την μεταφορά των προϊόντων. Οι πιο σημαντικές κατηγορίες εκπομπών είναι: σωματίδια, οξείδια του αζώτου, οργανικές ενώσεις, οξείδια του θείου, μονοοξείδια του άνθρακα, αμμωνία. Αυτές οι κατηγορίες είναι κυρίως όλες αυτές οι οποίες πρέπει να περιλαμβάνονται μέσα σε μία ανάλυση. Κάποιες από αυτές τις εκπομπές είναι αποτέλεσμα περισσοτέρων από μία διαδικασιών και αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να είναι δύσκολος ο διαχωρισμός έτσι ώστε να μπορούσαμε να αναγνωρίσουμε τι ποσότητα για παράδειγμα οξείδιων του άνθρακα προέρχονται από μία συγκεκριμένη διαδικασία. Κάποιες εκπομπές όπως είναι τα διοξείδια του άνθρακα και η εξάτμιση του νερού δεν περιλαμβάνονταν στο παρελθόν στις μελέτες Life Cycle Inventory(LCI). Καθώς γίνεται ολοένα και περισσότερες συζητήσεις γύρω από τα εκπεμπόμενα αέρια θερμοκηπίου και την κλιματική αλλαγή οι κανονισμοί τείνουν όλο και πιο πολύ προς την κατεύθυνση του να λαμβάνονται υπόψη από εδώ και πέρα και τα διοξείδια του άνθρακα στις μελέτες.

Υγρά απόβλητα

Τα υγρά απόβλητα αναφέρονται και μετρούνται σε μονάδες βάρους και η μονάδα αναφοράς η οποία προκύπτει είναι η ποσότητα των αποβλήτων που παράγονται ανά μονάδα παραγόμενου προϊόντος. Σε αυτή την κατηγορία περιλαμβάνονται μόνο τα απόβλητα τα οποία και αναφέρονται στην λίστα των κανονισμών αλλά κανονικά θα έπρεπε να επεκτείνεται αυτή η λίστα εφόσον υπάρχουν οι κατάλληλες πληροφορίες. Υπάρχουν κάποια απόβλητα τα οποία απελευθερώνονται κατευθείαν στο νερό ενώ υπάρχουν και κάποια άλλα πιο επικίνδυνα και τα οποία περνάνε από φίλτρα και από διάφορες άλλες διαδικασίες πριν απελευθερωθούν στο περιβάλλον. Για αυτό το λόγο υπάρχουν πολύ αυστηροί κανονισμοί και οι έλεγχοι είναι πολύ τακτικοί και τα πρόστιμα πολύ μεγάλα. Υπάρχουν και κάποια υγρά απόβλητα τα οποία και διοχετεύονται στο έδαφος για να αποφευχθεί ο έλεγχος από τια αρμόδιες αρχές. Όπως ακριβώς συνέβαινε και με τους αέριους ρύπους πρέπει τα υγρά απόβλητα τα οποία προέρχονται από τις παραγωγικές διαδικασίες και από την καύση των καυσίμων να περιλαμβάνονται μέσα στη μελέτη του Life Cycle Inventory(LCI).

Αντίστοιχα με τους αέριους ρύπους κάποια υγρά απόβλητα προέρχονται από περισσότερες από μία διαδικασίες οπότε δεν είναι εύκολο να διαχωριστούν και να κατηγοριοποιηθούν ανά διαδικασία.

Στερεά απόβλητα

Τα στερεά απόβλητα είναι όλα εκείνα τα υλικά τα οποία προέρχονται από όλες τις φάσεις της παραγωγής. Σύμφωνα με τους κανονισμούς που ισχύουν στις Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής υπάρχουν και κάποια συγκεκριμένα υγρά απόβλητα όπως επίσης

και αέρια τα οποία και ανήκουν σε αυτήν την κατηγορία. Τα στερεά απόβλητα τυπικά έχουν μονάδα μέτρησης το βάρος. Υπάρχει ένας διαχωρισμός ανάμεσα στα στερεά απόβλητα τα οποία και προέρχονται από την βιομηχανική διαδικασία και σε αυτά τα απόβλητα τα οποία προέρχονται από την χρήση του προϊόντος από τον καταναλωτή. Τις περισσότερες φορές τα στερεά απόβλητα αυτά διαφέρουν μεταξύ τους, αποβάλλονται σε διαφορετικές τοποθεσίες και επεξεργάζονται σε διαφορετικές εγκαταστάσεις. Τα βιομηχανικά στερεά απόβλητα είναι όλα εκείνα τα στερεά απόβλητα τα οποία προέρχονται από όλες τις φάσεις της παραγωγικής διαδικασίας, από τη συσκευασία και τυπικά διαχωρίζονται σε δύο κατηγορίες

- **Στερεά απόβλητα διαδικασιών**: Είναι εκείνα που δημιουργούνται στην παραγωγική διαδικασία όπως είναι τα γρέζια από τις κατεργασίες και τα οποία δεν ανακυκλώνονται με κανένα τρόπο.
- **Στερεά απόβλητα προερχόμενα από καύσιμα**: Είναι στερεά απόβλητα τα οποία προέρχονται από την παραγωγή και την καύση των καυσίμων που καταναλώνονται κατά την διάρκεια της παραγωγής και της μεταφοράς των προϊόντων.

Προϊόντα

Είναι πολύ λεπτός ο διαχωρισμός προϊόντων ανάμεσα στα συστήματα και στα υποσυστήματα. Μπορεί να θεωρηθεί πως από κάθε υποσύστημα παράγει εν μέρει ένα προϊόν και το οποίο στη συνέχεια προωθείται στο επόμενο στάδιο παραγωγής όπου και συνεχίζει η παραγωγή του τελικού προϊόντος. Το προϊόν το οποίο και προέρχεται από το υποσύστημα μπορεί να θεωρηθεί είτε σαν πρώτη ύλη για τον επόμενο στάδιο παραγωγής είτε ως κανονικό προϊόν. Ο αρχικός σχεδιασμός κάθε μελέτης στοχεύει στην παραγωγή ενός κύριου προϊόντος και το οποίο μελετάμε. Οτιδήποτε άλλο παράγεται εκτός από αυτό το προϊόν που μας ενδιαφέρει θα μπορεί να θεωρείται υποπροϊόν. Σε κάποιες περιπτώσεις τα υποπροϊόντα αυτά γίνεται προσπάθεια να τους αντιστοιχηθεί μία αξία και να διοχετευτούν στην αγορά για εκμετάλλευση.

Μεταφορά

Η μελέτη του Life Cycle Inventory(LCI) περιλαμβάνει όλες εκείνες τις ενεργειακές απαιτήσεις και τις εκπομπές που προέρχονται από την διαδικασία της μεταφοράς προϊόντων από την παραγωγική μονάδα στους καταναλωτές. Όπως επίσης και την μεταφορά των υλικών από το ένα υποσύστημα στο άλλο. Όλα τα δεδομένα που απαιτούνται σχετικά με την μεταφορά αναφέρονται σε αποστάσεις μιλίων τα οποία έχουν διανυθεί. Τα μίλια τα οποία έχουν διανυθεί μετατρέπονται σε μονάδες όπως τόνος ανά μίλι όπου είναι μία μονάδα αναγωγής η οποία συνδέει το βάρος που μεταφέρεται με την απόσταση της μεταφοράς. Τα προϊόντα παραδοσιακά μεταφέρονται είτε μέσω φορτηγών, τρένων, δίκτυο αγωγών, πλοίων κ.α. Η αποδοτικότητα του κάθε τρόπου μεταφοράς διαφέρει από τρόπο σε τρόπο και σε κάθε περίπτωση πρέπει να γίνεται πολύ εκτενής μελέτη σχετικά με το ποιος τρόπος μεταφοράς θα επιλεγεί.

Βιομηχανικά ανακυκλώσιμα απόβλητα

Ένα υποπροϊόν που προέρχεται από την παραγωγική διαδικασία εάν δεν είναι πρωταρχικού ενδιαφέροντος μπορεί να θεωρηθεί βιομηχανικό απόβλητο. Αυτός ο όρος χρησιμοποιείται για να αναγνωρίσει ποια στερεά απόβλητα θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν και σαν ανακυκλώσιμα υλικά για να λειτουργήσουν σαν πρώτες ύλες για κάποιο άλλο στάδιο παραγωγής. Για παράδειγμα σε μία κατεργασία μετάλλου τα γρέζια τα οποία και προέρχονται από την επεξεργασία του μετάλλου δεν περιλαμβάνονται στο τελικό προϊόν και ούτε μπορούν να αποκτήσουν κάποια εμπορική αξία και για αυτό το λόγο μπορούν να ανακυκλωθούν και να χρησιμοποιηθούν σαν πρώτη ύλη για την κατασκευή κάποιου άλλου υλικού το οποίο και θα χρησιμεύσει στην παραγωγή κάποιου τρίτου προϊόντος ακόμα και σε κάποια άλλη παραγωγική μονάδα.

Χρονική περίοδος

Η χρονική περίοδος στην οποία αναφέρεται μία Life Cycle Inventory(LCI) περιλαμβάνει τον χρόνο σχεδιασμού του προϊόντος, τον χρόνο των διαδικασιών εκκίνησης της παραγωγής του, τον χρόνο παραγωγής του, τον χρόνο χρήσης του όπως και τον χρόνο συντήρησης του.

Γεωγραφικός προσδιορισμός

Ένα σημαντικό κομμάτι ειδικά στο στάδιο του αρχικού σχεδιασμού είναι η γεωγραφική τοποθεσία. Παίζει πολύ σημαντικό ρόλο το μέρος από όπου θα αντληθούν όλοι οι φυσικοί πόροι όπως επίσης και το μέρος όπου θα πραγματοποιηθεί η παραγωγική διαδικασία. Όλες αυτές οι πληροφορίες πρέπει να γίνονται γνωστές στις τοπικές κοινότητες καθώς είναι πιθανόν κάποια μερίδα ανθρώπων να εναντιωθεί στην παραγωγική διαδικασία αυτή στο συγκεκριμένο μέρος καθώς θα μπορούσαν να θεωρήσουν πως η όλη διαδικασία μπορεί να είναι βλαβερή για τους ίδιους και το τοπικό περιβάλλον.

Συνδυασμός τεχνολογιών και μορφών ενέργειας

Όλες οι παραγωγικές διαδικασίες δεν είναι απλές και δεν μπορούν να πραγματοποιηθούν με την χρήση μίας και μόνο τεχνολογίας. Για αυτό το λόγο πολλές φορές χρειάζεται ο συνδυασμός περισσότερων από μία τεχνολογιών με αποτέλεσμα ο σχεδιασμός αλλά και το κομμάτι της παραγωγής να γίνεται αρκετά πιο περίπλοκο. Αντίστοιχα με τις τεχνολογίες προκύπτει το ίδιο θέμα και με τις πηγές ενέργειας. Ίσως μία μορφή ενέργειας να μην είναι αρκετή ή ακόμα και η ενέργεια που παράγεται από μία πηγή ενέργειας να μην είναι ποσοτικά αρκετή και για αυτό το λόγο να χρειάζεται ο συνδυασμός δύο ή περισσότερων μορφών ενέργειας για την εύρυθμη λειτουργία της παραγωγικής διαδικασίας. Ένα απλό παράδειγμα είναι σε ένα εργοστάσιο παραγωγής χάλκινων σωλήνων όπου πρέπει να λειτουργήσει η πρέσα που διαμορφώνει το σχήμα του σωλήνα και δουλεύει με πολύ μεγάλη πίεση. Η ηλεκτρική ενέργεια δεν είναι αρκετή για να δημιουργήσει την απαιτούμενη πίεση στο υδραυλικό σύστημα της

πρέσας και για αυτό χρησιμοποιούνται και βενζινοκίνητες γεννήτριες έτσι ώστε να μπορέσει να υπάρχει η απαιτούμενη πίεση στο υδραυλικό σύστημα.

Στάδιο 4.Υπολογισμοί και αναφορά αποτελεσμάτων του Life Cycle Inventory(LCI)

Όταν κατατίθεται μία έκθεση για να παρουσιαστούν τα αποτελέσματα της μελέτης του Life Cycle Inventory(LCI) είναι πολύ σημαντικό να γίνεται μια εκτενής περιγραφή της μεθοδολογίας που χρησιμοποιήθηκε στην ανάλυση. Στην έκθεση πρέπει επαρκώς να ξεκαθαρίζονται τα όρια στα οποία λειτούργησε το σύστημα καθώς να περιγράφεται και το ίδιο το σύστημα. Επίσης πρέπει να επεξηγούνται πλήρως όλες οι υποθέσεις οι οποίες και έγιναν κατά την διάρκεια της μελέτης και όποτε πραγματοποιείται κάποια σύγκριση πρέπει να αναφέρεται επαρκώς την βάση αναφοράς που χρησιμοποιήθηκε.

Οι μελέτες του Life Cycle Inventory(LCI) συνήθως παράγουν μία πολύ σημαντική ποσότητα και ποιότητα πληροφοριών και τις οποίες ο αναλυτής όταν θα επιλέξει να τις χρησιμοποιήσει και να τις παρουσιάσει θα πρέπει να βρει ένα πολύ κατανοητό τρόπο παρουσίασης έτσι ώστε να μην οδηγήσουν σε λανθασμένη κατανόηση των αποτελεσμάτων και συμπερασμάτων λόγω της πολυπλοκότητας τους. Θα πρέπει η γενική γραμμή που ακολουθείται από τα αποτελέσματα να ταυτίζεται με την γραμμή που έχει οριστεί από τον σκοπό και στόχο της έρευνας στον στάδιο του αρχικού σχεδιασμού. Είναι πολύ σημαντικό ο αναλυτής πάνω στην προσπάθεια του να απλοποιήσει την παρουσίαση των αποτελεσμάτων να παραλείψει κάποια αποτελέσματα τα οποία μπορεί να μην έχουν υψηλή σημασία από μόνα τους αλλά σε συνεργασία με τα υπόλοιπα αποτελέσματα να αλλάζουν την εικόνα που δημιουργείται στον αναγνώστη της ανάλυσης.

2.5 Life Cycle Impact Assessment(LCIA)

Το Life Cycle Impact Assessment (LCIA) είναι μία φάση του LCA κατά την οποία υπολογίζουμε τις συνέπειες που προκαλούν στην ανθρώπινη υγεία και στο περιβάλλον όλες εκείνες οι εκπομπές ρύπων και αποβλήτων στο περιβάλλον που καταγράφηκαν στο LCI. Η εκτίμηση των επιπτώσεων κατευθύνεται κυρίως προς τις οικολογικές συνέπειες καθώς και προς τις συνέπειες στην ανθρώπινη υγεία ενώ συγχρόνως αγγίζει και το θέμα της εξάντλησης των φυσικών πόρων. Ο απώτερος σκοπός του LCIA είναι να καταφέρει μία σύνδεση μεταξύ του προϊόντος που παράγεται και των επιπτώσεων στο περιβάλλον που δημιουργεί η παραγωγή του. Για παράδειγμα ξέρουμε πως η λειτουργία ενός πλοίου για 2 μέρες παράγει 90 τόνους διοξειδίου του άνθρακα. Επομένως μελετάμε την επίπτωση που έχει στο περιβάλλον η λειτουργία του πλοίου για 2 μέρες).

2.5.1 Λόγοι εκπόνησης Life Cycle Impact Assessment(LCIA)?

Με όλα τα δεδομένα που έχουμε μέχρι στιγμής από μία μελέτη LCI μπορούμε να μελετήσουμε τις επιπτώσεις που έχει για το περιβάλλον μία διαδικασία. Παρόλα αυτά

μία μελέτη Life Cycle Impact Assessment (LCIA) μπορεί να προσφέρει μια ολοκληρωμένη βάση δεδομένων και να βοηθήσει στην ανάλυση. Για παράδειγμα είναι γνωστό ότι η εκπομπή στην ατμόσφαιρα 50 τόνων διοξειδίου του άνθρακα έχει ανάλογες επιπτώσεις με την εκπομπή 30 τόνων μεθανίου. Μία μελέτη Life Cycle Impact Assessment(LCIA) μπορεί να μας βοηθήσει να κατανοήσουμε και να βγάλουμε συμπέρασμα ποια από τις δύο εκπομπές θα ήταν λιγότερο ζημιογόνα για το περιβάλλον στο μέλλον. Χρησιμοποιώντας ανεπτυγμένα υπολογιστικά προγράμματα και μία σειρά από παράγοντες βαρύτητας μπορούμε μέσα από το Life Cycle Impact Assessment(LCIA) να υπολογίσουμε τις επιπτώσεις που θα έχει κάθε μία εκπομπή για παράδειγμα στο φαινόμενο του θερμοκηπίου .

2.5.2 Αποτελέσματα του Life Cycle Impact Assessment(LCIA)

Τα αποτελέσματα ενός Life Cycle Impact Assessment(LCIA) δείχνουν τις σχετικές διαφορές όσον αφορά τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις που μπορεί να έχει η εφαρμογή μίας επιλογής και όχι μίας άλλης. Για παράδειγμα μία μελέτη Life Cycle Impact Assessment(LCIA) θα μπορούσε να μας βοηθήσει να συμπεράνουμε ποια παραγωγική διαδικασία είναι φιλικότερη προς το περιβάλλον και πιο ‘‘πράσινη’’.

2.5.3 Βασικά στάδια του Life Cycle Impact Assessment(LCIA)

Τα βασικά στάδια του Life Cycle Impact Assessment(LCIA):

1. Επιλογή και καθορισμός των κατηγοριών των επιπτώσεων
2. Πιστοποίηση
3. Χαρακτηρισμός
4. Ομαλοποίηση
5. Κατηγοριοποίηση
6. Κλιμακωτή οργάνωση
7. Υπολογισμός και αναφορά αποτελεσμάτων

Σε πολλές μελέτες LCA έχει παρατηρηθεί το **Life Cycle Impact Assessment(LCIA)** να καταλήγει σε μία ανάλυση LCI. Αυτό είναι το τελευταίο υποχρεωτικό βήμα σύμφωνα με τα διεθνή πρότυπα **ISO 14044:2006 [7]**.

Στάδιο 1.Επιλογή και καθορισμός των κατηγοριών των επιπτώσεων

Το πρώτο βήμα είναι να επιλεγτούν οι κατηγορίες των επιπτώσεων που θα μελετηθούν και αυτό περιλαμβάνεται μέσα στο στάδιο προσδιορισμού του στόχου και του σκοπού του LCA που γίνεται στα αρχικά στάδια και είναι αυτό που θα καθοδηγήσει την συλλογή δεδομένων του LCI. Θα μελετηθούν όλα εκείνα τα στοιχεία που υπήρξαν στο LCI καθώς η πλειοψηφία αυτών (πχ εκπομπών) έχουν τρομακτικά βλαβερές επιπτώσεις στην υγεία των ανθρώπων αλλά και στο περιβάλλον. Σύμφωνα με το Life Cycle Impact

Assessment(LCIA) σαν επιπτώσεις θεωρούνται οι συνέπειες οι οποίες θα μπορούσαν να υπάρχουν στην ανθρώπινη υγεία, στην πανίδα και στην χλωρίδα του τόπου ή στην μελλοντική διαθεσιμότητα των φυσικών πόρων στο περιβάλλον.

Στάδιο 2.Πιστοποίηση

Ο στόχος της πιστοποίησης είναι η οργάνωση και ο συνδυασμός των αποτελεσμάτων που προήλθαν από το LCI σε κάποιες κατηγορίες συνεπειών. Για παράδειγμα οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα μπορούν να κατηγοριοποιηθούν στην κατηγορία του φαινομένου του θερμοκηπίου. Υπάρχουν περιπτώσεις όπου τα αποτελέσματα από το LCI ανήκουν σε περισσότερες από μία κατηγορίες επιπτώσεων και τότε υπάρχουν δύο διαφορετικοί τρόποι για να τοποθετηθούν τα αποτελέσματα σε πολλαπλές κατηγορίες.

- Αντιστοιχεί ένα αντιπροσωπευτικό κομμάτι των αποτελεσμάτων του LCI στις κατηγορίες επιπτώσεων που αναφέρονται
- Εκχώρηση όλων των αποτελεσμάτων του LCI σε όλες τις κατηγορίες και στις οποίες συμβάλλουν. Αυτό επιτρέπεται όταν τα αποτελέσματα είναι ανεξάρτητα μεταξύ τους.

Στάδιο 3. Χαρακτηρισμός

Ο χαρακτηρισμός των επιπτώσεων χρησιμοποιεί κάποιους επιστημονικούς παράγοντες βαρύτητας και οι οποίοι αποκαλούνται παράγοντες χαρακτηρισμού για να μετατραπούν και να συνδυαστούν τα αποτελέσματα του LCI σε αντιπροσωπευτικούς δείκτες της επίπτωσης στον άνθρωπο και στο περιβάλλον. Επίσης αυτοί οι παράγοντες ονομάζονται και ισοδύναμοι παράγοντες και χρησιμοποιούνται για να συγκρίνουν κατευθείαν τα αποτελέσματα του LCI με την οποιαδήποτε κατηγορία επιπτώσεων ανήκουν. Με άλλα λόγια οι παράγοντες χαρακτηρισμού μετατρέπουν τα διαφορετικά δεδομένα εισόδου απογραφής σε απόλυτα συγκρίσιμους δείκτες επιπτώσεων. Ο χαρακτηρισμός μπορεί να τοποθετήσει διαφορετικές ποσότητες χημικών σε μία νέα ισοδύναμη κλίμακα έτσι ώστε να καθοριστεί το ποσοστό επίπτωσης που έχει το κάθε ένα χημικό στο φαινόμενο του θερμοκηπίου. Στον παρακάτω **Πίνακα 1** παρουσιάζονται κάποιοι πιθανοί παράγοντες χαρακτηρισμού για κάποιες από τις πιο γνωστές κατηγορίες επιπτώσεων.

Πίνακας 1. Κύριες 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) Hydroflouric Acid (HF) Ammonia (NH ₃)	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 ₃)	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.

Στάδιο 4.Κανονικοποίηση

Σε μία μέθοδο Life Cycle Impact Assessment(LCIA) γίνεται προσπάθεια τα δεδομένα των δεικτών επιπτώσεων να εκφραστούν με ένα τρόπο για να μπορούν να συγκρίνονται σε όλες τις κατηγορίες επιπτώσεων.

Στάδιο 5.Κατηγοριοποίηση

Η κατηγοριοποίηση τοποθετεί τις κατηγορίες επιπτώσεων σε μία ή περισσότερες ομάδες έτσι ώστε να ερμηνεύονται τα αποτελέσματα σε συγκεκριμένες περιοχές

ενδιαφέροντος πιο διαδεδομένοι τρόποι κατηγοριοποίησης σύμφωνα με το (ISO 1998) είναι:

- Ταξινόμηση των δεικτών με βάση χαρακτηριστικών όπως είναι οι εκπομπές ρύπων
- Ταξινόμηση των δεικτών βάσει ενός συστήματος βαθμονόμησης με χαμηλή, μέτρια και υψηλή προτεραιότητα.

Στάδιο 6.Κλιμακωτή οργάνωση

Σε αυτό το στάδιο όλες οι επιπτώσεις κατηγοριοποιούνται με βάση την βαρύτητα τους στις ανάλογες κατηγορίες και αυτό είναι πολύ σημαντικό καθώς η εικόνα των κατηγοριών αυτών αντικατοπτρίζει τον στόχο όλης της μελέτης. Σε γενικές γραμμές το στάδιο της κλιμακωτής οργάνωσης αποτελείται από τις παρακάτω τρεις δραστηριότητες

- Αναγνώριση των αξιών που διέπουν τα ενδιαφερόμενα μέλη
- Καθορισμός των συντελεστών βαρών που αντιστοιχούν στις επιπτώσεις
- Αντιστοίχιση των συντελεστών βαρών στους δείκτες επίπτωσης

Στάδιο 7.Υπολογισμός και αναφορά αποτελεσμάτων

Σε αυτή τη φάση της μελέτης η επίπτωση κάθε κατηγορίας έχει υπολογιστεί οπότε τώρα πρέπει να επιβεβαιωθεί η ακρίβεια. Η ακρίβεια πρέπει να είναι επαρκής για να υποστηρίξει ορθά τους σκοπούς και τους στόχους της μελέτης του LCA όπως αυτοί έχουν προσδιοριστεί από τα πρώτα στάδια της μελέτης στον καθορισμό του στόχου και του σκοπού. Όταν παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της μελέτης Life Cycle Impact Assessment(LCIA) πρέπει να γίνεται εκτενής περιγραφή της μεθοδολογίας που ακολουθήθηκε, του συστήματος αλλά και των ορίων που είχε η μελέτη μας. Επίσης πρέπει να αναφέρονται όλες οι παραδοχές που έχουν γίνει καθώς αποτελούν πολύ σημαντικό κομμάτι του Life Cycle Impact Assessment(LCIA).

2.6 Life Cycle Interpretation

Το Life Cycle Interpretation είναι μια συστηματική τεχνική ικανή να αναγνωρίσει να πολιτικοποιήσει να ελέγξει και να αξιολογήσει τις πληροφορίες από τα αποτελέσματα των μελετών LCI και του LCIA και να τις συνδυάσει αποτελεσματικά. Το Life Cycle Interpretation είναι το τελευταίο στάδιο του LCA.

Σύμφωνα με τα διεθνή πρότυπα **ISO 14040:2006 [6]** έχουν καθοριστεί οι δύο παρακάτω στόχοι του Life Cycle Interpretation

1. Ανάλυση αποτελεσμάτων, εξαγωγή συμπερασμάτων, εξήγηση περιορισμών και παροχή προτάσεων οι οποίες βασίζονται στα ευρήματα των προηγούμενων φάσεων του LCA.

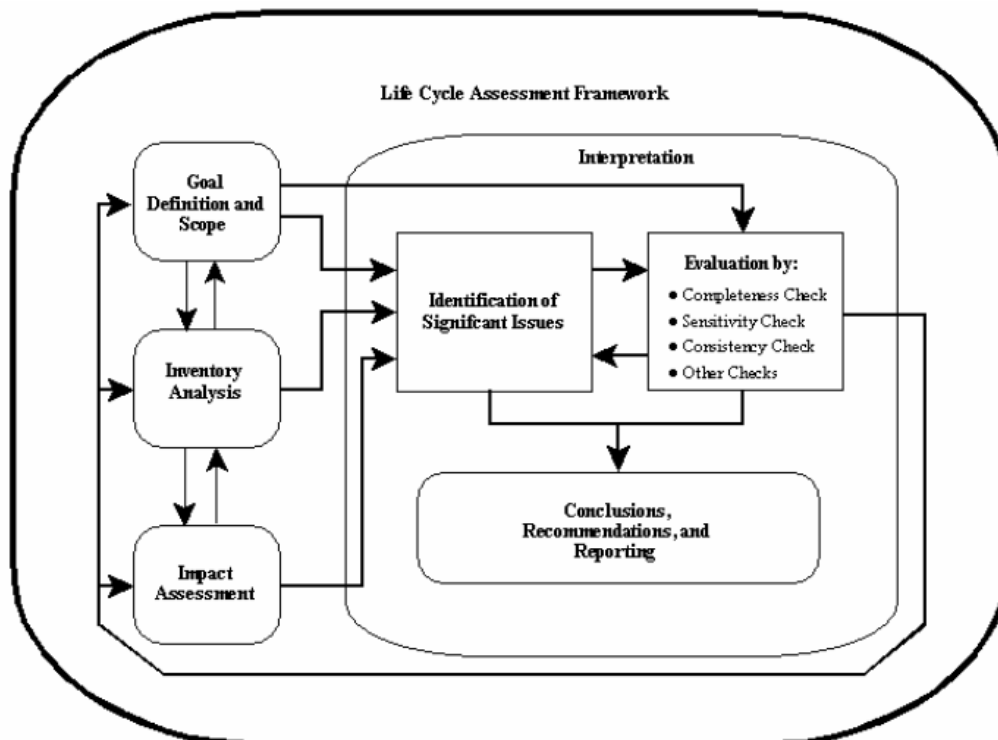
2. Παροχή μίας ολοκληρωμένης κατανοητής και συνεχούς παρουσίασης των αποτελεσμάτων της μελέτης LCA σε συνδυασμό με τον σκοπό και το στόχο της μελέτης.

Κατά την διάρκεια της διεξαγωγής του LCI & LCIA είναι απαραίτητο να γίνουν κάποιες υποθέσεις από τους μηχανικούς που στηρίζονται πάνω στις γενικότερες απαιτήσεις των εμπλεκόμενων ανθρώπων με την μελέτη. Κάθε μία από τις υποθέσεις αυτές και τις αποφάσεις θα πρέπει να είναι άμεσα συνδεδεμένη με τα αποτελέσματα της μελέτης έτσι ώστε να μπορούν να εξηγηθούν αποτελεσματικά τα συμπεράσματα που προέκυψαν. Υπάρχουν περιπτώσεις όπου δεν είναι δυνατόν να επιλέξεις κατά πόσο μία εναλλακτική είναι καλύτερη από κάποια άλλη καθώς τα τελικά αποτελέσματα δεν είναι εξακριβωμένα ακριβή και έγκυρα.

2.6.1 Τα βασικά στάδια του Life Cycle Interpretation

Τα βασικά στάδια του Life Cycle Interpretation

1. Αναγνώριση των σημαντικών θεμάτων του LCI & LCIA
2. Εξακρίβωση της completeness, ευαισθησίας και της συνοχής των πληροφοριών
3. Συμπεράσματα, προτάσεις και αναφορά αποτελεσμάτων



Σχήμα 9. Σύνδεση των σταδίων του Life Cycle Interpretation με τα υπόλοιπα στάδια του LCA.

Στο **Σχήμα 9** φαίνονται όλα τα κύρια στάδια του Life Cycle Interpretation και το πώς συνδέονται με τα υπόλοιπα στάδια του LCA .

Στάδιο 1. Αναγνώριση των σημαντικών θεμάτων του LCI & LCIA

Το πρώτο στάδιο του Life Cycle Interpretation περιλαμβάνει την συγκέντρωση όλων των πληροφοριών από τα προηγούμενα τρία στάδια της μελέτης του LCA έτσι ώστε να καταφέρει να αναγνωρίσει ποια είναι εκείνα τα στοιχεία τα οποία συμμετέχουν πιο πολύ στα αποτελέσματα τα οποία και έχουν προκύψει από τις προηγούμενες φάσεις και τα οποία σε αυτή τη φάση χαρακτηρίζονται ως ‘‘σημαντικά θέματα’’.

Τα αποτελέσματα αυτής της προσπάθειας χρησιμοποιούνται για να αξιολογήσουν της ευαισθησία και την συνέχεια ολόκληρης της μελέτης LCA. Λόγω του περιορισμένου χρόνου και του αρκετά μεγάλου αριθμού των πληροφοριών που έχουν συγκεντρωθεί είναι λογικό να δίνεται έμφαση στον εντοπισμό μόνο των βασικών στοιχείων που επηρεάζουν σε μεγάλο βαθμό τα αποτελέσματα. Κατά την διάρκεια αξιολόγησης όλων αυτών των αποτελεσμάτων μπορεί να γίνει έλεγχος του κατά πόσο τα αποτελέσματα συμβαδίζουν με τον αρχικό σχεδιασμό και στόχο της μελέτης.

Μερικά από τα ‘‘σημαντικά θέματα’’ μπορούν να περιλαμβάνουν :

- Παραμέτρους απογραφής όπως είναι η χρήση ενέργειας, οι εκπομπές ρύπων, τα απόβλητα κ.α.
- Δείκτες κατηγοριών επιπτώσεων όπως η χρήση των πόρων , οι εκπομπές ρύπων, τα απόβλητα
- Απαραίτητη συμβολή για όλα τα στάδια του κύκλου ζωής σαν να επρόκειτο για διαφορετικές διαδικασίες ή ομάδες δραστηριοτήτων.

Στάδιο 2. Εξακρίβωση της πληρότητας, ευαισθησίας και της συνοχής των πληροφοριών

Το στάδιο υπολογισμού της φάσης της ερμηνείας είναι αυτό το οποίο επικυρώνει της αξιοπιστία των αποτελεσμάτων της μελέτης του LCA. Αυτό το στάδιο ολοκληρώνεται με την διενέργεια των παρακάτω ελέγχων για να διασφαλιστεί η αξιοπιστία της μελέτης.

1. Έλεγχος πληρότητας – εξετάζεται το ποσοστό ολοκλήρωσης της μελέτης
2. Έλεγχος ευαισθησίας- αξιολογείται η ευαισθησία των στοιχείων εκείνων που επηρεάζουν σε μεγάλο βαθμό τα αποτελέσματα
3. Έλεγχος συνοχής- αξιολογείται η συνοχή των ορίων που τέθηκαν στο σύστημα, των πληροφοριών που συγκεντρώθηκαν, των υποθέσεων που έγιναν.

Οι παραπάνω τεχνικές ελέγχου περιγράφονται παρακάτω

Έλεγχος πληρότητας: Ο έλεγχος πληρότητας διασφαλίζει πως είναι διαθέσιμες όλες εκείνες οι πληροφορίες και τα δεδομένα που απαιτούνται. Όλες οι πληροφορίες αυτές

εντάσσονται σε κατηγορίες σχετικά με τα στάδια του κύκλου ζωής του προϊόντος ή σχετικά με τις διαδικασίες που λαμβάνουν χώρα. Θα μπορούσε να δημιουργηθεί μία λίστα ελέγχου όλων των πληροφοριών που χρειάζονται και με την χρήση της θα μπορούσε να επιτευχθεί ένας έλεγχος του κατά πόσο όλες αυτές οι πληροφορίες βρίσκονται εντός των ορίων του συστήματος που έχουν θεσπιστεί από τον μελετητή. Το αποτέλεσμα όλου αυτού του ελέγχου θα είναι μία λίστα με όποιες πληροφορίες βρίσκονται εκτός των ορίων και δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν στην μελέτη. Έτσι θα επιβεβαιώνεται πως όλα τα υπόλοιπα αποτελέσματα είναι σωστά και έχουν συνοχή με τον στόχο και τον σκοπό της μελέτης σύμφωνα πάντα με τον αρχικό σχεδιασμό. Στην περίπτωση που υπάρχουν και εντοπιστούν διάφορα σημεία όπου υπάρχει έλλειψη συνοχής τότε τα αποτελέσματα δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν όπως αυτά είναι και θα πρέπει να καταβληθεί επιπλέον προσπάθεια για να καλυφθούν αυτά τα κενά. Σε κάποιες περιπτώσεις όπου παρά την όλη προσπάθεια δεν είναι δυνατόν να καλυφθούν οι ασυνέχειες αυτές τότε ο δρόμος που ακολουθείται είναι το να αναφερθούν όλες αυτές οι διαφορές που υπάρχουν μεταξύ των πληροφοριών και των αποτελεσμάτων και να μελετηθεί το πώς και σε τι βαθμό επηρεάζουν το τελικό αποτέλεσμα και την ενδεχόμενη σύγκριση με τα αποτελέσματα κάποιας άλλης μελέτης.

Έλεγχος ευαισθησίας :Ο σκοπός της διενέργειας ενός ελέγχου ευαισθησίας είναι να αξιολογήσει την αξιοπιστία των αποτελεσμάτων της μελέτης και το μέγεθος της αβεβαιότητας που δημιουργείται όταν δεν υπάρχει συνοχή σε κάποια σημεία μεταξύ των πληροφοριών και των αποτελεσμάτων όπως αυτή ανιχνεύτηκε στο προηγούμενο στάδιο. Το ζήτημα που προκύπτει από τον έλεγχο αυτό είναι το μέγεθος στο οποίο μπορεί να επηρεαστεί η τελική απόφαση από όλες αυτές τις ασυνέχειες στα αποτελέσματα.

Έλεγχος συνοχής : Ο έλεγχος συνοχής είναι αυτός που καθορίζει το πότε οι υποθέσεις, οι μέθοδοι, και οι πληροφορίες που έχουν χρησιμοποιηθεί κατά την διάρκεια όλης διαδικασίας του LCA βρίσκονται σε συνοχή με τον αρχικό στόχο και σκοπό της μελέτης. Έτσι με αυτόν τον τρόπο επιβεβαιώνεται πως η μελέτη οδηγείται σε ένα τελικό συμπέρασμα χωρίς αποκλίσεις και χωρίς διάφορα κενά σε κάποια σημεία τα οποία θα μπορούσαν να δημιουργήσουν κενά στην ορθή κατανόηση των αποτελεσμάτων.

Στάδιο 3. Συμπεράσματα, προτάσεις και αναφορά αποτελεσμάτων

Ο σκοπός αυτού του σταδίου είναι να ερμηνεύσει τα αποτελέσματα του LCIA για να καθορίσει ποιο από όλα τα πιθανά προϊόντα είναι εκείνο το οποίο έχει τις λιγότερες επιπτώσεις στο περιβάλλον και στην ανθρώπινη υγεία ή σε κάποιον άλλη πιο συγκεκριμένη περιοχή εάν αυτή έχει καθοριστεί από τον αρχικό σχεδιασμό. Με αυτόν τον τρόπο μέσα από τα αποτελέσματα του LCIA θα προκύπτει μία λίστα με κάποιους παράγοντες βαρύτητας οι οποίοι θα αντιστοιχούν σε κάθε εναλλακτικό προϊόν η διαδικασία. Ο δεύτερος τρόπος είναι να προκύπτει μία λίστα με το αποτέλεσμα κάθε

ενός εναλλακτικού προϊόντος ή διαδικασία και έτσι να επιλέγεται εκείνο το προϊόν που έχει το καλύτερο αποτέλεσμα. Είναι πολύ σημαντικό στάδιο της μελέτης η σωστή επιλογή του καλύτερου προϊόντος, υπηρεσίας που θα εξυπηρετήσει τους στόχους και τους σκοπούς της μελέτης.

2.6.2 Συλλογή δεδομένων

Η συγκέντρωση των απαραίτητων δεδομένων για την ανάλυση του κύκλου ζωής LCA είναι κάτι που μπορεί να είναι δύσκολο και απαιτητικό. Κάποιες φορές οι εταιρίες είναι πρόθυμες να παρέχουν τέτοιου είδους διαθέσιμες πληροφορίες για να συνεισφέρουν στην ανάλυση αυτή. Ωστόσο συχνά κάποιες μακροχρόνιες εμπιστευτικές διαφωνίες δημιουργούν διαφόρων ειδών δυσκολίες στην διακίνηση των απαραίτητων πληροφοριών. Για να αποκτηθούν οι απαραίτητες πληροφορίες υπάρχουν εξειδικευμένες βάσεις πληροφοριών και διάφορες υπολογιστικές εφαρμογές οι οποίες είναι διαθέσιμες και μπορούν να χρησιμοποιηθούν. Αυτές περιλαμβάνουν βάσεις δεδομένων που στηρίζονται σε παρατηρήσεις, ποσοτική έρευνα και κατασκευαστικές πληροφορίες έτσι ώστε να είναι δυνατός ο υπολογισμός ενός μέσου όρου. Χρησιμοποιώντας ένα υπολογιστικό πακέτο είναι δυνατόν να αποκτηθούν οι απαραίτητες πληροφορίες για μία ανάλυση κύκλου ζωής αλλά όλα αυτά τα υπολογιστικά πακέτα κρύβουν τον κίνδυνο του να εισάγουν και διάφορα σφάλματα στην διαδικασία. Για παράδειγμα στην περίπτωση που το LCA παρατηρεί μια εθνική τάση τότε όλα αυτά τα διαθέσιμα υπολογιστικά εργαλεία θα παρέχουν τις απαραίτητες και επαρκείς πληροφορίες. Αντιθέτως στην περίπτωση που το LCA αναφέρεται συγκεκριμένα σε ένα κατασκευαστή ή μία περιοχή τότε τα δεδομένα που θα χρησιμοποιηθούν το πιο πιθανό είναι να μην είναι αρκετά επαρκή. Επειδή τα δεδομένα απαιτούνται κατά την διάρκεια της διαδικασίας είναι πιθανόν να υπάρχουν κάποια κενά εξαιτίας της έλλειψης δεδομένων και τότε επιβάλλεται στην τελική αναφορά να συμπληρωθούν αυτά τα κενά.

Είναι πολύ σημαντικό όχι μόνο να προσδιορίσουμε και να βρούμε την βάση δεδομένων που απαιτείται αλλά και να ελεγχθεί η εγκυρότητα της. Οι πληροφορίες εκείνες οι οποίες χρησιμοποιούνται σε μία μελέτη LCA πρέπει να είναι ακριβής. Επειδή είναι πολλές εκείνες οι κατασκευαστικές διαδικασίες οι οποίες αλλάζουν συχνά οι πληροφορίες πρέπει να ανταποκρίνονται στην παρούσα διαδικασία. Μπορεί να είναι απαραίτητο να πραγματοποιηθεί κάποια επιπλέον έρευνα έτσι ώστε να συμπληρωθούν οποιαδήποτε κενά δεδομένων υπάρχουν. Οι έρευνες μερικές φορές παρέχουν αρκετές πληροφορίες για να καλύψουν τα κενά δεδομένων. Μερικά παραδείγματα κενών δεδομένων τα οποία μπορούν να καλυφθούν με περαιτέρω έρευνα περιλαμβάνουν :

A) Ποσοστό κύκλου εργασιών

B) Συχνότητα συντήρησης

Γ) Αλλαγές στην διαδικασία παραγωγής

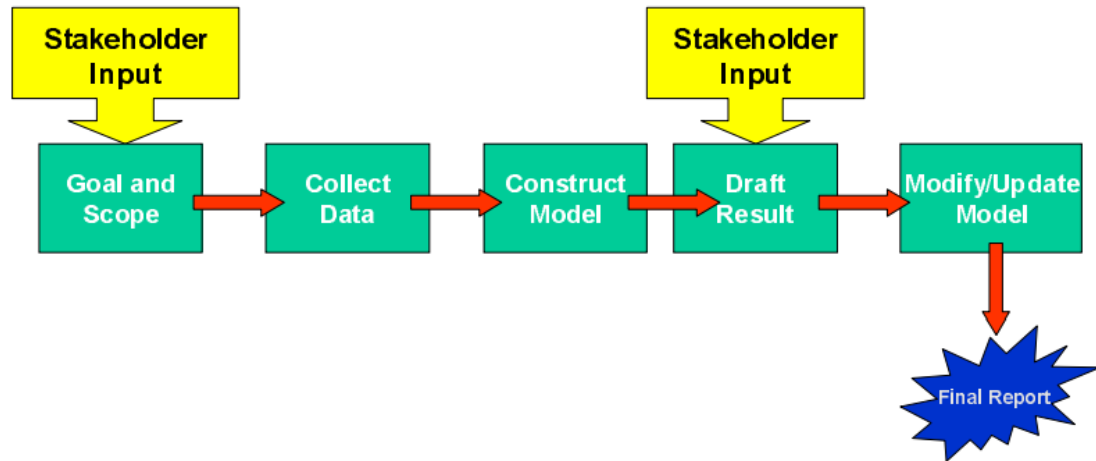
Δ) Χρήση προϊόντος για διαφορετική δουλειά από αυτήν που έχει κατασκευαστεί

Η διαθεσιμότητα των πληροφοριών συνήθως διαφέρει από μεταξύ χωρών, περιοχών, και παραγωγικών μονάδων. Σε γενικές γραμμές οι Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής, ο Καναδάς, η Δυτική Ευρώπη και η Ιαπωνία έχουν κατά κύριο λόγο τις πιο διαθέσιμες προς ανάγνωση και ακριβείς στατιστικές πληροφορίες. Στις χώρες-περιοχές εκείνες όπου οι πληροφορίες δεν είναι διαθέσιμες μπορεί να είναι αποδεκτό το να γίνει μια σύγκριση πληροφοριών μεταξύ παρόμοιων κρατών οι οποίες δεν ανήκουν στην ίδια ήπειρο. Ωστόσο είναι πολύ σημαντικό οι θεωρήσεις μας να είναι αιτιολογημένες. Για παράδειγμα επειδή υπάρχει έλλειψη όσον αφορά τις πληροφορίες της Κινεζικής βιομηχανίας ενώ στην Ευρώπη συμβαίνει το αντίθετο με πληθώρα πληροφοριών δεν είναι δυνατόν να χρησιμοποιήσουμε τις βάσεις δεδομένων της Ευρώπης για την Κίνα διότι οι βιομηχανίες των δύο αυτών περιοχών είναι μη συγκρίσιμες και τελείως διαφορετικές μεταξύ τους. Κάθε περιοχή έχει δραστικά διαφορετικές συμπεριφορές και κουλτούρα και διαφορετικό νομικό υπόβαθρο όπως επίσης και διαφορετικές μεθόδους διάσπασης των προϊόντων μετά το τέλος της ζωής του. Οπότε όλες αυτές οι διαφοροποιήσεις κάνουν μια τέτοια σύγκριση τελείως μη ρεαλιστική.

Όταν συγκρίνονται δύο ή περισσότερα πακέτα δεδομένων είναι πολύ σημαντικό τα πακέτα αυτά να είναι παρόμοια μεταξύ τους. Εάν τα διαθέσιμα πακέτα πληροφοριών δεν είναι πανομοιότυπα μεταξύ τους δεν είναι δυνατόν να συγκριθούν και να αναλυθούν. Όταν αξιολογείται κατά πόσο ένα πακέτο πληροφοριών είναι πανομοιότυπο με ένα άλλο είναι αναγκαίο να αξιολογείται η πηγή προέλευσης των πληροφοριών, η χρονολογία προέλευσης και ο τύπος τους. Στην περίπτωση που για μία διαδικασία υπάρχει πληθώρα πληροφοριών ενώ για μία άλλη υπάρχει έλλειψη τότε ο αναλυτής είναι εκείνος που πρέπει να αποφασίσει ποια πακέτα δεδομένων θα πάρει από την μία διαδικασία και ποια από την άλλη έτσι ώστε να διασφαλίσει την ποιοτική ομοιομορφία μεταξύ των δύο πακέτων δεδομένων [49].

2.7 Εφαρμογές της μεθόδου LCA

Όπως προαναφέρθηκε και στα παραπάνω η LCA είναι μία μέθοδος η οποία έχει ως σκοπό να βοηθήσει στην ποσοτικοποίηση και στην αξιολόγηση των πιθανών περιβαλλοντικών συνεπειών που προέρχονται από την χρήση αγαθών και υπηρεσιών. Αυτό υποδεικνύει ότι το LCA μπορεί να εφαρμοστεί σε όλα τα είδη των προϊόντων και των υπηρεσιών των οποίων οι περιβαλλοντικές συνέπειες που προέρχονται από την χρήση τους βρίσκονται υπό μελέτη. Έτσι το LCA μπορεί να χρησιμοποιηθεί από όλους τους αρμόδιους φορείς οι οποίοι σχετίζονται με την μελέτη του κύκλου ζωής [13]



Σχήμα 10. Η προσέγγιση των αρμόδιων φορέων [13].

Τα παραδείγματα εφαρμογών του LCA στην καθημερινή μας ζωή είναι πολλά. Ακολουθούν κάποια επιλεγμένα που παρουσιάζουν ενδιαφέρον.

1. Η γνωστή Σουηδική αυτοκινητοβιομηχανία VOLVO το 1998 διενέργησε μία σειρά από μελέτες θέλοντας να διαπιστώσει την περιβαλλοντική εικόνα που είχαν τα αμάξια που παράγει. Αναφέροντας τον χαρακτηρισμό περιβαλλοντική εικόνα του αυτοκινήτου η VOLVO, πρωτοπόρα στο είδος της, ήθελε να εξετάσει τις περιβαλλοντικές συνέπειες που εκρέουν όχι μόνο από την λειτουργία των αμαξιών της αλλά και κατά την διάρκεια της κατασκευής τους. Η μελέτη αυτή [14] αργότερα προχώρησε μελετώντας το κάθε ένα αμάξι ως ένα σύνολο εξαρτημάτων και προσπάθησε να μελετήσει τις συνέπειες που είχε για το περιβάλλον η κατασκευή του καθενός εξαρτήματος ξεχωριστά. Με αυτόν τον τρόπο πραγματοποιήθηκε μια ολοκληρωμένη μελέτη η οποία εξέταζε την κατασκευή, λειτουργία και απόσυρση του αυτοκινήτου μακροσκοπικά σαν κατασκευή αλλά και μικροσκοπικά. Σκοπός όλης αυτής της μελέτης ήταν κάθε καταναλωτής που αγοράζει ένα αυτοκίνητο VOLVO να αποκτά και ένα πιστοποιητικό το οποίο περιγράφει όλες τις απαραίτητες περιβαλλοντικές πληροφορίες για το αυτοκίνητο στον κύκλο ζωής του. Όλες αυτές οι πληροφορίες είναι αποτέλεσμα μίας εκτενούς μελέτης LCA σε συνδυασμό με διάφορες άλλες πληροφορίες που προέρχονται από τον τομέα της διαχείρισης του περιβάλλοντος. Όλα αυτά τα έντυπα που ερχόντουσαν στην κατοχή καθενός ιδιοκτήτη αυτοκινήτου VOLVO ήταν πλήρως πιστοποιημένα και διαπιστευμένα από τα διεθνή πρότυπα **ISO 14040**, **ISO 14031**, **ISO 14021** και **ISO 14001**. Όλες αυτές οι εκτεταμένες μελέτες είχαν σαν αποτέλεσμα να κατασκευάζεται ένα όλο και πιο φιλικό προς το περιβάλλον αυτοκίνητο το οποίο εκπέμπει λιγότερους βλαβερούς ρύπους στην ατμόσφαιρα από τους προκατόχους του όχι μόνο κατά την λειτουργία του αλλά και κατά την διάρκεια της παραγωγής του. Επίσης τώρα πια ένα πολύ μεγάλο ποσοστό του αυτοκινήτου είναι πλήρως ανακυκλώσιμο με αποτέλεσμα την ελαχιστοποίηση των παραγόμενων αποβλήτων από την αποσυναρμολόγηση του.

2. Ένα άλλο χαρακτηριστικό παράδειγμα εφαρμογής του LCA είναι η μελέτη των τρόπων μεταφοράς των ανθρώπων χρησιμοποιώντας διάφορα μέσα μεταφοράς [15]. Η μελέτη αυτή πραγματοποιήθηκε στο πανεπιστήμιο του Berkeley το 2008 και μελετάει την μεταφορά των ανθρώπων με διάφορα μέσα όπως είναι το αυτοκίνητο, το λεωφορείο, τις μεγάλες αμαξοστοιχίες, τα μικρά τρένα και τα αεροπλάνα. Η διαφορά αυτής της εφαρμογής του LCA σε σχέση με όλες τις υπόλοιπες είναι το ότι όλες οι προηγούμενες εξέταζαν μόνο το θέμα των καυσίμων που καταναλώνει το κάθε μέσο μεταφοράς αγνοώντας όλες τις υπόλοιπες παραμέτρους που πλαισιώνουν την λειτουργία και όχι μόνο των μέσων αυτών όπως είναι η ενέργεια που δαπανάται για την λειτουργία τους και όλες οι περιβαλλοντικές συνέπειες που εκρέουν από την κατασκευή τους, από την λειτουργία τους και από την αποσυναρμολόγηση τους μετά τον θάνατο του προϊόντος. Σκοπός αυτής της μελέτης ήταν να αναπτύξει κάποια μοντέλα LCA για να ποσοτικοποιήσει την κατανάλωση ενέργειας και τους αέριους ρύπους κατά την διάρκεια ζωής του προϊόντος. Αυτό πραγματοποιήθηκε για όλα τα μέσα μεταφοράς που αναφέρονται παραπάνω. Με την ολοκλήρωση της μελέτης είχαν πραγματοποιηθεί όλοι οι απαραίτητοι υπολογισμοί και είχε καταμετρηθεί η συνεισφορά του καθενός μέσου μεταφοράς στην κατανάλωση ενέργειας, και στην εκπομπή αέριων ρύπων στην ατμόσφαιρα. Τα αποτελέσματα έδειξαν πως η συνολική καταναλισκόμενη ενέργεια έχει αυξηθεί επιπλέον της ενέργειας που προερχόταν από τα καύσιμα σε τιμές **x 1.6** για αυτοκίνητα, **x 1.4** για λεωφορεία, **x 2.6** για τα μικρά τρένα, **x 2.1** για τις μεγάλες αμαξοστοιχίες και **x 1.3** για τις μεταφορές μέσω αέρα.
3. Το επόμενο παράδειγμα εφαρμογής της μεθόδου του LCA πηγάζει από την αυξανόμενη ζήτηση και χρησιμότητα του φυσικού αερίου στην καθημερινή ζωή έναντι του συμβατικού καυσίμου πετρελαίου. Αφορά μία πλατφόρμα εξόρυξης πετρελαίου στην Ινδονησία [16]. Η αυξανόμενη παγκόσμια ζήτηση του φυσικού αερίου έχει αντίκτυπο στην αύξηση του αριθμού των εγκαταστάσεων εξαγωγής φυσικού αερίου και στην επέκταση των ήδη υπαρχόντων μονάδων εξόρυξης. Η πλατφόρμα εξόρυξης αυτή, προσπαθώντας να συμπορευτεί με την ήδη αυξημένη ζήτηση του φυσικού αερίου απαιτείται να γίνουν κάποιες αλλαγές και επενδύσεις έτσι ώστε να είναι πιο ενεργειακά αποδοτική στο μέλλον και να μεγιστοποιεί την παραγωγή της μειώνοντας ταυτόχρονα τις αέριες εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου. Όλες οι εγκαταστάσεις εκεί έχουν βελτιωθεί ιδανικά έτσι ώστε να ελαχιστοποιηθεί το κόστος και αυτό έχει επιτευχθεί από τις δυναμικές μορφές ανάκτησης ενέργειας οι οποίες συμβάλλουν στην αισθητή μείωση των ροών των φυσικών πόρων που απαιτούνται να καταναλωθούν για να λειτουργεί η μονάδα. Κοιτώντας μακροσκοπικά την εγκατάσταση εξόρυξης φυσικού αερίου μπορούμε να πούμε πως το κόστος λειτουργίας έχει ελαχιστοποιηθεί, η ενεργειακή αποδοτικότητα της εγκατάστασης έχει αυξηθεί σημαντικά, και η ποσότητα των ενεργών αποβλήτων από την λειτουργία της εγκατάστασης κοντεύει να εκλείψει

4. Συνεχίζοντας τις αναφορές στα παραδείγματα εφαρμογής του LCA στην καθημερινή ζωή το παράδειγμα που περιγράφεται εδώ αναλύει την καθημερινή ανάγκη για οικονομική μετακίνηση. Η συνεχώς αυξανόμενη τιμή των υγρών καυσίμων καθώς και οι περιβαλλοντικές πιέσεις ενισχύουν την ανάγκη για εισαγωγή αυτοκινήτων τα οποία και θα κινούνται με ηλεκτρική ενέργεια χρησιμοποιώντας επαναφορτιζόμενες μπαταρίες για την παροχή ενέργειας. Τα τεχνικά προβλήματα που αντιμετωπίζονται είναι πολλά αλλά ίσως το πιο σημαντικό είναι το ότι τα οχήματα αυτά θα πρέπει να είναι ανταγωνιστικά σε σχέση με τα οχήματα που χρησιμοποιούν συμβατικά υγρά καύσιμα. Η εν λόγω μελέτη αξιολόγησης του κύκλου ζωής (LCA) είχε σκοπό να μελετήσει τις οριακές συνθήκες κάτω από τις οποίες θα μπορούσαν τα ηλεκτροκίνητα οχήματα να ανταγωνιστούν εμπορικά τα βενζινοκίνητα [17]. Στην μελέτη εξετάζονται όλα τα κόστη που έχει ένα ηλεκτροκίνητο όχημα από την κατασκευή του, την συντήρηση του και την απόσυρση του. Το αρχικό κόστος απόκτησης ενός τέτοιου οχήματος είναι κατά πολύ μεγαλύτερο από ένα συμβατικό με βενζινοκίνητο λόγω της υψηλής τιμής των συστοιχιών μπαταριών. Σε αυτό έρχεται να προστεθεί το αρκετά μεγάλο κόστος συντήρησης καθώς οι μπαταρίες δεν είναι τεχνολογικά εξελιγμένες και αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να χρειάζεται αντικατάσταση τους κατά την διάρκεια της ζωής του αυτοκινήτου. Τα αποτελέσματα που προκύπτουν από την έρευνα είναι δυστυχώς κάπως αποθαρρυντικά καθώς προκύπτει πως για να μπορέσει ένα ηλεκτροκίνητο όχημα να συναγωνιστεί και να αντικαταστήσει ένα βενζινοκίνητο πρέπει να γίνουν πολλά ακόμα τεχνολογικά βήματα καθώς το αρχικό κόστος απόκτησης του ηλεκτροκίνητου οχήματος είναι πολύ μεγάλο όπως και το κόστος αντικατάστασης των μπαταριών του. Μόνο εάν πραγματοποιηθούν μειώσεις στα κόστη των μπαταριών θα είναι συμφέρουσα στο μέλλον η απόκτηση και η χρήση ενός ηλεκτροκίνητου οχήματος. Μεγάλος όγκος υπολογισμών αφορούσε στην βελτιστοποίηση της αποδοτικότητας των αυτοκινήτων αυτών με χρήση μεθόδων αξιολόγησης του κύκλου ζωής (LCA). Επίσης επιδιώχτηκε να γίνει ελαχιστοποίηση του κόστους για την απόκτηση και την λειτουργία ενός τέτοιου ηλεκτροκίνητου οχήματος.

2.8 Εφαρμογές του LCA στη ναυτιλία

Ο τομέας της ναυτιλίας τις τελευταίες δεκαετίες αναπτύσσεται ραγδαία σε παγκόσμιο επίπεδο. Η ναυτιλία αποτελεί έναν από τους πιο μεγάλους οικονομικούς κλάδους σε όλο τον κόσμο και αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να έχει πραγματοποιηθεί μία έντονη στροφή των ναυτιλιακών εταιριών προς τη πράσινη ανάπτυξη επενδύοντας πολλά κεφάλαια στην μελέτη του LCA ψάχνοντας οικονομικούς τρόπους έτσι ώστε να κάνουν τα πλοία τους και τις υπηρεσίες τους πιο φιλικές προς το περιβάλλον.

Παρακάτω παρατίθενται μερικά παραδείγματα εφαρμογής στην ναυτιλία

1. Ένα από τα πιο χαρακτηριστικά παραδείγματα εφαρμογής του LCA στην ναυτιλία είναι η μελέτη του πλοίου Color Festival.[18]. Η προπαρασκευαστική μελέτη εκτίμησης του κύκλου ζωής (LCA) αυτή, πραγματοποιήθηκε το 1998 και έγινε για το Επιβατηγό-

οχηματαγωγό πλοίο με την ονομασία Color Festival με σκοπό να καταδείξει και να αξιολογήσει μία μεθοδολογία για την αξιολόγηση του κύκλου ζωής της μετακίνησης μέσω του συγκεκριμένου πλοίου. Η βασική μονάδα μέτρησης που χρησιμοποιήθηκε για την μελέτη αυτή είναι η ‘τόννοι * χιλιόμετρο’ που μεταφέρθηκαν σε ένα χρόνο από το Oslo στο Hirshals. Η μεταφορική ικανότητα του πλοίου αυτού είναι 550.000 επιβάτες, 55.000 οχήματα και 25.000 τρέιλερ αναφερόμενοι πάντα σε ετήσια βάση για δρομολόγια ανάμεσα στο Oslo στο Hirshals και έχει θεωρηθεί ότι η διάρκεια ζωής του πλοίου είναι περίπου 20 χρόνια. Εδώ πρέπει να σημειωθεί πως η βασική μονάδα μέτρησης που χρησιμοποιήθηκε δεν είναι αντιπροσωπευτική στην περίπτωση που οι μελετητές και οι αναλυτές θελήσουν να κάνουν κάποια σύγκριση μεταξύ των περιβαλλοντικών συνεπειών που δημιουργεί η λειτουργία του Color Festival και ενός άλλου πλοίου και αυτό συμβαίνει διότι η μέγιστη μεταφορική ικανότητα δεν είναι η κυρίως λειτουργική μονάδα του συγκεκριμένου πλοίου.

Τα αποτελέσματα της μελέτης αυτής έδειξαν πως είναι σημαντικό όλες οι ξεχωριστές φάσεις του κύκλου ζωής του πλοίου να λαμβάνονται υπόψη σοβαρά αλλά πάντα με σεβασμό στις διαφορετικές περιβαλλοντικές συνέπειες που δημιουργεί η κάθε φάση ξεχωριστά. Μερικές από αυτές τις περιβαλλοντικές συνέπειες είναι

- I. **Φάση λειτουργίας:** υπερθέρμανση του πλανήτη, φαινόμενο του θερμοκηπίου, όξινη βροχή, ευτροφισμός, αέριοι ρύποι και κατανάλωση ενέργειας
- II. **Φάση αποσυναρμολόγησης-ανακύκλωσης:** παραγωγή μεγάλων ποσοτήτων αποβλήτων
- III. **Φάση κατασκευής και συντήρησης:** τοπικές κυρίως συνέπειες με αύξηση της τοξικότητας στο υπέδαφος που επηρεάζει το οικοσύστημα και τους ανθρώπους.

Επίσης μέσα από την μελέτη αυτή προέκυψε ότι κατά την διάρκεια του κύκλου ζωής του πλοίου οι διαδικασίες οι οποίες διαδραματίζουν το πιο σημαντικό ρόλο είναι καύση σημαντικών ποσοτήτων καυσίμων κατά την λειτουργία των μηχανών και η αποβολή στο περιβάλλον μεγάλων ποσοτήτων ρυπαντικών ουσιών στο θαλάσσιο περιβάλλον κατά την διάρκεια της λειτουργίας του πλοίου. Μία διαδικασία η οποία μπορεί να επιβαρύνει πολύ το περιβάλλον είναι κατά την συντήρηση του πλοίου η αντικατάσταση τυχόν χαλασμένων εξαρτημάτων με άλλα εξαρτήματα τα οποία δεν είναι ανακυκλώσιμα και είναι μεταχειρισμένα.

2. Το επόμενο παράδειγμα εφαρμογής της αξιολόγησης του κύκλου ζωής (LCA) στην ναυτιλία έχει να κάνει με μία μελέτη η οποία πραγματοποιήθηκε στην Ιαπωνία το 2001 και είχε σαν σκοπό την δημιουργία και την ανάπτυξη ενός λογισμικού αξιολόγησης του κύκλου ζωής των πλοίων για να γίνει μία ανάλυση η οποία θα βασιζόταν πάνω στην κατασκευή του πλοίου και στην λειτουργία του [19]. Ερευνήθηκαν πλήρως όλες εκείνες οι διαδικασίες και οι οποίες αποτελούν τη φάση της κατασκευής και της λειτουργίας και οι οποίες κατηγοριοποιήθηκαν αναλόγως. Έτσι δημιουργήθηκε μια βάση

δεδομένων η οποία περιλαμβάνει διαδικαστικές πληροφορίες που έχουν να κάνουν με τη διαδικασία παραγωγής ενός προϊόντος μέσα στο πλαίσιο της κατασκευαστικής διαδικασίας του πλοίου. Μέσα από βάσεις δεδομένων έγινε άντληση μεγάλου αριθμού δεδομένων σχετικά με τις πληροφορίες που περιγράφουν τις συνθήκες λειτουργίας του πλοίου όταν αυτό είναι πλήρως φορτωμένο και εκτελεί κάποια μεταφορά. Στη μελέτη αυτήν χρησιμοποιήθηκαν πληροφορίες για 2 πλοία μεταφοράς ξηρού φορτίου, 2 πλοία μεταφοράς υγρών φορτίων, 2 πλοία μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων διαφορετικών μεγεθών καθώς και ένα πλοίο μεταφοράς φυσικού αερίου και ένα μικρό πλοίο μεταφοράς αμαξιών. Οι περιβαλλοντικές συνέπειες που μελετούνται σε αυτή την έρευνα είναι οι αέριες εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα (CO₂), οξειδία του αζώτου (NO_x), οξειδία του θείου (SO_x) και αντιρυπαντικές βαφές πλοίων που διαφεύγουν στο περιβάλλον. Το λογισμικό αξιολόγησης του κύκλου ζωής (LCA) του πλοίου που δημιουργήθηκε και αναπτύχθηκε σε αυτή την μελέτη αναλύει τις περιβαλλοντικές συνέπειες του πλοίου κατά την διάρκεια της κατασκευής του, λειτουργίας του, αποσυναρμολόγησης του και κατά την διάρκεια της ανακύκλωσης του τα οποία όλα αυτά στηρίζονται σε δεδομένα της απογραφής του κύκλου ζωής το πλοίου (LCI). Τα αποτελέσματα της έρευνας αυτής επαλήθευσαν το γεγονός ότι οι περισσότερες περιβαλλοντικές συνέπειες προέρχονται από το στάδιο της λειτουργίας του πλοίου και ότι οι κυρίως περιβαλλοντικές συνέπειες είναι η υπερθέρμανση της ατμόσφαιρας, η όξινη βροχή όπως και η μόλυνση του αέρα καθώς τα ποσοστά των εκπομπόμενων αερίων που αναφέραμε παραπάνω είναι πολύ μεγάλα.

3. Συνεχίζοντας τις αναφορές σε παραδείγματα εφαρμογής της αξιολόγησης του κύκλου ζωής (LCA) στην ναυτιλία παρουσιάζουμε ένα παράδειγμα το οποίο προέρχεται κατευθείαν από την ναυπηγική βιομηχανία καθώς τώρα πια είναι όλο και πιο μεγάλη η ανάγκη κατασκευής περιβαλλοντικά φιλικότερων πλοίων και πιο οικονομικών και για να γίνει αυτό αποφάσισαν να εξετάσουν κατά πόσο είναι δυνατόν κάτι τέτοιο να εφαρμοστεί από τα πρώιμα στάδια σχεδίασης του πλοίου πριν ακόμα αρχίσει να κατασκευάζεται [20]. Σε αυτό το πλαίσιο πραγματοποιήθηκε η μελέτη αυτή έχοντας ως σκοπό χρησιμοποιώντας την αξιολόγηση του κύκλου ζωής του πλοίου (LCA) στο στάδιο της σχεδίασης του να εξετάσει εάν μπορεί να βοηθηθεί ο σχεδιαστής έτσι ώστε να βελτιστοποιήσει την χρήση της ενέργειας κατά την διάρκεια ολόκληρης της ζωής του πλοίου. Η μελέτη αυτή αποτελεί ένα τμήμα ενός μεγαλύτερου προγράμματος το οποίο ονομάζεται “The Energy Efficient Ship” και το οποίο πρόγραμμα χρηματοδοτείται μερικώς από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή. Αποτέλεσμα του έργου ήταν να αναπτυχθεί ένα πρωτότυπο σχεδιαστικό εργαλείο. Ο σκοπός του εργαλείου αυτού ήταν να οδηγήσει τον σχεδιαστή στη μείωση όχι μόνο της ενέργειας που καταναλώνεται κατά την διάρκεια της ζωής του πλοίου αλλά και να μειωθούν οι αρκετά σημαντικές περιβαλλοντικές συνέπειες. Το συγκεκριμένο εργαλείο δημιουργήθηκε και αναπτύχθηκε για τον σχεδιασμό ταχύπλοων επιβατηγών πλοίων, πλοίων μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων και ψαράδικων. Μέσα σε αυτή την μελέτη παρουσιάζεται το

λογισμικό για τον υπολογιστή που δημιουργήθηκε και γίνεται και μια επίδειξη λειτουργίας του για την σχεδίαση ενός μακράς εμβέλειας ψαράδικου. Τα αποτελέσματα της μελέτης αυτής έδειξαν πως είναι δυνατή η μείωση των περιβαλλοντικών συνεπειών από την λειτουργία του πλοίου επεμβαίνοντας στα αρχικά στάδια σχεδίασης του πλοίου.

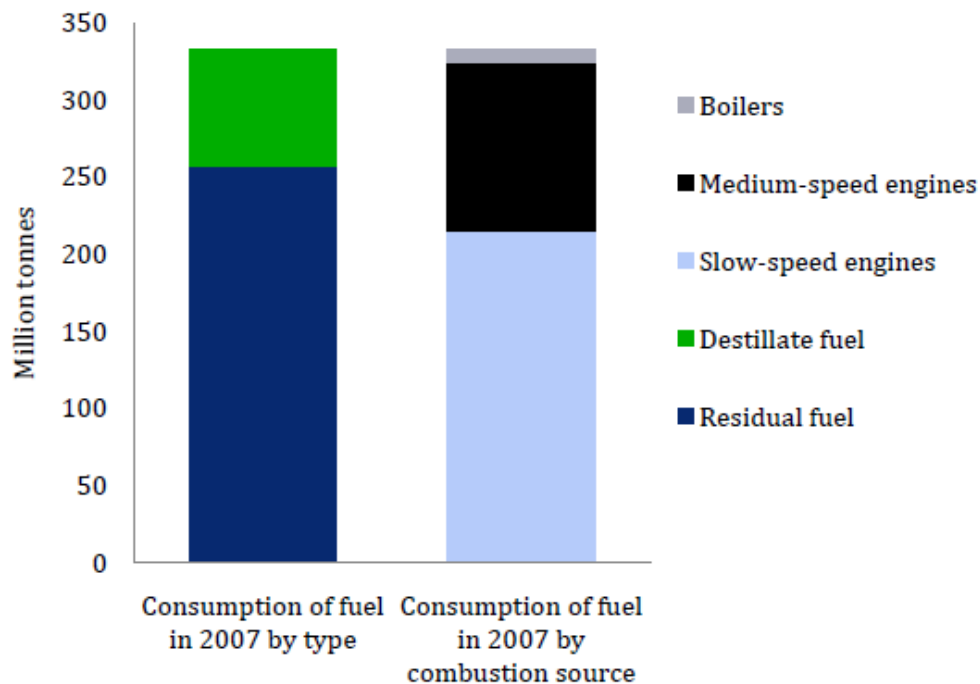
4. Τελευταίο αναφέρεται το παράδειγμα αξιολόγησης του κύκλου ζωής του πλοίου (LCA) μελέτης που πραγματοποιήθηκε το 2004 και με σκοπό να προτείνει διάφορους τρόπους για να βελτιωθεί η αποδοτικότητα του κόστους και να μειωθούν οι περιβαλλοντικές συνέπειες που προκύπτουν από την λειτουργία των πλοίων τα οποία φέρουν κυψέλες καυσίμων [21]. Έχουν υπάρξει διάφορες έρευνες πάνω σε αυτό το αντικείμενο στο παρελθόν αλλά αυτή η μελέτη έχει σκοπό να συνδυάσει όλες τις έρευνες σε μία. Η ανάλυση του κύκλου ζωής των πλοίων με κυψέλες καυσίμων περιλαμβάνει την παραγωγή του καυσίμου, την προμήθεια και την χρήση, όπως επίσης και την κατασκευή των κυψελών καυσίμου και την χρήση τους κατά την διάρκεια της λειτουργίας του πλοίου. Στη μελέτη χρησιμοποιούνται δύο πλοία, ένα Οχηματαγωγό-Επιβατηγό Ταχύπλοο μήκους 140 μέτρων που χρησιμοποιεί κυψέλες καυσίμων για την παραγωγή ενέργειας που και ένα ταχύπλοο 30 μέτρων που χρησιμοποιεί κυψέλες καυσίμων για την πρόωση του. Μέσα στην μελέτη αυτή έχουν αξιολογηθεί οι αέριες εκπομπές αερίων που υπερθερμαίνουν την ατμόσφαιρα και οι περιβαλλοντικές τους συνέπειες που σχετίζονται με την παραγωγή, διανομή και κατανάλωση των καυσίμων εκείνων που χρησιμοποιούνται για την λειτουργία των κυψελών είτε έχουν ως κύρια βάση το φυσικό αέριο, είτε το υδρογόνο, είτε τα καύσιμα που έχουν βάση τα ορυκτά, είτε άλλες μορφές ‘‘πράσινης ενέργειας’’. Η ανάλυση της μελέτης κατέληξε στο συμπέρασμα πως η χρήση κυψελών καυσίμων προσφέρει την δυνατότητα να έχουμε πολύ σημαντικές βελτιώσεις στο θέμα της προστασίας του περιβάλλοντος. Οι τοπικές εκπομπές ρύπων μπορούν να ελαχιστοποιηθούν καθ’ όλη την διάρκεια ζωής του πλοίου εάν εφαρμοστεί η αρχή χρήσης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Η χρήση κατευθείαν φυσικού αερίου στις κυψέλες καυσίμου που έχουν αρκετά μεγάλη θερμοκρασία εφαρμόστηκε σε πολύ μεγάλα πλοία και σε συνδυασμό με την χρήση φυσικού αερίου που προέρχεται από το οξυγόνο είχε σαν αποτέλεσμα την μείωση των εκπεμπόμενων αερίων του θερμοκηπίου από 20% - 40%. Οι κυψέλες καυσίμου έχουν τις προοπτικές για επιπλέον βελτίωση σε σχέση με τις τιμές που αναφέραμε παραπάνω το οποίο θα μπορούσε να οδηγήσει σε επιπλέον μείωση των εκπεμπόμενων ρύπων.

3. ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΚΗ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ

3.1 Είδη Καυσίμων και Κινητήρων Πρόωσης

3.1.1 Είδη καυσίμου

Η πλειοψηφία των μηχανών στα πλοία χρησιμοποιεί σαν καύσιμο κίνησης το γνωστό βαρύ καύσιμο (HFO). Το 2007 καταναλώθηκαν περίπου 350 εκατομμύρια τόνοι καυσίμου για την κίνηση των πλοίων εκ των οποίων τα 250 εκατομμύρια είναι συμβατικά καύσιμα **Buhaug et al 2009 [22]**. Όπως φαίνεται και στο **Διάγραμμα 1** το κυρίαρχο είδος μηχανής που χρησιμοποιείται για την κίνηση των πλοίων είναι οι μηχανές ντίζελ. Υπάρχουν δύο κατηγορίες καυσίμων διαφορετικής θερμογόνουσης δύναμης και οι οποίες είναι το HFO και το MDO, όπου το MDO είναι μία μίξη ανάμεσα στο HFO και του MGO.



Διάγραμμα 1. Κατανάλωση καυσίμου ναυτιλίας (2007) ανά τύπο καυσίμου και είδος μηχανής [22].

Το HFO, MDO και MGO είναι προϊόντα διύλισης του αργού πετρελαίου. Η περιεκτικότητα σε θείο των καυσίμων που χρησιμοποιούνται στην ναυτιλία εξαρτάται από τα ποσοστά θείου που εμπεριέχει το αργό πετρέλαιο. Το περιεχόμενο του θείου είναι μεγαλύτερο στα βαρύτερα κλάσματα της στήλης απόσταξης. Σε κάποια εξελιγμένα τεχνολογικά διυλιστήρια είναι δυνατή η παραγωγή βαρέους καυσίμου που να έχει περιεκτικότητα σε θείο κοντά στο 1% ενώ δύναται η παραγωγή ελαφριού καυσίμου με περιεκτικότητα σε θείο λιγότερο από 0,5%. Υπάρχουν διάφορες άλλες

δυνατότητες παραγωγής καυσίμου με ακόμα λιγότερο ποσοστό θείου αλλά η παραγωγή του είναι μία οικονομικά ασύμφορη διαδικασία.

Την τελευταία δεκαετία υπάρχει μία τάση εφαρμογής του υγροποιημένου αερίου στην ναυτιλία σαν καύσιμο λειτουργίας των μηχανών. Αυτό γίνεται καθώς το υγροποιημένο αέριο LNG είναι χαμηλότερο σε περιεκτικότητα σε θείο και έτσι εκπέμπει πολύ μικρότερες ποσότητες θείου στην ατμόσφαιρα κατά την καύση του. Το κύριο μειονέκτημα του υγροποιημένου αερίου είναι η έλλειψη εγκαταστάσεων για την φόρτωση του καθώς οι περισσότερες εγκαταστάσεις βρίσκονται στις ακτές τις Νορβηγίας όπου και γίνεται η υγροποίηση του φυσικού αερίου. Υπάρχει μεγάλη ποικιλία στους τρόπους με τους οποίους μπορεί να γίνει η υγροποίηση του φυσικού αερίου καθώς διαφοροποιείται ο τρόπος ψύξης του αερίου και ο αριθμός των σταδίων ψύξης. Για παράδειγμα υπάρχει μία εγκατάσταση στο Qatar στην οποία και χρησιμοποιούνται 3 τουρμπίνες ψύξης δυναμικότητας 125 MW η καθεμία **GE-Oil-Gas,2010 [23]**. Το υγροποιημένο αέριο αποτελείται κυρίως από μεθάνιο και άζωτο ενώ επίσης αποτελείται σε μικρό ποσοστό από αιθάνιο και προπάνιο. Στον **Πίνακα 2** απεικονίζεται μία τυπική σύσταση του υγροποιημένου αερίου η οποία όμως διαφοροποιείται από στάδιο σε στάδιο παραγωγής **Selma Bengtsson 2010 [24]**.

Πίνακας 2. Σύσταση υγροποιημένου φυσικού αερίου

Composition vapour phase, % mol, at -162 °C	
methane	85.6806
ethane	0.0061
propane	0.0000
nitrogen (N ₂)	14.3133

Μία άλλη χρησιμότητα του φυσικού αερίου είναι η παραγωγή συνθετικού καυσίμου από αυτό κάτι το οποίο είναι ευρέως διαδεδομένο καθώς είναι δυνατή η παραγωγή του με τις υπάρχουσες εγκαταστάσεις. Το συνθετικό ντίζελ ή όπως αλλιώς ονομάζεται (GTL) όταν παράγεται αυτό γίνεται μέσω μίας συγκεκριμένης διαδικασίας η οποία και αποτελείται από 3 στάδια και τα οποία είναι η παραγωγή του αρχικού φυσικού αερίου, η σύνθεση των υδρογονανθράκων και η αναβάθμιση του. Η διαδικασία αυτή είναι αποτέλεσμα έρευνας δύο γερμανών επιστημόνων κατά την διάρκεια του 2^{ου} Παγκοσμίου Πολέμου που αποσκοπούσαν στην παραγωγή συνθετικού καυσίμου από τα ορυκτά καύσιμα. Μέσα στο πέρασμα των δεκαετιών υπήρχαν πολλές φορές που η παραγωγή συνθετικού καυσίμου σταμάτησε καθώς η απόκτηση πρώτων υλών ήταν πιο δαπανηρή από την παραγωγή του απλού αργού πετρελαίου και των παραγόντων του.

Στον **Πίνακα 3** φαίνονται οι ιδιότητες των καυσίμων που είναι χαμηλά σε περιεκτικότητα θείου και τα οποία είναι HFO, MGO, GTL και LNG. Το MGO και το GTL έχουν αρκετά χαμηλότερη περιεκτικότητα σε τέφρα, θείο και άνθρακα. Μπορούμε να παρατηρήσουμε πως σε διάφορα σημεία υπάρχουν αρκετές ομοιότητες μεταξύ των

διαφορετικών καυσίμων και αυτό είναι φυσιολογικό καθώς το κάθε καύσιμο είναι παράγωγο του άλλου. Παρατηρούμε πως δεν υπάρχουν πολλές πληροφορίες για το LNG και αυτό οφείλεται στο ότι πρόκειται για ένα κρυογενικό υγρό. Οι τιμές του **Πίνακα 3** μπορούν να συγκριθούν με τα ήδη υπάρχοντα στάνταρ τα οποία και υπάρχουν. Το ISO 8217 αναφέρεται σε πολλές διαφορετικές ποιότητες καυσίμων. Υπάρχουν πολλές διαφορετικές κατηγορίες καυσίμων που περιλαμβάνονται στο ISO και η πιο συχνά χρησιμοποιούμενη ποιότητα καυσίμου είναι η RMG-380. Αυτό είναι το καύσιμο με το οποίο λειτουργούν στην πλειοψηφία τους οι περισσότερες αργόστροφες μηχανές πλοίων και είναι και το καύσιμο που έχει χρησιμοποιηθεί στην κατασκευή του υπολογιστικού μοντέλου της διπλωματικής μας.

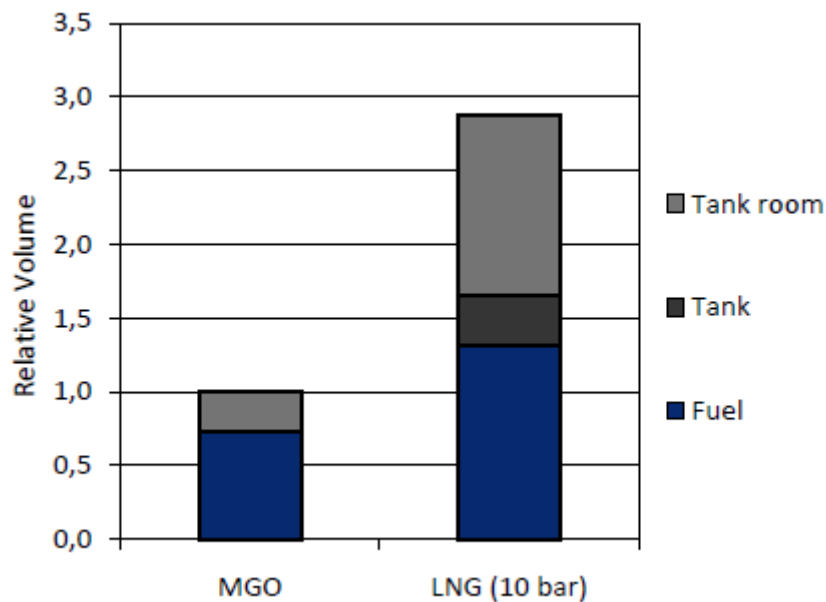
Πίνακας 3. Ιδιότητες χαμηλών σε περιεκτικότητα θείου καυσίμων HFO, MGO, GTL και LNG

		Bunker fuel oil, 1.5% sulphur (MARINIUS) (Preem, 2009a)	Bunker gasoil (NORTHEN OCEAN) (Preem, 2009b)	GTL(Norton et al., 1998, Wang et al., 2009)	LNG
Lower heating value	MJ/kg	40- 42.5 ^a	41.5-43 ^b	43.709	49
Density at 15°C	kg/m ³	989.1	836.2	777.3 (784.5)	440 ^c
Flash point	°C	88.0	65.0	(72)	
Pour point	°C	-9	-27	(0)	
Viscosity at 50°C	mm ² /s	368.3	-	-	-
Viscosity at 40°C	mm ² /s	-	2.747	2.568 (3.57)	-
Carbon/hydrogen ratio				5.68 (5.67)	
Ash content	% m/m	<0.100	<0,010	(<0.001)	
Carbon residue	% m/m	13.5	<0,30	(0.02)	
Nitrogen content	% m/m			(0.67)	
Sulphur content	% m/m	1.49	<0.03	<0.01 (<0.05)	
Total sediment (Accelerated)	% m/m	<0.01			
Aluminium + Silicon content	mg/kg	<80			
Hydrogen sulphide content	mg/kg	1.00			
Vanadium content	mg/kg	98			
Aromatics	% m/m			<0.1	
Water content	% V/V	<0.50			

Πίνακας 4. Πρότυπα καυσίμων ISO 8217

		DMA (MGO)	DMB (MDO)	DMC (MDO)	RME 180 (HFO)	RMG 380 (HFO)
Density at 15°C (max)	kg/m ³	890.0	900.0	920.0	991.0	991.0
Viscosity at 40°C (max)	mm ² /s	6.0	11.0	14.0	-	-
Viscosity at 40°C (min)	mm ² /s	1.5	-	-	-	-
Viscosity at 50°C (max)	mm ² /s	6.0	-	-	180.0	380.0
Micro carbon residue at 10 % residue (max)	% m/m	0.30	-	-	-	-
Micro carbon residue (max)	% m/m	-	0.30	2.50	15	18
Water content (max)	% V/V	-	0.3	0.3	0.5	0.5
Sulphur content (max)	% m/m	1.5	2.0	2.0	4.50	4.50
Total sediment existent (max)	% m/m	-	0.10	0.10	0.10	0.10
Ash content (max)	% m/m	0.01	0.01	0.05	0.10	0.15
Vanadium content (max)	mg/kg	-	-	100	200	300
Aluminium + Silicon content (max)	mg/kg	-	-	25	80	80
Flash point (min)	°C	60	60	60	60	60
Pour point, summer (max)	°C	0	6	6	30	30
Pour point, winter (max)	°C	-6	0	0	30	30
Cloud point (max)	°C	-	-	-	-	-

Ένα από τα πιο σημαντικά μειονεκτήματα της εγκατάστασης υγροποιημένου αερίου πάνω στο πλοίο είναι το χωροταξικό ζήτημα των δεξαμενών καθώς το μέγεθος των δεξαμενών που απαιτείται για να καλυφθεί η χωρητικότητα σε αέριο είναι πολύ πιο μεγάλη από την αντίστοιχη απαίτηση σε χώρο των δεξαμενών ενός πλοίου που χρησιμοποιεί κάποιο συμβατικό καύσιμο. Τα πλοία τα οποία είναι καινούργιες κατασκευές δεν έχουν τέτοιο πρόβλημα καθώς σχεδιάζονται από την αρχή με δεδομένο το χωροταξικό πρόβλημα και έτσι σχεδιάζεται η τοποθέτηση των δεξαμενών αυτών πολλές φορές ακόμα και πάνω στο κατάστρωμα ακριβώς επάνω από το αντλιοστάσιο. Στα ήδη υπάρχοντα πλοία όμως όπου έχουν σχεδιαστεί για να φέρουν δεξαμενές με συμβατικό καύσιμο αντιμετωπίζεται το πρόβλημα του ότι θα πρέπει ο πλοιοκτήτης να αποδεχθεί μία μείωση της μεταφορικής ικανότητας του πλοίου έτσι ώστε να εξασφαλιστεί ο απαιτούμενος χώρος για την εγκατάσταση των δεξαμενών. Το τόσο μεγάλο μέγεθος των δεξαμενών φυσικού αερίου προκύπτει παρά την αρκετά υψηλή πίεση υπό την οποία βρίσκεται το αέριο μέσα στην δεξαμενή. Στο **Διάγραμμα 2** φαίνεται η διαφορά στον όγκο δεξαμενών που απαιτείται για την χρήση υγροποιημένου αερίου έναντι συμβατικού καυσίμου.



Διάγραμμα 2. Απαιτούμενος όγκος δεξαμενών LNG και MGO

3.1.2 Είδη κινητήρων πρόωσης

Σήμερα οι περισσότερες μηχανές πλοίων που βρίσκονται σε λειτουργία είναι 2-χρονες ή 4-χρονες ντιζελομηχανές. Επίσης υπάρχουν πλοία τα οποία φέρουν τουρμπίνες ατμού και κάποια ταχύπλοα επιβατηγά τα οποία έχουν τουρμπίνες αερίου. Τα τελευταία χρόνια χρησιμοποιούνται όλο και περισσότερο μηχανές οι οποίες χρησιμοποιούν αέριο αντί για συμβατικό καύσιμο και οι εταιρίες κατασκευής μηχανών προσανατολίζονται προς την εξέλιξη των μηχανών έτσι ώστε να λειτουργούν αποδοτικά και με την καύση αερίου.

3.1.2.1 Μηχανές ντίζελ

Οι πιο συνηθισμένες ντίζελ μηχανές είναι αργόστροφες και δίχρονες με τυπική ισχύ στον άξονα της τάξης των 1500 kw μέχρι και 100000 kw και λειτουργούν με ταχύτητες περιστροφής από 50 μέχρι και 250 στροφές το λεπτό. Μία δίχρονη μηχανή μπορεί να πλησιάσει σε θερμική ισχύ το 65% και τα καυσαέρια της να πλησιάσουν θερμοκρασίες από 325-375°C. Οι μεσόστροφες μηχανές ντίζελ είναι τετράχρονες και μπορούν να πλησιάζουν ισχύ στον άξονα ανάμεσα στα 500 και στα 30000 kw ενώ η δύναμη περιστροφής τους κυμαίνεται ανάμεσα σε 400 και 1000 στροφές το λεπτό.

Όλες οι μηχανές που φέρουν τα πλοία στην σημερινή εποχή λειτουργούν επί το πλείστον με βαρύ καύσιμο. Υπάρχουν περιπτώσεις όπου αυτές οι μηχανές λειτουργούν με καύσιμο με μειωμένη περιεκτικότητα σε θείο και αυτό γίνεται μέσα στις περιοχές ελέγχου εκπομπών και στα λιμάνια για να μειωθεί η εκπομπή των αέριων ρύπων.

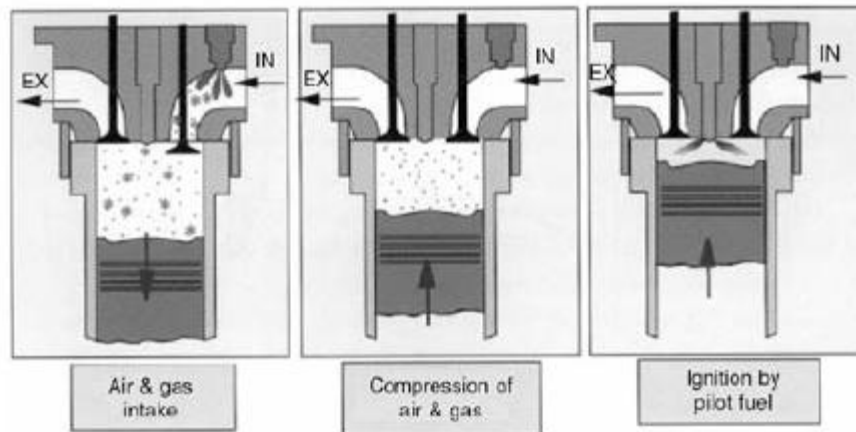
3.1.2.2 Μηχανές αερίου και υβριδικά συστήματα

Χαρακτηριστικό παράδειγμα πλοίων τα οποία λειτουργούν καίγοντας αέριο είναι τα πλοία που κινούνται βόρεια της Νορβηγίας. Μία ακόμα λύση η οποία μελετάται είναι σε συνεργασία με τις μηχανές καύσης φυσικού αερίου η λειτουργία ατμοστροβίλων όπου θα τους παρέχεται ατμός από μία σειρά λεβήτων αν και βέβαια μία τέτοια ιδέα έχει εγκαταλειφθεί λόγω της περιπλοκότητας των εγκαταστάσεων καθώς ο βαθμός αποδοτικότητας των αεριοστροβίλων είναι αρκετά χαμηλότερος των συμβατικών ντίζελ μηχανών και για αυτό η ναυτιλιακή κοινότητα έχει στραφεί περισσότερο προς την εξέλιξη της κίνησης του πλοίου με καύση φυσικού αερίου.

Οι μηχανές φτωχής καύσης φυσικού αερίου είναι μηχανές οι οποίες έχουν σαν βασικό καύσιμο το φυσικό αέριο το οποίο βρίσκεται σε μίξη με αέρα και το μείγμα αυτό αποκαλείται φτωχό καθώς τα ποσοστά αέρα τα οποία αποτελούν το μείγμα αυτό είναι αρκετά υψηλά. Τα μίγματα αυτά τα οποία είναι πλούσια σε περιεκτικότητα αέρα κατά την καύση τους οδηγούν σε μικρότερες αναπτυσσόμενες θερμοκρασίες μέσα στον θάλαμο καύσης με αποτέλεσμα να μειώνονται αισθητά οι ποσότητες των εκπεμπόμενων οξειδίων του αζώτου (NOX). Η μηχανή λειτουργεί σύμφωνα με τον κύκλο λειτουργίας του Otto και η καύση ξεκινάει με την έναρξη μίας σπίθας στον θάλαμο καύσης και το φυσικό αέριο εκχύνεται μέσα στον θάλαμο με χαμηλή πίεση. Η Rolls Royce ήταν αυτή που ξεκίνησε την ανάπτυξη των μηχανών που καίνε φυσικό αέριο στην δεκαετία του 1980 για χρήση σε επίγειες εγκαταστάσεις ανώ αργότερα άρχισε να εξελίσσει την τεχνολογία αυτή για μηχανές των πλοίων. Αυτό το σύστημα φτωχής καύσης το οποίο βασίζεται στην ανάφλεξη ενός μπουζί σε έναν προθάλαμο όπου καθαρό αέριο αναμειγνύεται με το φτωχό μείγμα δημιουργώντας ένα μείγμα το οποίο μπορεί να αναφλεχθεί πολύ εύκολα. Η καύση είναι πιο έντονη καθώς έχει απαλλαγεί από την καύση δημιουργίας της σπίθας η οποία και πραγματοποιείται στον προθάλαμο καύσης. Η εταιρία Wärtsilä έχει αναπτύξει μία παρόμοια τεχνολογία

καύσης με φτωχό μείγμα την οποία όμως προς το παρόν δεν ν προορίζει για εφαρμογή σε ναυτικές μηχανές [25].

Οι μηχανές δυνατότητας καύσης δύο καυσίμων μπορούν να λειτουργούν με καθαρό φυσικό αέριο και με υγρό καύσιμο ναυσιπλοΐας (συνήθως ντίζελ). Όταν ο κινητήρας βρίσκεται σε λειτουργία με καύση φυσικού αερίου λειτουργεί με βάση τον κύκλο του Otto και καίγοντας μείγμα που είναι φτωχό σε αέριο με την μόνη διαφορά πως για την έναρξη της καύσης χρησιμοποιείται πολύ μικρή ποσότητα καυσίμου ντίζελ έναντι της ύπαρξης ενός μπουζί όπως φαίνεται και στο **Σχήμα 11**. Αυτή η πολύ μικρή έκχυση καυσίμου συνήθως είναι της τάξης του 1% του συνολικού καυσίμου που χρησιμοποιείται. Στην περίπτωση που ο κινητήρας λειτουργεί με κανονικό καύσιμο ντίζελ τότε η μηχανή λειτουργεί κανονικά σύμφωνα με τον κύκλο του Otto όπου γίνεται έκχυση καυσίμου με πολύ μεγάλη πίεση λίγο πριν το άνω νεκρό σημείο.



Σχήμα 11. Λειτουργία μηχανής δύο καυσίμων με χρήση φυσικού αερίου

3.2 Εφαρμογή του LCA στην μηχανολογική εγκατάσταση

Γνωρίζοντας τις βασικές αρχές του LCA και τον τρόπο με τον οποίο εφαρμόζεται μέσα στον κύκλο ζωής ενός προϊόντος μπορούμε να προσεγγίσουμε την αξιολόγηση και περιγραφή του κύκλου ζωής της μηχανολογικής εγκατάστασης ενός πλοίου. Με τον όρο μηχανολογική εγκατάσταση του πλοίου αναφερόμαστε σε ένα σύνολο μηχανημάτων που πραγματοποιούν διαφορετικές λειτουργίες και συνεισφέρουν στην πρόωση και σε άλλες διαδικασίες του πλοίου. Σε αυτή τη φάση της μελέτης θα προσεγγίσουμε τον κύκλο ζωής μόνο της κύριας μηχανής του πλοίου και αυτό διότι αποτελεί την “καρδιά” της μηχανολογικής εγκατάστασης. Οι υπόλοιπες συνιστώσες που αποτελούν την μηχανολογική εγκατάσταση του πλοίου θα περιγραφούν στη συνέχεια στο κεφάλαιο περιγραφής της μηχανολογικής εγκατάστασης.

Ο κύκλος ζωής ενός προϊόντος όπως έχει περιγραφεί και στα προηγούμενα αποτελείται από τέσσερα βασικά στάδια:

- Στάδιο συγκέντρωσης πρώτων υλών

- Στάδιο κατασκευής
- Στάδιο λειτουργίας
- Στάδιο διάλυσης

Η κατασκευή της κύριας μηχανής ενός πλοίου είναι μία διαδικασία η οποία και ξεκινάει αρκετά πιο πριν από την τελική εγκατάσταση της μηχανής στο πλοίο. Σε πρώτη φάση από την στιγμή όπου δίνεται εντολή για την παραγωγή μίας τέτοιας μηχανής ξεκινάει η διαδικασία συγκέντρωσης των πρώτων υλών και όλων των απαραίτητων πόρων. Για παράδειγμα βασικό υλικό κατασκευής της μηχανής είναι ο χάλυβας και ο χυτοσίδηρος. Με την εξόρυξη του χυτοσίδηρου γίνονται όλες εκείνες οι απαραίτητες κατεργασίες και έτσι κατασκευάζονται τα κομμάτια εκείνα της μηχανής που είναι από χυτοσίδηρο. Με τον ίδιο τρόπο γίνεται η συγκέντρωση και όλων των υπόλοιπων πρώτων υλών που απαιτούνται για την κατασκευή διαφόρων εξαρτημάτων της μηχανής όπως είναι λάστιχα, κύλινδροι, καλώδια και κα. Όλες αυτές οι διαδικασίες αποτελούν το πρώτο στάδιο στον κύκλο ζωής της μηχανής του πλοίου. Από την στιγμή τώρα που όλα εκείνα τα υλικά τα οποία απαρτίζουν την μηχανή είναι κατασκευασμένα και συγκεντρωμένα ξεκινάει το δεύτερο στάδιο της ζωής της μηχανής του πλοίου και το οποίο είναι το στάδιο κατασκευής. Η κατασκευή της μηχανής συνήθως πραγματοποιείται σε εργοστάσια που βρίσκονται κοντά στα μεγάλα ναυπηγεία έτσι ώστε να είναι εύκολη η μεταφορά και η εγκατάσταση της μηχανής μέσα στο πλοίο κατά την διάρκεια κατασκευής του. Κατά την διάρκεια κατασκευής της μηχανής γίνεται η συναρμολόγηση όλων εκείνων των μηχανημάτων και γίνονται όλες εκείνες οι απαραίτητες εργασίες όπως είναι οι συγκολλήσεις και οι θερμάνσεις. Η κατασκευή της μηχανής είναι μία αρκετά χρονοβόρα διαδικασία η οποία απαιτεί πολλές εργατοώρες. Η διάρκεια της κατασκευής εξαρτάται όπως είναι λογικό από το μέγεθος της μηχανής και από την πολυπλοκότητα της καθώς τα τελευταία χρόνια η τεχνολογία των μηχανών έχει εξελιχθεί πολύ και γίνονται όλο και πιο πολύ αυτοματοποιημένες-ηλεκτρονικές οπότε και η πολυπλοκότητα τους αυξάνεται. Μόλις η μηχανή κατασκευαστεί και είναι ολοκληρωμένη πραγματοποιούνται μία σειρά από δοκιμές τόσο από πλευράς της εταιρίας κατασκευής της μηχανής αλλά και από τους νηογνώμονες έτσι ώστε να μπορέσουν να εκδώσουν τα πιστοποιητικά καλής και ορθής λειτουργίας της μηχανής σύμφωνα με τους κανονισμούς. Μετά από αυτές τις δοκιμές και αφού η μηχανή έχει πιστοποιηθεί πως λειτουργεί σωστά και σύμφωνα με τους κανονισμούς τότε είναι έτοιμη για να εγκατασταθεί στο πλοίο. Για αυτό το λόγο και ξεκινάει η διαδικασία αποσυναρμολόγησης της έτσι ώστε να μπορέσει να μεταφερθεί μέχρι το πλοίο καθώς αυτό δεν μπορεί να γίνει όταν η μηχανή είναι ένα ενιαίο κατασκευασμένο κομμάτι λόγω του τεράστιου όγκου του αλλά και του βάρους του. Με την πραγματοποίηση της αποστολής της μηχανής στο πλοίο ολοκληρώνεται το δεύτερο στάδιο του κύκλου ζωής της μηχανής του πλοίου και το οποίο ήταν το στάδιο κατασκευής.

Συνέχεια έχει το τρίτο στάδιο του κύκλου ζωής της μηχανής του πλοίου που αποτελεί το μεγαλύτερο χρονικά στάδιο και το πιο σημαντικό. Είναι το στάδιο λειτουργίας της. Η μηχανή του πλοίου βρίσκεται σπάνια εκτός λειτουργίας και για πολύ μικρό χρονικό διάστημα. Είναι το μοναδικό μέσο πρόωσης του πλοίου και οποιαδήποτε βλάβη στην μηχανή του πλοίου μπορεί να προκαλέσει μία σειρά από σημαντικά προβλήματα (ακυβερνησία, μη διαθεσιμότητα κ.α). Για αυτό το λόγο δίνεται πολύ μεγάλη προσοχή στην εγκατάσταση της μηχανής μέσα στο πλοίο όπως επίσης και στη λειτουργία της και στη συντήρησή της. Η λειτουργία της μηχανής μπορεί να γίνεται με διάφορα είδη καυσίμου τα οποία έχουν διαφοροποίηση όπως είδαμε και σε παραπάνω κεφάλαιο στην σύσταση και στη περιεκτικότητα τους σε θείο. Κατά την διάρκεια του σταδίου λειτουργίας της μηχανής του πλοίου είναι προγραμματισμένες μία σειρά από συντηρήσεις και επισκευές οι οποίες συνήθως προγραμματίζονται να γίνουν ανά 2,5 ή 5 χρόνια δηλαδή κατά την διάρκεια των επιθεωρήσεων και του δεξαμενισμού του πλοίου. Βέβαια υπάρχει και μία σειρά από περιοδικές εργασίες συντήρησης όπως είναι η αντικατάσταση λαδιών στον κινητήρα οι οποίες πραγματοποιούνται ανά τακτά χρονικά διαστήματα. Πολύ σημαντικό ρόλο διαδραματίζουν όλες εκείνες οι έκτακτες βλάβες οι οποίες μπορεί να προκύψουν και που είναι απρόσμενες με αποτέλεσμα να διαταράζουν την ομαλή λειτουργία του πλοίου. Μία τέτοια επισκευή μπορεί να είναι η αλλαγή κάποιου κυλίνδρου, πιστονιού ή κάποιο ηλεκτρικό βραχυκύκλωμα. Το στάδιο της λειτουργίας της μηχανής ολοκληρώνεται με την η αποσυναρμολόγηση-διάλυση του πλοίου στο τέλος της ζωής του. Υπάρχουν διάφορες εκδοχές για το τι γίνεται με την μηχανολογική εγκατάσταση του πλοίου στην ανακύκλωση ανάλογα με το μέρος που γίνεται η διάλυση του πλοίου. Στην περίπτωση που η διάλυση γίνεται σε κάποιο οργανωμένο ναυπηγείο τα κομμάτια της μηχανής πηγαίνουν κατευθείαν για ανακύκλωση για να χρησιμοποιηθεί το υλικό τους στην κατασκευή κάποιου άλλου προϊόντος. Η περίπτωση αυτή είναι η πιο σπάνια. Το σύνηθες φαινόμενο είναι να πραγματοποιείται η διάλυση σε κάποιο μη οργανωμένο ναυπηγείο σε χώρες του τρίτου κόσμου όπου δεν ακολουθούνται βιομηχανικές διαδικασίες αποσυναρμολόγησης πλοίων. Σε αυτές τις περιπτώσεις η μηχανή αποσυναρμολογείται και τα κομμάτια που προκύπτουν προορίζονται για ανταλλακτικά τα οποία και διατίθενται στην αγορά.

Υπάρχουν και περιπτώσεις όπου κάποια μηχανήματα όπως είναι οι ηλεκτρογεννήτριες, οι λέβητες κ.α. αφαιρούνται όπως είναι από το μηχανοστάσιο και διατίθενται στην αγορά μεταχειρισμένων προϊόντων. Σε αυτό το στάδιο του κύκλου ζωής της μηχανής και του πλοίου γενικότερα είναι πολύ σημαντική η διαχείριση των αποβλήτων τα οποία και προκύπτουν από την αποσυναρμολόγηση καθώς πολλές φορές πρόκειται για υλικά επικίνδυνα όχι μόνο για το περιβάλλον αλλά και για άνθρωπο και για αυτό χρειάζεται πολύ μεγάλη προσοχή και η οποία δυστυχώς δεν υπάρχει στα μη οργανωμένα ναυπηγεία του τρίτου κόσμου.

Με αυτόν τον τρόπο ολοκληρώνεται ο κύκλος ζωής της κύριας μηχανής του πλοίου από την στιγμή που θα γίνει η παραγγελία της μέχρι και την αποσυναρμολόγηση της που

σηματοδοτεί το τέλος της ζωής της. Με παρόμοιο τρόπο προσεγγίζονται στην μελέτη του κύκλου ζωής τους και τα υπόλοιπα μηχανολογικά εξαρτήματα που απαρτίζουν την μηχανολογική εγκατάσταση όπως είναι οι ηλεκτρογεννήτριες, οι λέβητες κ.α.

3.3 Περιγραφή Μηχανολογικής Εγκατάστασης

Σε ένα πλοίο με τον όρο μηχανολογική εγκατάσταση εννοούμε όλα εκείνα τα μηχανικά μέρη τα οποία είναι απαραίτητα για την σωστή λειτουργία του πλοίου. Πρωταρχικό ρόλο έχει η κύρια μηχανή του πλοίου η οποία παράγει όλη την απαραίτητη ενέργεια για την πρόωση του πλοίου. Περιλαμβάνονται επίσης και οι ηλεκτρογεννήτριες που είναι υπεύθυνες για την παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας που απαιτείται για την λειτουργία του πλοίου.

Εκτός από την κύρια μηχανή και τις ηλεκτρογεννήτριες που είναι βασικά μηχανικά σύνολα για όλους τους τύπους πλοίων υπάρχουν και διάφορα άλλα μηχανήματα που διαφέρουν από τύπο σε τύπο πλοίου. Για παράδειγμα στην περίπτωση ενός δεξαμενοπλοίου όπως είναι και αυτό που μελετάται στην παρούσα διπλωματική εργασία σημαντικό ρόλο διαδραματίζουν οι λέβητες και οι αντλίες φορτίου. Παρακάτω περιγράφεται αναλυτικά ολόκληρη η μηχανολογική εγκατάσταση ενός δεξαμενοπλοίου. Με το χαρακτηριστικό γράμμα **P** ορίζεται η ισχύς της κύριας ή των βοηθητικών μηχανών (ηλεκτρογεννήτριες) και έχει μονάδα μέτρησης τα κιλοβάτ (kw). Τα χαρακτηριστικά **ME** και **AE** αναφέρονται στον χαρακτηρισμό της κύριας μηχανής και των βοηθητικών μηχανών.

3.3.1 Ισχύς κύριας μηχανής (P_{ME})

Η ισχύ της κύριας μηχανής προσδιορίζεται περίπου στο 75% της μέγιστης εγκατεστημένης ισχύς (MCR) αφού έχει αφαιρεθεί το ποσό της ισχύς που αναλογεί στις γεννήτριες άξονα. Ο παράγοντας 75% της μέγιστης εγκατεστημένης ισχύος είναι η απαιτούμενη ισχύς έτσι ώστε να μπορεί να επιτευχθεί από το πλοίο η υπηρεσιακή του ταχύτητα. Το περιθώριο ισχύος που υπάρχει και είναι ίσο με 25% οφείλεται στην θεώρηση που έχει γίνει ότι υπάρχει 15% απόθεμα ισχύος σε περίπτωση άσχημων καιρικών συνθηκών και άλλο 10% απόθεμα για να ληφθούν υπόψη όλες οι απώλειες ενέργειας που εμφανίζονται. Όλες αυτές οι υποθέσεις ισχύουν στην περίπτωση που η γάστρα είναι καθαρή και δεν υπάρχουν απώλειες ενέργειας που οδηγούν σε απώλειες ταχύτητας λόγω της ρυπασμένης γάστρας. Με το πέρασμα των ετών λειτουργίας του πλοίου και ανάλογα και με την περιοχή που πλέει το πλοίο η ρύπανση της γάστρας είναι ολοένα και αυξανόμενη κατά τα έτη ανάμεσα στους δεξαμενισμούς και στις συντηρήσεις του πλοίου. Μετά από κάθε δεξαμενισμό η απαιτούμενη ισχύ που απαιτείται για την υπηρεσιακή ταχύτητα αντιστοιχεί στο 75% της απαιτούμενης εγκατεστημένης ισχύς [26]. Με το πέρασμα των ετών λειτουργίας και πλησιάζοντας στα 2,5 χρόνια μετά τον δεξαμενισμό η απαίτηση σε ισχύ πλησιάζει το 85% για να μπορεί το πλοίο να επιτυγχάνει την υπηρεσιακή ταχύτητα. Στην περίπτωση που δεν

γίνει κάποιος καθαρισμός από δύτες κατά την επιθεώρηση που πραγματοποιείται ενώ το πλοίο είναι μέσα στο νερό (2,5 έτη [27]) τότε ο επόμενος καθαρισμός θα πραγματοποιηθεί κατά τον δεξαμενισμό του πλοίου που στις περισσότερες των περιπτώσεων έχει προγραμματιστεί να γίνει στα 5 έτη λειτουργίας. Έτσι στο τέλος της πενταετίας πλησιάζοντας στον δεξαμενισμό η απαίτηση του πλοίου σε εγκατεστημένη ισχύ για να επιτύχει την υπηρεσιακή του ταχύτητα είναι πολύ μεγαλύτερη και πλησιάζει την μέγιστη συνεχόμενη επιτρεπόμενη ισχύ της μηχανής (MCR). Σε αυτές τις περιπτώσεις όπου το πλοίο έχει ρυπασμένη γάστρα και οι καιρικές συνθήκες είναι δύσκολες υπάρχει η δυνατότητα για ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα η μηχανή να δουλεύει στο 110% της μέγιστης εγκατεστημένης της ισχύς (MCR) [28].

Στις περισσότερες μηχανές παραγωγής αυτή η υπερφόρτιση μπορεί να γίνει για χρονικό διάστημα το πολύ μίας ώρας κάθε εικοσιτέσσερις (24) ώρες λειτουργίας. [29]. Έχουμε θεωρήσει πως το ποσοστό φόρτισης μεταβάλλεται κατά την διάρκεια της πλεύσης μας ενώ η μηχανή απενεργοποιείται στα χρονικά διαστήματα που το πλοίο βρίσκεται μέσα στο λιμάνι και φορτοεκφορτώνει και κατά την διάρκεια παραμονής του πλοίου έξω από το λιμάνι αναμένοντας αγκυροβολημένο ενώ παραμένει ανενεργή και κατά τη διάρκεια των δεξαμενισμών, (συνήθως ανά 5 χρόνια). Στην κατάσταση ελιγμών κατά την προσέγγιση στο λιμάνι η μηχανή δουλεύει στο 25% της ισχύος για να είναι δυνατοί οι ελιγμοί του πλοίου καθώς πολύ μεγάλο βάρος κατά την διάρκεια των ελιγμών αναλαμβάνουν οι προωθητές πλώρης.

Στην παρούσα διπλωματική θα εξεταστούν διάφορα σενάρια που θα περιλαμβάνουν διαφορετικές φορτίσεις της μηχανής του πλοίου σε διαφορετικές περιπτώσεις ρύπανσης της γάστρας έτσι ώστε να προσεγγιστούν οι εκπομπές ρύπων στον κύκλο ζωής του πλοίου σε διαφορετικές-πραγματικές συνθήκες φόρτισης της μηχανής.

Η ισχύς της κυρίας μηχανής (i) που παρέχεται για πρόωση προσδιορίζεται από την παρακάτω σχέση.

$$P_{ME(i)} = 0,75 \cdot (MCR_{ME(i)}) = 0,75 \cdot 12240 = 9180KW \quad (1)$$

όπου ορίζονται:

$MCR_{ME(i)}$ = μέγιστη συνεχόμενη ισχύς της κυρίας μηχανής

3.3.2 Ισχύς βοηθητικών μηχανών (P_{ΑΕ})

Με τον όρο **P_{ΑΕ}** ορίζεται η συνολική ενέργεια που παράγεται από τις βοηθητικές μηχανές της εγκατάστασης μας οι οποίες και παρέχουν όλη την απαιτούμενη ενέργεια που χρειάζεται για να λειτουργεί σωστά η κύρια μηχανή του πλοίου και να καλύπτονται και όλες οι άλλες ανάγκες του πλοίου σε ηλεκτρισμό όπως για παράδειγμα οι ανάγκες ηλεκτροδότησης των υπερκατασκευών και του πληρώματος. Η συνολική ενέργεια που απαιτείται υπολογίζεται σε συνθήκες πλήρους φόρτισης του πλοίου δηλαδή στην πλήρη

έμφορτη κατάσταση και σε ταχύτητα υπηρεσίας. Υπάρχουν διάφοροι τρόποι για να υπολογιστεί η απαίτηση του πλοίου σε ηλεκτρισμό. Ο πιο ακριβής τρόπος είναι να γίνει μία ανάλυση ηλεκτρικού φορτίου του πλοίου (ηλεκτρικός ισολογισμός). Βέβαια κάτι τέτοιο είναι πολύ δύσκολο να γίνει στην πρωταρχική μελέτη και στα πλαίσια αυτής της διπλωματικής δεν θα προσεγγιστεί με αυτόν τον τρόπο. Ωστόσο εάν δεν υπάρχουν επαρκή στοιχεία για να υπολογιστεί η ηλεκτρική ισχύς PAE του πλοίου υπάρχουν δύο προτεινόμενοι τύποι από τον Διεθνή Οργανισμό Ναυτιλίας για να υπολογιστεί προσεγγιστικά η απαίτηση του πλοίου σε ηλεκτρική ενέργεια σε συνάρτηση πάντα με την ισχύ της κύριας μηχανής που φέρει το πλοίο. Οι τύποι είναι οι εξής [50]:

- Για πλοία με συνολική ισχύ κύριας μηχανής $> 10000 \text{ KW}$ η PAE ορίζεται ως

$$P_{AE(MCR_{ME}) > 10000 \text{ KW}} = (0.025 \times \sum_{i=1}^{n \times ME} MCR_{ME(i)}) + 250$$

- Για πλοία με συνολική ισχύ κύριας μηχανής $< 10000 \text{ KW}$ η PAE ορίζεται ως

$$P_{AE(MCR_{ME}) < 10000 \text{ KW}} = 0.05 \cdot \sum_{i=1}^{n \cdot ME} MCR_{ME(i)}$$

Στην πρώτη περίπτωση και όσον αφορά το πλοίο της διπλωματικής μας που έχουμε επιλέξει προκύπτει

$$P_{AE} = (0.025 \cdot 12240) + 250 = 556 \text{ KW}$$

Με την δεύτερη προσέγγιση έχουμε

$$P_{AE} = 0.05 \cdot 12240 = 612 \text{ KW}$$

Ο αριθμός των ηλεκτρογεννητριών που χρησιμοποιούνται έχει να κάνει με τις απαιτήσεις του πλοίου σε ηλεκτρική ενέργεια. Πάντα θα υπάρχει και μία επιπλέον ηλεκτρογεννήτρια ανάγκης που θα χρησιμοποιείται μόνο σε περίπτωση ανάγκης και που είναι ικανή να φέρει όλο το φορτίο που απαιτείται για την λειτουργία του πλοίου. Συνήθως αυτή η ηλεκτρογεννήτρια βρίσκεται σε χώρο εκτός του μηχανοστασίου για να μπορεί να λειτουργήσει σε κάθε περίπτωση (πχ φωτιά στο μηχανοστάσιο).

Στην παρούσα διπλωματική εργασία και όσον αφορά το πλοίο και το οποίο μελετάμε η απαίτηση του πλοίου σε ηλεκτρική ενέργεια ικανοποιείται από δύο ηλεκτρογεννήτριες και μία ακόμα που χρησιμοποιείται σαν ηλεκτρογεννήτρια σε περίπτωση ανάγκης.

Το φορτίο των ηλεκτρογεννητριών διαφέρει από πλοίο σε πλοίο και ανά κατάσταση πλεύσης. Επίσης διαφοροποιείται και ο αριθμός των ηλεκτρογεννητριών που βρίσκονται σε λειτουργία κάθε φορά. Σαν βάση έχουμε χρησιμοποιήσει την προσέγγιση του IMO σχετικά με το EEDI σύμφωνα [30] όπου και αναγράφεται πως στον

υπολογισμό του EEDI οι ηλεκτρογεννήτριες του πλοίου δουλεύουν στο 75% του μέγιστου φορτίου που μπορεί να φέρουν.

Στη μελέτη μας έχει θεωρηθεί σύμφωνα με τα στοιχεία από παρόμοια πλοία με το δικό μας πως όσο το καράβι βρίσκεται εν πλω βρίσκεται σε λειτουργία η μία ηλεκτρογεννήτρια σε ποσοστό λειτουργίας ίσο με 75% και έτσι ικανοποιούνται οι ανάγκες του πλοίου σε ηλεκτροδότηση. Υπάρχουν περιπτώσεις όπου λόγω άσχημων καιρικών συνθηκών ή λόγω μεγάλου ποσοστού ρύπανσης της γάστρας ή και των δύο μαζί απαιτούνται μεγαλύτερα ποσά ηλεκτρικής ενέργειας οπότε σε αυτήν την περίπτωση είναι στην διακριτική ευχέρεια του πρώτου μηχανικού να αποφασίσει εάν θα φορτίσει την μία ηλεκτρογεννήτρια παραπάνω (πχ 85%) ή θα θέσει σε λειτουργία και την δεύτερη ηλεκτρογεννήτρια και θα μοιράσει το συνολικό φορτίο και στις δύο.

Στην περίπτωση που το πλοίο μας ταξιδεύει ερματισμένο κάτι το οποίο στην περίπτωση του δεξαμενοπλοίου συμβαίνει σε χρονικό διάστημα που πλησιάζει το μισό κύκλο ζωής του πλοίου μας θεωρούμε πως δουλεύει η μία ηλεκτρογεννήτρια στο 75% της ισχύος της όπου και είναι αρκετό για να καλύψει της απαιτήσεις πλεύσης καθώς το πλοίο δεν μεταφέρει φορτίο και έχει σαν αποτέλεσμα και το φορτίο της κύριας μηχανής να είναι μικρότερο.

Στο δεξαμενόπλοιο της μελέτης προκύπτει πως λόγω της ιδιαίτερης λειτουργίας υπάρχουν κάποιες διαφοροποιήσεις στην λειτουργία των ηλεκτρογεννητριών στην διάρκεια ζωής του πλοίου και οι οποίες είναι πολύ σημαντικές. Κατά την διάρκεια του χρόνου που το πλοίο βρίσκεται στο λιμάνι και φορτώνει-εκφορτώνει λειτουργούν και οι δύο του ηλεκτρογεννήτριες σε ποσοστό 75% για να μπορούν να υποστηρίξουν τις απαιτήσεις σε ηλεκτρικό φορτίο που έχουν οι αντλίες που χρησιμοποιούνται για την μεταφορά του φορτίου. Είναι πολύ σημαντικό να παρέχεται η αναγκαία ενέργεια στις αντλίες έτσι ώστε να μπορεί να αξιοποιείται στο έπακρον η δυνατότητα λειτουργίας τους για να μπορεί να μειωθεί ο χρόνος φορτοεκφόρτωσης και ο χρόνος παραμονής στο λιμάνι κάτι το οποίο είναι πολύ σημαντικό για ένα πλοίο καθώς λιγότερος χρόνος μέσα στο λιμάνι σημαίνει μικρότερη διάρκεια ταξιδιού που αντικατοπτρίζεται στον μεγαλύτερο αριθμό ταξιδιών μέσα στον κύκλο ζωής του πλοίου. Κατά την διάρκεια των ελιγμών που πραγματοποιεί το πλοίο στην περιοχή του λιμανιού θεωρούμε πως δουλεύει η μία ηλεκτρογεννήτρια στο 75% έτσι ώστε να μπορέσει οποιαδήποτε στιγμή να προσδώσει το απαραίτητο φορτίο που μπορεί να ζητήσει η κύρια μηχανή του πλοίου όπως επίσης και οι προωθητήρες πλώρης και πρύμνης οι οποίοι παίζουν πολύ σημαντικό ρόλο στους ελιγμούς του πλοίου.

Σε κάποιες περιπτώσεις το πλοίο καθώς καταφθάνει στο λιμάνι δεν μπορεί να εξυπηρετηθεί άμεσα διότι μπορεί να βρίσκεται στην προβλήτα κάποιο άλλο πλοίο το οποίο και να έχει καταλάβει την προβλήτα οπότε και το πλοίο μας θα αναμένει έξω από το λιμάνι μέχρι να έρθει η σειρά του να μπει στο λιμάνι. Σε αυτή την περίπτωση το πλοίο αγκυροβολεί και λειτουργεί μόνο η μία ηλεκτρογεννήτρια σε ποσοστό 75% για

να μπορεί να καλύψει όλες τις ανάγκες σε ηλεκτρισμό του πλοίου καθώς και να καλύπτει την λειτουργία των λεβήτων που είναι απαραίτητα για την διατήρηση της θερμοκρασίας του φορτίου και την θέρμανση του νερού για τις ανάγκες του πληρώματος.

Το πλοίο κατά την διάρκεια του κύκλου ζωής του ανά τακτά χρονικά διαστήματα σταματά την λειτουργία του και κάνει τις περιοδικές συντηρήσεις του οι οποίες διαχωρίζονται σε επιθεωρήσεις που γίνονται ενώ το πλοίο βρίσκεται μέσα στην θάλασσα (ανά 2,5 χρόνια συνήθως) και σε συντηρήσεις που γίνονται ανά 5 χρόνια και όπου πραγματοποιείται δεξαμενισμός του πλοίου. Σε αυτές τις περιπτώσεις η κύρια μηχανή του πλοίου είναι ανενεργή και δουλεύει μόνο η μία ηλεκτρομηχανή σε ποσοστό 25% της συνολικής ισχύς της, ποσοστό λειτουργίας ικανό να καλύψει τις ανάγκες που έχει το πλοίο κατά την διάρκεια των επισκευών.

3.3.3 **Ισχύς λέβητα (Boiler)**

Ο λέβητας αποτελεί ένα από τα πιο σημαντικά μηχανήματα για την λειτουργία ενός πλοίου και πόσο μάλλον ενός δεξαμενοπλοίου. Τα δεξαμενόπλοια τα οποία μεταφέρουν διάφορα είδη πετρελαίου αντιμετωπίζουν το πρόβλημα της θέρμανσης του φορτίου τους κατά την διάρκεια όλης της λειτουργίας του πλοίου και αυτό γίνεται για διάφορους λόγους. Σε πρώτη φάση πρέπει το φορτίο κατά την μεταφορά του να βρίσκεται σε ιδανική θερμοκρασία έτσι ώστε να μην ‘πετρώσει’ λόγω των εξωτερικών θερμοκρασιών κάτι το οποίο και θα οδηγήσει στην ποιοτική αλλοίωση του φορτίου. Για παράδειγμα, ένα δεξαμενόπλοιο που λειτουργεί σε περιοχές όπου οι θερμοκρασίες είναι χαμηλές υπάρχει ο κίνδυνος να στερεοποιηθεί το πετρέλαιο και να αλλοιωθεί η ποιότητα του. Για αυτό το λόγο χρησιμοποιείται η θέρμανση του φορτίου στην διάρκεια του ταξιδιού. Ένας άλλος πολύ σημαντικός λόγος είναι πως εφόσον η θερμοκρασία του πετρελαίου είναι υψηλή το κινηματικό του ιξώδες είναι αρκετά χαμηλό και αυτό διευκολύνει την φορτοεκφόρτωση του με την χρήση των αντλιών. Αυτό οδηγεί σε μικρότερες απαιτήσεις ισχύος από τις αντλίες του φορτίου άρα κέρδος για την πλοιοκτήτρια εταιρία. Όλα αυτά τα προβλήματα αποφεύγονται με την χρήση των λεβήτων σε ένα πλοίο. Οι λέβητες είναι μηχανήματα τα οποία δαπανούν ενέργεια από την καύση καυσίμων και παράγουν ατμό ο οποίος χρησιμοποιείται για την θέρμανση του φορτίου σε πρώτη φάση και σε δεύτερη φάση για την παραγωγή θερμότητας που είναι απαραίτητη για την στέγαση του πληρώματος. Επίσης μία ακόμα χρησιμότητα των λεβήτων είναι η παραγωγή ατμού κατά την φορτοεκφόρτωση του φορτίου για την υποβοήθηση της μηχανικής λειτουργίας των αντλιών. Συνήθως ο αριθμός των λεβήτων στα δεξαμενόπλοια είναι 2 ή 3 και εξαρτάται από τις ανάγκες του πλοίου σε ατμό. Υπάρχουν και περιπτώσεις πλοίων όπου η θέρμανση του φορτίου μας πραγματοποιείται από την ύπαρξη αντιστάσεων στις δεξαμενές του φορτίου.

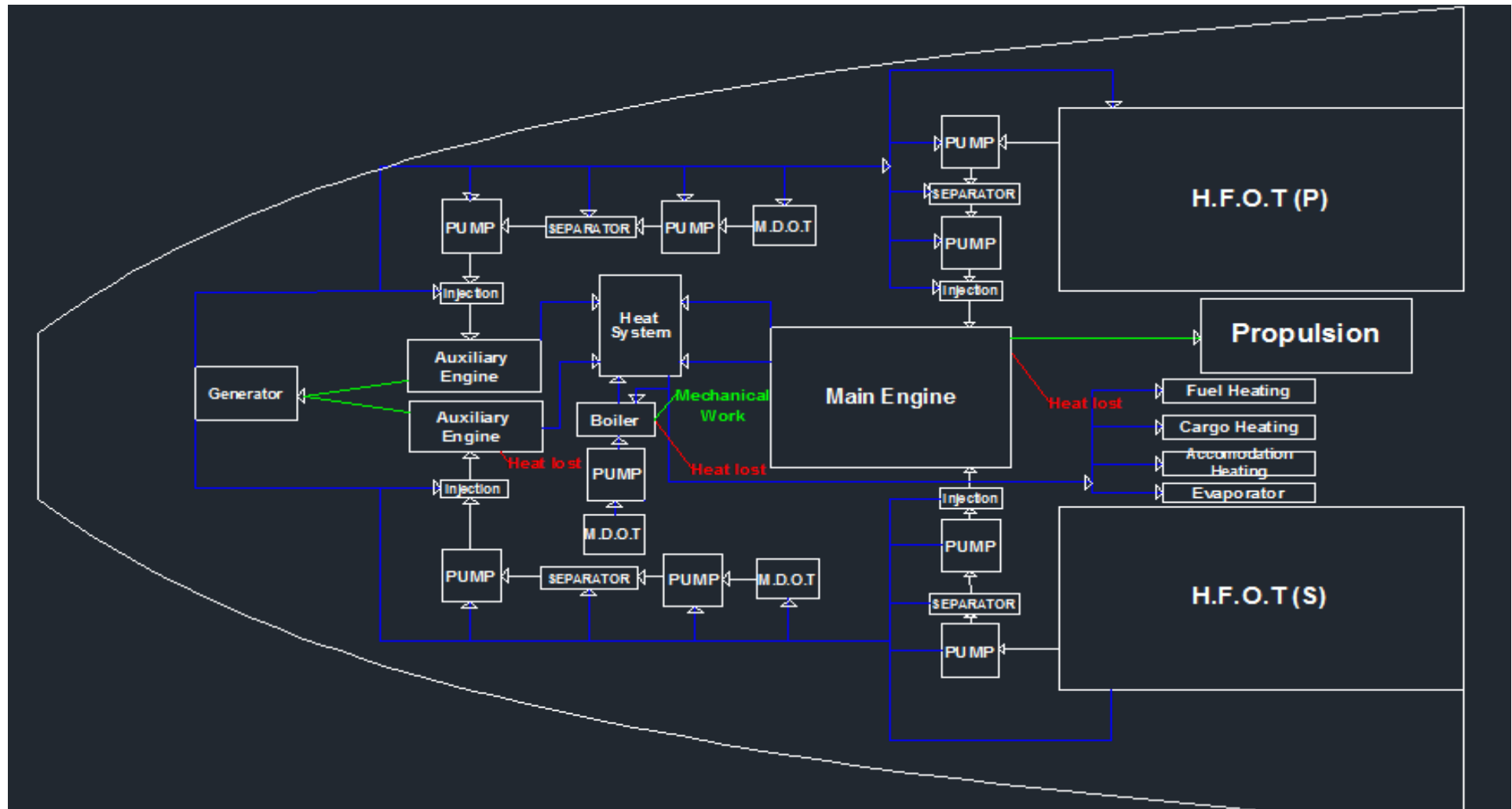
Κατά [31] συνήθως εν πλω βρίσκεται σε λειτουργία ο ένας λέβητας σε ποσοστό φόρτισης περίπου 50% της ισχύος του για να μπορέσουν να καλυφθούν επαρκώς οι

ανάγκες θέρμανσης του φορτίου. Κατά την φορτοεκφόρτωση του πλοίου θεωρείται πως δουλεύουν και οι δύο λέβητες περίπου στο 75% της ισχύος τους για να μπορούν να τροφοδοτούνται οι αντλίες εκφόρτωσης με ατμό.

3.3.4 Αντλίες

Οι αντλίες χρησιμοποιούνται στα δεξαμενόπλοια ως ο μοναδικός τρόπος για την φορτοεκφόρτωση του υγρού φορτίου που αυτά μεταφέρουν. Οι αντλίες λειτουργούν συνήθως με συνδυασμό χρήσης ηλεκτρικής ενέργειας και ατμού ο οποίος παράγεται από τους λέβητες. Χρησιμοποιούνται στην εκφόρτωση του φορτίου του πλοίου καθώς στην φόρτωση λειτουργούν οι αντλίες του λιμανιού και είναι εκείνες που μεταφέρουν το φορτίο. Από την δυναμικότητα των αντλιών εξαρτάται άμεσα και ο χρόνος παραμονής του πλοίου στο λιμάνι.

Στο **Σχήμα 12** φαίνεται η σχηματική απεικόνιση της διάταξης ενός τυπικού μηχανοστασίου όπου φαίνονται όλα εκείνα τα βασικά στοιχεία που αποτελούν την μηχανολογική εγκατάσταση ενός πλοίου.



Σχήμα 12 Γενική διάταξη μηχανολογικής εγκατάστασης

4. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ

Στην παρούσα διπλωματική εργασία έγινε προσπάθεια να κατασκευαστεί ένα υπολογιστικό μοντέλο το οποίο θα μπορεί να υπολογίσει τις συνολικές εκπομπές ρύπων της μηχανολογικής εγκατάστασης ενός πλοίου στον κύκλο ζωής του. Η δημιουργία του μοντέλου πραγματοποιήθηκε σε δύο διαφορετικά υπολογιστικά περιβάλλοντα, το Microsoft Office Excel και το Matlab Simulink. Το πρώτο πρόγραμμα είναι ευρέως γνωστό και χρησιμοποιήθηκε για να υπάρξει μία πιο εύκολη και πρόχειρη απεικόνιση του υπολογιστικού ας μοντέλου. Το δεύτερο πρόγραμμα είναι ένα εξειδικευμένο υπολογιστικό εργαλείο προσομοίωσης το οποίο μπορεί και απεικονίζει πλήρως την ροή των αποτελεσμάτων σχηματικά και παρέχει την δυνατότητα με σχετικά απλό τρόπο να πραγματοποιηθεί δυναμικός προγραμματισμός χρησιμοποιώντας προγραμματιστικούς κώδικες στο Matlab. Και τα δύο προγράμματα είναι πλήρως παραμετροποιημένα και έτσι παρέχεται η δυνατότητα στο χρήστη να εισάγει διαφορετικές τιμές παραμέτρων κάθε φορά και να προκύπτουν διαφορετικά αποτελέσματα. Έτσι με αυτόν τον τρόπο μπορούν να εξεταστούν διαφορετικά μεταξύ τους σενάρια και ο χρήστης μπορεί να μελετήσει το πλοίο από πολλές διαφορετικές οπτικές γωνίες. Το πρώτο και πιο βασικό υπολογιστικό μοντέλο δημιουργήθηκε στο Matlab αλλά εξελίχθηκε μέσω του προγράμματος Microsoft Office Excel για να υπάρχει η δυνατότητα να μελετηθούν ένας μεγάλος αριθμός από διαφορετικά σενάρια τα οποία θα επιτρέψουν περισσότερες αναλύσεις. Στην αρχή η λεπτομερής περιγραφή των σεναρίων και των υπολογισμών που λαμβάνουν χώρα στο υπολογιστικό εργαλείο θα γίνουν στην βάση του Microsoft Office Excel καθώς αυτό είναι το πιο περίπλοκο και εξελιγμένο υπολογιστικό μοντέλο και στην συνέχεια θα περιγραφεί το υπολογιστικό μοντέλο στο Matlab από όπου και θα προκύψουν κάποια πρώτα αποτελέσματα σε πολύ απλοϊκά σενάρια τα οποία χρησιμεύουν για την επαλήθευση της σύγκλισης των δύο υπολογιστικών μοντέλων.

4.1 Περιγραφή μοντέλου Microsoft Office Excel

4.1.1 Πίνακας Υπομνήματος

Στο υπολογιστικό μοντέλο έχουν τοποθετηθεί διάφοροι χρωματισμοί για εύκολη κατανόηση και ευχρηστία. Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται οι χρωματισμοί αυτοί και οι επεξηγήσεις που τους αντιστοιχούν.

Πίνακας 5. Πίνακας Υπομνήματος

Πίνακας Υπομνήματος	
Εισαγωγή Δεδομένων	
Υπολογισμοί	
Περιγραφή	
Αποτελέσματα Υποσυστήματος	
Τελικά Αποτελέσματα	

4.1.2 Περιγραφή Πλοίου Μελέτης

Σαν πλοίο αναφοράς για την κατασκευή του υπολογιστικού μας μοντέλου χρησιμοποιήθηκε ένα υπαρκτό πλοίο το οποίο ανήκει στην κατηγορία των δεξαμενοπλοίων και έχει νεκρό βάρος περίπου 74.296 τόννους. Το συγκεκριμένο πλοίο είναι νηολογημένο σε σημαία Λιβερίας και τα κύρια του χαρακτηριστικά φαίνονται στον πίνακα παρακάτω

Πίνακας 6. Κύρια χαρακτηριστικά πλοίου

Ship	SELINI	
DWT	74296	tonnes
Builder		
Date of built	2009	
L (Length)	219	m
B (Beam)	32,24	m
T (Draft)	12,2	m
D (Depth)	20,6	m
Speed	14	knots

4.1.3 Περιγραφή Μηχανολογικής Εγκατάστασης

Σε αυτή τη φάση γίνεται η εισαγωγή των δεδομένων από τον χρήστη. Στους παρακάτω πίνακες απεικονίζονται όλες εκείνες οι πληροφορίες που πρέπει να εισαχθούν σχετικά με τις κύριες μηχανές, ηλεκτρογεννήτριες, λέβητες και αντλίες που διαθέτει το δεξαμενόπλοιο.

Πίνακας 7. Χαρακτηριστικά Κύριας Μηχανής

MAIN ENGINE (s)		
Design		
Builder		
Power (MCR)		kw
Rpm		rpm
SFOC		gr/kWh
Fuel		
Number		
Weight		ton

Πίνακας 8. Χαρακτηριστικά Ηλεκτρογεννήτριας

AUXILLARY ENGINE (s)		
Design		
Builder		
Power (MCR)		kw
Rpm		rpm
SFOC		gr/kWh
Fuel		
Number		
Weight		ton

Πίνακας 9. Χαρακτηριστικά Λέβητα

BOILER (s)		
Design		
Builder		
Power (MCR)		kw
Rpm		rpm
SFOC		gr/kWh
Fuel		
Number		
Weight		ton
Steam Production Rate		ton/h

Πίνακας 10. Χαρακτηριστικά συστημάτων αντλιών

PUMP (s)		
Design		
Builder		
Power (MCR)		kw
Rpm		rpm
SFOC		gr/kWh
Fuel		
Number		
Weight		ton

4.1.4 Περιγραφή Σεναρίου Λειτουργίας

Η σωστή επιλογή σεναρίου είναι πολύ σημαντική έτσι ώστε το υπολογιστικό εργαλείο να παράγει σωστά αποτελέσματα.. Το πιο σημαντικό και το πιο δύσκολο κομμάτι της όλης μελέτης είναι να μπορεί το σενάριο το οποίο και θα δημιουργήσει ο χρήστης του εργαλείου να είναι αρκετά ρεαλιστικό και να μπορεί να παρομοιάζει τον πραγματικό κύκλο ζωής του πλοίου. Με την λέξη σενάριο δεν εννοούμε μόνο ότι έχει να κάνει με την μηχανολογική εγκατάσταση του πλοίου αλλά συμπεριλαμβάνει και πάρα πολλούς ακόμα παράγοντες όπως για παράδειγμα την απόσταση που διανύει για να πάει από το λιμάνι Α στο λιμάνι Β. Το πλοίο δεν πραγματοποιεί σε όλο τον κύκλο ζωής του το ίδιο

δρομολόγιο και αυτό είναι κάτι το οποίο πρέπει να ληφθεί πολύ σοβαρά υπόψη. Μέσα στο υπολογιστικό εργαλείο ο χρήστης μπορεί να εισάγει έναν πίνακα στον οποίο και θα αναγράφονται τα δρομολόγια τα οποία κάνει το πλοίο μέσα στον κύκλο ζωής του. Έτσι θα μπορεί να προκύπτει η απόσταση την οποία και πρέπει να διανύσει το πλοίο για να μεταφέρει το φορτίο του ανάμεσα στα δύο λιμάνια. Στον παρακάτω πίνακα φαίνεται η απεικόνιση των δρομολογίων του πλοίου που έχουμε υπόθεση στην παρούσα διπλωματική. Έχει θεωρηθεί πως το πλοίο μας πραγματοποιεί αλλαγή δρομολογίου ανά δύο έτη για να εξυπηρετήσει διαφορετικούς πελάτες και στον παρακάτω πίνακα απεικονίζονται όλες αυτές οι διαδρομές οι οποίες έχουν προέλθει από πραγματικά στοιχεία της πλοιοκτήτριας εταιρίας.

Πίνακας 11. Δρομολόγια πλοίου κατά την διάρκεια του κύκλου ζωής

PORT A	PORT B	DISTANCE
Ras Tanura (Saudi Arabia)	Yokohama (Japan)	nmiles
Rotterdam (Netherlands)	New York (USA)	nmiles
Singapore (Malaysia)	Chiba (Japan)	nmiles
Caribbean (USA)	Venezouela (USA)	nmiles
Shuwaikh (Kouwait)	Singapore (Malaysia)	nmiles
Sitki Kerir (Alexandreia)	Lavera (France)	nmiles
Bonny (Nigeria)	Filadelfeia (USA)	nmiles
Sullom Voe (Scotland)	Wilhelushaven(Germany)	nmiles
Ras Tanura (Saudi Arabia)	New York (USA)	nmiles
Ras Tanura (Saudi Arabia)	Yokohama (Japan)	nmiles
Rotterdam (Netherlands)	New York (USA)	nmiles
Singapore (Malaysia)	Chiba (Japan)	nmiles
Caribbean (USA)	Venezouela (USA)	nmiles
Shuwaikh (Kouwait)	Singapore (Malaysia)	nmiles
Sitki Kerir (Alexandreia)	Lavera (France)	nmiles
Bonny (Nigeria)	Filadelfeia (USA)	nmiles
Sullom Voe (Scotland)	Wilhelushaven (Germany)	nmiles
Ras Tanura (Saudi Arabia)	New York (USA)	nmiles
Ras Tanura (Saudi Arabia)	Yokohama (Japan)	nmiles
Rotterdam (Netherlands)	New York (USA)	nmiles
Singapore (Malaysia)	Chiba (Japan)	nmiles
Caribbean (USA)	Venezouela (USA)	nmiles
Shuwaikh (Kouwait)	Singapore (Malaysia)	nmiles
Sitki Kerir (Alexandreia)	Lavera (France)	nmiles
Bonny (Nigeria)	Filadelfeia (USA)	nmiles

Αφού έγινε περιγραφή των δρομολογίων τα οποία πραγματοποιεί το πλοίο σε όλο τον κύκλο ζωής του πρέπει ο χρήστης του εργαλείου τώρα να προσδιορίσει και όλες τις υπόλοιπες παραμέτρους που περιγράφουν το σενάριο όπως φαίνονται παρακάτω

Πίνακας 12. Παράμετροι περιγραφής εξεταζόμενου σεναρίου

Ship Name		
Type		
Port of Departure (A)		
Port of Arrival (B)		
Distance covered (A-B)		n.miles
Speed laden (A-B)		knots
Speed ballast (B-A)		knots
time (A-B)		days
time (B-A)		days
days at see		days
days at port (loading)		days
days at port (unloading)		days
total days at port		days
Duration of 1 trip		days
days off /year		days
days outside port per trip		days
number of trips / year		trips
ship life cycle		years
total trips in life cycle		trips
number of ships		ships
days at manouvering		days

Port of Departure (A)

Λιμάνι αναχώρησης, είναι μία τιμή η οποία αντλείται απευθείας από τον πίνακα των δρομολογίων που έχει εισάγει παραπάνω ο χρήστης

Port of Arrival (B)

Λιμάνι άφιξης, είναι μία τιμή η οποία αντλείται απευθείας από τον πίνακα των δρομολογίων που έχει εισάγει παραπάνω ο χρήστης

Distance covered (A-B)

Είναι η απόσταση που διανύει το πλοίο για να εκτελέσει ένα δρομολόγιο από το λιμάνι A στο λιμάνι B. Η τιμή αυτή περνάει απευθείας από τον πίνακα που αναφέρεται το πρόγραμμα δρομολογίων του πλοίου.

Speed laden V_L (A-B)

Με τον όρο αυτόν περιγράφεται η ταχύτητα που έχει το πλοίο καθώς πηγαίνει με γεμάτο φορτίο από το λιμάνι A στο λιμάνι B. Η ταχύτητα αυτή αναφέρεται και ως ταχύτητα υπηρεσίας. Για να επιτευχθεί η ταχύτητα αυτή από το πλοίο που είναι

φορτωμένο συνήθως η φόρτιση της μηχανής κυμαίνεται από το 75%-100% της μέγιστης συνεχόμενης ισχύς της κύριας μηχανής ανάλογα με το ποσοστό ρύπανσης που έχει η γάστρα που οδηγεί στην αύξηση της αντίστασης και στην αύξηση της απαιτούμενης ισχύς για να παραμείνει η ταχύτητα υπηρεσίας σταθερή. Συνήθως αυτή η ταχύτητα είναι σταθερή και προγραμματισμένη πριν από την έναρξη του ταξιδιού από την στιγμή που η πλοιοκτήτρια εταιρία έχει κάνει τον προγραμματισμό της για αυτά τα ταξίδια. Υπάρχουν και περιπτώσεις όπου αυτή η ταχύτητα μπορεί να μην είναι σταθερή πάντα και να αλλάζει κατά την διάρκεια της πλεύσης και αυτό μπορεί να γίνεται για πολλούς διαφορετικούς λόγους. Για παράδειγμα πληροφόρηση για μία ενδεχόμενη καθυστέρηση που θα υπάρξει στο λιμάνι άφιξης λόγω κίνησης μπορεί να οδηγήσει σε μειωμένη ταχύτητα για να εξοικονόμηση καυσίμου. Επίσης αν στην πορεία του ταξιδιού προκύψουν άσχημες καιρικές συνθήκες τις οποίες το πλοίο δεν μπορεί να αποφύγει ενδέχεται να αυξήσει ταχύτητα για να μπορέσει να ανταπεξέλθει στις απαιτήσεις του ταξιδιού με περισσότερη ασφάλεια.

Speed ballast V_B (B-A)

Είναι η ταχύτητα με την οποία ταξιδεύει το πλοίο όταν βρίσκεται σε κατάσταση ερματισμού. Η κατάσταση ερματισμού για ένα δεξαμενόπλοιο μπορεί να αποτελέσει τον μισό κύκλο ζωής του. Η ταχύτητα ερματισμού δεν είναι σταθερή σε όλες τις περιπτώσεις. Όταν το ταξίδι του πλοίου εκτελείται σύμφωνα με τον αρχικό προγραμματισμό και δεν υπάρχουν καθυστερήσεις το πλοίο μπορεί να ταξιδέψει με μία σταθερή ταχύτητα ερματισμού.

Time t_{AB} (A-B)

Είναι ο χρόνος ο οποίος απαιτείται για να μετακινηθεί το καράβι από το λιμάνι Α στο λιμάνι Β. Η μεταβλητή αυτή αναφέρεται σε ημέρες καθαρής πλεύσης που το πλοίο βρίσκεται σε πορεία ανεξαρτήτου ταχύτητας.

Time t_{BA} (B-A)

Είναι ο χρόνος ο οποίος απαιτείται για να μετακινηθεί το καράβι από το λιμάνι Β στο λιμάνι Α. Η μεταβλητή αυτή αναφέρεται σε ημέρες καθαρής πλεύσης που το πλοίο βρίσκεται σε πορεία ανεξαρτήτου ταχύτητας. Συνήθως ο χρόνος αυτός συνδέεται με την πλεύση του πλοίου σε κατάσταση ερματισμού.

Days at see (t)

Είναι οι μέρες που αναφέρονται στην καθαρή πλεύση του πλοίου στην διάρκεια ενός ταξιδιού. Αναφέρονται στο άθροισμα των ημερών που χρειάζεται πλοίο για να πάει από το λιμάνι Α στο Β (t_A), και του χρόνου που απαιτείται για να επιστρέψει από το Β στο Α. (t_B)

$$t = t_A + t_B$$

Days at port $t_{LOADING}$ (loading)

Είναι οι μέρες που χρειάζονται στο λιμάνι για την φόρτωση. Η διάρκεια φόρτωσης είναι συνάρτηση της δυναμικότητας των αντλιών που έχει το λιμάνι καθώς είναι αυτό που

τροφοδοτεί με φορτίο το καράβι. Στην παρούσα διπλωματική έχουμε επιλέξει να θεωρήσουμε πως ο χρόνος φόρτωσης είναι ίδιος με τον χρόνο εκφόρτωσης που θα υπολογίσουμε παρακάτω καθώς δεν ήταν δυνατόν να υπολογιστεί ο χρόνος φόρτωσης με μεγαλύτερη λεπτομέρεια.

Days at port t_{UNLOADING} (unloading)

Είναι ο χρόνος που απαιτείται από το καράβι στο λιμάνι προορισμού για να εκφορτώσει όλο το φορτίο και το οποίο μεταφέρει. Ο χρόνος αυτός είναι συνάρτηση της δυναμικότητας των αντλιών που φέρει το πλοίο. Στο δεξαμενόπλοιο και το οποίο εξετάζουμε στην διπλωματική μας υπάρχουν 3 αντλίες δυναμικότητας η κάθε μία από 4000 κυβικά μέτρα/ώρα. Οι αντλίες αυτές ποτέ δεν δουλεύουν μαζί καθώς δεν υποστηρίζεται η δυνατότητα ταυτόχρονης εκφόρτωσης του φορτίου από όλο το καράβι κυρίως για λόγους ευστάθειας και αντοχής για να αποφευχθεί η κατάρρευση της κατασκευής του πλοίου κατά την εκφόρτωση κάτι το οποίο και θα σήμαινε την απώλεια του πλοίου. Σύμφωνα με τα στοιχεία τα οποία έχουμε για την δυναμικότητα των αντλιών υπολογίζεται παρακάτω ο χρόνος εκφόρτωσης ($t_{unloading}$)

$$t_{UNLOADING} = n \cdot \frac{payload(m^3)}{4000(m^3)/h}$$

Όπου n είναι ο αριθμός των αντλιών που υπάρχουν στο πλοίο και δουλεύουν τμηματικά για τους λόγους που αναφέραμε παραπάνω.

Total days at port (loading-unloading)

Πρόκειται για τον συνολικό χρόνο που θα βρίσκεται το καράβι μέσα στο λιμάνι δεμένο και θα φορτώνει-εκφορτώνει φορτίο. Ορίζεται σαν το άθροισμα του χρόνου που χρειάζεται για την εκφόρτωση και του χρόνου φόρτωσης. Αυτός ο χρόνος, όπως και όλα τα υπόλοιπα μεγέθη αναφέρονται πάντα σε ένα ταξίδι. Ο συνολικός χρόνος μέσα στο λιμάνι υπολογίζεται ως εξής:

$$t_{PORT} = t_{LOADING} + t_{UNLOADING}$$

Όπου όπως είπαμε και παραπάνω θεωρούμε πως $t_{LOADING} = t_{UNLOADING}$

Days outside port per Trip (t_{OUTSIDE PORT})

Αναφέρεται στο χρόνο εκείνον τον οποίο το πλοίο έχει αγκυροβολήσει έξω από το λιμάνι και περιμένει για να μπει στο λιμάνι να φορτώσει ή να εκφορτώσει. Πολλές φορές αυτή η αναμονή μπορεί να κυμαίνεται από μερικές ώρες μέχρι μερικές μέρες και εξαρτάται από την κίνηση του λιμανιού ή τυχόν απρόβλεπτους παράγοντες όπως π.χ κάποιο ατύχημα ή κάποια βλάβη στον μηχανισμό φορτοεκφόρτωσης του λιμανιού. Σύμφωνα με παρατηρήσεις που έχουν γίνει στο ημερολόγιο του δεξαμενόπλοιου που ερευνήσαμε προκύπτει πως ένας μέσος χρόνος αναμονής έξω από το λιμάνι ανά ταξίδι πλησιάζει τις 24 ώρες οπότε και θα το θεωρήσουμε σταθερό σε όλα τα ταξίδια που πραγματοποιεί το πλοίο.

Days at maneuvering ($t_{MANOUVERING}$)

Ένα σημαντικό κομμάτι του ταξιδιού του πλοίου αναφέρεται στην διαδικασία ελιγμών. Οι ελιγμοί αυτοί κυρίως πραγματοποιούνται κατά την προσέγγιση του πλοίου στο λιμάνι. Είναι μία διαδικασία που απαιτεί πολύ προσεκτικούς χειρισμούς από πλευράς του πληρώματος καθώς μέσα στο λιμάνι τα περιθώρια για λάθη στην πλοήγηση του πλοίου είναι πολύ στενά. Σύμφωνα με **Winebrake et al, [32]** η διαδικασία αυτή αποτελεί προσεγγιστικά το 4% του συνολικού χρόνου του ενός ταξιδιού για ένα πλοίο και υπολογίζεται με βάση αυτή την αναφορά.

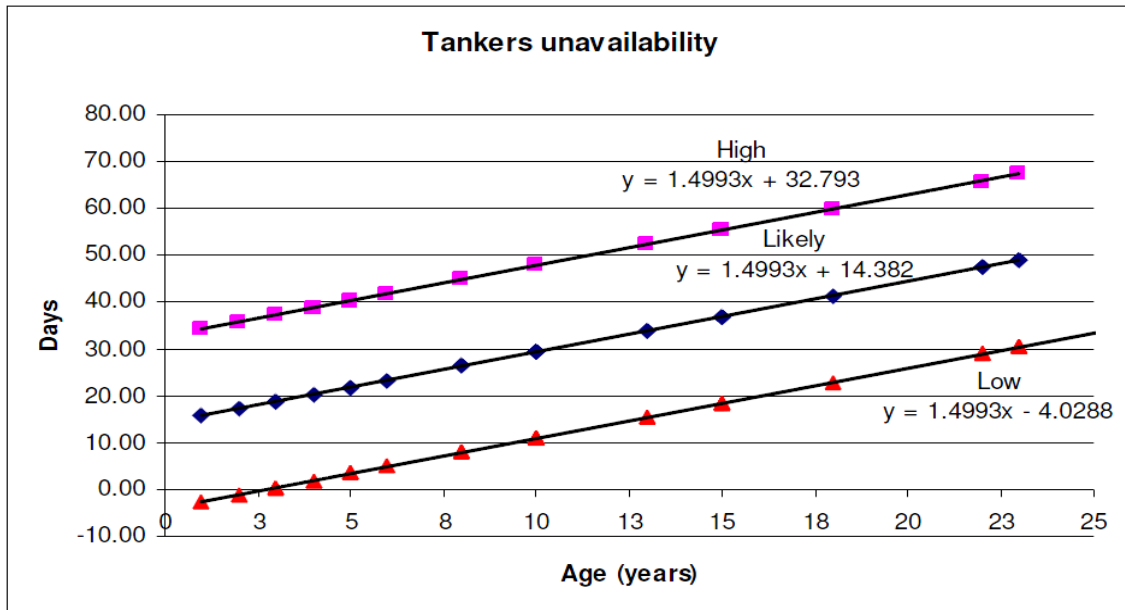
Duration of 1 Trip (T_{trip})

Αναφέρεται ως ο συνολικός χρόνος που απαιτείται για την πραγματοποίηση ενός πλήρους ταξιδιού. Πρόκειται για το άθροισμα του χρόνου που βρίσκεται το καράβι σε καθαρή πλεύση, του χρόνου που βρίσκεται στο λιμάνι για φορτοεκφόρτωση, του χρόνου αναμονής έξω από το λιμάνι και το χρόνο ελιγμών. Ο υπολογισμός του γίνεται ως εξής:

$$t_{TRIP} = t + t_{PORT} + t_{OUTSIDE_PORT} + t_{MANOUVERING}$$

Days off-repair/year (t_{OFF})

Τα πλοία κατά την διάρκεια της ζωής τους υπόκεινται σε επιθεωρήσεις και πραγματοποιούνται προγραμματισμένοι δεξαμενισμοί. Κατά την διάρκεια αυτών των εργασιών το πλοίο βρίσκεται εκτός υπηρεσίας. Οι προγραμματισμένες επισκευές και επιθεωρήσεις γίνονται συνήθως ανά 2,5 και 5 χρόνια όπου και πραγματοποιούνται οι δεξαμενισμοί. Ένας τρόπος για να μπορέσουν να υπολογιστούν αυτές οι μέρες που βρίσκεται το καράβι εκτός υπηρεσίας θα ήταν να γίνει αναγωγή σε κάθε χρόνο. Επειδή όμως υπάρχουν και οι περιπτώσεις εκτάκτων επισκευών δεν είναι αρκετά ικανοποιητική προσέγγιση αυτή. Επίσης θα πρέπει να λάβουμε υπόψη μας πως όσο τα έτη λειτουργίας του πλοίου αυξάνονται τόσο περισσότερες είναι οι ζημιές που εμφανίζονται και τόσο πιο πολλές οι μέρες που απαιτούνται να παραμείνει το καράβι εκτός υπηρεσίας για επισκευές. Ο πιο ικανοποιητικός τρόπος προσέγγισης των ημερών που παραμένει το καράβι εκτός αναγόμενο σε ετήσια βάση είναι η προσέγγιση του [33] και από την οποία προκύπτουν οι παρακάτω σχέσεις. Στο υπολογιστικό μοντέλο έχουμε επιλέξει να χρησιμοποιήσουμε την μεσαία από τις τρεις συναρτήσεις καθώς είναι εκείνη που είναι πιο ρεαλιστική και πιο κοντά στην πραγματικότητα σε σύγκριση πάντα και με τα πραγματικά στοιχεία του πλοίου. Ο συνολικός αριθμός των ημερών εκτός υπηρεσίας του πλοίου ανά έτος θα ορίζεται ως **t_{OFF}** .



Διάγραμμα 3. Ημέρες μη διαθεσιμότητας του πλοίου λόγω επισκευών [33]

Number of trips per year

Αναφέρεται στον συνολικό αριθμό ταξιδιών που πραγματοποιούνται μέσα στη διάρκεια ενός έτους. Μέσα στο έτος αυτό έχουν συμπεριληφθεί και οι μέρες που το πλοίο βρίσκεται εκτός υπηρεσίας. Έτσι υπολογίζονται τα συνολικά ταξίδια/έτος

$$N_{TRIPS / YEAR} = \frac{(365 - t_{OFF})}{t_{TRIP}}$$

Ship Life Cycle (t_{LIFE_CYCLE})

Η διάρκεια ζωής ενός πλοίου ορίζεται ως ο χρόνος από την κατασκευή του πλοίου μέχρι και την απόσυρση του όπου και πάει για διάλυση και για ανακύκλωση. Η περίοδος ζωής του πλοίου μπορεί να διαφέρει από πλοίο σε πλοίο και εξαρτάται από την χρήση του. Μία γενική προσέγγιση της μέσης ζωής του πλοίου είναι τα 25 χρόνια και έτσι θα την λάβουμε και εμείς στο υπολογιστικό μας εργαλείο (t_{LIFE_CYCLE})

Total trips in Life Cycle (n_{LIFE_CYCLE})

Είναι ο συνολικός αριθμός ταξιδιών που πραγματοποιεί το πλοίο κατά την διάρκεια ολόκληρης της ζωής του. Είναι προφανές πως αυτή η τιμή είναι συνάρτηση πολλών παραγόντων όπως για παράδειγμα είναι η ταχύτητα υπηρεσίας του πλοίου ή ο χρόνος αναμονής στο λιμάνι για την πραγματοποίηση της φορτοεκφόρτωσης. Ο αριθμός των συνολικών ταξιδιών υπολογίζονται ως εξής :

$$n_{LIFE_CYCLE} = N_{TRIPS / YEAR} \cdot t_{LIFE_CYCLE}$$

Number of ships (nships)

Μέσα από αυτό το υπολογιστικό εργαλείο μας δίνεται η δυνατότητα εάν το επιθυμούμε να γίνει υπολογισμός για περισσότερα από ένα καράβια εφόσον τα καράβια αυτά είναι αδερφά πλοία. Έτσι με αυτόν τον τρόπο μπορούν να δοκιμαστούν διαφορετικά σενάρια μελέτης όπως για παράδειγμα να γίνει μία σύγκριση ανάμεσα στην χρήση δύο πλοίων κατηγορίας PANAMAX έναντι ενός μεγάλου SUEZMAX.

4.1.5 Περιγραφή Σταδίου Κατασκευής

Σε αυτό το στάδιο περιλαμβάνεται όλη η παραγωγική διαδικασία-κατασκευή ολόκληρης της μηχανολογικής εγκατάστασης του πλοίου. Περιλαμβάνονται όλα τα διαφορετικά στάδια που αποτελούν το στάδιο της κατασκευής, όπως επίσης περιλαμβάνονται και όλοι εκείνοι οι πόροι οι οποίοι απαιτούνται για την κατασκευή όλου του μηχανικού συνόλου.

Όρια μελέτης (Στάδιο κατασκευής)

Στην παρούσα διπλωματική τα όρια μέσα στα οποία και θα κινηθεί η μελέτη μας είναι από την στιγμή που θα δοθεί η παραγγελία για την κατασκευή όλων των απαραίτητων μηχανημάτων μέχρι και την στιγμή που το πλοίο θα ξεκινήσει το στάδιο λειτουργίας του (operation). Η διάρκεια ζωής του μηχανολογικού εξοπλισμού από την στιγμή που ξεκινάει να παράγεται μέχρι και την λειτουργία του περνάει μέσα από πολλά διαφορετικά στάδια και τα οποία επιβαρύνουν με την σειρά τους το περιβάλλον με τις διάφορες εκπομπές ρύπων που παράγονται. Τα στάδια που περιλαμβάνονται στο στάδιο κατασκευής είναι τα εξής:

- **Στάδιο 1.** Εξόρυξη πρώτων υλών
- **Στάδιο 2.** Κατασκευή μηχανολογικού συνόλου
- **Στάδιο 3.** Έλεγχος λειτουργίας (shop tests)
- **Στάδιο 4.** Δοκιμές θαλάσσης
- **Στάδιο 5.** Συναρμολόγηση στο ναυπηγείο

Στάδιο 1. Εξόρυξη πρώτων υλών

Στην αρχική φάση όλου του σταδίου κατασκευής πρέπει να γίνει η συγκέντρωση όλων των απαραίτητων φυσικών πόρων που θα χρησιμοποιηθούν σαν πρώτες ύλες για την μετέπειτα κατασκευή του μηχανικού συνόλου. Σαν μηχανικό σύνολο όπως έχει αναφερθεί και παραπάνω ορίζεται το σύνολο των μηχανών του πλοίου, των ηλεκτρογεννητριών, των λεβήτων και των αντλιών στην περίπτωση της μελέτης μας που έχει χρησιμοποιήσει σαν πλοίο αναφοράς δεξαμενόπλοιο. Έχει γίνει η παραδοχή πως το σύνολο των μηχανημάτων κατασκευάζονται από χάλυβα όποτε και οι απαιτούμενες ποσότητες πρώτης ύλης που απαιτούνται ταυτίζονται με το συνολικό άθροισμα των μηχανημάτων αυτών σε τόνους. Σύμφωνα με την ελεύθερη σε πρόσβαση βάση δεδομένων **Eco Indicator 99[34]** παρακάτω παρατίθεται στον **Πίνακα 13** με τις

ονομαστικές εκπομπές αέριων ρύπων που παράγονται κατά την εξόρυξη-παραγωγή ενός κιλού χάλυβα.

Πίνακας 13. Συντελεστές ρύπων παραγωγής χάλυβα

Emission Factors: steel production		
CO ₂	996,00	gr/kg
CO	31,83	gr/kg
CH ₄	163,17	mg/kg
Nox	5,84	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
NM VOC	10,84	mg/kg

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω έχει θεωρηθεί πως η συνολική ποσότητα του παραγόμενου χάλυβα ταυτίζεται με τη συνολική τιμή του βάρους που έχει όλο το μηχανικό σύνολο μαζί. Το συνολικό βάρος μπορεί να υπολογιστεί ως εξής

$$Total_Weight = (n_{ME} \cdot W_{ME}) + (n_{AE} \cdot W_{AE}) + (n_{BOILER} \cdot W_{BOILER}) + (n_{PUMPS} \cdot W_{PUMPS})$$

Πίνακας 14. Υπολογισμός συνολικού βάρους μηχανολογικής εγκατάστασης

Total weight of machinery(tons)	427,1	tons
Total weight of machinery (kg)	427100	kg

Επομένως έχοντας ως γνωστό την συνολική ποσότητα παραγόμενου χάλυβα που απαιτείται και τους συντελεστές ρύπων ανά μονάδα βάρους μπορούμε και υπολογίζουμε τις συνολικές ποσότητες ρύπων που παράγονται κατά την παραγωγή του απαιτούμενου χάλυβα για την κατασκευή των μηχανημάτων.

$$Total_Weight \cdot EF_{CO_2} = Total_CO_2(tons)$$

Όπου EF_{CO_2} είναι οι τιμές του **Πίνακα 13**.

Η ίδια πράξη πραγματοποιείται και για τις υπόλοιπες κατηγορίες αέριων ρύπων και έτσι προκύπτει ο **Πίνακας 15** όπου παραθέτει τις συνολικές ποσότητες εκπομπών που παράγονται από την διαδικασία παραγωγής της απαιτούμενης ποσότητας χάλυβα για την κατασκευή του μηχανικού συνόλου.

Πίνακας 15. Συνολικές εκπομπές από την διαδικασία παραγωγής χάλυβα

Emission from steel production		
CO2		tons
CO		tons
CH4		tons
Nox		tons
PM (all)		tons
SO2		tons
SOx		tons
VOC		tons
MVOC		tons

Στάδιο 2. Κατασκευή μηχανολογικού συνόλου

Σε αυτό το στάδιο περιλαμβάνονται οι διαδικασίες κατασκευής των μηχανημάτων. Σύμφωνα με [35] οποίος απεικονίζει τις τιμές των συντελεστών εκπομπών αέριων ρύπων που παράγονται κατά την διάρκεια της κατασκευής των μηχανημάτων σε συνάρτηση με τα συνολικά κιλοβάτ (KW) αυτών. Τα συνολικά κιλοβάτ (KW) υπολογίζονται ως εξής

Πίνακας 16. Συντελεστές ρύπων κατασκευής μηχανής

EF for engine(s) construction		
CO2	84,83	kg/kw
CO	0,18	kg/kw
CH4	0,10	kg/kw
NOx	0,24	kg/kw
PM (all)	0,56	kg/kw
SO2	0,28	kg/kw
SOx	0,01	kg/kw
VOC	0,00	kg/kw
NMVOC	0,02	kg/kw

$$Total _ KW = (n_{ME} \cdot P_{ME}) + (n_{AE} \cdot P_{AE}) + (n_{BOILER} \cdot P_{BOILER}) + (n_{PUMPS} \cdot P_{PUMPS})$$

Πίνακας 17. Συνολική ισχύς μηχανολογικής εγκατάστασης

TOTAL_POWER(KW)	14460	KW
TOTAL_POWER(MW)	14,46	MW

Επομένως έχοντας ως γνωστό την συνολικά κιλοβάτ (KW) του μηχανικού συνόλου και τους συντελεστές ρύπων ανά μονάδα ισχύς μπορούμε και υπολογίζουμε τις συνολικές ποσότητες ρύπων που παράγονται κατά την κατασκευή των μηχανημάτων του μηχανικού συνόλου

$$Total _ KW \cdot EF_{CO_2} = Total _ CO_2(tons)$$

Όπου EF_{CO_2} είναι οι τιμές του **Πίνακα 16**.

Η ίδια πράξη πραγματοποιείται και για τις υπόλοιπες κατηγορίες αέριων ρύπων και έτσι προκύπτει ο **Πίνακας 18** όπου παραθέτει τις συνολικές ποσότητες εκπομπών που παράγονται από την διαδικασία κατασκευής του μηχανικού συνόλου

Πίνακας 18. Συνολικές εκπομπές από την κατασκευή του μηχανικού συνόλου

Emissions of main machinery		
CO ₂		tons
CO		tons
CH ₄		tons
NO _x		tons
PM (all)		tons
SO ₂		tons
SO _x		tons
VOC		tons
NMVOC		tons

Στάδιο 3. Έλεγχος λειτουργίας (shop tests)

Βρισκόμαστε στο στάδιο όπου τα μηχανήματα έχουν κατασκευαστεί και συναρμολογηθεί και όπου θα πραγματοποιηθούν μία σειρά δοκιμών έτσι ώστε να ελεγχθούν πως τα πάντα λειτουργούν τέλεια πριν παραδοθούν στον πελάτη. Σε αυτό το στάδιο παραγωγής οι ποσότητες των αέριων ρύπων που εκπέμπονται υπολογίζονται μέσω της συνολικής ποσότητας καυσίμων που δαπανείται σε όλη την διαδικασία [36]

Πίνακας 19. Συντελεστές κατανάλωσης ανά μονάδα ισχύος

FACTORS		
HFO	1,886	kg/KW
MDO	0,35	kg/KW

Η συνολική κατανάλωση καυσίμου υπολογίζεται ως εξής

$$Total _ HFO _ Consumption = Total _ KW \cdot F_{HFO}$$

Όπου F_{HFO} οι τιμές από τον **Πίνακα 19**. Αντίστοιχα

$$Total _ MDO _ Consumption = Total _ KW \cdot F_{MDO}$$

Επομένως προκύπτει η συνολική κατανάλωση

Πίνακας 20. Συνολική κατανάλωση (Shop tests)

Total Fuel consumption		
HFO		ton
MDO		ton

Οι συντελεστές εκπομπής αέριων ρύπων από την παραγωγή του καυσίμου που δαπανάται προκύπτουν από την μελέτη "Α [36] και απεικονίζονται στον **Πίνακα 21**.

Πίνακας 21. Συντελεστές αέριων ρύπων παραγωγής καυσίμου

Emission Factors: HFO & MDO production			
		HFO	MDO
CO2	kg/kg fuel	0,35109	0,3449
CO	g/kg fuel	0,60928	0,64572
Nox	g/kg fuel	1,8103	1,9206
SO2	g/kg fuel	0,84228	0,83693

Έτσι μπορούν να υπολογιστούν οι συνολικές ποσότητες αέριων ρύπων που προκύπτουν από ολόκληρο το στάδιο των δοκιμών και ο υπολογισμός του φαίνεται παρακάτω ενώ τα τελικά αποτελέσματα βρίσκονται στον **Πίνακα 22**

$$Total_HFO_CO2_Emissions = Total_HFO_Consumption \cdot EF_{HFO_CO2}$$

Αντίστοιχα για το MDO

$$Total_MDO_CO2_Emissions = Total_MDO_Consumption \cdot EF_{MDO_CO2}$$

Πίνακας 22. Συντελεστές αέριων ρύπων παραγωγής καυσίμου

Emission from HFO & MDO production for testing					
		HFO	MDO	TOTAL	
CO2	ton				ton
CO	ton				ton
Nox	ton				ton
SO2	ton				ton

Στάδιο 4. Δοκιμές θαλάσσης

. Σε αυτή τη φάση υπάρχουν κανονισμοί οι οποίοι υπαγορεύουν την διενέργεια διαφόρων δοκιμών στο πλοίο έτσι ώστε να ελεγχθεί η αξιοπλοΐα του και η ασφάλεια πλεύσης του σε διάφορες συνθήκες. Γίνονται μία σειρά από δοκιμές οι οποίες

περιλαμβάνουν δοκιμές ελιγμών, μέγιστης ταχύτητας για συγκεκριμένη ώρα, δοκιμές σταματήματος κ.α. Σε αυτή τη φάση είναι πολύ σημαντικό η μηχανολογική εγκατάσταση να δουλεύει τέλεια για να μπορέσει να προσφέρει στο πλοίο το μέγιστο των δυνατοτήτων της. Υπάρχουν διάφορες μελέτες [37] που διερευνούν όλες εκείνες τις διαδικασίες που πρέπει να πραγματοποιούνται κατά την διάρκεια αυτών των δοκιμών. Στην παρούσα διπλωματική και λόγω έλλειψης στοιχείων από τις δοκιμές θαλάσσης των πλοίων το στάδιο αυτό προσεγγίζεται όσον αφορά την ποσότητα του καυσίμου που καταναλώθηκε κατά την διάρκεια των δοκιμών αυτών και με αυτόν τον τρόπο υπολογίζουμε τις ποσότητες των αέριων ρύπων που εκπέμπονται στο περιβάλλον. Η διάρκεια των δοκιμών αυτών έχει θεωρηθεί ίση με 5 ώρες και το ποσοστό φόρτισης της κύριας μηχανής όπως και των ηλεκτρογεννητριών έχει θεωρηθεί κοντά στο 85% της μέγιστης συνεχόμενη ισχύς που μπορεί να παραχθεί. Επομένως μπορεί να υπολογιστούν πλήρως οι καταναλώσεις καυσίμου κατά την διάρκεια των δοκιμών.

$$Total_HFO_Consumption = 5hours \cdot n_{ME} \cdot P_{ME} \cdot SFOC_{ME}$$

Αντίστοιχα γίνεται και με το MDO

$$Total_MDO_Consumption = 5hours \cdot n_{AE} \cdot P_{AE} \cdot SFOC_{AE}$$

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω σε αυτό το στάδιο θα υπολογίσουμε τις εκπομπές αέριων βάσει των εκπομπών από την καύση του καυσίμου. Οι συντελεστές εκπομπών που προκύπτουν ανά κιλό καυσίμου που καταναλώνεται παρουσιάζονται στον **Πίνακα 23** και έχουν προέλθει από την ανοιχτή βάση δεδομένων **Extremis Database [38]**. Στην βάση δεδομένων αυτή επιλέξαμε έναν συντελεστή εκπομπών για κάθε αέριο ρύπο θέτοντας σαν χρονοδιάγραμμα από το 2010 μέχρι και το 2030 και πήραμε τον μέσο όρο αυτών των τιμών για κάθε κατηγορία αέριου ρύπου.

Πίνακας 23. Συντελεστές εκπομπής αέριων ρύπων από την κατανάλωση καυσίμου

Emission Factors from Fuel Consuming			
	HFO	MDO	
CO2	3114400	3206000	gr/ton
NOX	15,88	12,11	gr/kwh
SO2	9,29	6,9799	gr/kwh
C0	1,59	1,56055	gr/kwh
CH4	0,01	0,012798	gr/kwh
PM	1,47	0,5551735	gr/kwh

Και έτσι προκύπτουν οι συνολικές ποσότητες αέριων ρύπων που εκλύονται για το στάδιο των δοκιμών θαλάσσης

$$Total_HFO_CO2_Emissions = EF_{HFO_CO2_OPERATION} \cdot Total_HFO_Consumption$$

και

$$Total_MDO_CO2_Emissions = EF_{MDO_CO2_OPERATION} \cdot Total_MDO_Consumption$$

Αντίστοιχα γίνονται οι υπολογισμοί και για τις υπόλοιπες κατηγορίες αέριων ρύπων και οι τιμές των εκπομπών που προέρχονται από τις θαλάσσιες δοκιμές συνοψίζονται στον **Πίνακα 24**.

Πίνακας 24. Αέριοι ρύποι από την κατανάλωση καυσίμων δοκιμών θαλάσσης

Total Emissions (Fuel Consumption)		
CO2		ton
NOX		ton
SO2		ton
CO		ton
CH4		ton
PM		ton

Από τα προηγούμενα στάδια της μελέτης και συγκεκριμένα από τον **Πίνακα 23** έχουμε τους συντελεστές εκπομπής αέριων ρύπων ανά κιλό δαπανώμενου καυσίμου και τους οποίους αν τους πολλαπλασιάσουμε με τις ποσότητες καυσίμου που δαπανήθηκαν κατά την διάρκεια των δοκιμών μπορούμε και έχουμε της συνολική επιβάρυνση του περιβάλλοντος από την παραγωγή όλου του χρησιμοποιούμενου καυσίμου η οποία φαίνεται στον **Πίνακα 25**.

Πίνακας 25. Συνολικές εκπομπές από την παραγωγή καυσίμου για τις δοκιμές θαλάσσης

Emissions from fuel production				
	HFO	MDO	Total	
CO2				ton
CO				ton
Nox				ton
SO2				ton

Στάδιο 5. Συναρμολόγηση στο ναυπηγείο

Η κύρια μηχανή και οι ηλεκτρογεννήτριες από την ώρα που θα κατασκευαστούν και θα ελεγχθούν ως προς την λειτουργία τους θα αποσυναρμολογηθούν και θα σταθούν στο ναυπηγείο όπου κατασκευάζεται το πλοίο έτσι ώστε να συναρμολογηθούν μέσα στο πλοίο και να ετοιμαστούν για λειτουργία. Κατά την διάρκεια όλης αυτής της διαδικασίας δαπανάται ενέργεια και κυρίως ηλεκτρισμός καθώς όλη αυτή η δουλειά μέσα στο καράβι απαιτεί ενέργεια για την λειτουργία των γερανών, την λειτουργία του κλιματισμού κ.α. Η ενέργεια αυτή έχει [39] χρησιμοποιώντας σαν δεδομένο ένα πλοίο μεταφοράς ξηρού φορτίου που έχει νεκρό βάρος κοντά στις 75.000 τόννους. Τα στοιχεία που αξιοποιεί αυτή η μελέτη προκύπτουν από το ναυπηγείο όπου πραγματοποιήθηκε η κατασκευή του πλοίου. Ο μόνος τρόπος για να προσεγγιστεί το στάδιο κατασκευής μέσα στο ναυπηγείο είναι να χρησιμοποιήσουμε την εν λόγω μελέτη σαν αναφορά και να γίνει μία αναγωγή για την δαπανώμενη ενέργεια. Επειδή το

πλοίο αναφοράς είναι ένα πλοίο μεταφοράς ξηρού φορτίου ενώ το πλοίο της διπλωματικής είναι δεξαμενόπλοιο έχει γίνει μία προσπάθεια να γίνει μία αναγωγή σχετικά με το βάρος άφορτου σκάφους. Οι ποσότητες ενέργειας που απαιτούνται για να κατασκευαστούν αυτοί οι δύο τύποι πλοίων είναι διαφορετικές για αυτό το λόγο μέσω του βάρους άφορτου σκάφους έχει προκύψει ένας συντελεστής αναγωγής λ ο οποίος βρίσκεται ως εξής:

$$\lambda = \frac{W_{LS_{Tank\ er}}}{W_{LS_{Bulk}}} = \frac{13925}{11614} = 1,198984$$

\Σύμφωνα με το διάγραμμα της μελέτης αναφοράς λαμβάνουμε τις παρακάτω τιμές κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας (**Πίνακας 26**)

Πίνακας 26. Δαπανούμενη ηλεκτρική ενέργεια συναρμολόγησης ναυπηγείου

Electricity consumed		
Cutting		kwh
Welding		kwh
Gouging		kwh
Crane		kwh
Compressor		kwh
Lighting		kwh
Fan		kwh
Air conditioning		kwh
Office work		kwh
DEsign work		kwh

Κάνοντας αναγωγή ως προς το νεκρό βάρος του πλοίου παράγεται ο **Πίνακας 27** όπου είναι οι αδιαστατοποιημένες μορφές προς το νεκρό βάρος του πλοίου αναφοράς.

Πίνακας 27. Αδιαστατοποιημένη δαπανόμενη ενέργεια για ολόκληρο το πλοίο

Electricity consumed (Nondimentionalised)		
Cutting		Kwh/ton
Welding		Kwh/ton
Gouging		Kwh/ton
Crane		Kwh/ton
Compressor		Kwh/ton
Lighting		Kwh/ton
Fan		Kwh/ton
Air conditioning		Kwh/ton
Office work		Kwh/ton
DEsign work		Kwh/ton

Οι τιμές τις οποίες έχουμε εξάγει αφορούν το σύνολο της κατασκευής του πλοίου και όχι μόνο την μηχανολογική εγκατάσταση. Για αυτόν τον λόγο θεωρούμε πως μπορεί να γίνει αναγωγή όσον αφορά μόνο το συνολικό βάρος της μηχανολογικής εγκατάστασης και έτσι πολλαπλασιάζουμε κάθε στοιχείο του **Πίνακα 26** με το συνολικό βάρος της μηχανολογικής εγκατάστασης Total_Weight και προκύπτει ο **Πίνακας 28** που αναφέρεται μόνο στην κατασκευή της μηχανολογικής εγκατάστασης στο ναυπηγείο.

Πίνακας 28. Αδιαστατοποιημένη δαπανώμενη ενέργεια για την μηχανολογική εγκατάσταση πλοίου μεταφοράς ξηρού φορτίου

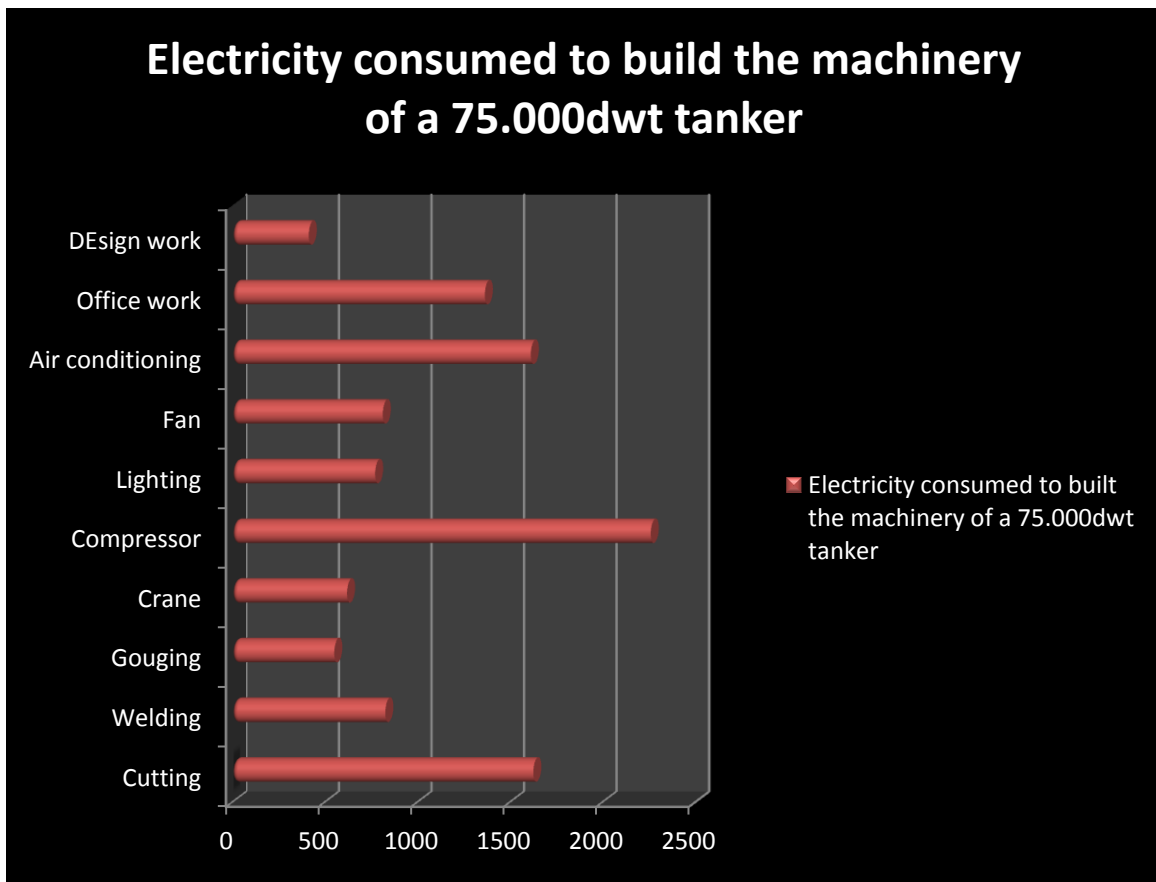
Electricity consumed (Nondimensionalised) Bulk Carrier		
Cutting		kwh
Welding		kwh
Gouging		kwh
Crane		kwh
Compressor		kwh
Lighting		kwh
Fan		kwh
Air conditioning		kwh
Office work		kwh
DEsign work		kwh

Όλα τα αποτελέσματα μέχρι στιγμής αναφέρονται στην κατασκευή της μηχανολογικής εγκατάστασης ενός πλοίου μεταφοράς ξηρού φορτίου και για αυτό το λόγο θα πολλαπλασιάσουμε όλο τον **Πίνακα 28** με τον συντελεστή $\lambda=1,198984$ και θα προκύψει ο **Πίνακας 29** ο οποίος υπολογίζει τη συνολική ενέργεια που δαπανάται στο ναυπηγείο για την τοποθέτηση-συναρμολόγηση-λειτουργία της μηχανολογικής εγκατάστασης μέσα στο πλοίο.

Πίνακας 29. Αδιαστατοποιημένη δαπανώμενη ενέργεια για την μηχανολογική εγκατάσταση δεξαμενοπλοίου

Electricity consumed (Nondimensionalised) Tanker		
Cutting		kwh
Welding		kwh
Gouging		kwh
Crane		kwh
Compressor		kwh
Lighting		kwh
Fan		kwh
Air conditioning		kwh
Office work		kwh
DEsign work		kwh

Οι τιμές του Πίνακα 29 απεικονίζονται στο Διάγραμμα 4 όπως φαίνεται παρακάτω



Διάγραμμα 4. Δαπανούμενη ενέργεια για την κατασκευή της μηχανολογικής εγκατάστασης δεξαμενοπλοίου

Μόλις η μηχανολογική εγκατάσταση του πλοίου συναρμολογηθεί και είναι έτοιμη προς χρήση πραγματοποιούνται κάποιες απλές δοκιμές για να διαπιστωθούν τυχόν λάθη στην συναρμολόγηση και να βεβαιωθούν ότι η μηχανολογική εγκατάσταση δουλεύει σωστά πριν το πλοίο βγει για τις δοκιμές θαλάσσης. Στοιχεία για αυτές τις δοκιμές προκύπτουν από το **”A comparative study on life cycle analysis of molten carbon fuel cells and diesel engines for marine application” Selim Alcaner, Peihlin Zhou, 2005[36]** και έτσι έχουμε πως σύμφωνα με τα συνολικά κιλοβάτ (KW) της μηχανολογικής εγκατάστασης προκύπτει πως η απαιτούμενη ενέργεια κατά τις δοκιμές είναι

Πίνακας 30. Δαπανούμενη ενέργεια για δοκιμές λειτουργίας εγκατάστασης

Energy consumed (final shops testing on board)	
	KWh
	KWh

Επομένως συγκεντρωτικά θα μπορούσαμε να αθροίσουμε τις τιμές των Πινάκων 29 και 30 και έτσι να προκύψει η συνολική ενέργεια που απαιτείται για την κατασκευή-

συναρμολόγηση της μηχανολογικής εγκατάστασης μέσα στο πλοίο. Άρα προκύπτει ο συγκεντρωτικός **Πίνακας 31**

Πίνακας 31. Συνολική δαπανούμενη ενέργεια (ναυπηγείο + δοκιμές εγκατάστασης)

Final energy consumed (Shipyard+On board shop tests)	
	kwh

Έχοντας συγκεντρώσει τις απαιτούμενες ποσότητες ενέργειας που απαιτούνται για τις εργασίες του ναυπηγείου θα προσεγγιστεί το αντίκτυπο που έχει στο περιβάλλον όλη αυτή η σειρά από διεργασίες που πραγματοποιούνται κατά την κατασκευή της μηχανολογικής εγκατάστασης. Για να γίνει αυτό χρησιμοποιούνται κάποιοι συντελεστές εκπομπής αέριων ρύπων οι οποίοι εκφράζουν τις ποσότητες αέριων ρύπων που εκπέμπονται ανά μονάδα ενέργειας [32] που φαίνονται στο **Πίνακα 32**.

Πίνακας 32. Συντελεστές εκπομπής αέριων ρύπων ανά μονάδα δαπανούμενης ενέργειας

Emission factors for energy consumed		
CO2	752,0377	gr/kwh
C0	0,0751	gr/kwh
CH4	0,0109	gr/kwh
NOX	1,3378	gr/kwh
PM	0,0815	gr/kwh
SO2	0	gr/kwh
SOX	3,6406	gr/kwh
VOC	0,0089	gr/kwh

Πολλαπλασιάζοντας του συντελεστές του **Πίνακα 32** με την συνολική ποσότητα ενέργειας που δαπανάται στο ναυπηγείο που φαίνεται στον **Πίνακα 31** προκύπτει στον **Πίνακα 32** οι συνολικές εκπομπές αέριων ρύπων που παράγονται από όλες τις διεργασίες που πραγματοποιούνται στο ναυπηγείο και αφορούν την κατασκευή-συναρμολόγηση ολόκληρης της μηχανολογικής εγκατάστασης.

Πίνακας 33. Συνολικές εκπομπές αέριων ρύπων σταδίου συναρμολόγησης στο ναυπηγείο

Total emissions of energy consumed (Shipyard+on board shop tests)		
CO2		ton
C0		ton
CH4		ton
NOX		ton
PM		ton
SO2		ton
SOX		ton
VOC		ton

Μέσα σε αυτό το στάδιο της κατασκευής περιλαμβάνεται και η φάση όπου η μηχανή εγκαθίσταται πάν στο σκάφος και δημιουργείται η σύνδεση της με το πλοίο. Είναι μία διαδικασία της οποίας το επίπεδο δυσκολίας είναι πολύ υψηλό και αυτό διότι χρειάζεται πολύ μεγάλη ακρίβεια στην τοποθέτηση αλλά και στις συγκολλήσεις καθώς είναι το μέρος εκείνο του πλοίου το οποίο δέχεται τις μεγαλύτερες φορτίσεις και κραδασμούς και πρέπει να ανταπεξέλθει σε όλα αυτές τις δυσκολίες για όλη την διάρκεια ζωής του. Υπάρχουν δύο τύποι εδράσεως κινητήρων προώσεως πλοίων [28] η άκαμπτη έδραση και η ελαστική έδραση. Η πάκτωση είναι όταν ο κινητήρας εδράζεται στον εσωτερικό πυθμένα με μεταλλικά ή εποξικά στηρίγματα και συγκρατείται από κοχλιοφόρους ράβδους με περικόχλια. Επιβάλλεται τα στηρίγματα να είναι μονοκόμματα χωρίς παρεμβύσματα ή άλλες λεπτές σφήνες ώστε να ελαχιστοποιείται η κατακάθιση και να εξασφαλίζεται καλή πάκτωση. Η κλαστική μέθοδος πακτώσεως είναι με μεταλλικούς τάκους από χυτοσίδηρο σε σχήμα Η και με χρήση ελαστικών κοχλιοφόρων ράβδων.

Εκπομπές ρύπων CO2 (Στάδιο κατασκευής)

$$Total_CO2_Emissions(Shipbuilding) = \sum_{i=1}^6 Total_CO2_Emissions_Stage(i)$$

Αντίστοιχα γίνεται και για τις υπόλοιπες κατηγορίες αέριων ρύπων που μελετάμε και έτσι προκύπτουν τα τελικά αποτελέσματα

Πίνακας 34.Συνολικές εκπομπές αέριων ρύπων σταδίου κατασκευής

Emissions in shipbuilding stage		
CO ₂		tons
CO		tons
CH ₄		tons
NO _x		tons
PM (all)		tons
SO ₂		tons
SO _x		tons
VOC		tons
NM VOC		tons

4.1.6 Περιγραφή Σταδίου Λειτουργίας

Αυτό το στάδιο του κύκλου ζωής αναφέρεται στην λειτουργία του πλοίου. Ξεκινάει με την έναρξη του πρώτου ταξιδιού του πλοίου και ολοκληρώνεται με το τέλος του τελευταίου ταξιδιού του πριν αποσυρθεί. Στην παρούσα διπλωματική έχουμε θεωρήσει πως το πλοίο δεν μένει ανενεργό κατά την διάρκεια της ζωής του και έχουμε θεωρήσει πως αφού μελετάμε δεξαμενόπλοιο το πλοίο πηγαίνει φορτωμένο από το λιμάνι Α στο λιμάνι Β όπου και ξεφορτώνει και επιστρέφει από το Β στο Α χωρίς φορτίο σε κατάσταση ερματισμού για να ξαναφορτώσει και να επαναλάβει το ταξίδι. Όλοι οι σχετικοί χρόνοι που χρειάζονται για αυτές τις διαδρομές έχουν περιγραφεί αναλυτικά στα προηγούμενα κεφάλαια της διπλωματικής όπου γίνεται η περιγραφή του σεναρίου. Οι δύο παράγοντες που διαδραματίζουν τον σημαντικότερο ρόλο στο ταξίδι του πλοίου είναι η απόσταση που έχει το πλοίο να διανύσει ανάμεσα στα δύο λιμάνια και ο παράγοντας της ταχύτητας του ταξιδιού που καθορίζει την συνολική διάρκεια του ταξιδιού. Οι δύο αυτοί παράγοντες έχουν ληφθεί υπόψη και αναφέρονται στην περιγραφή του σεναρίου. Στην παρούσα διπλωματική έχουν μελετηθεί διάφορα σενάρια που περιλαμβάνουν αλλαγές στις αποστάσεις μεταξύ των λιμανιών καθώς και αλλαγές στις ταχύτητες του πλοίου. Στην συνέχεια περιγράφεται το υπολογιστικό μοντέλο για το στάδιο λειτουργίας του πλοίου και παρατίθενται τα τελικά αποτελέσματα που απεικονίζουν τις συνολικές ποσότητες εκπομπής αερίων ρύπων που εκπέμπονται στο περιβάλλον από την λειτουργία του πλοίου.

Κύρια μηχανή και ηλεκτρογεννήτριες

Σε πρώτη φάση θα εξεταστεί η λειτουργία των κυρίων μηχανών του πλοίου και των ηλεκτρογεννητριών του. Η λειτουργία τους είναι παρόμοια και αποτελούν το βασικό εξοπλισμό της μηχανολογικής εγκατάστασης όλων των πλοίων με εξαίρεση ίσως κάποιες νέες σχεδιάσεις που χρησιμοποιούν εναλλακτικές μορφές πρόωσης. Στην παρούσα διπλωματική το πλοίο αναφοράς για την κατασκευή του υπολογιστικού μοντέλου είναι δεξαμενόπλοιο επομένως θα εξεταστεί και η λειτουργία των επιμέρους μηχανημάτων που απαρτίζουν την μηχανολογική εγκατάσταση (λέβητες)

Υπολογισμός απαιτούμενου καυσίμου λειτουργίας

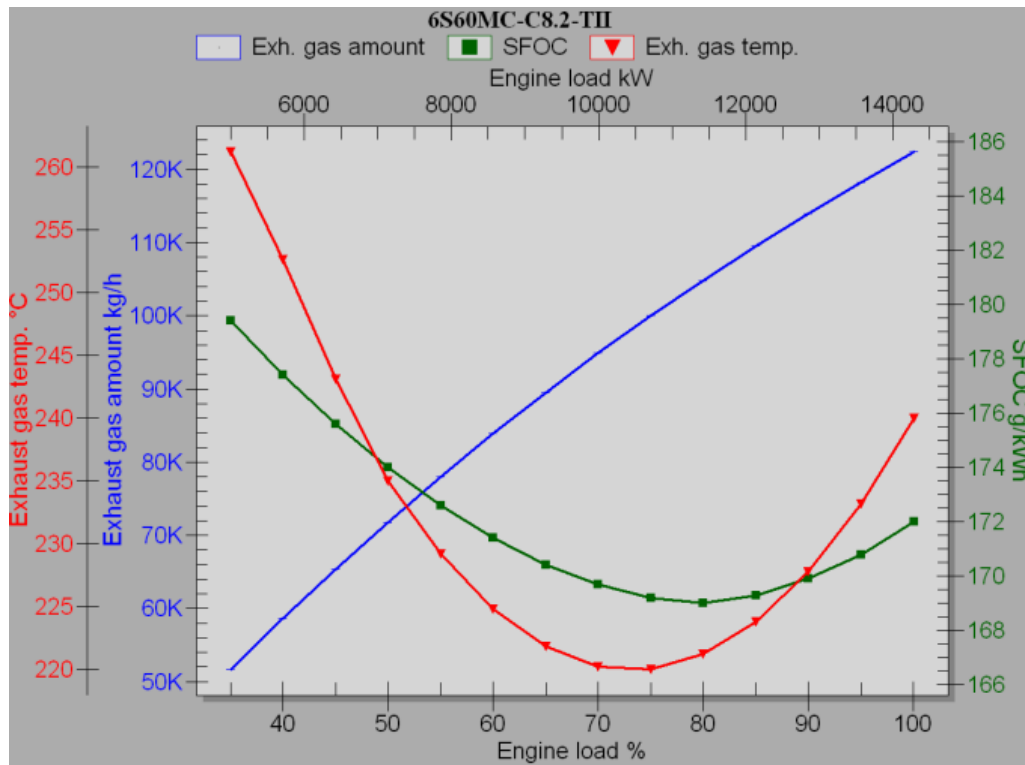
Οι ποσότητες καυσίμου που καταναλώνονται κατά την λειτουργία αποτελούν το κύριο κόστος για τον διαχειριστή του πλοίου. Για αυτό το λόγο γίνονται προσπάθειες για να επιτευχθεί όσον τον δυνατόν μεγαλύτερη εξοικονόμηση καυσίμου. Η ύπαρξη ενός υπολογιστικού εργαλείου που να μπορεί να υπολογίσει την συνολική ποσότητα καυσίμου που απαιτεί η λειτουργία του πλοίου σε ολόκληρη την ενεργή ζωή του και μπορεί να είναι πολύ χρήσιμη για την επίτευξη οικονομιών στην κατανάλωση καυσίμων. Το μοντέλο υπολογίζει κατανάλωση καυσίμου σε ημερήσια βάση, ανά ταξίδι, ανά έτος (ανάλογα με τον αριθμό ταξιδιών) και τελικά στον κύκλο ζωής.

Ξεκινώντας την περιγραφή του μοντέλου αναφέρονται 3 μεταβλητές οι οποίες καθορίζονται από τον χρήστη και είναι σημαντικές για τους υπολογισμούς. Αυτές οι μεταβλητές φαίνονται στον **Πίνακα 25**

Πίνακας 35. Μεταβλητές σταδίου λειτουργίας πλοίου

Variables operation	
% MCR Load ME	
% MCR Load AE	
Number at AE(s) at port	
% MCR Load AE (Repairs)	

% MCR Load ME: Είναι το ποσοστό φόρτισης της κύριας μηχανής του πλοίου για να επιτευχθεί η ταχύτητα υπηρεσίας. Στο βασικό σενάριο έχουμε λάβει τιμή αυτής της μεταβλητής ίση με 0,75 καθώς σύμφωνα με " [28] όταν η κατάσταση της γάστρας είναι καθαρή η απαίτηση ισχύος για την ταχύτητα υπηρεσίας είναι στο 75% της μέγιστης συνεχόμενης ισχύος της μηχανής. Το ίδιο έχει θεωρηθεί και στις μελέτες του **IMO 2009**[30]. Ο συντελεστής φόρτισης είναι ένα μέγεθος που θα εξεταστεί περαιτέρω στα διάφορα σενάρια στην συνέχεια της διπλωματικής . Οι τιμές του κυμαίνονται από 0,25-1,1. Στο **Σχήμα 3** φαίνεται το διάγραμμα φόρτισης της συγκεκριμένης μηχανής στο οποίο φαίνονται οι καταναλώσεις καυσίμου της μηχανής σε διάφορα σημεία της φόρτισης της. Το διάγραμμα αυτό είναι προϊόν ενός ειδικού λογισμικού CEAS της MAN B&W <http://www.mandieselturbo.com/ceas/index.html> [51] το οποίο είναι ελεύθερο προς χρήση στον διαδικτυακό ιστότοπο της εταιρίας και ο χρήστης επιλέγοντας μία μηχανή μπορεί να λαμβάνει διάφορα στοιχεία για τη λειτουργία της.

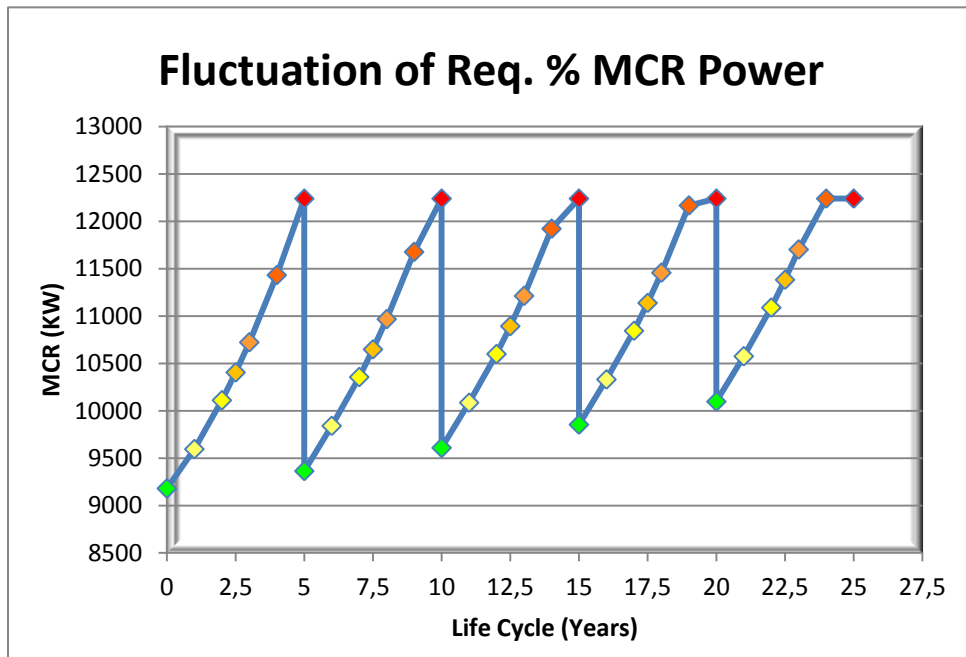


Σχήμα 13. Διάγραμμα φόρτισης της μηχανής 6S60MC-C8.2-TII

Η γάστρα του πλοίου ρυπαίνεται στο χρονικό διάστημα ανάμεσα στους δεξαμενισμούς με αποτέλεσμα να αυξάνεται η αντίσταση του πλοίου. Σε πολλές περιπτώσεις ο ρυθμός αύξησης της αντίστασης της γάστρας είναι πολύ μεγάλος με το πέρασμα των ετών και αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να μειώνεται αρκετά η ταχύτητα του πλοίου για σταθερή ισχύ κύριας μηχανής. Η μείωση της ταχύτητας του πλοίου δεν είναι αποδεκτή όταν το φορτίο πρέπει να παραδοθεί στον προορισμό του σε προκαθορισμένη ημερομηνία. Όταν η ταχύτητα πρέπει να παραμείνει σταθερή με δεδομένη την αυξανόμενη αντίσταση της γάστρας του πλοίου λόγω ρύπανσης, αυξάνεται το ποσοστό φόρτισης της κύριας μηχανής. Σύμφωνα με [26] μετά το πέρασμα των 2,5 ετών από τον τελευταίο δεξαμενισμό το πλοίο για να καταφέρει να έχει την ίδια ταχύτητα υπηρεσίας που είχε με καθαρή γάστρα θα πρέπει να φορτίσει την μηχανή του σε ποσοστό περίπου 85% της μέγιστης συνεχόμενης ισχύς του. Πλησιάζοντας στον επόμενο δεξαμενισμό δηλαδή έχοντας δουλέψει 4 χρόνια μετά τον τελευταίο καθαρισμό, το πλοίο θα πρέπει να φορτίζει την κύρια μηχανή του σε ποσοστά κοντά στο 100% της μέγιστης συνεχόμενης ισχύς. Υπάρχουν περιπτώσεις που το πλοίο μπορεί να έχει να αντιμετωπίσει πολύ δύσκολες καιρικές συνθήκες και τότε αυξάνονται οι απαιτήσεις σε ισχύ πρόωσης. Εάν η ρύπανση της γάστρας βρίσκεται σε πολύ προχωρημένο στάδιο τότε είναι πολύ πιθανόν το πλοίο να υπερφορτίσει την μηχανή του σε ποσοστά λειτουργίας πάνω από το 100% της μέγιστης συνεχόμενης φόρτισης. Οι μηχανές μπορούν να φτάσουν σε ποσοστά φόρτισης μέχρι και 110% αλλά αυτό μπορεί να γίνει για πολύ μικρό χρονικό διάστημα. Για παράδειγμα μπορεί η μηχανή του πλοίου να φορτίζεται στο 110% της μέγιστης συνεχόμενης φόρτισης αλλά μόνο για διάστημα μίας ώρας ημερησίως.

Έχει παρατηρηθεί πως μετά από κάθε δεξαμενισμό η ποιότητα της γάστρας δεν μπορεί να επιστρέψει ακριβώς στην αρχική της κατάσταση αλλά έχει κάποια απόκλιση της τάξης του 1.5 [27]

Στο **Σχήμα 2** έχει γίνει υπολογισμός και απεικονίζεται η μεταβολή στην απαιτούμενη πρόσδωση εγκατεστημένης ισχύ στο πλοίο για να μπορέσει το πλοίο να ανταπεξέλθει στην γραμμικά-συνεχόμενα αυξανόμενη αντίσταση λόγω ρυπασμένης γάστρας με δεδομένο πως η ταχύτητα υπηρεσίας του πλοίου παραμένει σταθερή.



Διάγραμμα 5. Μεταβολή απαιτούμενης φόρτισης μηχανής λόγω ρύπανσης της γάστρας

Παρατηρώντας κάποιος το σχήμα μπορεί να δει την μεταβολή της απαιτούμενης ισχύος. Τα σημεία με πράσινο χρώμα στο διάγραμμα είναι τα σημεία όπου δείχνουν την φόρτιση την οποία πρέπει να έχει η μηχανή του πλοίου μετά από κάθε προγραμματισμένο δεξαμενισμό ανά πέντε (5) χρόνια δηλαδή. Καθώς αυξάνονται τα χρόνια λειτουργίας ανάμεσα στους δεξαμενισμούς παρατηρούμε την αύξηση της απαιτούμενης ισχύος της μηχανής για να παραμείνει σταθερή η ταχύτητα υπηρεσίας. Παρατηρούμε μετά από κάθε δεξαμενισμό πως ο ρυθμός μεταβολής της ισχύος είναι πιο ομαλός από ότι είναι μετά τα 2 χρόνια και αυτό συμβαίνει καθώς τα πρώτα δύο χρόνια η βαφή του πλοίου είναι καινούργια και διατηρεί τις αντιρρυπαντικές τις ικανότητες. Μετά τα 14 χρόνια λειτουργίας περίπου όπως φαίνεται και στο διάγραμμα παρατηρείται πως καθώς το πλοίο πλησιάζει προς τον δεξαμενισμό η ισχύς πλησιάζει πολύ έντονα προς την μέγιστη συνεχόμενη ισχύ της μηχανής και αυτό γίνεται ιδιαίτερα εμφανές μετά τα 23 χρόνια λειτουργίας όπου το πλοίο για να μπορέσει να διατηρήσει την ταχύτητα υπηρεσίας του χρειάζεται το 100% της ισχύος της μηχανής του.

% MCR Load AE: Είναι το ποσοστό φόρτισης των ηλεκτρογεννητριών σε πλεύση του πλοίου. Είναι δυνατόν να επιλεγεί η ταυτόχρονη λειτουργία και των δύο ηλεκτρογεννητριών σε μικρότερο ποσοστό φόρτισης προς αποφυγή της επιβάρυνσης μίας ηλεκτρογεννήτριας. Επίσης υπάρχουν περιπτώσεις στην διάρκεια του ταξιδιού όπου μπορεί να μεταβάλλεται η φόρτιση των ηλεκτρογεννητριών (πχ κατά την διάρκεια των ελιγμών). Η περίπτωση αύξησης της φόρτισης λόγω ελιγμών δεν λαμβάνεται υπόψη στην διπλωματική εργασία (λόγω κυρίως έλλειψης αξιόπιστων στοιχείων). Συνήθως εν πλω χρησιμοποιείται μόνο μία ηλεκτρογεννήτρια στο 75

Number at AE at port: Ο αριθμός των ηλεκτρογεννητριών στα πλοία αυτής της κατηγορίας είναι 3. Σε αυτές ηλεκτρογεννήτριες περιλαμβάνεται και η ηλεκτρογεννήτρια έκτακτης ανάγκης η οποία βρίσκεται σε άλλο χώρο και σε άλλο επίπεδο έτσι ώστε να μπορεί να λειτουργήσει σε περίπτωση που υπάρξει βλάβη στο μηχανοστάσιο. Η ηλεκτρογεννήτρια αυτή τίθεται σε λειτουργία ανά κάποια χρονικά διαστήματα (για λόγους συντήρησης) και δεν συνεισφέρει στην κίνηση του πλοίου. Για τις ανάγκες της παρούσας μελέτης κατά την διάρκεια της φορτοεκφόρτωσης του φορτίου θεωρείται ότι λειτουργούν και οι δύο γεννήτριες σε ποσοστό 75% της μέγιστης συνεχόμενης ισχύος τους, έτσι ώστε να μπορούν να παρέχουν στις αντλίες την απαιτούμενη ηλεκτρική ενέργεια για να χειριστούν το φορτίο.

% MCR Load AE (Repairs): Όταν το πλοίο βρίσκεται εκτός υπηρεσίας για επισκευές και επιθεωρήσεις σε λειτουργία βρίσκεται μόνο η μία ηλεκτρομηχανή η οποία δουλεύει σε ποσοστό 25 % της μέγιστης συνεχόμενης ισχύος για να παράγει την ηλεκτρική ενέργεια που απαιτείται για τις διάφορες εργασίες που γίνονται πάνω στο πλοίο.

Η μηχανή του πλοίου όπως είδαμε και παραπάνω δεν έχει ένα σταθερό σημείο λειτουργίας. Για να μπορέσουμε να προσεγγίσουμε τη συνολική κατανάλωση καυσίμου που έχει το πλοίο σε όλη τη ζωή του θα πρέπει να λάβουμε υπόψη τις αλλαγές στα ποσοστά φόρτισης της μηχανής που συμβαίνουν στις διάφορες φάσεις λειτουργίας του πλοίου. Στο **Πίνακα 38** φαίνεται το διάγραμμα φόρτισης Tsakos Group [52] της κύριας μηχανής του δεξαμενόπλοιου αναφοράς που χρησιμοποιείται στην μελέτη το οποίο παρέχει στοιχεία καταναλώσεων για όλες τις δυνατές φορτίσεις της μηχανής του πλοίου

Πίνακας 36. Διάγραμμα φόρτισης-κατανάλωσης της κύριας μηχανής του δεξαμενοπλοίου αναφοράς [52]

Engine(s) curve, real data (laden)						
Speed (knots)	RPM	ME Power (kw)	SFC ME (gr/kWh)	ME FC (tonnes/day)	AE FC (tonnes/day)	Total FC (tonnes/day)
11,00	66.1	3060,00	186,67	13,71	5,00	18.71
12.6	83.3	6120,00	178,73	26.25	5,00	31.25
13.1	95.4	9180.0	174,00	38.33	5,00	43.33
13.6	101.4	11016.,0	172,70	45.65	5,00	50.65
14,00	105,00	12240.0	177,10	52.03	5,00	57.03

Ο υπολογισμός της ποσότητας του καυσίμου που καταναλώνει το πλοίο στο στάδιο λειτουργίας του λαμβάνει υπόψη τον χρόνο που βρίσκεται μέσα στο λιμάνι, τη διαδικασία ελιγμών, την πλεύση του πλοίου σε έμφορτη κατάσταση και σε κατάσταση ερματισμού. Οι υπολογισμοί έχουν γίνει τμηματικά διαχωρίζοντας την μία κατάσταση από την άλλη για να είναι πιο εύκολο από την χρήση του υπολογιστικού εργαλείου να έχει εικόνα για οποιαδήποτε περίοδο λειτουργίας του πλοίου χρειαστεί. Τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα από την κατανάλωση καυσίμου για το στάδιο λειτουργίας του πλοίου φαίνονται στον **Πίνακα 39**

Πίνακας 37. Συνολική κατανάλωση καυσίμου σταδίου λειτουργίας (ME & AE)

Fuel Consumption	Main Engine (s)	Auxiliary Engine (s)
	STX-MAN B&W 6S60MC	6L23/30H
Engine power (kW)	kw	kw
Fuel Type	HFO	MDO
SFOC (gr/kWh)	gr/kWh	gr/kWh
Daily consumption A-B (gr)	gr HFO	gr MDO
Daily consumption A-B (ton)	ton HFO	ton MDO
Consumption in A-B (ton)	ton HFO	ton MDO
Daily consumption in B-A (gr)	Gr HFO	gr MDO
Daily consumption B-A (ton)	ton HFO	ton MDO

Consumption in B-A (ton)		ton HFO		ton MDO
Consumption in port		ton HFO		ton MDO
Consumption in manouvering		ton HFO		ton MDO
Consumption outside port		ton HFO		ton MDO
Total fuel consumption per trip		ton HFO		ton MDO
Fuel consumption during repairs/year		ton HFO		ton MDO
Total fuel consumption per year		ton HFO		ton MDO
Total fuel consumption in life cycle		ton HFO		ton MDO

Στους παραπάνω υπολογισμούς έχουμε θεωρήσει πως η μηχανή δουλεύει στο 75% της μέγιστης συνεχόμενης ισχύς της και την τιμή της κατανάλωσης καυσίμου την έχουμε πάρει από τον **Πίνακα 38** για το αντίστοιχο ποσοστό φόρτισης της μηχανής. Θεωρούμε σε αυτό το σενάριο πως η μηχανή του πλοίου φορτίζεται στο ίδιο ποσοστό για όλη την διάρκεια της πλεύσης της όσο το πλοίο είναι γεμάτο με φορτίο ενώ κατά την διάρκεια της επιστροφής του πλοίου (κατάσταση ερματισμού) έχουμε θεωρήσει διαφορετική φόρτιση της μηχανής όπως είναι αναμενόμενο και την οποία πάλι διατηρούμε σταθερή.

Στην περίπτωση που το πλοίο βρίσκεται στο λιμάνι και είναι σε διαδικασία φορτοεκφόρτωσης (χρονικό διάστημα ίσο με **turn**) θεωρείται ότι η μηχανή του πλοίου βρίσκεται εκτός λειτουργίας και δουλεύουν οι δύο ηλεκτρογεννήτριες σε ποσοστό 75% της ισχύος τους έτσι ώστε να μπορέσουν να παράγουν την απαιτούμενη ηλεκτρική ενέργεια για την λειτουργία των αντλιών σε συνεργασία με τον ατμό που προέρχεται από τους λέβητες.

Στη φάση ελιγμών που πραγματοποιεί το πλοίο κυρίως για την έξοδο του και την είσοδο του στο λιμάνι, έχει θεωρηθεί πως η κύρια μηχανή λειτουργεί σε ποσοστό μόνο 25% καθώς η ισχύς πρόωσης που απαιτείται είναι ελάχιστη. Μια ηλεκτρογεννήτρια βρίσκεται σε λειτουργία σε ποσοστό 75% για να μπορεί να παρέχει ηλεκτρική ενέργεια στους προωθητήρες πλώρης και για να υπάρχει διαθέσιμη ενέργεια για την κύρια μηχανή του πλοίου σε περίπτωση ανάγκης πρόσδωσης πρόσθετης ισχύος. ς.

Κατά την διάρκεια της παραμονής έξω από το λιμάνι η μηχανή του πλοίου είναι εκτός λειτουργίας ενώ η μία ηλεκτρογεννήτρια φορτίζεται στο 75% της ισχύος της για να καλύπτει τις ανάγκες του πλοίου.

Τέλος κατά την διάρκεια των ημερών που το πλοίο βρίσκεται σε δεξαμενισμό για επισκευές-επιθεωρήσεις-συντηρήσεις η μηχανή του παραμένει ανενεργή και δουλεύει μόνο η μία ηλεκτρογεννήτρια για την κάλυψη των αναγκών των εργασιών που λαμβάνουν χώρα πάνω στο πλοίο

Υπολογισμός εκπεμπόμενων ποσοτήτων διοξειδίου του άνθρακα (CO2)

Οι ποσότητες διοξειδίου του άνθρακα που προέρχονται από το στάδιο λειτουργίας του πλοίου είναι άμεση συνέπεια της καύσης του καυσίμου. Ο συντελεστής εκπομπής είναι συνάρτηση της ποσότητας του καταναλισκόμενου καυσίμου και είναι 3114400 gr CO2 /ton καυσίμου για βαρύ καύσιμο (HFO) και 3206000 gr CO2 /ton καυσίμου ντίζελ (MDO). Στον **Πίνακα 40** φαίνεται ο υπολογισμός των εκπεμπόμενων ποσοτήτων διοξειδίων του άνθρακα κατά το στάδιο της λειτουργίας του πλοίου

Πίνακας 38. Συνολικές εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα (CO2)

CO2 Emissions	Main Engine (s)		Auxiliary Engine (s)	
		STX-MAN	B&W	6L23/30H
		6S60MC		
Carbon Factor CO2		gr CO2/ton		gr CO2/ton
Daily CO2 emissions in gr		gr CO2		gr CO2
Daily CO2 emissions in tons		ton CO2		ton CO2
CO2 emissions in trip A-B		ton CO2		ton CO2
Daily CO2 emissions in gr		gr CO2		gr CO2
Daily CO2 emissions in tons		ton CO2		ton CO2
CO2 emissions in trip B-A		ton CO2		ton CO2
CO2 emissions in port		ton CO2		ton CO2
CO2 emissions during manouvering		ton CO2		ton CO2
CO2 emissions waiting outside port		ton CO2		ton CO2
CO2 emissions per trip		ton CO2		ton CO2
CO2 emissions during		ton CO2		ton CO2

repairs/year		
CO2 emissions per year	ton CO2	ton CO2
CO2 emissions per ship (life cycle)	ton CO2	ton CO2

Στον υπολογισμό όλων των παραπάνω έχουν ληφθεί υπόψη όλες οι παραδοχές που έγιναν παραπάνω σχετικά με την λειτουργία της κύριας μηχανής και των ηλεκτρογεννητριών.

Υπολογισμός εκπεμπόμενων ποσοτήτων μονοξειδίου του άνθρακα (CO)

Η ποσότητα μονοξειδίου του άνθρακα που εκπέμπεται κατά το στάδιο της λειτουργίας του πλοίου είναι συνάρτηση της συνολικής ισχύος που βρίσκεται σε λειτουργία και των ωρών που είναι σε λειτουργία η κύρια μηχανή και οι ηλεκτρογεννήτριες. Οι συντελεστές εκπομπής μονοξειδίου του άνθρακα έχουν προέλθει από την χρήση της ανοιχτής βάσης δεδομένων Extremis Database θέτοντας ένα χρονικό διάστημα πρόβλεψης 20 ετών προέκυψε ο **Πίνακας 41** από την βάση δεδομένων από όπου και αντλήσαμε τον μέσο όρο για να προκύψει ένας αξιόπιστος συντελεστής εκπομπής μονοξειδίου του άνθρακα για τη συνολική διάρκεια της φάσης λειτουργίας του πλοίου.

Πίνακας 39. Συντελεστής εκπομπής μονοξειδίου του άνθρακα(CO)

CO factor	ME	AE
2010	1,599259	1,67003
2011	1,586241	1,620459
2012	1,586241	1,611932
2013	1,586241	1,603602
2014	1,586647	1,595463
2015	1,587642	1,587509
2016	1,587642	1,579734
2017	1,587875	1,57213
2018	1,587875	1,564694
2019	1,588799	1,557419
2020	1,589752	1,5503
2021	1,589752	1,543332
2022	1,589751	1,538169
2023	1,589947	1,53443
2024	1,589947	1,530768
2025	1,590287	1,527181
2026	1,590287	1,523666
2027	1,590287	1,520221
2028	1,59121	1,516844

2029	1,59121	1,513533
2030	1,59121	1,510287
average	1,589433	1,560557

Στον **Πίνακα 42** βρίσκονται οι υπολογισμοί της συνολικής εκπεμπόμενης ποσότητας μονοξειδίου του άνθρακα κατά το στάδιο της λειτουργίας του πλοίου.

Πίνακας 40. Συνολικές εκπομπές μονοξειδίου του άνθρακα (CO)

CO Emissions	Main Engine (s)		Auxiliary Engine (s)	
	STX-MAN B&W 6S60MC		6L23/30H	
Carbon Factor CO		grCO/ton		gr CO/ton
Daily CO emissions in gr		gr CO		gr CO
Daily CO emissions in tons		ton CO		ton CO
CO emissions in trip A-B		ton CO		ton CO
Daily CO emissions in gr		gr CO		gr CO
Daily CO emissions in tons		ton CO		ton CO
CO emissions in trip B-A		ton CO		ton CO
CO emissions in port		ton CO		ton CO
CO emissions during manouvering		ton CO		ton CO
CO emissions waiting outside port		ton CO		ton CO
CO emissions per trip		ton CO		ton CO
CO emissions during repairs/year		ton CO		ton CO
CO emissions per year		ton CO		ton CO
CO emissions per ship (life cycle)		ton CO		ton CO

Υπολογισμός εκπεμπόμενων ποσοτήτων μεθανίου (CH4)

Ο συντελεστής εκπομπής ποσότητας μεθανίου απεικονίζονται στον **Πίνακα 43** και είναι σύμφωνα με την Extremis Database

Πίνακας 41. Συντελεστής εκπομπής μεθανίου (CH₄)

CH ₄ factor	ME	AE
2010	0,01267506	0,014124
2011	0,01217411	0,013572
2012	0,01207288	0,013464
2013	0,011974	0,013359
2014	0,01187904	0,013256
2015	0,01178861	0,013155
2016	0,01169626	0,013057
2017	0,01160689	0,012961
2018	0,01151856	0,012867
2019	0,01143576	0,012775
2020	0,01135487	0,012685
2021	0,01127205	0,012597
2022	0,0112117	0,012528
2023	0,01116977	0,012474
2024	0,01112798	0,012421
2025	0,01108832	0,01237
2026	0,01104819	0,012319
2027	0,01100887	0,01227
2028	0,01097378	0,012221
2029	0,01093597	0,012173
2030	0,0108989	0,012127
average	0,01147198	0,012799

Στον **Πίνακα 44** βρίσκονται όλοι οι υπολογισμοί της συνολικής εκπεμπόμενης ποσότητας μεθανίου κατά το στάδιο της λειτουργίας του πλοίου.

Πίνακας 42. Συνολικές εκπομπές μεθανίου κατά το στάδιο λειτουργίας

CH ₄ Emissions	Main Engine (s)	Auxiliary Engine (s)
	STX-MAN 6S60MC B&W	6L23/30H
Carbon Factor CH₄	grCH ₄ /ton	grCH ₄ /ton
Daily CH₄ emissions in gr	gr CH ₄	gr CH ₄
Daily CH₄ emissions in tons	ton CH ₄	ton CH ₄
CH₄ emissions in trip A-B	ton CH ₄	ton CH ₄
Daily CH₄ emissions in gr	gr CH ₄	gr CH ₄

Daily CH4 emissions in tons		ton CH4		ton CH4
CH4 emissions in trip B-A		ton CH4		ton CH4
CH4 emissions in port		ton CH4		ton CH4
CH4 emissions during manouvering		ton CH4		ton CH4
CH4 emissions waiting outside port		ton CH4		ton CH4
CH4 emissions per trip		ton CH4		ton CH4
CH4 emissions during repairs/year		ton CH4		ton CH4
CH4 emissions per year		ton CH4		ton CH4
CH4 emissions per ship (life cycle)		ton CH4		ton CH4

Υπολογισμός εκπεμπόμενων ποσοτήτων οξειδίων αζώτου (NOX)

Η εκπεμπόμενη ποσότητα οξειδίων του αζώτου έχει άμεση συνάρτηση με την ισχύ η οποία χρησιμοποιείται και με τις ώρες λειτουργίας της κύριας μηχανής και των ηλεκτρογεννητριών. Σύμφωνα με στοιχεία τα οποία έχουν προέλθει από την πλοιοκτήτρια εταιρία που της ανήκει το πλοίο αναφοράς που μελετάμε χρησιμοποιούμε τον Πίνακα 45 και 46 όπου απεικονίζονται οι συντελεστές εκπομπής οξειδίων αζώτου της κύριας μηχανής και των ηλεκτρογεννητριών συναρτήσει του ποσοστού φόρτισης της μηχανής.

Πίνακας 43. Συντελεστές εκπομπής οξειδίων αζώτου (NOX) για κύρια μηχανή

Main Engine(s)	
% MCR Load	Nox coef
100	15,05
75	15,88
50	16,16
25	16,12

Πίνακας 44. Συντελεστές εκπομπής οξειδίων αζώτου (NOX) ηλεκτρογεννητριών

Auxillary Engine(s)	
% MCR Load	Nox coef
100	11,25
75	12,11
50	8,37
25	7,85

Οι συντελεστές αυτοί όπως φαίνεται και στους παραπάνω πίνακες μεταβάλλονται σε σχέση με το ποσοστό φόρτισης των μηχανών. Μέσα στο υπολογιστικό μοντέλο

εξετάζονται διάφορες φάσεις του σταδίου λειτουργίας του πλοίου ς όπου το ποσοστό φόρτισης της κύριας μηχανής μας και των ηλεκτρογεννητριών δεν είναι σταθερό. Για αυτό το λόγο μέσα στο υπολογιστικό μοντέλο έχει υπολογιστεί η μεταβολή του συντελεστή εκπομπής οξειδίων του αζώτου σε σχέση με την μεταβολή του ποσοστού φόρτισης της μηχανής. Στον **Πίνακα 47** εμφανίζονται οι τελικοί υπολογισμοί της ολικής εκπεμπόμενης ποσότητας οξειδίων του αζώτου για το στάδιο λειτουργίας του πλοίου.

Πίνακας 45. Συνολικές εκπομπές οξειδίου του αζώτου κατά το στάδιο λειτουργίας

NOX Emissions	Main Engine (s)		Auxiliary Engine (s)	
	STX-MAN B&W 6S60MC		6L23/30H	
Carbon Factor NOX		grNOX/ton		grNOX/ton
Daily NOX emissions in gr		gr NOX		gr NOX
Daily NOX emissions in tons		ton NOX		ton NOX
NOX emissions in trip A-B		ton NOX		ton NOX
Daily NOX emissions in gr		gr NOX		gr NOX
Daily NOX emissions in tons		ton NOX		tonNOX
NOX emissions in trip B-A		ton NOX		tonNOX
NOX emissions in port		ton NOX		tonNOX
NOX emissions during manouvering		ton NOX		tonNOX
NOX emissions waiting outside port		ton NOX		tonNOX
NOX emissions per trip		ton NOX		tonNOX
NOX emissions during repairs/year		ton NOX		tonNOX
NOX emissions per year		ton NOX		tonNOX
NOX emissions per ship (life cycle)		ton NOX		tonNOX

Υπολογισμός εκπεμπομένων ποσοτήτων σωματιδίων αιθάλης (PM)

Η ποσότητα μικροσωματιδίων που εκπέμπεται κατά το στάδιο της λειτουργίας του πλοίου είναι συνάρτηση της συνολικής ισχύος λειτουργίας (κύρια μηχανή και ηλεκτρογεννήτριες). Οι συντελεστές εκπομπής μικροσωματιδίων έχουν προέλθει από την χρήση της ανοιχτής βάσης δεδομένων Extremis Database και θέτοντας ένα χρονικό διάστημα πρόβλεψης 20 ετών προέκυψε ο **Πίνακας 48** με στοιχεία που υπάρχουν στην βάση δεδομένων αντλήσαμε τον μέσο όρο για να προκύψει ένας αξιόπιστος συντελεστής εκπομπής. .

Πίνακας 46. Συντελεστής εκπομπής σωματιδίων αιθάλης

PM factor	ME	AE
2010	1,49359051	0,569806
2011	1,48297237	0,56372
2012	1,48039959	0,562885
2013	1,4778865	0,562069
2014	1,47540161	0,560726
2015	1,47292977	0,558618
2016	1,47058383	0,557855
2017	1,46827303	0,5568
2018	1,46602941	0,55607
2019	1,4637676	0,554136
2020	1,46155085	0,552191
2021	1,45944863	0,551506
2022	1,45852729	0,551201
2023	1,4585131	0,550938
2024	1,45851311	0,550929
2025	1,45848856	0,55048
2026	1,45848858	0,550472
2027	1,45848859	0,550464
2028	1,45842186	0,549266
2029	1,45842188	0,549258
2030	1,45842189	0,54925
average	1,46662469	0,555174

Στον **Πίνακα 49** βρίσκονται όλοι οι υπολογισμοί της συνολικής εκπεμπόμενης ποσότητας σωματιδίων αιθάλης κατά το στάδιο της λειτουργίας του πλοίου

Πίνακας 47. Συνολικές εκπομπές σωματιδίων αιθάλης κατά το στάδιο λειτουργίας

PM Emissions	Main Engine (s)	Auxiliary Engine (s)
	STX-MAN B&W 6S60MC	6L23/30H
Emission Factor PM	gr PM/ton	gr PM /ton
Daily PM emissions in gr	gr PM	gr PM
Daily PM emissions in tons	ton PM	ton PM
PM emissions in trip A-B	ton PM	ton PM
Daily PM emissions in gr	gr PM	gr PM
Daily PM emissions in tons	ton PM	ton PM
PM emissions in trip B-A	ton PM	ton PM
PM emissions in port	ton PM	ton PM
PM emissions during manouvering	ton PM	ton PM
PM emissions waiting outside port	ton PM	ton PM
PM emissions per trip	ton PM	ton PM
PM emissions during repairs/year	ton PM	ton PM
PM emissions per year	ton PM	ton PM
PM emissions per ship (life cycle)	ton PM	ton PM

Υπολογισμός εκπεμπόμενων ποσοτήτων διοξειδίων του θείου (SO₂)

Ο συντελεστής εκπομπής ποσότητας διοξειδίων του θείου απεικονίζονται στον **Πίνακα 50** υπολογίζεται με την Extremis Database

Πίνακας 48. Συντελεστής εκπομπής διοξειδίων του θείου (SO₂)

SO ₂ factor	ME	AE
2010	9,293958	7,144298
2011	9,29373	7,104056
2012	9,29373	7,099044
2013	9,29373	7,094149

2014	9,293367	7,074864
2015	9,29248	7,034991
2016	9,29248	7,030453
2017	9,292272	7,017839
2018	9,292272	7,013504
2019	9,291448	6,977083
2020	9,290599	6,940138
2021	9,290599	6,936114
2022	9,290591	6,933176
2023	9,290416	6,92439
2024	9,290416	6,922362
2025	9,290113	6,908804
2026	9,290113	6,90686
2027	9,290113	6,904955
2028	9,28929	6,871898
2029	9,28929	6,870075
2030	9,28929	6,868288
average	9,291443	6,979873

Στον **Πίνακα 51** βρίσκονται όλοι οι υπολογισμοί της συνολικής εκπεμπόμενης ποσότητας διοξειδίων του θείου κατά το στάδιο της λειτουργίας του πλοίου

Πίνακας 49. Συνολικές εκπομπές διοξειδίων του θείου κατά το στάδιο λειτουργία

SO2 Emissions	Main Engine (s)		Auxiliary Engine (s)	
	STX-MAN B&W 6S60MC		6L23/30H	
Emission Factor SO2		grSO2/ton		grSO2/ton
Daily SO2emissions in gr		gr SO2		gr SO2
Daily SO2emissions in tons		ton SO2		ton SO2
SO2 emissions in trip A-B		ton SO2		ton SO2
Daily SO2emissions in gr		gr SO2		gr SO2
Daily SO2 emissions in tons		ton SO2		ton SO2
SO2 emissions in trip B-A		ton SO2		ton SO2
SO2 emissions in port		ton SO2		ton SO2
SO2 emissions during manouvering		ton SO2		ton SO2
SO2emissions waiting outside		ton SO2		ton SO2

port			
SO2 emissions per trip		ton SO2	ton SO2
SO2 emissions during repairs/year		ton SO2	ton SO2
SO2emissions per year		ton SO2	ton SO2
SO2 emissions per ship (life cycle)		ton SO2	ton SO2

Λέβητες και Αντλίες

Στα προηγούμενα περιγράψαμε την λειτουργία της κύριας μηχανής και των ηλεκτρογεννητριών της μηχανολογικής εγκατάστασης του πλοίου. Το πλοίο αναφοράς είναι κατηγορίας δεξαμενοπλοίου και εκτός από την κύρια μηχανή και τις ηλεκτρογεννήτριες η μηχανολογική του εγκατάσταση περιλαμβάνει και λέβητες και αντλίες των οποίων την χρησιμότητα έχει περιγραφθεί παραπάνω. Για να μελετήσουμε τις εκπομπές αέριων ρύπων αυτών των μηχανημάτων πρέπει σε πρώτη φάση να μελετήσουμε την λειτουργία τους.

Οι λέβητες συνήθως είναι δύο και καταναλώνουν ενέργεια που προέρχεται από τα καύσιμα και παράγουν ατμό ο οποίος αξιοποιείται σε διάφορες χρήσεις μέσα στο πλοίο όπως είναι η θέρμανση του φορτίου, η λειτουργία των αντλιών και η κάλυψη των αναγκών σε θερμότητα και ζεστό νερό. Για τη λειτουργία των αντλιών χρησιμοποιείται ατμός που παράγεται από τους λέβητες σε συνεργασία με ηλεκτρική ενέργεια η οποία προέρχεται από τις ηλεκτρογεννήτριες .

Για τις ανάγκες της παρούσας μελέτης η επιβάρυνση του περιβάλλοντος από την λειτουργία των λεβήτων και των αντλιών υπολογίζεται από την κατανάλωση του καυσίμου που προέρχεται από το στάδιο λειτουργίας του πλοίου. Όσον αφορά στις αντλίες δεν υπάρχει κάποια κατανάλωση καυσίμου οπότε και θα θεωρήσουμε πως η λειτουργία τους δεν επιβαρύνει το περιβάλλον.

Για του λέβητες θεωρείται πως δουλεύουν σε ποσοστά ισχύος κοντά στο 50 %. Στο υπολογιστικό εργαλείο όπως φαίνεται και στον Πίνακα 3 ο χρήστης καλείται να εισάγει σαν δεδομένο μόνο την κατανάλωση που έχουν οι λέβητες ανά ώρα λειτουργίας.

Πίνακας 50. Συνολική κατανάλωση καυσίμου λεβήτων

Boiler(s)		
Fuel Consumption		tons/h
Daily Laden		tons HFO
Unloading		tons HFO

Per Trip		tons HFO
Per year		tons HFO
Life Cycle		tons HFO

Έχοντας τις συνολικές καταναλώσεις καυσίμου των λεβήτων και χρησιμοποιώντας τους συντελεστές εκπομπής αερίων "**The Total Energy and Emissions Analysis for Marine Systems Model**" Winebrake et al. 2007 [32] υπολογίζονται οι συνολικές εκπομπές ρύπων που προέρχονται από την λειτουργία των λεβήτων.

Για κάθε τύπο αερίων εκπομπών προκύπτει ο **Πίνακας 53** όπου απεικονίζονται οι συνολικές εκπομπές ανά ταξίδι, ανά έτος και στον κύκλο ζωής.

Πίνακας 51. Συνολικές εκπομπές αερίων ρύπων από την λειτουργία των λεβήτων

Boiler(s)		
Per Trip	805,240061	tons CO2
Per year	6665,7866	tons CO2
Life Cycle	7080,005766	tons CO2

4.1.7 Περιγραφή Σταδίου Συντήρησης Μηχανολογικής Εγκατάστασης

Το στάδιο της συντήρησης εμφανίζει περισσότερο ενδιαφέρον στην περίπτωση που μελετάται η μεταλλική κατασκευή του πλοίου. Η μηχανολογική εγκατάσταση του πλοίου δεν διαδραματίζει τόσο σημαντικό ρόλο αλλά είναι απαραίτητο να συμπεριληφθεί στην μελέτη μας για λόγους πληρότητας και ρεαλιστικής προσέγγισης του υπολογιστικού μοντέλου.

Οι μοντέρνες πρακτικές συντήρησης υπαγορεύουν να μην υπάρχουν μεγάλες ποσότητες ανταλλακτικών πάνω στο πλοίο καθώς αυτό έχει επίπτωση στην μεταφορική ικανότητα του πλοίου (μειώνεται το δυνατό ωφέλιμο φορτίο) **Tsakos Group [52]** και στο κόστος λειτουργίας του. Στην σημερινή εποχή οι μεταφορές ανταλλακτικών μπορεί να γίνουν πολύ γρήγορα και έτσι στην περίπτωση κάποιας βλάβης υπάρχει δυνατότητα την επόμενη μέρα από την παραγγελία το ανταλλακτικό να βρίσκεται πάνω στο πλοίο και να προχωρήσει η επισκευή του πλοίου κανονικά. Τα αναλώσιμα ανταλλακτικά που χρειάζονται σε καθημερινή βάση είναι συνήθως μικρές ποσότητες και ο ανεφοδιασμός τους είναι δυνατός στα λιμάνια που προσεγγίζει το πλοίο.. Στην παρούσα μελέτη θα προσεγγίσουμε το συνολικό βάρος όλων των ανταλλακτικών που απαιτούνται στη ζωή του πλοίου και θα υπολογίσουμε τις εκπομπές αερίων ρύπων που προέρχονται από την κατασκευή των ανταλλακτικών αυτών. Μία αρκετά ρεαλιστική προσέγγιση της ποσότητας των ανταλλακτικών που χρειάζεται η μηχανολογική εγκατάσταση ενός πλοίου αναγόμενη στον ένα χρόνο λειτουργίας είναι οι 10 τόννοι/έτος **Tsakos Group [52]** . Στον **Πίνακα 55** φαίνονται οι συντελεστές εκπομπής αερίων ρύπων που προέρχονται από την παραγωγή του χάλυβα που απαιτείται για τα ανταλλακτικά του

Πίνακα 54

Πίνακας 52. Ποσότητα απαιτούμενων ανταλλακτικών για την μηχανολογική εγκατάσταση στην ζωή του πλοίου

Spares		
Spares used per year		tons
Spares used in lifecycle		tons

Πίνακας 53. Συντελεστές ρύπων παραγωγής χάλυβα

Emission Factors: steel production		
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
SO2	5,27	gr/kg
SOx	313,72	mg/kg
VOC	12,57	mg/kg
NMVOOC	10,84	mg/kg

Έτσι προκύπτει η συνολική επιβάρυνση του περιβάλλοντος λόγω αέριων ρύπων από την διαδικασία συντήρησης της μηχανολογικής εγκατάστασης του πλοίου και η οποία φαίνεται στον **Πίνακα 56**

Πίνακας 54. Συνολικές εκπομπές αέριων ρύπων κατά το στάδιο της συντήρησης

Emission from steel production for spares		
CO2		tons
CO		tons
CH4		tons
Nox		tons
PM (all)		tons
SO2		tons
SOx		tons
VOC		tons
NMVOOC		tons

4.1.8 Περιγραφή Σταδίου Διάλυσης-Ανακύκλωσης

Η διαθέσιμη βιβλιογραφία καταδεικνύει ότι για τη διάλυση/ανακύκλωση των πλοίων σπανίζουν οι αξιόπιστες περιβαλλοντικές καταγραφές. Αυτό συμβαίνει λόγω της δομής της παγκόσμιας αγοράς διάλυσης πλοίων η οποία έχει επίκεντρο χώρες της ΝΑ Ασίας (κυρίως Μπαγκλαντές, Ινδία, Πακιστάν) και βασίζεται ως επί το πλείστον σε μη βιομηχανικές πρακτικές. Οι τρεις αυτές χώρες προσελκύουν σχεδόν το 72% του συνολικού όγκου διάλυσης παγκοσμίως **DG Environment, 2009[53]**.

Οι εφαρμοζόμενες πρακτικές για τη διάλυση των πλοίων στις χώρες αυτές, βασίζονται στη διαθεσιμότητα φθηνής εργασίας με σχεδόν ανύπαρκτες συνθήκες ασφάλειας και περιβαλλοντικής προστασίας που δεν μπορούν να χαρακτηριστούν βιομηχανικές διαδικασίες σε σύγκριση με διαδικασίες που ακολουθούνται σε περιοχές διάλυσης και ανακύκλωσης πλοίων σε ανεπτυγμένες χώρες [54].

Ωστόσο, οι χώρες αυτές ικανοποιούν μεγάλο μέρος των αναγκών τους σε σίδηρο από τη διάλυση πλοίων ενώ παράλληλα έχουν δημιουργήσει και μια ισχυρή αγορά προώθησης μεταχειρισμένων υλικών και εξοπλισμού που ανακτάται από τα πλοία. Η κατάσταση αυτή συντηρείται με την προσφορά στους πλοιοκτήτες υψηλότερων τιμών διάλυσης σε σχέση με τον ανταγωνισμό (κυρίως tankers, bulk carriers και γενικά μεγάλα φορτηγά πλοία).

Υπάρχουν οργανωμένα ναυπηγεία σε ανεπτυγμένες χώρες τα οποία πραγματοποιούν αποσυναρμολογήσεις-διαλύσεις πλοίων και όπου εκεί γίνεται η διάλυση του πλοίου σύμφωνα με κανονισμούς. Παρόλα αυτά δεν υπάρχουν πληροφορίες διαθέσιμες από τα ναυπηγεία σχετικά με το τι ποσοστό του πλοίου ανακυκλώνεται και μπορεί να επαναχρησιμοποιηθεί. Αντίστοιχα δεν υπάρχουν πολλά διαθέσιμα επίσημα στοιχεία σχετικά με την μηχανολογική εγκατάσταση κατά τη διάλυση του πλοίου. Στην εργασία αυτή θα προσεγγιστεί το στάδιο της διάλυσης-αποσυναρμολόγησης μελετώντας στοιχεία που προέρχονται από μία περιοχή διάλυσης πλοίων στην Ινδία [40]

Σύμφωνα με τον **Πίνακα 57** που περιέχει δεδομένα ανακύκλωσης από τη συγκεκριμένη περιοχή διάλυσης για ένα δεξαμενόπλοιο όπως το πλοίο αναφοράς η ανακύκλωση της μηχανολογικής εγκατάστασης γίνεται σε ποσότητα που αντιστοιχεί περίπου στο 1-2% του βάρους άφορτου σκάφους.

Πίνακας 55. Στοιχεία ανακύκλωσης πλοίων στην Ινδία

Type of Vessel	Reroll Scrap	Melting Scrap	Cast Iron	Non-ferrous Metals	Machinery	Furniture and Misc.	Weight Lost
General cargo	56-70	10	2-5	1	4-8	5	9-15
Bulk carrier	61-71	8-10	2-3	1	2-5	1-5	10-16
Ore carrier	62-69	10	3	1	3-5	5	10-16
Passenger	44-58	10	5	1-2	10-15	5-7	11-17
Oil tanker	72-81	5-7	2-3	1-2	1-2	1-2	10-12
Ore/bulk oil carrier	66-75	8-10	3	1	1-6	1-2	10-13
Naval ships	53-67	10	2-6	1-2	4-6	1-2	15-22
Container ship	63-67	10	3-4	1	5	5	10-13
Fishing vessel	47-67	10	3-8	1-2	2-10	5	12-18
Average	64	9	4	1	5	4	13

Σύμφωνα με άλλες πηγές [41] προκύπτει πως το 95% του βάρους του πλοίου είναι ανακυκλώσιμο και μόνο το 5% αντιστοιχεί σε ποσότητα αποβλήτων. . Με αναγωγή των

παραπάνω στο βάρος της συνολικής μηχανολογικής εγκατάστασης προκύπτει η ανακυκλωμένη ποσότητα από τη μηχανολογική εγκατάσταση (**Πίνακας 58**).

Πίνακας 56. Ανακυκλώσιμο βάρος μηχανολογικής εγκατάστασης

Steel recovered		
Main engine		tons
Auxillary engine(s)		tons
Boiler(S)		tons
Pump(s)		tons
Ships recycled		
Steel recovered		tons

Το στάδιο της διάλυσης-ανακύκλωσης θα προσεγγιστεί από την πλευρά του οφέλους που υπάρχει για το περιβάλλον από την μη παραγωγή εκ νέου της ποσότητας χάλυβα που ανακυκλώνεται και για αυτό το λόγο στα τελικά αποτελέσματα που αθροίζονται όλα τα στάδια του κύκλου ζωής θα αφαιρείται η ποσότητα που προκύπτει από αυτό το στάδιο. Σύμφωνα με τους συντελεστές εκπομπής αέριων ρύπων από την παραγωγή του χάλυβα που απεικονίζονται στον **Πίνακα 56** προκύπτει ο **Πίνακας 59** που έχει το συνολικό όφελος που υπάρχει για το περιβάλλον από την μη παραγωγή της ποσότητας του χάλυβα που ανακυκλώνεται.

Πίνακας 57. Περιβαλλοντικό όφελος ανακύκλωσης μηχανολογικής εγκατάστασης

Emission from steel production for spares		
CO2	XXX	tons
CO	XXX	tons
CH4	XXX	tons
Nox	XXX	tons
PM (all)	XXX	tons
SO2	XXX	tons
SOx	XXX	tons
VOC	XXX	tons
NMVOC	XXX	tons

4.1.9 Συνοπτικά Αποτελέσματα

Στον **Πίνακα 60** του υπολογιστικού μοντέλου παρουσιάζονται οι συνολικές εκπομπές αέριων ρύπων ανά έτος λειτουργίας του πλοίου, ανά στάδιο και συνολικά στον κύκλο ζωής της μηχανολογικής εγκατάστασης.

Πίνακας 58. Αποτελέσματα σταδίων λειτουργίας ανά έτος

Emissions	Shipbuilding	Operation	Maintenance	Dismantling	TOTAL	
CO2						tons
CO						tons
CH4						tons
Nox						tons
PM (all)						tons
SO2						tons
SOx						tons
VOC						tons
NMVO						tons

Κάθε χρόνο σύμφωνα με το υπολογιστικό εργαλείο μας το πρόγραμμα ταξιδιών του πλοίου αλλάζει και μαζί και με αυτό και κάποιες άλλες παράμετροι όπως είναι οι ημέρες που μένει το πλοίο εκτός υπηρεσίας για επισκευές. Έτσι οι ποσότητες αέριων ρύπων που εκπέμπονται από το πλοίο κατά την διάρκεια του σταδίου λειτουργίας του διαφέρουν από έτος σε έτος και έτσι στον **Πίνακα 61** απεικονίζονται οι συνολικές εκπομπές αέριων ρύπων που παράγονται από όλο τον κύκλο ζωής του πλοίου όσον αφορά την μηχανολογική εγκατάσταση.

Πίνακας 59. Εκπομπές αέριων ρύπων σε όλο τον κύκλο ζωής της μηχανολογικής εγκατάστασης πλοίου

Total Life Cycle Emissions		
CO2		tons
CO		tons
CH4		tons
Nox		tons
PM (all)		tons
SO2		tons
SOx		tons
VOC		tons
NMVO		tons

4.2 Περιγραφή μοντέλου Simulink-Matlab

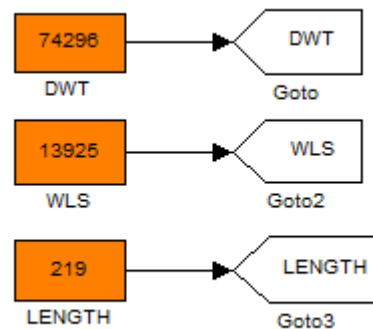
Το προγραμματιστικό περιβάλλον του Simulink-Matlab είναι ένα αρκετά περίπλοκο περιβάλλον το οποίο χρησιμοποιείται για πολύ ανεπτυγμένες εφαρμογές προσομοίωσης σε πολλούς κλάδους των επιστημών. Στηρίζεται στην σχηματική απεικόνιση και στην ροή των διαδικασιών μεταξύ διαφόρων κουτιών τα οποία απεικονίζουν διαδικασίες και έτσι μετά από μία σειρά από πολύπλοκους υπολογισμούς προκύπτει το τελικό αποτέλεσμα του μοντέλου.

Το συγκεκριμένο υπολογιστικό μοντέλο λειτουργεί με την εισαγωγή των δεδομένων από τον χρήστη (στα κουτιά με πορτοκαλί χρώμα) και μέσα από μία πολύ μεγάλη σειρά

υπολογισμών προκύπτουν τα τελικά αποτελέσματα και τα οποία θέλουμε. Η περιγραφή του μοντέλου μας περιλαμβάνει τα δεδομένα εισόδου τα οποία και απαιτούνται για την λειτουργία του και την περιγραφή μερικών επιμέρους υπολογισμών καθώς θα ήταν αδύνατο να παρουσιαστούν όλες οι σειρές υπολογισμών που γίνονται μέσα στο πρόγραμμα. Στο τέλος θα παρουσιαστούν τα αποτελέσματα που προέκυψαν από το μοντέλο μας καθώς το υπόλοιπο μοντέλο βρίσκεται στο **Παράρτημα 2** όπου και απεικονίζονται λεπτομερώς όλοι οι υπολογισμοί που έγιναν μέσα στο μοντέλο αυτό.

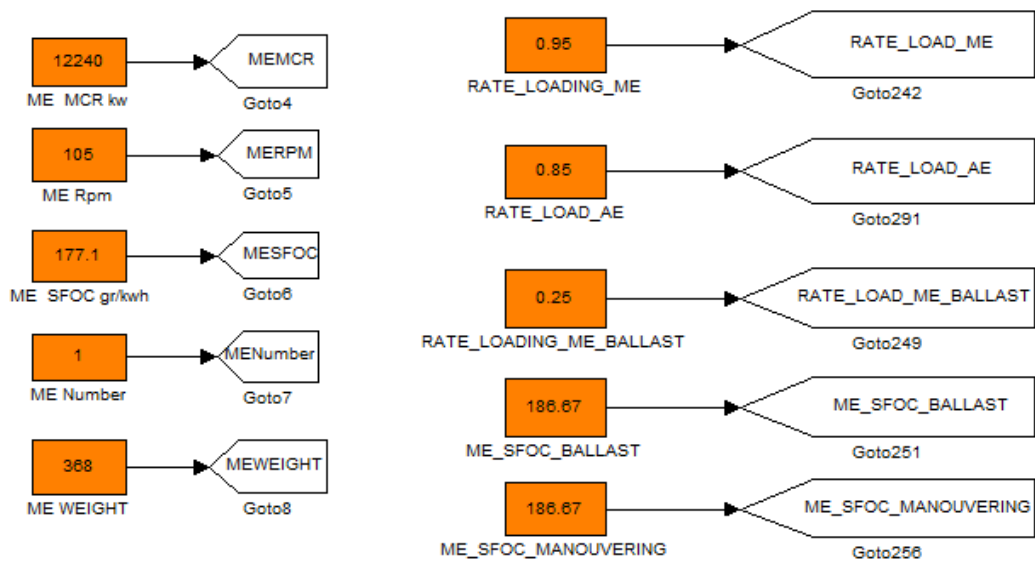
Στην χρήση του υπολογιστικού μοντέλου Simulink-Matlab τα στάδια της ζωής του πλοίου δεν είναι διαφοροποιημένα όπως είναι στο Excel και αυτό διότι το υπολογιστικό μοντέλο είναι απεικονισμένο στο ίδιο παράθυρο λειτουργίας. Για αυτό το λόγο ο χρήστης περιορίζεται στην είσοδο των δεδομένων στα κουτιά με το πορτοκαλί χρώμα και το μοντέλο πραγματοποιεί μία σειρά από υπολογισμούς και προκύπτουν τα αποτελέσματα τα οποία φαίνονται στα κουτιά με το μπλέ χρώμα.

Στην αρχή γίνεται εισαγωγή κάποιων πολύ γενικών γεωμετρικών στοιχείων του πλοίου τα οποία επί το πλείστον χρησιμοποιούνται στο στάδιο της κατασκευής του πλοίου και στο στάδιο της αποσυναρμολόγησης και διάλυσης.



Σχήμα 14. Εισαγωγή γεωμετρικών στοιχείων πλοίου

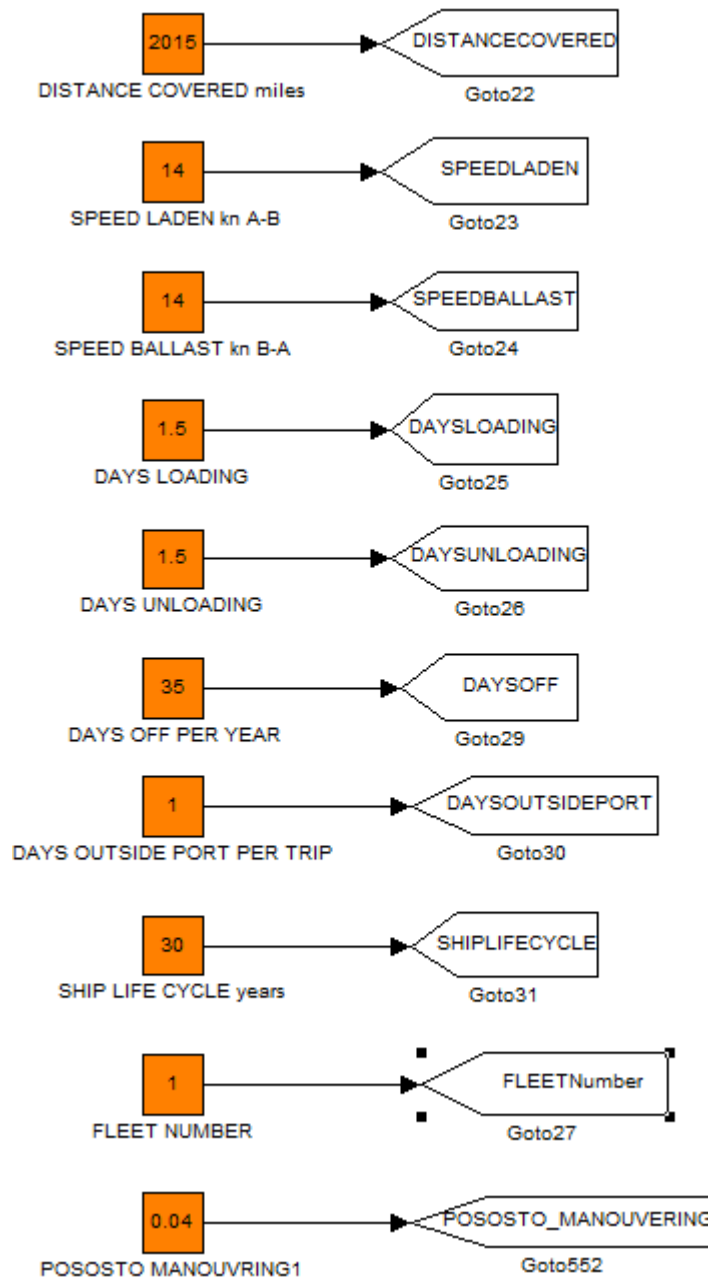
Συνεχίζοντας ο χρήστης πρέπει να εισάγει τα στοιχεία της μηχανολογικής εγκατάστασης του πλοίου τα οποία και περιλαμβάνουν τα στοιχεία των μηχανών, των ηλεκτρομηχανών, των λέβητων, των αντλιών και ότι ακόμα αποτελεί την μηχανολογική εγκατάσταση. Λόγω περιορισμένου χώρου στην **Εικόνα 3** φαίνεται τα στοιχεία εισαγωγής που απαιτούνται για την λειτουργία της κύριας μηχανής του πλοίου



Σχήμα 15.Εισαγωγή στοιχείων λειτουργίας κύριας μηχανής

Τα υπόλοιπα στοιχεία που εισάγει ο χρήστης απεικονίζονται στα **Παράρτημα 2**.

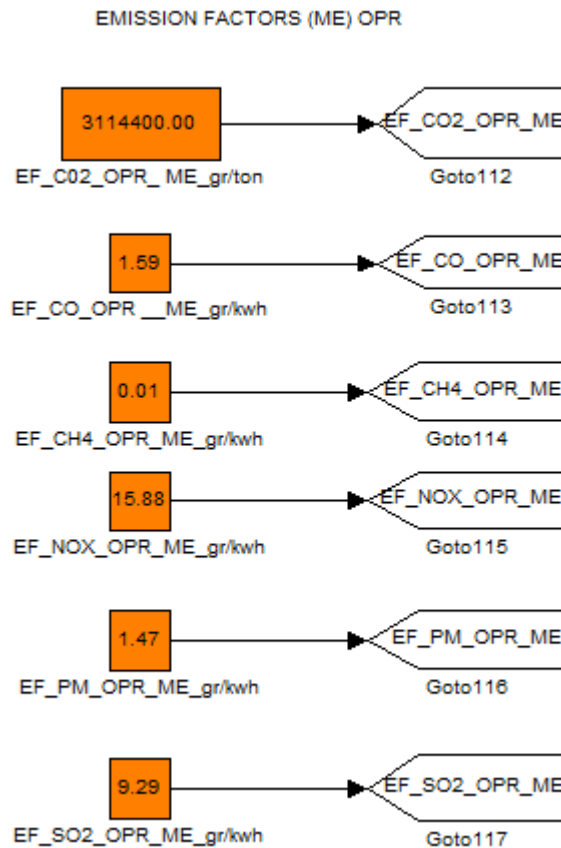
Ο χρήστης χρειάζεται να περιγράψει το σενάριο λειτουργίας το οποίο εξετάζει και σύμφωνα με το οποίο λειτουργεί το πλοίο. Για παράδειγμα, πρέπει να προσδιορίσει την απόσταση του ταξιδιού, την ταχύτητα του πλοίου σε έμφορτη κατάσταση, τις ημέρες που χρειάζεται για την φορτοεκφόρτωση και πολλά ακόμα τα στοιχεία και τα οποία εισάγονται μέσα στο μοντέλο και φαίνονται στην **Σχήμα 16**.



Σχήμα 16.Εισαγωγή στοιχείων περιγραφής σεναρίου λειτουργίας

Για την λειτουργία του εργαλείου απομένει να εισαχθούν κάποια στοιχεία σχετικά με τους συντελεστές εκπομπής αέριων ρύπων που προέρχονται από την διάρκεια ζωής της μηχανολογικής εγκατάστασης του πλοίου. Οι συντελεστές αυτοί διαφοροποιούνται σε σχέση με τα στάδια λειτουργίας του πλοίου. Για την παραγωγή του απαιτούμενου πετρελαίου που χρειάζεται να καταναλωθεί κατά την διάρκεια της κατασκευής του πλοίου υπάρχουν διαφορετικοί συντελεστές σε σχέση με τους συντελεστές οι οποίοι υπάρχουν για τις ποσότητες αέριων ρύπων που προέρχονται από την καύση του καυσίμου στην κύρια μηχανή του πλοίου. Όλες αυτές οι διαφοροποιήσεις πρέπει να οριστούν από το χρήστη εκτός αν χρησιμοποιηθούν οι προεπιλεγμένες. Στο παρόν υπολογιστικό μοντέλο οι συντελεστές εκπομπών έχουν προέλθει από την αξιόπιστη και ελεύθερη προς χρήση διαδικτυακή βάση δεδομένων Eco Indicator 99 της οποίας οι

τιμές έχουν αναφερθεί παραπάνω μέσα στην περιγραφή του Microsoft Office Excel. Στην **Σχήμα 17** φαίνεται η εισαγωγή μερικών συντελεστών εκπομπών αερίων που αναφέρονται στην λειτουργία της κύριας μηχανής



Σχήμα 17. Εισαγωγή συντελεστών εκπομπής αερίων ρύπων για την λειτουργία της κύριας μηχανής

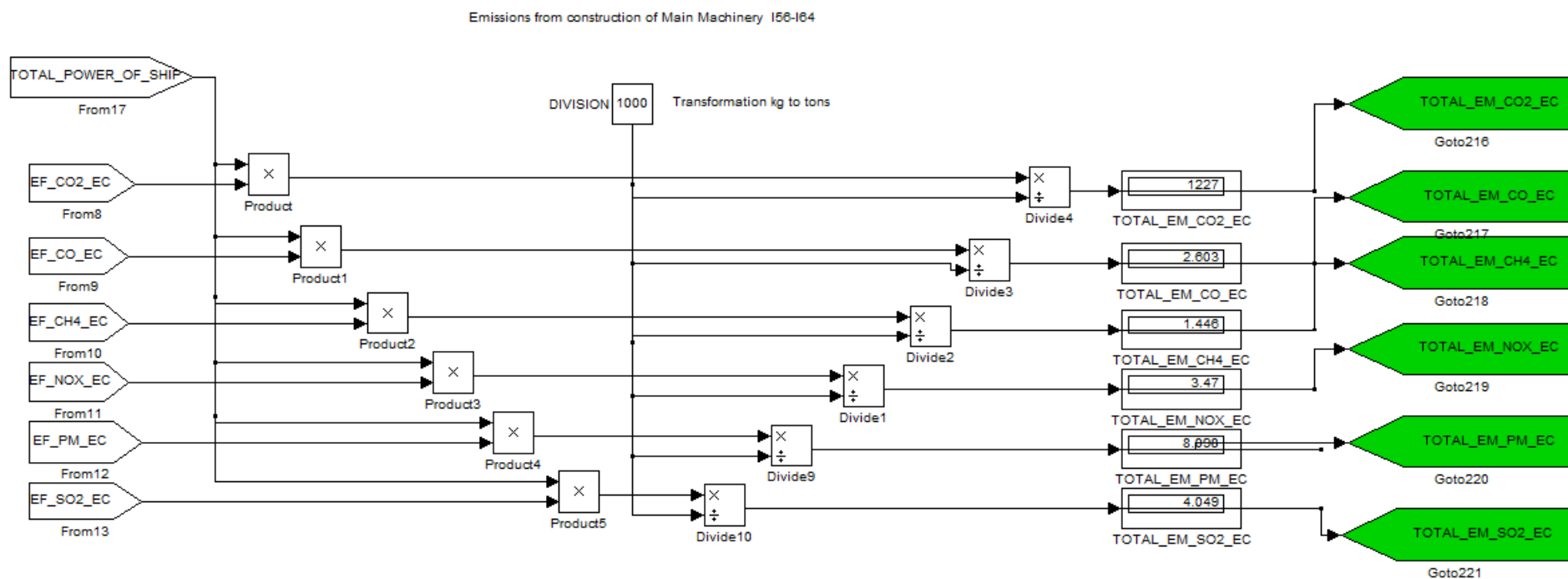
Σε αυτό το σημείο ο χρήστης ολοκληρώνει την εισαγωγή δεδομένων και μπορεί να τρέξει το σενάριο το οποίο έχει δημιουργήσει καθώς το υπολογιστικό εργαλείο είναι κατασκευασμένο έτσι ώστε να πραγματοποιήσει όλους εκείνους τους απαραίτητους υπολογισμούς έτσι ώστε στο τέλος να προκύψουν τα αποτελέσματα που θέλει ο χρήστης που στην συγκεκριμένη περίπτωση πρόκειται για την συνολική ποσότητα αερίων ρύπων που εκπέμπονται στην διάρκεια όλης της ζωής του πλοίου και προέρχονται από την λειτουργία της μηχανολογικής εγκατάστασης του πλοίου. Στα επόμενα σχήματα (Σχήμα 18,19)θα παρουσιαστούν κάποιοι υπολογισμοί οι οποίοι και επιλέχθηκαν να παρουσιαστούν για να δοθεί μία εικόνα της μορφής των υπολογισμών αυτών. Εξαιτίας της έλλειψης χώρου όπως είναι λογικό δεν είναι δυνατόν να απεικονιστούν όλοι οι υπολογισμοί οι οποίοι περιλαμβάνονται μέσα στο υπολογιστικό εργαλείο και για αυτό βρίσκονται στο **Παράρτημα 2**.

Στο **Σχήμα 18** παρουσιάζεται ο τρόπος υπολογισμού των συνολικών εκπομπών αερίων ρύπων οι οποίοι προέρχονται από την κατασκευή της κύριας μηχανής. Παρατηρούμε

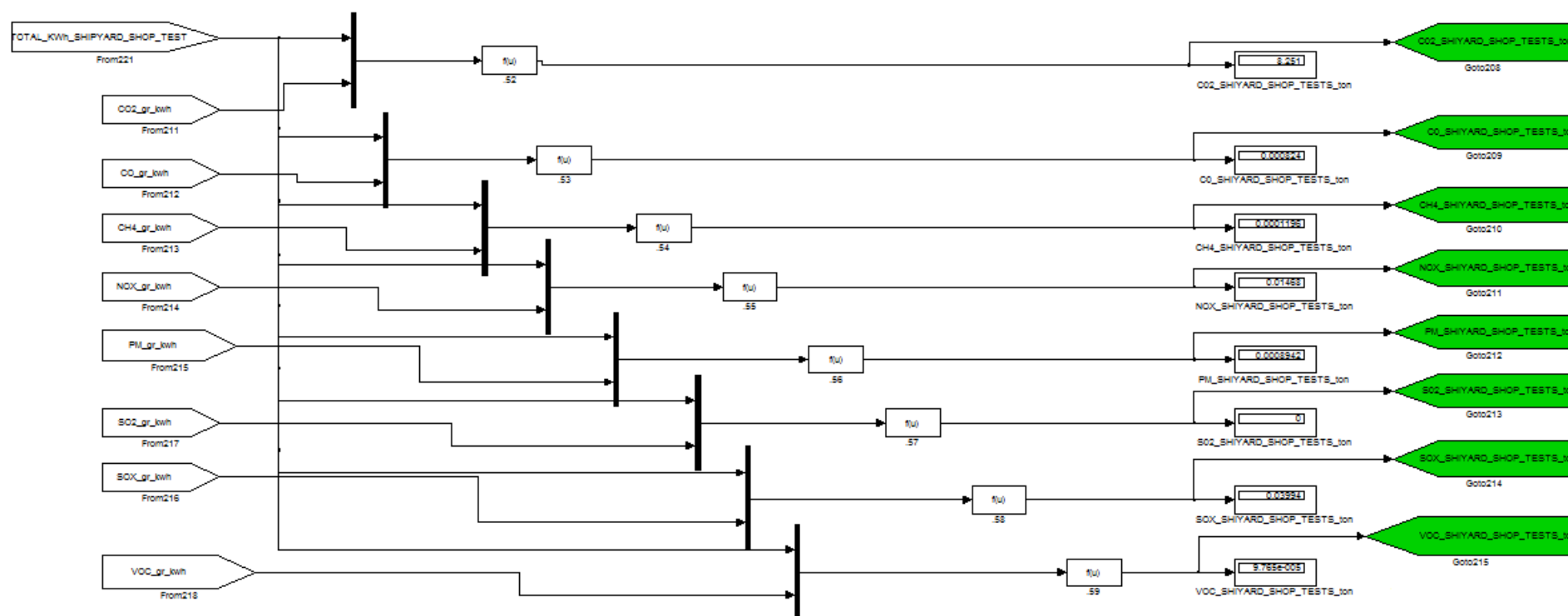
στην αριστερή πλευρά της εικόνας τους συντελεστές εκπομπής ρύπων οι οποίοι πολλαπλασιαζόμενοι με την συνολική ισχύ της κύριας μηχανής του πλοίου και αφού γίνουν όλες οι απαραίτητες μαθηματικές πράξεις για την αναγωγή των μονάδων, δίνουν τη συνολική ποσότητα των αερίων εκπομπών.

Συνεχίζοντας στο **Σχήμα 19** μπορούμε να παρατηρήσουμε τους υπολογισμούς οι οποίοι περιέχονται μέσα στο υπολογιστικό μοντέλο και αναφέρονται στο στάδιο της κατασκευής του πλοίου όπου η κύρια μηχανή του πλοίου περνάει από κάποια τέστ όσο είναι στο ναυπηγείο και πριν βγει το πλοίο στην θάλασσα για τις προκαθορισμένες δοκιμές παράδοσης στην θάλασσα.

Θα πρέπει να επισημανθεί πως οι υπολογισμοί οι οποίοι απεικονίζονται στις παραπάνω εικόνες είναι ένα κομμάτι του υπολογιστικού εργαλείου καθώς οι υπόλοιποι υπολογισμοί βρίσκονται στο **Παράρτημα 2**.



Σχήμα 18. Υπολογισμοί αέριων εκπομπών κατά την κατασκευή της κύριας μηχανής



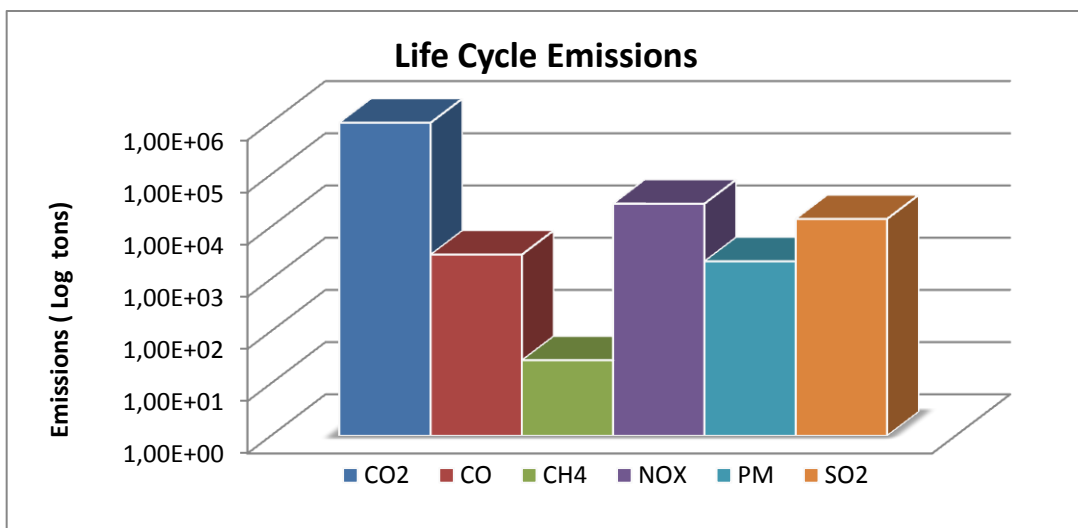
Σχήμα 19. Υπολογισμοί αέριων εκπομπών κατά την διάρκεια δοκιμών της κύριας μηχανής στο ναυπηγείο

4.3 Παρουσίαση συγκριτικών αποτελεσμάτων υπολογιστικού μοντέλου

Για την σύγκριση των αποτελεσμάτων των δύο υπολογιστικών εργαλείων κρίνεται απαραίτητο να δοκιμαστούν τα υπολογιστικά εργαλεία στο το ίδιο σενάριο. Για αυτό το λόγο ένα πολύ απλό σενάριο έχει δημιουργηθεί όπου το πλοίο του σεναρίου είναι ένα δεξαμενόπλοιο 75.000 τόνων dwt με διάρκεια ζωής τα 25 χρόνια και πραγματοποιεί τα ίδια ταξίδια κάθε χρόνο (2.015 ναυτικά μίλια το ταξίδι) με ταχύτητα 14 κόμβων σε έμπορτη κατάσταση όπου η κύρια μηχανή βρίσκεται στο 80% της μέγιστης συνεχόμενης ισχύος και στην ίδια ταχύτητα όταν αυτό είναι σε κατάσταση έρματος με τη διαφορά πως το ποσοστό φόρτισης της μηχανής είναι μικρότερο (60%). Τα στάδια κατασκευής, συντήρησης και αποσυναρμολόγησης-διάλυσης παραμένουν τα ίδια και στα δύο σενάρια καθώς επίσης και οι συντελεστές εκπομπών των αέριων ρύπων. Έχει θεωρηθεί πως το συγκεκριμένο πλοίο σε κάθε ταξίδι του χρειάζεται 1,5 μέρα για να εκφορτώσει το φορτίο του και άλλη 1,5 μέρα για φορτώσει καθώς ορίζεται πως σε κάθε ταξίδι προσεγγιστικά περιμένει έξω από το λιμάνι κοντά στη μια ημέρα μέχρι να εισέλθει στο λιμάνι για την φορτοεκφόρτωση. Έχει υποθεθεί πως το πλοίο βρίσκεται εκτός υπηρεσίας 30 μέρες κάθε χρόνο λόγω των επιθεωρήσεων και των επισκευών.

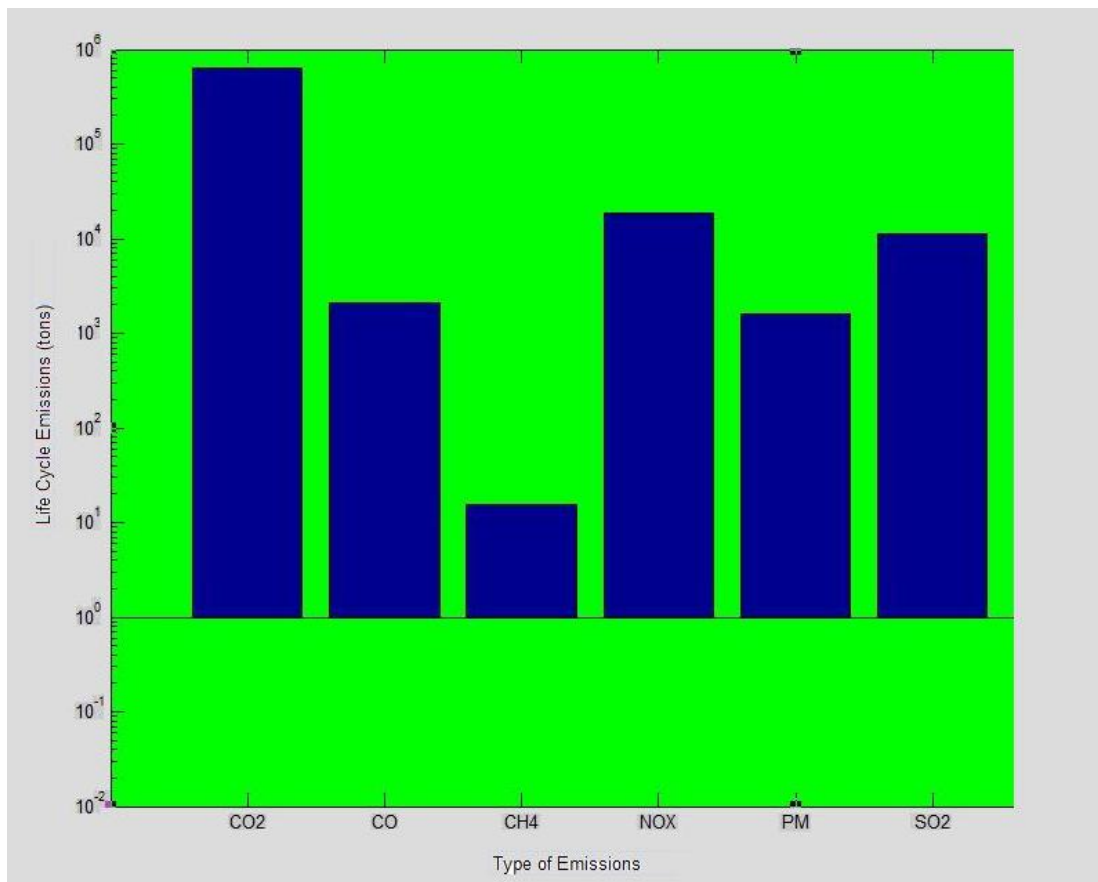
Στο στάδιο της λειτουργίας του πλοίου θεωρείται πως η κύρια μηχανή δουλεύει στα ποσοστά φόρτισης που αναφέρθηκαν παραπάνω. Θεωρείται επίσης πως εν πλω δουλεύει η μία ηλεκτρογεννήτρια ενώ στο λιμάνι δουλεύουν και οι δύο. Με όλες αυτές τις θεωρήσεις και παραδοχές πραγματοποιήθηκε το τρέξιμο των σεναρίων και στα δύο υπολογιστικά εργαλεία και στα παρακάτω σχήματα φαίνονται τα τελικά αποτελέσματα των δύο εργαλείων.

4.3.1 Αποτελέσματα Microsoft Office Excel



Διάγραμμα 6. Υπολογισμός αέριων ρύπων με την χρήση του Microsoft Office Excel σε λογαριθμική κλίμακα

4.3.2 Αποτελέσματα Matlab Simulink



Διάγραμμα 7. Υπολογισμός αέριων ρύπων με την χρήση του Matlab Simulink κλίμακα

Παρατηρώντας τα δύο διαγράμματα τα οποία απεικονίζονται με λογαριθμική κλίμακα μπορούμε να παρατηρήσουμε την απόλυτη σωμγωνία των αποτελεσμάτων των δύο υπολογιστικών μοντέλων. Στη συνέχεια της διπλωματικής εργασίας θα μελετηθούν τα επιμέρους σενάρια χρησιμοποιώντας το Microsoft Office Excel για λόγους μεγαλύτερη ευχρηστίας και αμεσότητας υπολογισμών και αποτελεσμάτων.

5. ΣΕΝΑΡΙΑ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ

Με την παγκοσμιοποίηση του θαλάσσιου εμπορίου τα πλοία τώρα πια ταξιδεύουν σε όλα τα μήκη και πλάτη του κόσμου για να μεταφέρουν αγαθά. Αυτά τα αγαθά θα μπορούσαν να είναι διαφόρων ειδών όπως ξηρό φορτίο χύδην, πετρελαιοειδή, και εμπορευματοκιβώτια και πολλά άλλα. Ένα πλοίο στην διάρκεια του κύκλου ζωής του κάνει μία σειρά από ταξίδια κάποια εκ των οποίων είναι πολύ μεγάλα και κάποια είναι πιο μικρά. Στην παρούσα διπλωματική θα μελετηθεί η περιβαλλοντική επιβάρυνση που οφείλεται στην μηχανολογική εγκατάσταση του πλοίου κατά την διάρκεια του κύκλου ζωής του που πραγματοποιεί όλα αυτά τα ταξίδια. Στη διάρκεια ζωής του πλοίου όπως είναι λογικό το πλοίο δεν πραγματοποιεί το ίδιο μοναδικό δρομολόγιο καθώς υπάρχουν πάρα πολλοί παράγοντες που επιφέρουν αλλαγές στα δρομολόγια των πλοίων. Ένας από αυτούς είναι πως το πλοίο ναυλώνεται σε κάποιους πελάτες οι οποίοι μπορεί να χρειαστεί να διαφοροποιήσουν τα δρομολόγια τους έτσι ώστε να εξυπηρετήσουν διαφορετικούς πελάτες. Επίσης σημαντικό ρόλο διαδραματίζει και η ηλικία του πλοίου καθώς με το πέρασμα των ετών το πλοίο δεν παραμένει το ίδιο κατάλληλο για την πραγματοποίηση των ίδιων δρομολογίων και έτσι αναγκάζεται να αλλάξει δρομολόγια. Για αυτό το λόγο θα μελετηθεί μία σειρά από διαφορετικά σενάρια λειτουργίας των πλοίων έτσι ώστε να είναι δυνατή η καλύτερη προσέγγιση των αποτελεσμάτων στην πραγματικότητα. Τα σενάρια που θα μελετηθούν είναι:

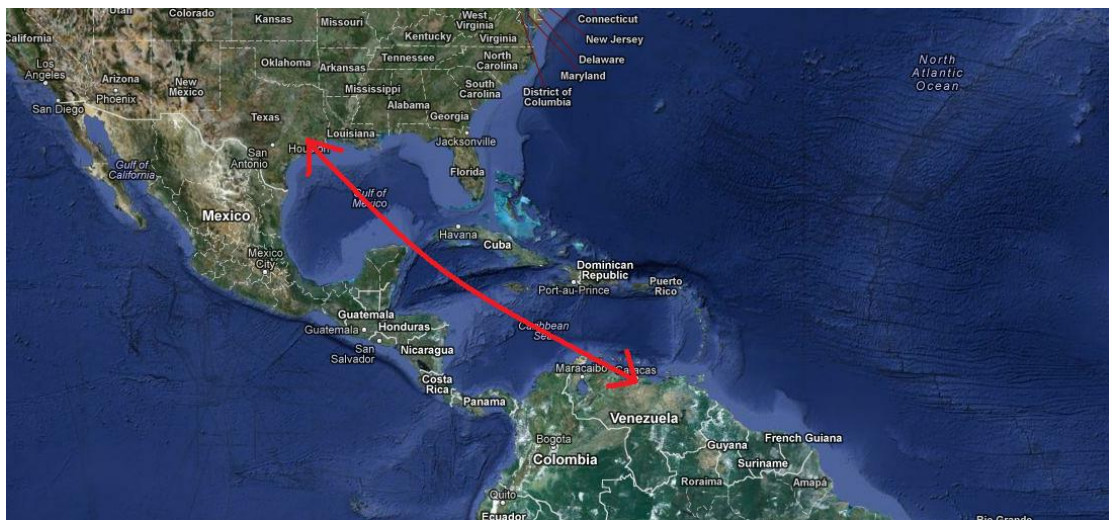
1. Σενάριο πραγματικής λειτουργίας (πραγματικά στοιχεία δρομολογίων)
2. Σενάριο λειτουργίας **Slow Steaming** (10,5 kns)
3. Σενάριο λειτουργίας **Cold Ironing**
4. Σενάριο περιορισμού ταχύτητας **Speed Limit** (12,5 kns)

Η μελέτη των σεναρίων αυτών θα χωριστεί σε δύο κομμάτια για να είναι πιο εύκολη η κατανόηση των αποτελεσμάτων που θα προκύψουν από αυτά. Στο πρώτο κομμάτι θα γίνει η μελέτη των σεναρίων με βάση την παραδοχή πως το πλοίο θα πραγματοποιεί το ίδιο δρομολόγιο σε όλη την διάρκεια ζωής του. Αυτή η θεώρηση γίνεται έτσι ώστε να εξαχθούν όλα τα απαραίτητα αποτελέσματα από τα σενάρια χωρίς να επηρεάζονται από τον παράγοντα του μήκους της διαδρομής. Έτσι η οποιαδήποτε λάθος θεώρηση μπορεί να θεωρηθεί συστημικό σφάλμα και να μην επηρεάσει τα αποτελέσματα. Στο δεύτερο κομμάτι της μελέτης θα πραγματοποιηθεί η εξέταση των ίδιων σεναρίων με την διαφορά πως δεν θα θεωρείται σταθερή η διαδρομή των ταξιδιών του πλοίου καθώς θα υπάρχουν εναλλαγές στα δρομολόγια και αυτό θα γίνεται έτσι ώστε να μπορέσουν τα αποτελέσματα των σεναρίων να είναι πιο ρεαλιστικά και να προσεγγίσουν την πραγματικότητα με μεγαλύτερη ακρίβεια.

5.1 Σενάριο Πραγματικής Λειτουργίας (Default Scenario)

Σε αυτό το σενάριο λειτουργίας θα προσεγγιστεί η πραγματική λειτουργία του πλοίου που έχουμε χρησιμοποιήσει σαν πλοίο αναφοράς χρησιμοποιώντας δεδομένα τα οποία έχουν προέλθει από την πλοιοκτήτρια εταιρεία. Η λειτουργία του πλοίου θα μελετηθεί σε χρονικό βάθος όσο και ο κύκλος ζωής (25 χρόνια) και στο τέλος θα παραχθούν τα αποτελέσματα της μελέτης μας που θα αναδεικνύουν τη συνολική περιβαλλοντική επιβάρυνση (αέριοι ρύποι) που επιφέρει η μηχανολογική εγκατάσταση του πλοίου κατά την λειτουργία του.

Το πλοίο υπό διερεύνηση είναι ένα δεξαμενόπλοιο 75.000 τόνων dwt. Στο πρώτο κομμάτι της διερεύνησης έχουμε θεωρήσει πως το πλοίο πραγματοποιεί το ίδιο ταξίδι σε όλη την διάρκεια ζωής του και αυτό γίνεται όπως αναφέρθηκε και παραπάνω για απλούστευση των αποτελεσμάτων. Το δρομολόγιο το οποίο επιλέχθηκε για να εξεταστούν τα σενάρια λειτουργίας του πλοίου είναι από το Houston της Αμερικής στην Βενεζουέλα και αντίστροφα και καλύπτεται απόσταση 2015 ναυτικών μιλίων για την μία διαδρομή. Ο τρόπος λειτουργίας των δεξαμενοπλοίων όπως είναι γνωστό είναι λίγο ιδιαίτερος καθώς φορτώνουν από έναν προορισμό και ταξιδεύουν για να πάνε σε ένα άλλον προορισμό να εκφορτώσουν και στην επιστροφή έρχονται χωρίς φορτίο έτσι ώστε να ξαναφορτώσουν και να πραγματοποιήσουν ξανά το ταξίδι τους.



Σχήμα 20. Διαδρομές δρομολογίων στην διάρκεια ζωής του πλοίου

Στο συγκεκριμένο σενάριο λειτουργίας έχουμε θεωρήσει πως το πλοίο κατασκευάστηκε στην Βόρεια Κορέα. Η μηχανολογική εγκατάσταση του πλοίου αποτελείται από τα παρακάτω επιμέρους μηχανήματα.

Πίνακας 60. Χαρακτηριστικά Κύριας Μηχανής

MAIN ENGINE (s)		
Design	STX-MAN B&W 6S60MC	
Builder	South Korea	
Power (MCR)	12240	kw
Rpm	105	rpm
SFOC	177,11	gr/kWh
Fuel	HFO RMG 380	
Number	1	
Weight	368	ton

Πίνακας 61. Χαρακτηριστικά Ηλεκτρογεννήτριας

AUXILLARY ENGINE (s)		
Design	STX-MAN B&W 6L23/30H	
Builder	South Korea	
Power (MCR)	740	kw
Rpm	720	rpm
SFOC	171,3	gr/kWh
Fuel	MDO RMG 380	
Number	3	
Weight	19,7	ton

Πίνακας 62. Χαρακτηριστικά Λέβητα

BOILER (s)		
Design	STX-MAN B&W 6S60MC	
Builder	South Korea	
Power (MCR)	12240	kw
Rpm	105	rpm
SFOC	177,11	gr/kWh
Fuel	HFO RMG 380	
Number	1	
Weight	368	ton
Steam Production Rate	10	ton/h

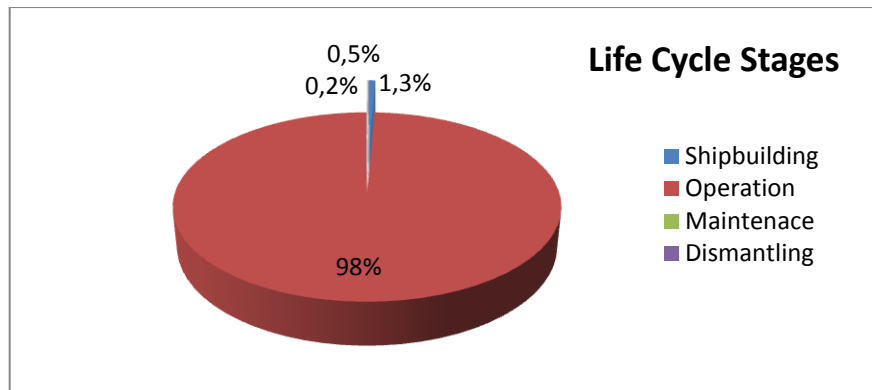
Πίνακας 63. Χαρακτηριστικά Αντλίας

PUMP (s)		
Design	STX-MAN B&W 6S60MC	
Builder	South Korea	
Power (MCR)	12240	kw
Rpm	105	rpm
SFOC	177,11	gr/kWh
Fuel	HFO RMG 380	
Number	1	
Weight	368	ton

Σύμφωνα με αυτό το σενάριο λειτουργίας το πλοίο στη διάρκεια της ζωής του ταξιδεύει χωρίς να υπάρχει κάποιο διάστημα στο οποίο να είναι ανενεργό. Το πλοίο ακολουθεί πλήρως το πρόγραμμα συντηρήσεων-επιθεωρήσεων του και οι οποιεσδήποτε έκτακτες επισκευές έχουν ληφθεί υπόψη μέσα στον προγραμματισμό. Καθώς πρόκειται για ένα δεξαμενόπλοιο έχει ληφθεί υπόψη το γεγονός πως το πλοίο πηγαίνει την μία διαδρομή γεμάτο με φορτίο και στην επιστροφή ταξιδεύει χωρίς φορτίο σε κατάσταση έρματος με την ίδια ταχύτητα με την οποία ταξιδεύει γεμάτο σύμφωνα με τα δεδομένα τα οποία και είχαμε από την πλοιοκτήτρια εταιρεία σχετικά με το προφίλ λειτουργίας του πλοίου. Όλες οι απαραίτητες διευκρινίσεις σχετικά με την λειτουργία της μηχανολογικής εγκατάστασης έχουν περιγραφεί σε προηγούμενο κεφάλαιο της διπλωματικής εργασίας όπου αναλύεται το προφίλ λειτουργίας όλης της μηχανολογικής εγκατάστασης καθώς αναφέρονται και όλοι οι χρόνοι λειτουργίας των μηχανημάτων καθώς και το ποσοστό φόρτισης τους.

Στην μελέτη του κύκλου ζωής του πλοίου έχουν υπολογιστεί όλα τα στάδια του κύκλου ζωής της μηχανολογικής εγκατάστασης (κατασκευή, λειτουργία συντήρηση, διάλυση).

Το κάθε ένα από τα στάδια αυτά είναι εξίσου σημαντικό στην λειτουργία της μηχανολογικής εγκατάστασης και κατ' επέκταση στην λειτουργία του πλοίου. Όπως φαίνεται στο **Διάγραμμα 8**, το στάδιο της λειτουργίας της μηχανολογικής εγκατάστασης είναι το κυρίαρχο στην παραγωγή αερίων εκπομπών με ποσοστό 98% και ακολουθούν το στάδιο της κατασκευής με 1,3 %, το στάδιο της συντήρησης με 0,2 % και το στάδιο της ανακύκλωσης με 0,5 %.



Διάγραμμα 8. Στάδια κύκλου ζωής της μηχανολογικής εγκατάστασης πλοίου

Τα αποτελέσματα αυτά είναι αναμενόμενα καθώς η μελέτη μας περιλαμβάνει την μηχανολογική εγκατάσταση μόνο όπου το κύριο στάδιο της είναι η λειτουργία της. Στην περίπτωση που μελετούταν ολόκληρο το πλοίο τότε προφανώς και το στάδιο της κατασκευής θα είχε μεγαλύτερη αναλογία σε σχέση με τα υπόλοιπα στάδια.

Σύμφωνα με τα πραγματικά στοιχεία που δόθηκαν από την πλοιοκτήτρια εταιρία το πλοίο χρειάζεται περίπου 36 ώρες για την εκφόρτωση του φορτίου του και άλλες 36 για την φόρτωση. Από την μελέτη του σεναρίου με την βοήθεια του υπολογιστικού μοντέλου προέκυψε ο **Πίνακας 64** στον οποίο δίνονται οι συνολικές εκπομπές αέριων εκπομπών για τον κύκλο ζωής της μηχανολογικής εγκατάστασης.

Πίνακας 64. Συνολικές εκπομπές αέριων ρύπων του κύκλου ζωής της μηχανολογικής εγκατάστασης.

Total Life Cycle Emissions		
CO ₂	1,012E+06	tons
CO	3,017E+03	tons
CH ₄	2,840E+01	tons
Nox	2,850E+04	tons
PM (all)	2,266E+03	tons
SO ₂	1,459E+04	tons

5.1.1 Σχολιασμός αποτελεσμάτων

Παρατηρώντας το Διάγραμμα 3 το οποίο είναι σε λογαριθμική κλίμακα είναι εμφανής η μεγάλη ποσότητα εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα και οποίες είναι αναμενόμενες καθώς προσδιορίζονται κοντά στο τριπλάσιο της ποσότητας του συνολικού καυσίμου λειτουργίας το οποίο και έχει καταναλωθεί κατά την διάρκεια του κύκλου ζωής. Σύμφωνα και με το διάγραμμα οι ποσότητες και των υπόλοιπων αέριων ρύπων έχουν

προκύψει σε φυσιολογικά πλαίσια. Στόχος αυτής της διπλωματικής είναι να εξετάσουμε τις ποσότητες αέριων ρύπων που εκπέμπονται από την μηχανολογική εγκατάσταση υπό διάφορες καταστάσεις λειτουργίας και φόρτισης της μηχανής έτσι ώστε να μπορέσουμε να παρέχουμε πληροφορίες σχετικά με το ποιο σενάριο λειτουργίας του πλοίου θα ήταν φιλικότερο προς το περιβάλλον.

5.2 Σενάριο λειτουργίας Slow Steaming

Το σενάριο του Slow Steaming ή όπως αλλιώς ονομάζεται η μείωση της ταχύτητας πλεύσης του πλοίου είναι αποτέλεσμα κυρίως δύο παραγόντων. Ο υπερβολικά μεγάλος αριθμός πλοίων που υπάρχουν αυτή τη στιγμή στην αγορά και η άνοδος της τιμής των καυσίμων. Η εισχώρηση στην αγορά από το 2007 μέχρι και το 2009 συνολικά 240 νεόχτιστων πλοίων μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων είχε σαν αποτέλεσμα να αυξήσει κοντά στο 10% την προσφορά της αγοράς όταν ταυτόχρονα εκείνη την περίοδο υπήρχε μείωση της ζήτησης κατά 10% [42]

Όλο αυτό είχε σαν αποτέλεσμα να μείνουν ανενεργά περίπου κοντά στα 500 πλοία εμπορευματοκιβωτίων και ειδικά σε μία περίοδο όπου η αύξηση στην τιμή του καυσίμου είχε αρχίσει να γίνεται όλο και πιο έντονη καθώς είχε αρχίσει να πλησιάζει τα 700 δολάρια τον τόνο με αποτέλεσμα να γίνονται προσπάθειες στην αγορά να βρεθεί η χρυσή τομή έτσι ώστε να μην μένουν καράβια παροπλισμένα.

Μία άμεση συνέπεια της μείωσης της ταχύτητας των πλοίων είναι η μείωση των εκπομπών του διοξειδίου του άνθρακα και αυτό γίνεται διότι οι εκπεμπόμενες ποσότητες διοξειδίων του άνθρακα είναι συνάρτηση της ποσότητας του καυσίμου που έχει έναν παράγοντα εκπομπής ίσο με 3,17 kg CO₂ ανά τόνο καυσίμου [43].

Η μείωση των εκπομπών που αντιστοιχεί στη μειωμένη ταχύτητα των πλοίων έχει μελετηθεί τα τελευταία χρόνια κυρίως για τα πλοία μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων. Τα πλοία αυτά παρά το γεγονός ότι αποτελούν το 4% του παγκόσμιου στόλου των εκπέμπουν κοντά στο 20% της εκπεμπόμενης από τη ναυτιλία ποσότητας διοξειδίου του άνθρακα [44]. Έχει διαπιστωθεί πως μειώνοντας την ταχύτητα ενός τέτοιου πλοίου κατά 10 % μπορεί να επιτευχθεί μείωση της εκπομπής διοξειδίου του άνθρακα κατά 10-15% τουλάχιστον [43] αλλά αυτό θα έχει σαν αποτέλεσμα τα ταξίδια να διαρκούν πολλές παραπάνω ημέρες με αποτέλεσμα να πρέπει να εισέλθουν νέα πλοία στην αγορά για να καλύψουν τις μεταφορικές ανάγκες και δεν γνωρίζουμε σε ποιόν βαθμό ακριβώς σταματάει να είναι συμφέρον για το περιβάλλον. Αυτό είναι ένα κομμάτι το οποίο και θα εξεταστεί στην παρούσα διπλωματική, δηλαδή του κατά πόσο είναι αποδοτικό και προσοδοφόρο το μέτρο του Slow Steaming για το περιβάλλον κατά τη διάρκεια ζωής του πλοίου.

Σε αυτό το σενάριο το πλοίο υπό μελέτη είναι το ίδιο πλοίο με το σενάριο κανονικής λειτουργίας με ακριβώς το ίδιο πρόγραμμα λειτουργίας και πραγματοποιώντας τα ίδια

ταξίδια. Η διαφορά σε αυτό το σενάριο είναι το προφίλ λειτουργίας του πλοίου καθώς σε αυτήν την περίπτωση έχουμε αλλαγή της ταχύτητας πλεύσης.

Προσπαθώντας να μειώσουμε την ταχύτητα του πλοίου έχουμε μειώσει την φόρτιση της μηχανής στο 25 % του MCR με αποτέλεσμα το πλοίο να επιτυγχάνει ταχύτητα 10,5 κόμβων σε έμφορτη κατάσταση. Έτσι μέσω του συντελεστή ναυαρχείου διατηρώντας την ίδια φόρτιση στην μηχανή στην κατάσταση ερματισμού το πλοίο μπορεί να επιτυγχάνει ταχύτητα 13 κόμβων. Οι συνθήκες φορτοεκφόρτωσης παραμένουν ίδιες όπως ίδια παραμένει και η φόρτιση όλων των ηλεκτρογεννητριών. Λόγω της μειωμένης ταχύτητας του πλοίου είναι λογικό το πλοίο να διανύει μικρότερη απόσταση στο ίδιο χρονικό διάστημα και αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να βρίσκεται στην θάλασσα περισσότερες μέρες από όσες υπολογίστηκαν στο πρώτο σενάριο κανονικής λειτουργίας. Συνεπώς το πλοίο πραγματοποιεί τελικά λιγότερα ταξίδια μέσα σε ένα χρόνο και στη διάρκεια ζωής του. Το σενάριο Slow Steaming επηρεάζει μόνο το στάδιο της λειτουργίας του πλοίου καθώς δεν υπάρχει κάποια αλλαγή είτε στην κατασκευή του πλοίου είτε στην διάλυση του οπότε η επιβάρυνση για το περιβάλλον διαφοροποιείται μόνο στο στάδιο της λειτουργίας του.

Η λειτουργία του πλοίου σε χαμηλότερη ταχύτητα από αυτήν που σχεδιάστηκε είναι ένα μέτρο το οποίο εφαρμόζεται ευρέως για λόγους οικονομίας στα καύσιμα. Ωστόσο το μέτρο μπορεί να θεωρηθεί προσωρινό μέτρο και για αυτό το λόγο το σενάριο το οποίο και μελετάμε υποθέτει πως το πλοίο ταξιδεύει τα πρώτα 15 χρόνια της ζωής του σε κανονικές συνθήκες λειτουργίας όπως αυτές εξετάστηκαν και παρουσιάστηκαν στο προηγούμενο σενάριο και μετά τα 15 χρόνια λόγω της κατάστασης στην επέρχεται η ναυτιλία αναγκάζεται να μειώσει την ταχύτητα του και έτσι λειτουργεί σε συνθήκες Slow Steaming. Μέσα από την μελέτη του σεναρίου αυτού με την βοήθεια του υπολογιστικού μας εργαλείου προέκυψαν οι συνολικές ποσότητες των αέριων εκπομπών που προέρχονται από την λειτουργία της μηχανολογικής εγκατάστασης κάτω από αυτές τις συνθήκες και αυτές παρουσιάζονται στον **Πίνακα 65**.

Πίνακας 65. Συνολικές εκπομπές αέριων ρύπων του κύκλου ζωής της μηχανολογικής εγκατάστασης σε συνθήκες λειτουργίας Slow Steaming

Total Life Cycle Emissions		
CO ₂	8,878E+05	tons
CO	2,687E+03	tons
CH ₄	2,575E+01	tons
Nox	2,486E+04	tons
PM (all)	1,924E+03	tons
SO ₂	1,189E+04	tons

5.2.1 Σχολιασμός αποτελεσμάτων

Παρατηρώντας τις τιμές του διαγράμματος παραπάνω μπορούμε να δούμε μία μείωση των εκπεμπόμενων ποσοτήτων αρκετά μεγάλη για τα συνήθη δεδομένα. Για παράδειγμα παρατηρώντας τις τιμές των εκπομπών του διοξειδίου του άνθρακα μπορούμε να εντοπίσουμε μια μείωση της τάξης του 13% περίπου η οποία είναι αναμενόμενη. Οι επακριβείς συγκρίσεις αποτελεσμάτων και οι σχολιασμοί ακολουθούν στην συνέχεια της περιγραφής των σεναρίων. Λόγω της φύσης του σεναρίου λειτουργίας το οποίο μελετάται αναμένεται μία μέση έκταση μείωση της εκπομπής των αέριων ρύπων και αυτό διότι σύμφωνα με το παρόν σενάριο το πλοίο λειτουργεί σε συνθήκες Slow Steaming μόνο για ένα διάστημα 10 ετών οπότε και δεν αναμένουμε δραστικές μειώσεις. Σχετικά με τις υπόλοιπες κατηγορίες ρύπων είναι λογικές οι τιμές των εκπομπών τους όπως επίσης προκύπτουν αναμενόμενες και οι τιμές των διαφορών τους σχετικά με το σενάριο κανονικής λειτουργίας του πλοίου όπως θα φανεί και στο υποκεφάλαιο με τα συγκριτικά αποτελέσματα παρακάτω.

5.3 Σενάριο λειτουργίας με ηλ. διασύνδεση στο λιμάνι (Cold Ironing)

Καθώς ο αριθμός των πλοίων ολοένα και αυξάνεται αυτό έχει σαν αποτέλεσμα όλο και περισσότερα πλοία να προσεγγίζουν τα υπάρχοντα λιμάνια και για αυτό το λόγο αρχίζουν και αναπτύσσονται σε μέγεθος και αριθμό τα λιμάνια παγκοσμίως. Εκτός όμως από την ανάπτυξη σε μέγεθος, τα λιμάνια εξελίσσονται και σε τεχνολογικά θέματα έτσι ώστε να μπορούν να εξυπηρετούν πολύ πιο εύκολα και αποδοτικά τους πελάτες τους που εν προκειμένου είναι τα πλοία και τα αγαθά που μεταφέρονται. Λόγω όλης αυτής της έντονης δραστηριότητας που υπάρχει στα λιμάνια γίνονται προσπάθειες να μειωθούν οι συνέπειες που προκύπτουν από το περιβάλλον από όλη αυτή την έντονη δραστηριότητα. Για να γίνει πιο κατανοητό αυτό το φαινόμενο αρκεί να αναλογιστούμε τις δραστηριότητες που πραγματοποιεί ένα καράβι από την στιγμή που προσεγγίζει το λιμάνι και κατά τη διάρκεια παραμονής του σε αυτό. Στην περίπτωση των φορτηγών πλοίων που πρέπει να εκφορτώσουν ή να φορτώσουν τα φορτία τους οι ηλεκτρογεννήτριες τους έτσι ώστε να μπορεί να παρέχεται η απαιτούμενη ενέργεια που απαιτούν τα μηχανήματα για την φορτοεκφόρτωση του πλοίου. Η λειτουργία των μηχανών αυτών ταυτίζεται με κατανάλωση καυσίμου που οδηγεί σε αέριες εκπομπές. Στην περίπτωση της παρούσας διπλωματικής όπου το πλοίο αναφοράς μας είναι δεξαμενόπλοιο η λειτουργία του στο λιμάνι μπορεί να θεωρηθεί σχετικά περιορισμένη καθώς δουλεύουν οι ηλεκτρογεννήτριες του μόνο κατά την διάρκεια της εκφόρτωσης του φορτίου και μετά το πλοίο μας είναι έτοιμο να αναχωρήσει καθώς ποτέ δεν φορτώνει ξανά από το ίδιο λιμάνι. Έτσι ο συνολικός χρόνος παραμονής του στο λιμάνι είναι περιορισμένος.

Πάνω σε αυτή τη βάση έχουν γίνει εδώ και χρόνια πολλές μελέτες για την εύρεση διαφόρων τρόπων για να μειωθούν τα έξοδα παραμονής ενός πλοίου σε ένα λιμάνι και να μειωθούν και οι εκπομπές αέριων ρύπων. Έτσι άρχισε να αναπτύσσεται η λύση του

Cold Ironing σύμφωνα με την οποία όταν ένα πλοίο φτάνει στο λιμάνι συνδέεται και παίρνει από εκεί την ηλεκτρική ενέργεια που χρειάζεται για να λειτουργήσει και έτσι με αυτόν τον τρόπο αποφεύγει την χρήση των δικών του ηλεκτρομηχανών για να καλύψει τις ανάγκες του. Βέβαια όπως είναι κατανοητό ο ηλεκτρισμός που παρέχεται στα πλοία μέσω του λιμανιού παράγεται σε άλλες μονάδες ηλεκτρισμού στην ξηρά οι οποίες συνήθως χρησιμοποιούν άλλες μορφές ενέργειας για να παράγουν ηλεκτρισμό και όχι πετρέλαιο όπως οι ηλεκτρομηχανές των πλοίων.

Εξετάζεται ένα σενάριο σύμφωνα με το οποίο το πλοίο σε όλη την διάρκεια της ζωής του κατά την πραγματοποίηση των ταξιδιών του καθώς θα προσεγγίζει τα λιμάνια για να φορτοεκφορτώσει θα συνδέεται με το λιμάνι και έτσι θα έχει όλη εκείνη την απαραίτητη ηλεκτρική ενέργεια που χρειάζεται για την φορτοεκφόρτωση με αποτέλεσμα να μην χρησιμοποιεί καθόλου τις ηλεκτρομηχανές για αυτό το λόγο και έτσι επιτυγχάνεται οικονομία στην κατανάλωση καυσίμου και μηδενισμός των εκπομπών των αέριων ρύπων μέσα στο λιμάνι. Στο σενάριο που μελετήθηκε με την βοήθεια του υπολογιστικού εργαλείου όλες οι παραδοχές σχετικά με το προφίλ λειτουργίας του πλοίου έχουν παραμείνει σταθερές σε σχέση με το βασικό μας σενάριο και στον Πίνακα 66 που ακολουθεί απεικονίζονται οι συνολικές ποσότητες αέριων ρύπων που εκπέμπονται από την λειτουργία της μηχανολογικής εγκατάστασης υπό τις συνθήκες του Cold Ironing.

Πίνακας 66. Συνολικές εκπομπές αέριων ρύπων του κύκλου ζωής της μηχανολογικής εγκατάστασης σε συνθήκες λειτουργίας Cold Ironing.

Total Life Cycle Emissions		
CO ₂	1,002E+06	tons
CO	2,990E+03	tons
CH ₄	2,820E+01	tons
Nox	2,833E+04	tons
PM (all)	2,266E+03	tons
SO ₂	1,441E+04	tons

5.3.1 Σχολιασμός Αποτελεσμάτων

Παρατηρώντας τον παραπάνω πίνακα μπορούμε να διακρίνουμε πως σε γενικές γραμμές εμφανίζεται μία ομοιότητα σε σχέση με τις τιμές που προέκυψαν από την μελέτη του σεναρίου με τις κανονικές συνθήκες λειτουργίας και αυτό είναι αναμενόμενο καθώς τα δύο σενάρια είναι ίδια με την μόνη διαφορά πως σε αυτό το σενάριο που εξετάσαμε οι εκπομπές κατά την διάρκεια παραμονής του πλοίου στο λιμάνι είναι μηδενικές. Εμφανίζεται μία πάρα πολύ μικρή μείωση στις εκπομπές του διοξειδίου του άνθρακα της τάξης του 2%. Αντίστοιχα υπάρχει μείωση και σε όλες τις υπόλοιπες κατηγορίες αέριων εκπομπών η οποία είναι της ίδιας τάξης μεγέθους. Η

μικρή μείωση οφείλεται στην κατηγορία του πλοίου που εξετάζουμε. Ένα δεξαμενόπλοιο δαπανά πολύ περιορισμένο χρόνο σε κάποιο λιμάνι και οι απαιτήσεις του σε ηλεκτρική ενέργεια είναι πολύ περιορισμένες καθώς η μόνη διεργασία που πραγματοποιείται κατά την παραμονή του στο λιμάνι είναι η φορτοεκφόρτωση η οποία επιβαρύνει μόνο τις ηλεκτρογεννήτριες και οι οποίες καταναλώνουν σχετικά μικρές ποσότητες καυσίμου και για αρκετά μικρό χρονικό διάστημα. Η αποδέσμευση του πλοίου από την λειτουργία των ηλεκτρομηχανών προσφέρει πολύ περιορισμένα οφέλη για το περιβάλλον και εκεί οφείλεται το τόσο μικρό ποσοστό μείωσης των εκπομπών αέριων ρύπων. Στην περίπτωση που το πλοίο μας ήταν για παράδειγμα ένα κρουαζιερόπλοιο τότε η μείωση θα ήταν πολύ μεγαλύτερη καθώς τα κρουαζιερόπλοια δαπανούν περισσότερο χρόνο στο λιμάνι και οι απαιτήσεις τους σε ηλεκτρική ενέργεια είναι ιδιαίτερα αυξημένες.

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα που προέκυψαν καταλήγουμε στο συμπέρασμα πως η εφαρμογή της σύνδεσης του πλοίου με το λιμάνι για παροχή ηλεκτρικής ενέργειας δεν είναι μέτρο μεγάλης αποδοτικότητας για την συγκεκριμένη κατηγορία πλοίων (δεξαμενόπλοια).

5.4 Σενάριο λειτουργίας με όριο ταχύτητας (Speed Limit)

Για να μπορέσει η ναυτιλία να διαδραματίσει σημαντικό ρόλο στην προσπάθεια μείωσης των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου είναι σίγουρο πως πρέπει να επιτύχει πολύ δραστικές περικοπές. Σύμφωνα με πρόσφατα στοιχεία από μελέτη του IMO [45] κάθε πλοίο μπορεί να μειώσει κατά 25-75% τις εκπομπές του σε αέρια θερμοκηπίου με τις διαθέσιμες τεχνολογίες.

Είναι κοινώς αποδεκτό πως ο πλέον δραστικός τρόπος μείωσης των αερίων εκπομπών πλοίων είναι η μείωση της ταχύτητας. Έρευνες [46] έχουν δείξει πως είναι δυνατή η μείωση ακόμα και ως 70% των αερίων ρύπων στην περίπτωση που η ταχύτητα μειωθεί στο μισό. Πρόσφατη έρευνα που ασχολήθηκε με όρια ταχύτητας πλοίων [48] έδειξε πως εάν το σύνολο του στόλου των δεξαμενοπλοίων, των πλοίων φορτίου χύδην και των πλοίων μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων μειώσουν ταχύτητα σε σημείο που να εξυπηρετείται χωρίς απώλειες η αγορά, τότε είναι δυνατή η συνολική μείωση των εκπεμπόμενων αερίων κατά 30 %.

Τα όρια ταχύτητας υπάρχουν για όλων των ειδών τις μεταφορές ξηράς και έχουν θεσπιστεί για θέματα ασφαλείας αλλά και οικονομίας καθώς η ταχύτητα είναι ο κυριότερος παράγοντας κατανάλωσης. Γενικότερα το μέτρο μείωσης της ταχύτητας του πλοίου μπορεί να έχει επιπλέον όφελος καθώς με την μείωση της ταχύτητας μειώνονται και οι εκπομπές πολλών άλλων αερίων ρύπων όπως είναι οι NOX, SOX, PM. Επίσης με τις μικρότερες ταχύτητες θεωρείται ότι μπορεί να προκύψουν οφέλη στην ασφάλεια (πχ μείωση αριθμού και επιπτώσεων συγκρούσεων).

Στην παρούσα διπλωματική το σενάριο λειτουργίας Speed Limit υποθέτει ότι το πλοίο θα ταξιδεύει με ανώτατο όριο ταχύτητας 12,5 kns σε όλες τις καταστάσεις λειτουργίας του. Για μια ρεαλιστικότερη προσέγγιση έχει υποτεθεί ότι το όριο αυτό τέθηκε 5 χρόνια από την αρχή λειτουργίας του πλοίου.

Πίνακας 67. Συνολικές εκπομπές αέριων ρύπων του κύκλου ζωής της μηχανολογικής εγκατάστασης σε συνθήκες λειτουργίας Speed Limit.

Total Life Cycle Emissions		
CO ₂	8,411E+05	tons
CO	2,498E+03	tons
CH ₄	2,463E+01	tons
Nox	2,335E+04	tons
PM (all)	1,681E+03	tons
SO ₂	1,158E+04	tons

5.4.1 Σχολιασμός Αποτελεσμάτων

Παρατηρώντας τις τιμές του προηγούμενου πίνακα είναι εμφανής η μεγάλη μείωση στις αέριες εκπομπές. Η μείωση του εκπεμπόμενου διοξειδίου του άνθρακα είναι 19,5% σε σχέση με το βασικό σενάριο. Αντίστοιχη είναι και η μείωση που υπάρχει και στις άλλες κατηγορίες εκπομπών. Για το συγκεκριμένο πλοίο οι 12,5 κόμβοι ταχύτητας (όριο ταχύτητας) αντιστοιχούν σε 50% φόρτιση της κύριας μηχανής, το οποίο σημαίνει πως η κατανάλωση είναι αρκετά μικρή και έτσι δικαιολογούνται και μειωμένοι εκπεμπόμενοι ρύποι.

5.5 Σύγκριση Αποτελεσμάτων

Στα προηγούμενα παρουσιάστηκαν τα αποτελέσματα από τα σενάρια τα οποία και εξετάσαμε με μορφή πινάκων και διαγραμμάτων. Για την καλύτερη κατανόηση των αποτελεσμάτων θα παρουσιαστούν κάποια συγκριτικά αποτελέσματα. Τα σενάρια που μελετήθηκαν θα συγκριθούν με βάση το βασικό σενάριο.

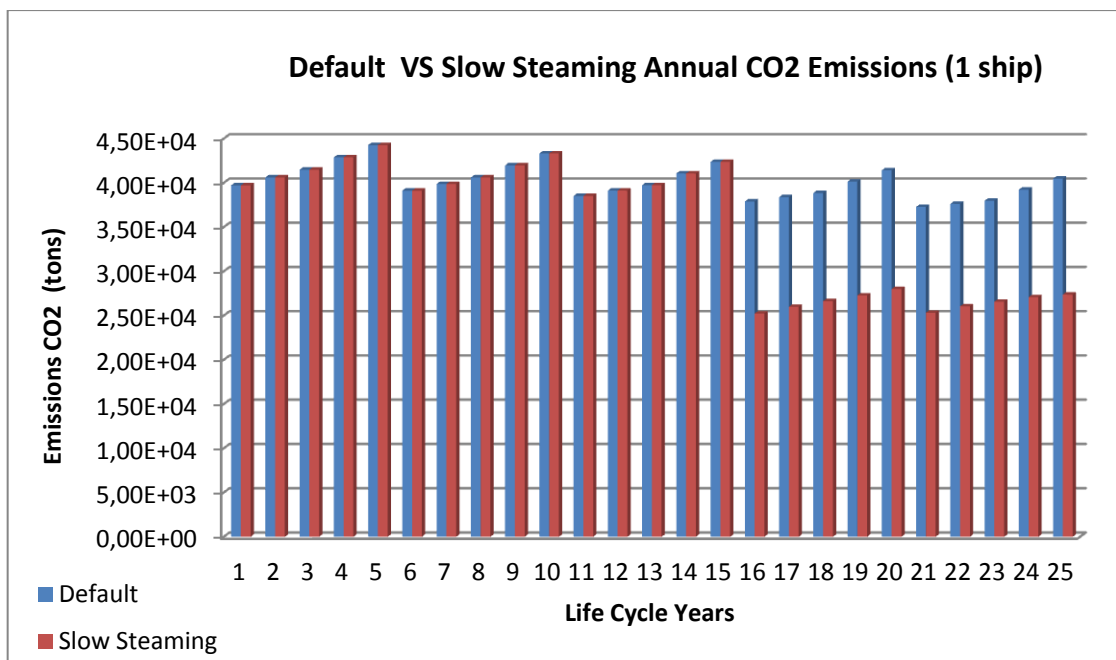
5.5.1 Default Scenario και Slow Steaming Scenario

Τα αποτελέσματα από την σύγκριση αυτή παρουσιάζονται στον **Πίνακα 68** και απεικονίζονται στο **Διάγραμμα 9** που ακολουθεί. Τα αποτελέσματα αυτά δίνονται συνολικά στον κύκλο ζωής αλλά και σε ετήσια βάση καθώς έτσι είναι πιο εύκολο να κατανοηθεί η μεταβολή που υπάρχει στις εκπομπές ρύπων από την χρονική στιγμή που αλλάζει συνθήκες λειτουργίας το πλοίο. Λόγω του μεγάλου αριθμού των διαγραμμάτων και για να αποφευχθεί η σύγχυση στην απεικόνιση των αποτελεσμάτων στο κείμενο παρουσιάζονται τα αποτελέσματα μόνο για το διοξείδιο του άνθρακα και όλα τα

υπόλοιπα διαγράμματα για τις υπόλοιπες κατηγορίες αέριων ρύπων βρίσκονται στο **Παράρτημα 1**.

Πίνακας 68. Συγκριτικά Αποτελέσματα βασικού σεναρίου και Slow Steaming(15 +10 έτη) σε βάση κύκλου ζωής χρησιμοποιώντας 1 πλοίο.

Default VS Slow Steaming (Life Cycle)				
	Default	Slow Steaming		Reduction %
CO ₂	1,012E+06	8,878E+05	tons	-12,23633845
CO	3,017E+03	2,687E+03	tons	-10,9403213
CH ₄	2,840E+01	2,575E+01	tons	-9,342305862
Nox	2,850E+04	2,486E+04	tons	-12,74837165
PM (all)	2,266E+03	1,924E+03	tons	-15,09104829
SO ₂	1,459E+04	1,189E+04	tons	-18,50323353



Διάγραμμα 9. Συγκριτικά Αποτελέσματα εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) βασικού σεναρίου και Slow Steaming(15+10έτη) σε ετήσια βάση χρησιμοποιώντας 1 πλοίο.

Συνολικά είναι εμφανής η μείωση των εκπομπών αέριων ρύπων κατά την σύγκριση των δύο σεναρίων λειτουργίας. Αξιοσημείωτη μπορεί να θεωρηθεί η μείωση 12,7% των οξειδίων του αζώτου NO_x το οποίο είναι εξίσου σημαντικό με την μείωση του

διοξειδίου του άνθρακα CO₂ όπως επίσης σημαντική είναι και η μείωση των διοξειδίων του θείου.

Στο Διάγραμμα 9 φαίνεται η σύγκριση των δύο σεναρίων σε ετήσια βάση. Παρατηρούμε πως μέχρι και το 15 έτος λειτουργίας οι εκπομπές ρύπων είναι ίδιες και για τα δύο σενάρια (υπόθεση σεναρίου). Μετά το 15 έτος φαίνεται ξεκάθαρα η μείωση των εκπομπών καθώς το πλοίο δουλεύει σε μειωμένη ταχύτητα οπότε και οι εκπεμπόμενοι ρύποι μειώνονται δραστικά και συνεχίζουν έτσι μέχρι και το τέλος της ζωής του πλοίου.

Στο διάγραμμα φαίνεται πως οι τιμές εκπομπών ανά 5 χρόνια ακολουθούν μία ανοδική πορεία η οποία το κάθε επόμενο από τα 5 χρόνια έτος πέφτει και επιστρέφει περίπου στα αρχικά επίπεδα που βρισκόταν στην αρχή της πενταετίας. Αυτό γίνεται καθώς μέσα στο υπολογιστικό μας μοντέλο έχουμε συμπεριλάβει σαν μεταβλητή ρύπανση της γάστρας. Με το πέρασμα των ετών η ρύπανση της γάστρας αυξάνεται οπότε και χρειάζεται όλο και πιο μεγάλη ισχύ μηχανής για να επιτευχθεί η ταχύτητα υπηρεσίας και όλη αυτή η αύξηση της φόρτισης της μηχανής μεταφράζεται σε μεγαλύτερη κατανάλωση καυσίμου και μεγαλύτερες ποσότητες αερίων εκπομπών. Η άνοδος αυτή είναι παραβολικής μορφής και όχι γραμμική καθώς υπάρχουν τρία σημεία τα οποία και περιγράφουν την μεταβολή της ρύπανσης της γάστρας. Μετά τα 5 χρόνια όπου και γίνεται ο δεξαμενισμός του πλοίου η γάστρα καθαρίζεται οπότε και επιστρέφει στα αρχικά περίπου επίπεδα με διαφορά περίπου 1,5%. [27]. Παρατηρώντας λίγο καλύτερα το διάγραμμα φαίνεται πως αν συνδεθούν υποθετικά οι τιμές κάθε έτους μετά τον κάθε δεξαμενισμό φαίνεται πως υπάρχει μία πολύ μικρή κλίση της ευθείας η οποία είναι φθίνουσα με την πάροδο του χρόνου. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι μέσα στο υπολογιστικό μοντέλο έχουμε εισάγει την μεταβλητή των ημερών που μένει εκτός λειτουργίας το πλοίο κάθε έτος. Με το πέρασμα των ετών αυξάνονται οι μέρες που το πλοίο βρίσκεται εκτός λειτουργίας και αυτό έχει σαν αποτέλεσμα μέσα στο έτος να πραγματοποιούνται λιγότερα ταξίδια γεγονός που οδηγεί στη μείωση του χρόνου λειτουργίας της μηχανολογικής εγκατάστασης και κατ' επέκταση στη μείωση της κατανάλωσης καυσίμου και αερίων εκπομπών.

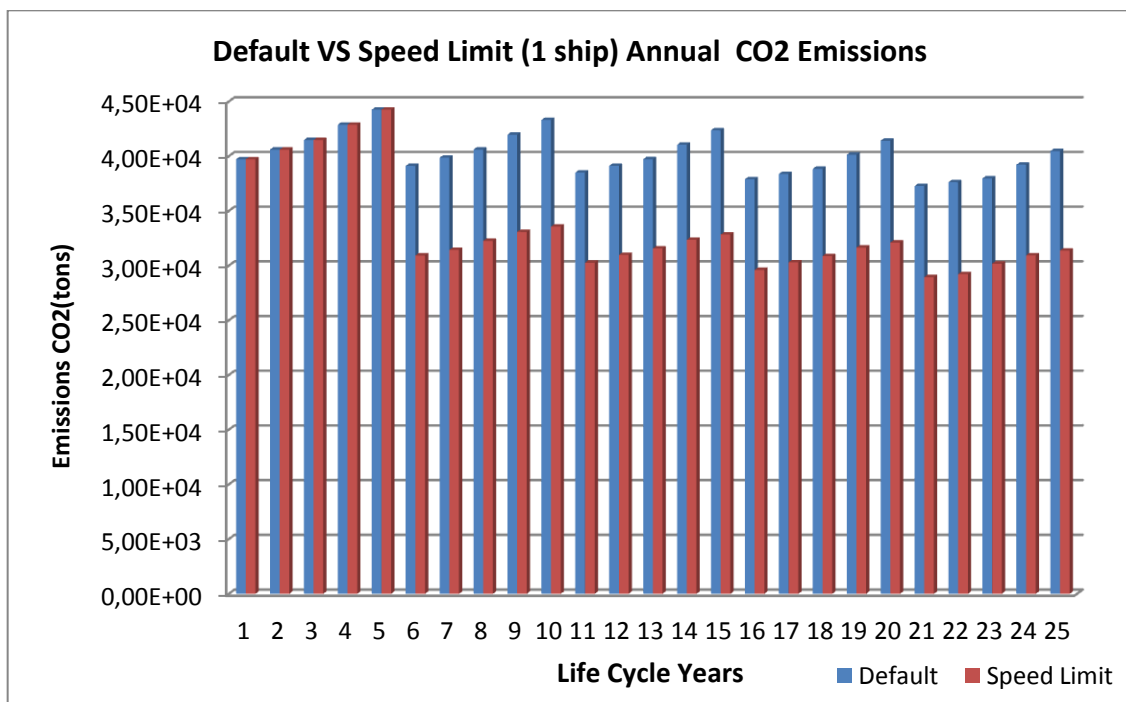
5.5.2 Default Scenario και Speed Limit Scenario

Συνεχίζοντας την μελέτη των συγκριτικών αποτελεσμάτων θα συγκρίνουμε το βασικό μας σενάριο με το σενάριο λειτουργίας Speed Limit όπου το πλοίο για τα 5 πρώτα χρόνια της ζωής του λειτουργεί σε κανονικές συνθήκες και στη συνέχεια για τα επόμενα 20 χρόνια λειτουργεί με όριο ταχύτητας στους 12,5 κόμβους για την έμφορτη κατάσταση και για την κατάσταση ερματισμού. Έτσι στον **Πίνακα 69** και στο **Διάγραμμα 10** φαίνονται τα τελικά συγκριτικά αποτελέσματα σε βάση κύκλου ζωής αλλά και σε ετήσια για καλύτερη κατανόηση. Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως για λόγους παρουσίασης και εύκολης κατανόησης των αποτελεσμάτων θα παρουσιαστούν μόνο τα αποτελέσματα που έχουν να κάνουν με τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα

CO₂ και τα υπόλοιπα συγκριτικά διαγράμματα για τους άλλους ρύπους βρίσκονται στο **Παράρτημα 1**.

Πίνακας 69. Συγκριτικά Αποτελέσματα βασικού σεναρίου και Speed Limit (5+20 έτη) σε βάση κύκλου ζωής χρησιμοποιώντας 1 πλοίο.

Deafault VS Speed Limit (1 ship) Life Cycle				
	Default	Speed Limit		Reduction%
CO ₂	1,012E+06	8,411E+05	tons	-16,8488
CO	3,017E+03	2,498E+03	tons	-17,1853
CH ₄	2,840E+01	2,463E+01	tons	-13,2781
Nox	2,850E+04	2,335E+04	tons	-18,0443
PM (all)	2,266E+03	1,681E+03	tons	-25,7994
SO ₂	1,459E+04	1,158E+04	tons	-20,6795



Διάγραμμα 10. Συγκριτικά Αποτελέσματα εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) βασικού σεναρίου και Speed Limit (5+20 έτη) σε ετήσια βάση χρησιμοποιώντας 1 πλοίο

Παρατηρώντας τα συγκριτικά μπορούμε να εντοπίσουμε την εμφανή μείωση που υπάρχει σε όλους τους τύπους αέριων εκπομπών από την λειτουργία της μηχανολογικής εγκατάστασης κατά την εφαρμογή του σεναρίου ορίου ταχύτητας. Συγκεκριμένα αναφερόμενοι στις εκπομπές του CO₂ υπάρχει μία μείωση του 16,5 % σε σχέση πάντα με το βασικό σενάριο, διαφορά η οποία είναι σχεδόν διπλάσια από την μείωση που είχαν οι εκπομπές του πλοίου με την εφαρμογή του σεναρίου Slow Steaming που

εξετάστηκε παραπάνω. Αυτή η τόσο μεγάλη διαφορά είναι δικαιολογημένη καθώς στο σενάριο μειωμένης ταχύτητας το πλοίο δουλεύει σε μειωμένη ταχύτητα για χρονικό διάστημα 10 ετών με την φόρτιση της μηχανής να κυμαίνεται γύρω από το 25-30 % ενώ στο σενάριο της περιορισμένη ταχύτητας το πλοίο δουλεύει για χρονικό διάστημα διπλάσιο από το προηγούμενο (20 ετών) αλλά με μεγαλύτερη φόρτιση μηχανής καθώς η ταχύτητα των 12,5 κόμβων αντιστοιχεί σε διπλάσια φόρτιση της μηχανής από το προηγούμενο σενάριο (φόρτιση 50%). Για αυτό το λόγο θα αναμενόταν το ποσοστό μείωσης να είναι ακριβώς το διπλάσιο το οποίο όμως δεν συμβαίνει και δικαιολογημένα καθώς όταν η μηχανολογική εγκατάσταση δουλεύει σε τόσο μικρά ποσοστά φόρτισης τότε βρίσκονται μακριά από το πεδίο ιδανικής λειτουργίας της μηχανής και οπότε η κατανάλωση είναι αυξημένη αρκετά και όσο πλησιάζουμε προς το ιδανικό εύρος φόρτισης έχουμε τόσο καλύτερη απόδοση της μηχανής και μικρότερη κατανάλωση δηλαδή και μικρότερες ποσότητες ρύπων που εκπέμπονται. Οι μειώσεις είναι το ίδιο εντυπωσιακές και για τους υπόλοιπους τύπους εκπεμπόμενων αερίων το οποίο είναι αναμενόμενο λόγω της μειωμένης κατανάλωσης. Τέλος στο Διάγραμμα 10 απεικονίζονται οι ετήσιες συγκριτικές εκπομπές του CO₂ ανάμεσα στα δύο διαφορετικά σενάρια λειτουργίας τα οποία και συγκρίνουμε. Η ανοδική πορεία των εκπομπών κατά τη διάρκεια της πενταετίας οφείλεται στην αυξανόμενη απαίτηση του πλοίου σε ισχύ για να πετύχει την ταχύτητα υπηρεσίας λόγω της αυξανόμενης αντίστασης της ρυπασμένης γάστρας. Παρατηρούμε πως τα 5 πρώτα χρόνια οι εκπομπές είναι ακριβώς ίδιες καθώς δεν υπάρχουν διαφορές ανάμεσα στα δύο σενάρια λειτουργίας ενώ από το πέμπτο έτος και μετά φαίνεται η διαφορά των δύο σεναρίων καθώς το πλοίο ξεκινάει να έχει περιορισμό στην ταχύτητα πλεύσης και άρα μειώνονται και οι εκπεμπόμενοι ρύποι. Την ίδια μορφή ακολουθούν και όλα τα υπόλοιπα διαγράμματα τα οποία και βρίσκονται στο Παράρτημα 1 και αναφέρονται στις ετήσιες εκπομπές των αερίων ρύπων της μηχανολογικής εγκατάστασης.

Συμπερασματικά με τα αριθμητικά δεδομένα τα οποία έχουμε μέχρι στιγμής δεν είναι εύκολο να καταλήξουμε σε ένα συγκεκριμένο αποτέλεσμα σχετικά με το πιο σενάριο λειτουργίας είναι πιο αποδοτικό για τη λειτουργία του πλοίου και έχει μεγαλύτερο όφελος για το περιβάλλον. Θα πρέπει να λάβουμε υπόψη μας τις συνολικές ποσότητες αερίων ρύπων που θα εκπεμφθούν στο σύνολο της διάρκειας ζωής του πλοίου καθώς σε αυτό το σημείο τα δύο σενάρια (Slow Steaming & Speed Limit) δεν έχουν εφαρμογή για το ίδιο χρονικό διάστημα και για αυτό το λόγο δεν μπορεί να γίνει απευθείας σύγκριση. Επίσης υπάρχει άλλος ένας παράγοντας ο οποίος πρέπει να ληφθεί υπόψη πριν προκύψει κάποιο τελικό συμπέρασμα για το πιο σενάριο είναι καλύτερο. Είναι το ότι με την εφαρμογή των δύο σεναρίων πραγματοποιούνται λιγότερα ταξίδια στον κύκλο ζωής του πλοίου άρα μεταφέρεται μικρότερη ποσότητα φορτίου. Για αυτό το λόγο στη συνέχεια ακολουθεί μία μελέτη σχετικά με τον αριθμό των ταξιδιών που χάθηκαν και την ποσότητα του φορτίου που μένει να εξυπηρετηθεί.

5.6 Κάλυψη χαμένου μεταφορικού έργου με εισαγωγή δεύτερου πλοίου

Με τη μείωση της ταχύτητας στα σενάρια τα οποία εξετάστηκαν αυξάνεται η διάρκεια του ταξιδιού που συνεπάγεται μείωση του αριθμού των ταξιδιών στη διάρκεια ζωής του πλοίου και έτσι μειώνεται το συνολικό μεταφερόμενο φορτίο από το συγκεκριμένο πλοίο. Με την υπόθεση πως η ζήτηση μεταφορικού έργου είναι σταθερή στην διάρκεια του κύκλου ζωής του πλοίου (είναι εκτός σκοπού της διπλωματικής να εξετάσει αλλαγές στη ζήτηση) κρίνεται αναγκαία η εισαγωγή ενός δεύτερου πλοίου για να καλύψει την απώλεια σε μεταφορικό έργο που προκύπτει από τη μείωση του αριθμού των ταξιδιών του ενός πλοίου. Στον **Πίνακα 70** παρουσιάζονται τα συνολικά ταξίδια τα οποία μειώθηκαν λόγω της μείωσης της ταχύτητας και στα δύο σενάρια και επίσης συμπληρωματικά παρουσιάζεται και η συνολική ποσότητα μεταφερόμενου φορτίου η οποία έχει μειωθεί λόγω των μειωμένων ταξιδιών.

Πίνακας 70. Αριθμός χαμένων ταξιδιών και χαμένο μεταφορικό έργο λόγω μειωμένων ταξιδιών

	Total Trips (Life Cycle)	Total Payload (tons)	Reduction (Trips)	Reduction (tons)
Default Scenario	487,7	3,17E+07	0	0
Slow Steaming Scenario	463,3	3,012E+07	24,37	1,584E+06
Speed Limit Scenario	457,1	2,971E+07	30,59	1,989+06

Παρατηρούμε στον Πίνακα 70 πως με την εφαρμογή του σεναρίου Slow Steaming έχουμε απώλεια συνολικά 24,3 ταξιδιών που αντιστοιχούν σε 1,6 εκατομμύρια τόννους μεταφερόμενου φορτίου ενώ στην περίπτωση του σεναρίου Speed Limit έχουμε απώλεια 30,59 ταξιδιών που αντιστοιχούν σε 1,99 εκατομμύρια τόννους φορτίου. Τα αποτελέσματα αυτά έχουν προκύψει με την υπόθεση πως το πλοίο σε κάθε ταξίδι έχει μεταφορική ικανότητα ίση με 65.000 τόννους φορτίο. Η απώλεια και στις δύο περιπτώσεις είναι αρκετά μεγάλη και για την κάλυψη της κρίνεται σκόπιμη η εισαγωγή δεύτερου πλοίου.

Το πλοίο αυτό θεωρούμε πως κατασκευάζεται και ξεκινάει να δουλεύει από την στιγμή που το πρώτο πλοίο αρχίζει να κινείται με μικρότερη ταχύτητα από την προγραμματισμένη οπότε και αρχίζει η απώλεια σε μεταφορικό έργο. Προφανώς η είσοδος στην αγορά και η λειτουργία ενός δεύτερου πλοίου έχει επιπτώσεις στο περιβάλλον. Στόχος είναι να εξεταστεί πλήρως αυτό το σενάριο και να μελετηθεί το κατά πόσο η θέσπιση αυτού του ορίου ταχύτητας στα πλοία μπορεί να έχει θετικά αποτελέσματα για το περιβάλλον αφού έχει γίνει η αναγκαία προσθήκη του δεύτερου πλοίου για να καλυφθεί η ζήτηση. Μέσα στην συνολική επιβάρυνση που προκύπτει για το περιβάλλον από την είσοδο του δεύτερου πλοίου έχει συμπεριληφθεί και τα στάδια της κατασκευής, συντήρησης και ανακύκλωσης του δεύτερου πλοίου. Όπως

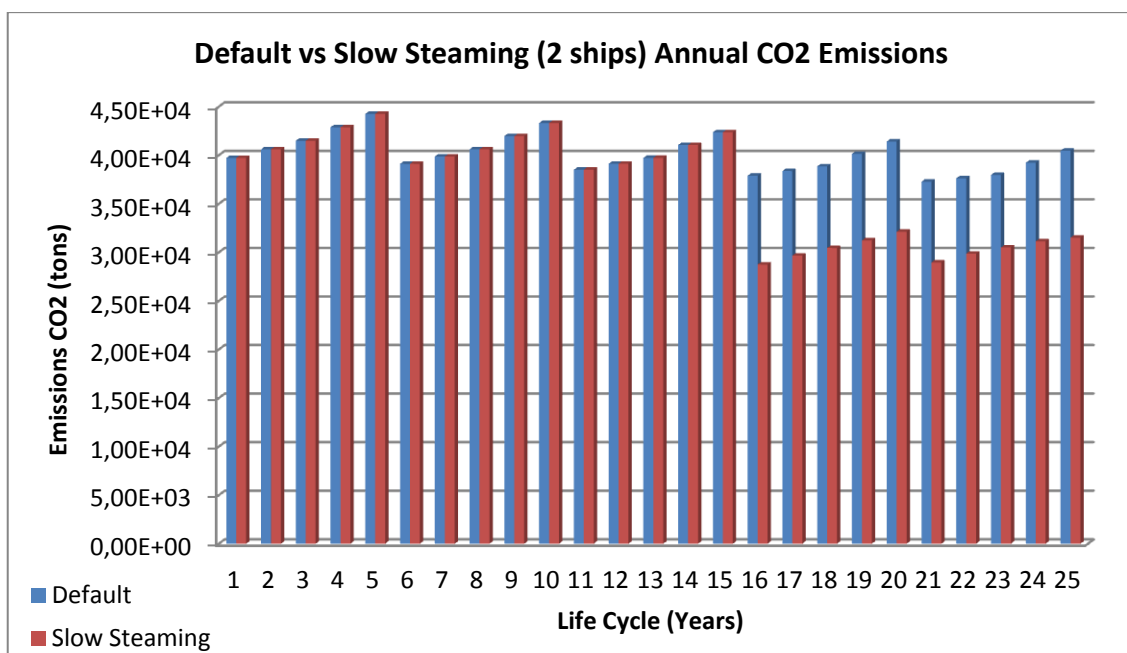
αναφέρθηκε και παραπάνω η εισαγωγή του δεύτερου πλοίου στην αγορά μελετήθηκε για τα δύο σενάρια που έχουμε μείωση ταχύτητας και τα αποτελέσματα φαίνονται στα παρακάτω διαγράμματα.

5.6.1 Σενάριο Slow Steaming

Στον **Πίνακα 71** που ακολουθεί δίνονται οι τιμές των εκπομπών μετά την εισαγωγή και του δεύτερου πλοίου για να καλύψει τη μείωση του μεταφορικού έργου του πρώτου πλοίου ενώ στο **Διάγραμμα 11** φαίνεται η ετήσια απεικόνιση των εκπομπών του CO₂. Παρόμοια με όλες τις προηγούμενες παρουσιάσεις αποτελεσμάτων τα διαγράμματα για τους υπόλοιπους τύπους αερίων ρύπων βρίσκονται στο **Παράρτημα 1**.

Πίνακας 71. Συγκριτικά Αποτελέσματα βασικού σεναρίου και Slow Steaming(15 +10 έτη) σε βάση κύκλου ζωής χρησιμοποιώντας 2 πλοία.

Default VS Slow Steaming (2 ships) Life Cycle				
	Default	Slow Steaming		Reduction%
CO ₂	1,012E+06	9,341E+05	tons	-7,651839
CO	3,017E+03	2,854E+03	tons	-5,4018997
CH ₄	2,840E+01	2,860E+01	tons	0,68186543
Nox	2,850E+04	2,595E+04	tons	-8,9499179
PM (all)	2,266E+03	2,001E+03	tons	-11,67026
SO ₂	1,459E+04	1,239E+04	tons	-15,086434



Διάγραμμα 11. Συγκριτικά Αποτελέσματα εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) βασικού σεναρίου και Slow Steaming(15+10έτη) σε ετήσια βάση χρησιμοποιώντας 2 πλοία.

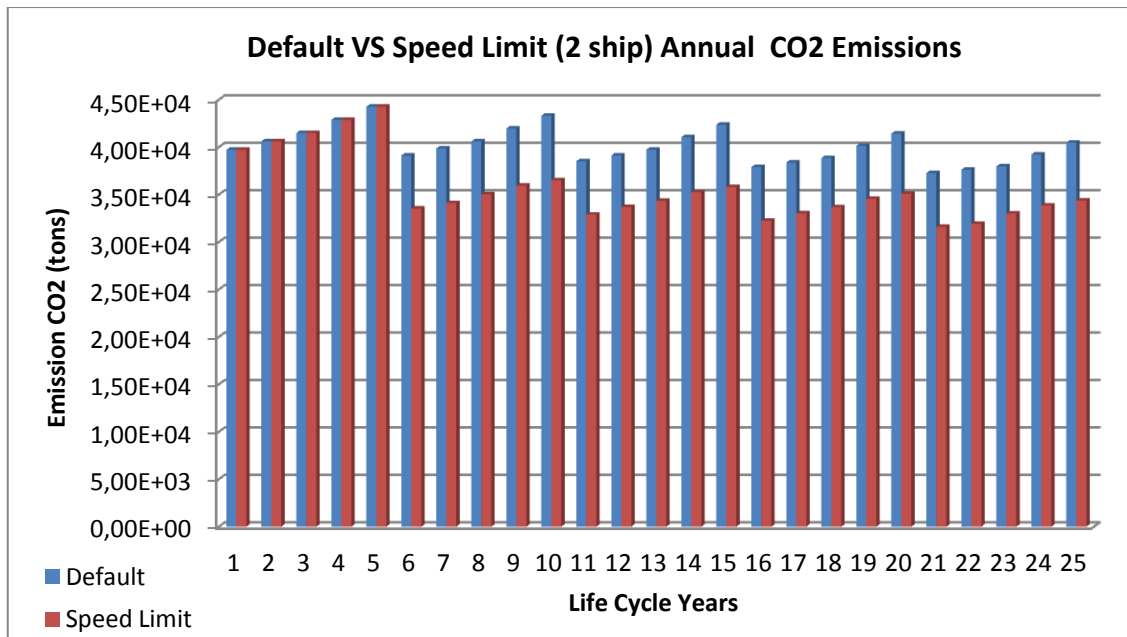
Με την είσοδο του δεύτερου πλοίου στην αγορά και έχοντας συμπεριλάβει το περιβαλλοντικό κόστος για την κατασκευή, συντήρηση και διάλυση του προκύπτει πως συνεχίζει να είναι συμφέρουσα για το περιβάλλον η λειτουργία των δύο πλοίων ακόμα και σε συνθήκες λειτουργίας Slow Steaming. Συγκεκριμένα συνολικά προκύπτει πως ακόμα και με την λειτουργία των δύο πλοίων υπάρχει μείωση στην εκπεμπόμενη ποσότητα CO₂ της τάξης του 7,65%. Αντίστοιχες μειώσεις έχουμε στις υπόλοιπες κατηγορίες αέριων ρύπων.

5.6.2 Σενάριο Speed Limit

Για το σενάριο του Speed Limit εξετάστηκε η εισαγωγή του δεύτερου πλοίου στην αγορά για να καλύψει την μείωση της μεταφορικού έργου από την μείωση της ταχύτητας του πλοίου. Σύμφωνα με το σενάριο αυτό το πλοίο λειτουργούσε τα 5 πρώτα χρόνια της ζωής του σε κανονικές συνθήκες ενώ τα επόμενα 20 χρόνια λειτουργεί με περιορισμό ταχύτητας στους 12,5 κόμβους και για τις δύο καταστάσεις (ballast, laden). Στον **Πίνακα 72** και στο **Διάγραμμα 12** παρουσιάζεται η επιβάρυνση του περιβάλλοντος από την λειτουργία και των δύο πλοίων στην περίπτωση του σεναρίου speed limit.

Πίνακας 72. Συγκριτικά Αποτελέσματα βασικού σεναρίου και Speed Limit (5+20 έτη) σε βάση κύκλου ζωής χρησιμοποιώντας 1 πλοίο.

Default VS Speed Limit (2 ship) Life Cycle				
	Default	Speed Limit		Reduction%
CO ₂	1,012E+06	9,046E+05	tons	-10,5689
CO	3,017E+03	2,708E+03	tons	-10,226
CH ₄	2,840E+01	2,789E+01	tons	-1,79932
Nox	2,850E+04	2,489E+04	tons	-12,6497
PM (all)	2,266E+03	1,795E+03	tons	-20,77
SO ₂	1,459E+04	1,232E+04	tons	-15,5546



Διάγραμμα 12. Συγκριτικά Αποτελέσματα εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) βασικού σεναρίου και Speed Limit (5+20 έτη) σε ετήσια βάση χρησιμοποιώντας 2 πλοία.

Στον **Πίνακα 72** φαίνεται πως ακόμα και αν το πλοίο λειτουργεί για 20 χρόνια με περιορισμό στην ταχύτητα και ταυτόχρονα λειτουργεί άλλο ένα πλοίο στις ίδιες συνθήκες για την κάλυψη του χαμένου μεταφορικού έργου εξακολουθεί να υπάρχει μείωση στην συνολική επιβάρυνση του περιβάλλοντος.

5.7 Εναλλαγή δρομολογίων

Στο πρώτο μέρος της μελέτης υπήρχε η απλουστευμένη παραδοχή πως το πλοίο πραγματοποιεί για όλη τη διάρκεια του κύκλου ζωής του το ίδιο δρομολόγιο. Στο δεύτερο μέρος θα γίνει μία προσπάθεια στα σεναρία τα οποία ήδη εξετάστηκαν να εισαχθούν πραγματικές αποστάσεις δρομολογίων που συνήθως πραγματοποιούν τα πλοία στην σημερινή εποχή. Η επιλογή πιθανών διαδρομών που θα μπορούσε να πραγματοποιεί το πλοίο δεν είναι δεδομένη και εξαρτάται από διάφορους παράγοντες. Για τα δρομολόγια που μπορεί ένα πλοίο να πραγματοποιεί εξαρτώνται από την ηλικία του και από την ικανότητα του να ικανοποιεί τις απαιτήσεις των ναυλωτών σε ταχύτητα και ποιότητα υπηρεσιών. Για αυτό το λόγο έχουν δημιουργηθεί διάφορων ειδών δείκτες (δείκτες ναύλων) οι οποίοι καθορίζουν τις πιθανές διαδρομές στις οποίες μπορεί να λειτουργεί το πλοίο. Στην παρούσα μελέτη χρησιμοποιήσαμε σαν βάση τον κατάλογο διαδρομών που έχουν προκύψει από το Χρηματιστήριο της Βαλτικής.

5.7.1 Χρηματιστήριο της Βαλτικής - Baltic Exchange

Από το 1985 το Χρηματιστήριο της Βαλτικής– BalticExchange – άρχισε τη δημοσίευση ενός καθημερινού δείκτη ναύλων–τον Δείκτη Ναύλων Βαλτικής (Baltic Freight Index – BFI). Ο δείκτης αυτός, ο οποίος αρχικά αποτελείται από 13 διαδρομές που κάλυπταν φορτία από 14000 μετρικούς τόννους (mt) λιπάσματος μέχρι 120000 μετρικούς τόννους

κάρβουνου–εξαιρουμένων χρονοναυλωμένων διαδρομών, αναπτύχθηκε ως ένας μηχανισμός διευθέτησης για το νεοϊδρυθέν Διεθνές Χρηματιστήριο Μελλοντικών Ναύλων Βαλτικής (Baltic International Freight Futures Exchange – BIFFEX) και τα συμβόλαια που διαπραγματεύονται σ’ αυτό. Γρήγορα ο δείκτης έτυχε παγκόσμιας αποδοχής, ως η πιο αξιόπιστη μέτρηση της ναυλαγοράς ξηρού φορτίου.

Με το πέρασμα των χρόνων, οι διαδρομές που αποτελούσαν το δείκτη, άλλαξαν–τροποποιήθηκαν για να συμμορφωθούν με τις εκάστοτε νέες συνθήκες των αγορών. Έτσι εισήχθησαν χρονοναυλωμένες διαδρομές και προστέθηκαν διαδρομές δεξαμενόπλοιων (tanker routes). Σήμερα λοιπόν, υπάρχουν τρεις εξειδικευμένοι δείκτες ξηρού φορτίου : οι Baltic Capesize Index (BCI), Baltic Panamax Index (BPI) και Baltic Handymax Index (BHMI) καθώς και ένας γενικότερος ο Baltic Dry Index (BDI). Επίσης υπάρχουν και δυο εξειδικευμένοι δείκτες φορτίου για tankers : οι Baltic Dirty Tanker Index (BDTI) και ο Baltic Clean Tanker Index (BCTI) οι οποίοι βασίζονται στις Διεθνείς Διαδρομές Tanker της Βαλτικής (Baltic International Tanker Routes – BITR). Εδώ θα ήταν σκόπιμο να αναφερθεί ότι στη 1 Νοεμβρίου του 2001 ο δείκτης BITR διαχωρίστηκε στους δυο παραπάνω επιμέρους δείκτες (τους BDTI και BCTI), με τον ένα να εμπεριέχει τις ακάθαρτες διαδρομές (dirty routes) και τον άλλο αντίστοιχα τις καθαρές διαδρομές (clean routes). Στους δείκτες αυτούς, στις 4 Φεβρουαρίου του 2002 προστέθηκαν άλλες 2 διαδρομές (μια clean και μια dirty).

5.7.1.1 Βασική υποχρέωση των εκτιμητών (panellists) – κριτήρια επιλογής από το Χρηματιστήριο της Βαλτικής

Για τη δημοσίευση όλων των παραπάνω δεικτών, το Χρηματιστήριο της Βαλτικής έχει αναθέσει σε εταιρίες μεσιτών (shipbrokers) την καθημερινή εκτίμηση των διαδρομών. Η βασική υποχρέωση των εταιριών αυτών, οι οποίες λειτουργούν ανεξάρτητα μεταξύ τους, είναι να εκτιμήσουν και να προσδιορίσουν το επίπεδο της αγοράς σε καθημερινή βάση για κάθε δείκτη και φυσικά για τις διαδρομές που ορίζει το Χρηματιστήριο της Βαλτικής. Οι εταιρίες αυτές αποτελούν για το Χρηματιστήριο της Βαλτικής τους εκτιμητές (panellists), εκείνους τους συνεργάτες δηλαδή που δημοσιεύουν τους δείκτες (ένα πλαίσιο δεικτών – panel).

Το Χρηματιστήριο της Βαλτικής επιλέγει τις εταιρίες αυτές βάσει κάποιων κριτηρίων τα οποία εν συντομία αναφέρονται παρακάτω:

- Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω πρόκειται κυρίως για εταιρίες μεσιτών (shipbrokers).
- Οι panellists θα πρέπει να είναι ανταγωνιστικές και επαγγελματικές εταιρίες, οι οποίες είναι ενεργά συμμετόχες στις αγορές για τις οποίες εκδίδουν αναφορές για το Χρηματιστήριο της Βαλτικής, με το κατάλληλο πάντα προσωπικό για το ρόλο αυτό.

- Οι panellists πρέπει να είναι μέλη του Χρηματιστηρίου της Βαλτικής και να τηρούν όλα τα κριτήρια που έχουν τεθεί από τον οργανισμό.
- Το Χρηματιστήριο της Βαλτικής προσπαθεί να διατηρήσει ένα γεωγραφικό διασκορπισμό των panellists.
- Το Χρηματιστήριο της Βαλτικής προσπαθεί να αποφύγει τον διορισμό panellists, οι οποίοι είναι αποκλειστικοί αντιπρόσωποι ναυλωτών, οι οποίοι επηρεάζουν σε σημαντικό βαθμό το σχετικό εμπόριο (ουσιαστικά τις συγκεκριμένες διαδρομές).

5.7.1.2 Οι διαδρομές – επιλογή, κανονισμοί, αλλαγές

Για την επιλογή των διαδρομών που θα καθορίσουν τους δείκτες, καθώς και για το ειδικό βάρος της κάθε διαδρομής, υπεύθυνο είναι το Χρηματιστήριο της Βαλτικής. Πιο συγκεκριμένα το Χρηματιστήριο της Βαλτικής ακολουθεί τις παρακάτω αρχές για την επιλογή των διαδρομών :

- Την ανάγκη για να δημιουργήσει ένα «καλάθι» διαδρομών, το οποίο θα αποτελεί ένα όσο το δυνατόν πιο αντιπροσωπευτικό δείγμα των παγκόσμιων συναλλαγών φορτίου χύδην.
- Γεωγραφική ισορροπία. Οι διαδρομές θα πρέπει να αντικατοπτρίζουν συναλλαγές τόσο στο εσωτερικό των δυο ωκεανών (Ειρηνικού και Ατλαντικού), όσο και μεταξύ τους, διατηρώντας μια ισορροπία μεταξύ των fronthaul και backhaul διαδρομών, των διαδρομών δηλαδή από και προς τις περιοχές αυτές.
- Ρευστότητα. Μια σταθερή και σημαντική αλλαγή των συμβολαίων των διαδρομών που καθορίζουν τους δείκτες, ή σε διαδρομές που σχετίζονται με αυτές, είναι σημαντική. Οι συναλλαγές που εξαρτώνται από τις εποχές του έτους αποφεύγονται (το κλείσιμο δηλαδή διαδρομών λόγω καιρικών συνθηκών, όπως π.χ. το εποχιακό κλείσιμο των Λιμνών κτλ.).
- Διαφάνεια. Αποφεύγονται διαδρομές οι οποίες κυριαρχούνται από ένα μικρό αριθμό ναυλωτών. Έτσι είναι επιθυμητό να υπάρχει ένας σχετικά μεγάλος όγκος συμβολαίων.
- Σταθεροί όροι. Διαδρομές οι οποίες βασίζονται σε σταθερούς όρους έχουν προβάδισμα έναντι άλλων που δεν έχουν.
- Εμπορική ισορροπία. Οι δείκτες BCI και BPI βρίσκονται σε μια ισορροπία μεταξύ χρονοναυλώσεων και εκτιμήσεων των διαδρομών, οι οποίες αντικατοπτρίζουν την αγορά. Ο δείκτης BHMI αποτελείται αποκλειστικά από χρονοναυλωμένες διαδρομές, ενώ οι δείκτες BDTI (Baltic Dirty Tanker Index) και BCTI (Baltic Clean Tanker Index) αντιπροσωπεύουν τις dirty routes ο ένας και ο άλλος αντίστοιχα τις καθαρές διαδρομές (clean routes).

- Ο αριθμός των διαδρομών. Το Χρηματιστήριο είναι υπεύθυνο του καθημερινού φόρτου εργασίας των panellists (εκτιμητών) καθώς και του περιορισμένου αριθμού των συναλλαγών της αγοράς που εκπληρώνουν τα κριτήρια επιλογής τους, δηλαδή φροντίζει (το Χρηματιστήριο) να μην επιβαρύνει τους εκτιμητές, αλλά ταυτόχρονα να συμπληρώνεται ο απαραίτητος αριθμός αναφορών για μία διαδρομή.

Όταν το 1985 δημοσιεύτηκε για πρώτη φορά ο δείκτης BFI, θεωρήθηκε σαν μια γενική μέτρηση της αγοράς των ναύλων και η μόνη εφαρμογή του στις σχετιζόμενες με αυτόν αγορές ήταν να χρησιμοποιηθεί ως ένας μηχανισμός διευθέτησης των συμβολαίων του δείκτη BIFFEX. Με την ανάπτυξη όμως της Forward Freight Agreement (FFA) – ουσιαστικά πρόκειται για συμβόλαια εκπλήρωσης μελλοντικών ναύλων κάτι αντίστοιχο δηλαδή της αγοράς των παραγώγων - δόθηκε μεγαλύτερη προσοχή στη κάθε διαδρομή και τα αποτελέσματά της. Αυτό οδήγησε το Χρηματιστήριο της Βαλτικής να ορίσει λεπτομερέστερους και πιο αυστηρούς κανονισμούς για την εισαγωγή μιας διαδρομής στον δείκτη. Το Χρηματιστήριο της Βαλτικής, σε συνεργασία με τους panellists και άλλους χρήστες τακτικά ελέγχουν τις διαδρομές για να επαληθεύσουν αν αυτές τηρούν τα κριτήρια επιλογής τους.

Η αγορά των ναύλων όμως συνεχώς αλλάζει, αφού παλαιότερες σημαντικές διαδρομές χάνουν την αξία τους ή πιο σπάνια μετατρέπονται σε διαδρομές με μακράς διάρκειας συμβόλαια, πλοία νέας τεχνολογίας και σχεδίασης εισβάλουν στην αγορά κτλ. Στη σύνθεση των διαδρομών και κατ' επέκταση των δεικτών, θα πρέπει να αντανakλούνται οι αλλαγές αυτές της αγοράς.

Οι αλλαγές που αναφέρθηκαν παραπάνω κατηγοριοποιήθηκαν με το πέρασμα των χρόνων από το Χρηματιστήριο της Βαλτικής και αυτές είναι :

- Μικρές αλλαγές οι οποίες μπορούν να εισαχθούν στους δείκτες χωρίς μεγάλη χρονική καθυστέρηση αφού βέβαια έχει συμφωνηθεί από το Χρηματιστήριο της Βαλτικής και τους συμβούλους του (panellists, κτλ).
- Οποιοσδήποτε αλλαγές στους ορισμούς των διαδρομών, οι οποίες θα οδηγούσαν στη ρύθμιση των εκτιμήσεων των δεικτών πρέπει να συμφωνηθεί από το Χρηματιστήριο της Βαλτικής και τους συμβούλους του.
- Διαγραφή αλλά και αντικατάσταση διαδρομών, καθώς και αλλαγές στην ειδική βαρύτητα της κάθε διαδρομής στο δείκτη, υπόκεινται στην ίδια παραπάνω διαδικασία.

5.7.1.3 Πίνακας Πιθανών Διαδρομών

Διαδρομή 1:

280000 mt, από τη Μέση Ανατολή (Αραβικός Κόλπος) στις Η.Π.Α. (US Gulf).

Από τη Ρας Τανούρα (λιμάνι της Σαουδικής Αραβίας) στις Η.Π.Α. και πίσω, με πλεονέκτημα ημερών καθυστερήσεις / αναβολές 20 / 30.

Ανώτατο όριο ηλικίας 20 έτη.

Διαδρομή 2:

260000 mt, από τη Μέση Ανατολή (Αραβικός Κόλπος) στη Σιγκαπούρη.

Από τη Ρας Τανούρα (λιμάνι της Σαουδικής Αραβίας) στη Σιγκαπούρη, με πλεονέκτημα ημερών καθυστερήσεις / αναβολές 20 / 30.

Ανώτατο όριο ηλικίας 20 έτη.

Διαδρομή 3:

250000 mt, από τη Μέση Ανατολή (Αραβικός Κόλπος) στην Ιαπωνία.

Από τη Ρας Τανούρα (λιμάνι της Σαουδικής Αραβίας) στη Τσίμπα (Chiba), με πλεονέκτημα ημερών καθυστερήσεις / αναβολές 30 / 40.

Ανώτατο όριο ηλικίας 15 έτη.

Διαδρομή 4:

260000 mt, από τη Δυτική Αφρική στις Η.Π.Α. (US Gulf).

Από την ακτή Μπόνυ της Νιγηρίας (Off Shore Bonny) στις Η.Π.Α. και πίσω, με πλεονέκτημα ημερών καθυστερήσεις / αναβολές 15 / 25.

Ανώτατο όριο ηλικίας 20 έτη.

Διαδρομή 5:

130000 mt, από τη Δυτική Αφρική στις Η.Π.Α. (USAC).

Από την ακτή Μπόνυ της Νιγηρίας (Off Shore Bonny) στις Η.Π.Α.(Φιλαδέλφεια) , με πλεονέκτημα ημερών καθυστερήσεις / αναβολές 15 / 25.

Ανώτατο όριο ηλικίας 20 έτη.

Διαδρομή 6:

135000 mt, εσωτερικά της Μεσογείου (Cross Mediterranean).

Από το Σίντι Κερίρ (Αίγυπτος κοντά στην Αλεξάνδρεια) στη Λαβερά (Νότια Γαλλία), με πλεονέκτημα ημερών καθυστερήσεις / αναβολές 10 / 15.

Ανώτατο όριο ηλικίας 20 έτη.

Διαδρομή 7:

80000 mt, από τη Βόρεια Θάλασσα στην ηπειρωτική Ευρώπη.

Από το Σάλομ Βοέ της Σκωτίας (Sullom Voe) στο Βίλχελμσάβεν της Γερμανίας (Wilhelmshaven), με πλεονέκτημα ημερών καθυστερήσεις / αναβολές 7 / 14.

Ανώτατο όριο ηλικίας 20 έτη.

Διαδρομή 8 :

80000 mt, από το Κουβέιτ στη Σιγκαπούρη.

Από το Μίνα αλ Αχμαντί (Mena al Ahmadi) στη Σιγκαπούρη, με πλεονέκτημα ημερών καθυστερήσεις / αναβολές 20 / 25.

Ανώτατο όριο ηλικίας 20 έτη.

Διαδρομή 9 :

70000 mt, από τη Καραϊβική στις Η.Π.Α. (US Gulf).

Από το Πουέρτο λα Κρούζ της Βενεζουέλας (Puerto la Cruz) στο Κόρπους Κρίστι (Corpus Christi), με πλεονέκτημα ημερών καθυστερήσεις / αναβολές 7 / 14.

Ανώτατο όριο ηλικίας 20 έτη.

Βάση των εκτιμήσεων – το Oil Pollution Act premium να έχει πληρωθεί.

Διαδρομή 10 :

50000 mt, από τη Καραϊβική στις Η.Π.Α. (USAC Fuel Oil).

Από την Αρούμπα των Ολλανδικών Αντιλλών (Aruba) στη Νέα Υόρκη, με πλεονέκτημα ημερών καθυστερήσεις / αναβολές 7 / 14.

Ανώτατο όριο ηλικίας 20 έτη.

BCTI (Baltic Clean Tanker Index)

Διαδρομή 1 :

75000 mt, από τη Μέση Ανατολή (Αραβικός Κόλπος) στην Ιαπωνία (CPP / UNL Naptha Condensate).

Από τη Ρας Τανούρα (λιμάνι της Σαουδικής Αραβίας) στη Γιοκοχάμα, με πλεονέκτημα ημερών καθυστερήσεις / αναβολές 30 / 35.

Ανώτατο όριο ηλικίας 12 έτη.

Διαδρομή 2 :

33000 mt, από την ηπειρωτική Ευρώπη (CPP / UNL) στις Η.Π.Α. (USAC).

Από το Ρότερνταμ της Ολλανδίας στη Νέα Υόρκη, με πλεονέκτημα ημερών καθυστερήσεις / αναβολές 10 / 14.

Ανώτατο όριο ηλικίας 15 έτη.

Διαδρομή 3 :

30000 mt, από τη Καραϊβική (CPP / UNL) στις Η.Π.Α. (USAC).

Από την Αρούμπα των Ολλανδικών Αντιλλών (Aruba) στη Νέα Υόρκη, με πλεονέκτημα ημερών καθυστερήσεις / αναβολές 6 / 10.

Ανώτατο όριο ηλικίας 20 έτη.

Βάση των εκτιμήσεων – το Oil Pollution Act premium να έχει πληρωθεί.

Διαδρομή 4 :

30000 mt, από τη Σιγκαπούρη (CPP / UNL) στην Ιαπωνία.

Από τη Σιγκαπούρη στη Τσίμπα (Chiba), με πλεονέκτημα ημερών καθυστερήσεις / αναβολές 7 / 14.

Ανώτατο όριο ηλικίας 15 έτη.

Μετά από επιλογή που έγινε ανάμεσα από όλες αυτές τις πιθανές διαδρομές δημιουργήθηκε ένα σενάριο σύμφωνα με το οποίο το δεξαμενόπλοιο της μελέτης θα ταξιδεύει για 25 χρόνια και θα πραγματοποιεί μία αλλαγή διαδρομής ταξιδιού σύμφωνα με τον παρακάτω Πίνακα 73 ο οποίος λειτουργεί σαν δεδομένο εισαγωγής στο υπολογιστικό μοντέλο.

Πίνακας 73. Πίνακας διαδρομών υπολογιστικού μοντέλου σύμφωνα με τους δείκτες του Χρηματιστηρίου της Βαλτικής

PORT A	PORT B	DISTANCE	
Ras Tanura (Saudi Arabia)	Yokohama (Japan)	9237	nmiles
Rotterdam (Netherlands)	New York (USA)	4125	nmiles
Singapore (Malaysia)	Chiba (Japan)	5379	nmiles
Caribbean (USA)	Venezouela (USA)	4659	nmiles
Shuwaikh (Kouwait)	Singapore (Malaysia)	5124	nmiles
Sitki Kerir (Alexandreia)	Lavera (France)	1678	nmiles
Bonny (Nigeria)	Filadelfeia (USA)	5683	nmiles
Sullom Voe (Scotland)	Wilhelushaven(Germany)	687	nmiles
Ras Tanura (Saudi Arabia)	New York (USA)	9678	nmiles
Ras Tanura (Saudi Arabia)	Yokohama (Japan)	9237	nmiles
Rotterdam (Netherlands)	New York (USA)	4125	nmiles
Singapore (Malaysia)	Chiba (Japan)	5379	nmiles
Caribbean (USA)	Venezouela (USA)	4659	nmiles
Shuwaikh (Kouwait)	Singapore (Malaysia)	5124	nmiles
Sitki Kerir (Alexandreia)	Lavera (France)	1678	nmiles
Bonny (Nigeria)	Filadelfeia (USA)	5683	nmiles
Sullom Voe (Scotland)	Wilhelushaven (Germany)	687	nmiles
Ras Tanura (Saudi Arabia)	New York (USA)	9678	nmiles
Ras Tanura (Saudi Arabia)	Yokohama (Japan)	9237	nmiles
Rotterdam (Netherlands)	New York (USA)	4125	nmiles
Singapore (Malaysia)	Chiba (Japan)	5379	nmiles
Caribbean (USA)	Venezouela (USA)	4659	nmiles
Shuwaikh (Kouwait)	Singapore (Malaysia)	5124	nmiles
Sitki Kerir (Alexandreia)	Lavera (France)	1678	nmiles

Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την εξέταση των σεναρίων (ίδια με αυτά του πρώτου μέρους της διπλωματικής εργασίας) με την προσθήκη των νέων δρομολογίων από τον πίνακα.

5.7.2 Σενάριο πραγματικής λειτουργίας

Υπενθυμίζουμε πως το σενάριο αυτό αναφέρεται στην 25ετή λειτουργία του πλοίου κάτω από κανονικές συνθήκες λειτουργίας και με την εναλλαγή των δρομολογίων. Στον **Πίνακα 74** φαίνονται τα αποτελέσματα των συνολικών εκπομπών.

Πίνακας 74. Συνολικές εκπομπές αέριων ρύπων για όλο τον κύκλο ζωής του πλοίου με πραγματικά δεδομένα δρομολογίων για το σενάριο κανονικής λειτουργίας

Total Life Cycle Emissions		
CO2	1,088E+06	tons
CO	3,240E+03	tons
CH4	2,986E+01	tons
Nox	3,073E+04	tons
PM (all)	2,483E+03	tons
SO2	1,596E+04	tons

5.7.3 Σενάριο Slow Steaming

Σε αυτό το σενάριο υπενθυμίζουμε πως το πλοίο που εξετάζουμε λειτουργεί σε κανονικές συνθήκες τα 15 πρώτα χρόνια της ζωής του και τα επόμενα 10 χρόνια ταξιδεύει με μειωμένη ταχύτητα που αντιστοιχεί σε 11,5 κόμβους για την έμφορτη κατάσταση και 13 κόμβους για την κατάσταση ερματισμού. Στον **Πίνακα 758** απεικονίζονται οι συνολικές ποσότητες εκπομπής αέριων ρύπων από την λειτουργία του πλοίου σε αυτό το σενάριο.

Πίνακας 75. Συνολικές εκπομπές αέριων ρύπων για όλο τον κύκλο ζωής του πλοίου με πραγματικά δεδομένα δρομολογίων για το σενάριο του Slow Steaming

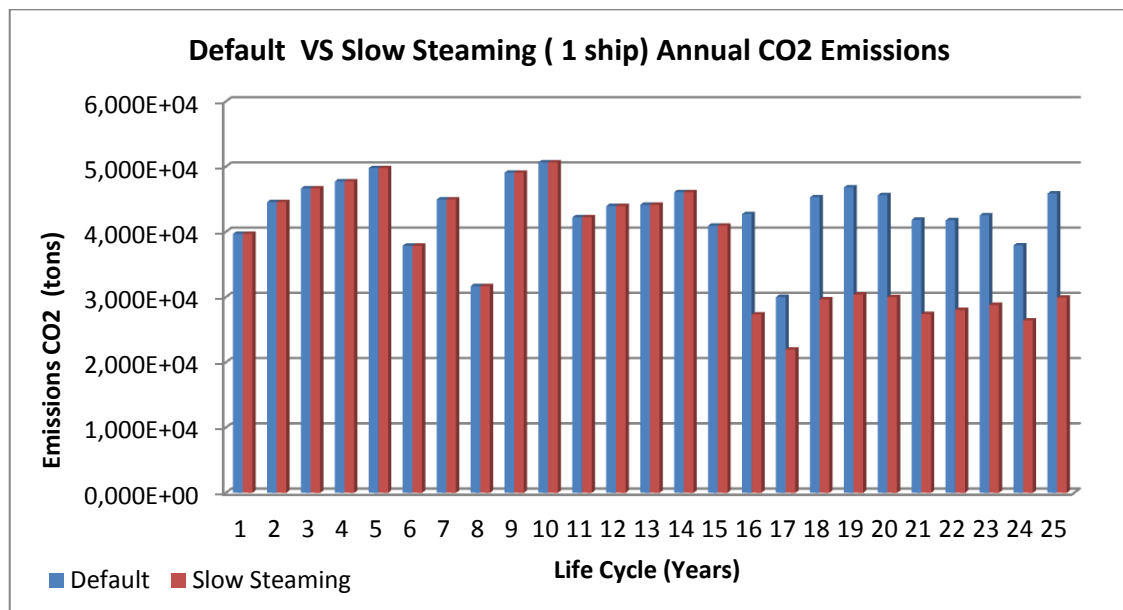
Total Life Cycle Emissions		
CO2	9,479E+05	tons
CO	2,864E+03	tons
CH4	2,686E+01	tons
Nox	2,661E+04	tons
PM (all)	2,095E+03	tons
SO2	1,297E+04	tons

Μπορούμε να παρατηρήσουμε πως μέχρι στιγμής στα δύο σενάρια τα οποία έχουμε μελετήσει τα αποτελέσματα που έχουν προκύψει δεν έχουν και πολύ μεγάλη διαφορά με τα αποτελέσματα που είχαμε πάρει για την περίπτωση που τρέχαμε το υπολογιστικό μας μοντέλο με την υπόθεση πως κάνει το ίδιο ταξίδι σε όλη του την ζωή. Στα διαγράμματα που ακολουθούν απεικονίζονται κάποια συγκριτικά αποτελέσματα μεταξύ του σεναρίου κανονικής λειτουργίας και του σεναρίου μειωμένης ταχύτητας εφαρμοσμένα για διαφορετικά δρομολόγια κάθε χρόνο για όλη την διάρκεια ζωής του πλοίου. Σε αυτό το σημείο θα παρουσιαστούν μόνο τα αποτελέσματα για το CO2 και τα αποτελέσματα για τις υπόλοιπες κατηγορίες ρύπων βρίσκονται στο **Παράρτημα 1**.

Πίνακας 76. Συγκριτικά Αποτελέσματα βασικού σεναρίου και Slow Steaming(15 +10 έτη) σε βάση κύκλου ζωής χρησιμοποιώντας 1 πλοίο.

Default VS Slow Steaming (Life Cycle)				
	Default	Slow Steaming		Reduction %
CO ₂	1,088E+06	9,479E+05	tons	-12,91545748
CO	3,240E+03	2,864E+03	tons	-11,60081417
CH ₄	2,986E+01	2,686E+01	tons	-10,05845716
Nox	3,073E+04	2,661E+04	tons	-13,42177824
PM (all)	2,483E+03	2,095E+03	tons	-15,62236689
SO ₂	1,596E+04	1,297E+04	tons	-18,74407263

Στο επόμενο διάγραμμα παρατίθενται η ετήσια απεικόνιση των αέριων εκπομπών και είναι αρκετά εμφανής η διαφορά τους από έτος σε έτος καθώς αλλάζουν τα δρομολόγια.



Διάγραμμα 13. Συγκριτικά Αποτελέσματα εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) βασικού σεναρίου και Slow Steaming(15+10έτη) σε ετήσια βάση χρησιμοποιώντας 2 πλοία.

Σε συνολική βάση οι ποσότητες των αέριων ρύπων που εκπέμπονται βρίσκονται στα ίδια επίπεδα με τα σενάρια όπου η απόσταση των ταξιδιών παρέμενε η ίδια. Στο **Διάγραμμα 13** σε αντίθεση με όλα τα προηγούμενα αντίστοιχα διαγράμματα παρατηρούμε πως η μορφή των καμπυλών δεν είναι παντού ομοιόμορφη και αυτό οφείλεται στο ότι δεν έχουμε την ίδια λειτουργία του πλοίου κάθε χρόνο καθώς οι αποστάσεις των ταξιδιών

είναι διαφορετικές οπότε και τελείως διαφορετικό το προφίλ λειτουργίας του πλοίου. Για αυτό το λόγο παρατηρείται αυτή η πολύ έντονη αυξομείωση των εκπεμπόμενων ποσοτήτων ανά έτος. Από το 15^ο έτος και μετά γίνεται εμφανής η διαφορά που υπάρχει ανάμεσα στα δύο σενάρια και η οποία είναι σταθερή ανεξαρτήτου έτους λειτουργίας του πλοίου. Μέχρι το 15^ο έτος όπου και στα δύο εξεταζόμενα σενάρια έχουμε πλεύση υπό κανονικές συνθήκες βλέπουμε πως τα αποτελέσματα ταυτίζονται μεταξύ τους. Τα ετήσια συγκριτικά διαγράμματα των υπολοίπων κατηγοριών αέριων ρύπων βρίσκονται στο **Παράρτημα 1**.

5.7.4 Σενάριο Cold Ironing

Σε αυτό το σενάριο γίνεται προσπάθεια το πλοίο κάθε φορά που προσεγγίζει σε κάποιο λιμάνι για να φορτώσει φορτίο ή και να εκφορτώσει συνδέεται με το λιμάνι έτσι ώστε να του παρέχεται από το λιμάνι όλη εκείνη η ηλεκτρική ενέργεια που χρειάζεται για την λειτουργία του και έτσι να μην λειτουργεί τις ηλεκτρογεννήτριες του. Στον **Πίνακα 77** και στο **Διάγραμμα 30** φαίνονται τα αποτελέσματα του σεναρίου αυτού.

Πίνακας 77. Συνολικές εκπομπές αέριων ρύπων για όλο τον κύκλο ζωής του πλοίου με πραγματικά δεδομένα δρομολογίων για το σενάριο Cold Ironing

Total Life Cycle Emissions		
CO ₂	1,086E+06	tons
CO	3,233E+03	tons
CH ₄	2,982E+01	tons
Nox	3,073E+04	tons
PM (all)	2,492E+03	tons
SO ₂	1,590E+04	tons

Τα αποτελέσματα που απεικονίζονται παραπάνω είναι αναμενόμενα καθώς τώρα πια το πλοίο μας κάνει αρκετά μεγάλα ταξίδια τα οποία χρειάζονται περισσότερες ημέρες πλεύσης στη θάλασσα και άρα η αναλογία ανάμεσα στις ημέρες πλεύσης και στις ημέρες στο λιμάνι έχει αλλάξει επομένως το πλοίο σε αυτό το σενάριο είναι ελάχιστες οι ημέρες τις οποίες και δαπανά και στο λιμάνι οπότε και η μείωση των ρύπων λόγω του μέτρου του Cold Ironing θα είναι πολύ μικρή.

5.7.5 Σενάριο Speed Limit

Σε αυτό το σενάριο λειτουργίας το πλοίο για τα 5 πρώτα χρόνια της ζωής του ταξιδεύει σε κανονικές συνθήκες όπως αυτές περιγράφονται στο βασικό σενάριο και τα υπόλοιπα 20 χρόνια ταξιδεύει σε συνθήκες περιορισμένης ταχύτητας όπου η ταχύτητα του είναι 12,5 κόμβους για την έμφορτη κατάσταση αλλά και για την κατάσταση ερματισμού.

Στον **Πίνακα 78** και στο **Διάγραμμα 31** απεικονίζονται τα αποτελέσματα της μελέτης του σεναρίου αυτού.

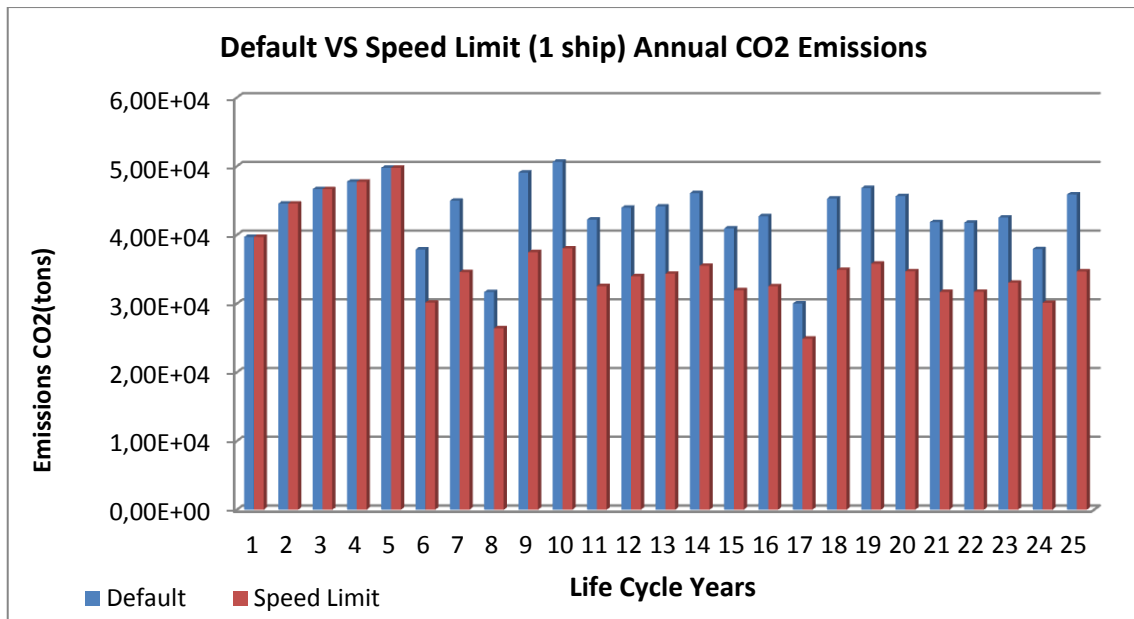
Πίνακας 78. Συνολικές εκπομπές αέριων ρύπων για όλο τον κύκλο ζωής του πλοίου με πραγματικά δεδομένα δρομολογίων για το σενάριο Speed Limit

Total Life Cycle Emissions		
CO ₂	8,954E+05	tons
CO	2,653E+03	tons
CH ₄	2,561E+01	tons
Nox	2,492E+04	tons
PM (all)	1,835E+03	tons
SO ₂	1,254E+04	tons

Σύμφωνα και με τον **Πίνακα 78** δεν παρατηρείται κάποια πολύ μεγάλη διαφορά (ίδια τάξη μεγέθους) ανάμεσα στα σεναρία με τα ίδια δρομολόγια και στα σεναρία με τα διαφορετικά δρομολόγια. Στην συνέχεια παρατίθενται τα συγκριτικά διαγράμματα όπου συγκρίνονται τα σεναρία της πλεύσης υπό κανονικές συνθήκες και το σενάριο της περιορισμένης ταχύτητας για εναλλαγή δρομολογίων ανά έτος. Στον **Πίνακα 80** απεικονίζονται τα συγκεντρωτικά- συγκριτικά αποτελέσματα.

Πίνακας 79. Συγκριτικά Αποτελέσματα βασικού σεναρίου και Speed Limit (5+20 έτη) σε βάση κύκλου ζωής χρησιμοποιώντας 1 πλοίο.

Default VS Speed Limit (1 ship) Life Cycle				
	Default	Speed Limit		Reduction%
CO ₂	1,088E+06	8,954E+05	tons	-17,7372
CO	3,240E+03	2,653E+03	tons	-18,0984
CH ₄	2,986E+01	2,561E+01	tons	-14,2378
Nox	3,073E+04	2,492E+04	tons	-18,9289
PM (all)	2,483E+03	1,835E+03	tons	-26,0948
SO ₂	1,596E+04	1,254E+04	tons	-21,4195



Διάγραμμα 14. Συγκριτικά Αποτελέσματα εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) βασικού σεναρίου και Speed Limit (5+20 έτη) σε ετήσια βάση χρησιμοποιώντας 1 πλοίο.

Στο **Διάγραμμα 14** είναι εμφανής η διαφορά μεταξύ των δύο σεναρίων όπως αυτή απεικονίζεται σε ετήσια βάση με διαφορετικά δρομολόγια κάθε έτος. Τα 5 πρώτα έτη και στα δύο σενάρια βλέπουμε πως το πλοίο δουλεύει με το ίδιο προφίλ λειτουργίας κάτι το οποίο και αλλάζει μετά το 5^ο έτος καθώς το πλοίο ξεκινάει να δουλεύει με περιορισμένη ταχύτητα. Οι διαφορές από έτος σε έτος είναι ξεκάθαρες με χαρακτηριστικό πως οι διαφορές μεταξύ των δύο σεναρίων παραμένουν σταθερές ανεξάρτητα το προφίλ λειτουργίας του πλοίου κάθε έτος.

Εφαρμόζοντας τη λογική των σεναρίων με μείωση της ταχύτητας του πλοίου έχουμε μείωση των ταξιδιών ανά έτος και σε όλη την διάρκεια ζωής του πλοίου και συνεπώς μείωση του μεταφορικού έργου του πλοίου. Σε περίπτωση που επιθυμούμε να παραμείνει ίδια η μεταφορική ικανότητα πρέπει να εισαχθεί ένα δεύτερο πλοίο για να καλύψει τις απώλειες αυτές. Στο προηγούμενο κομμάτι της μελέτης μας προσεγγίσαμε την απώλεια της μεταφορικής ικανότητας του πλοίου με τον αριθμό των ταξιδιών που δεν πραγματοποιήθηκαν. Κάτι τέτοιο όμως στην περίπτωση των εναλλασσόμενων αποστάσεων στα ταξίδια δεν θα ήταν σωστό να γίνει και για αυτό το λόγο θα εισάγουμε στην μελέτη μας την έννοια των συνολικών διανυθέντων ναυτικών μιλίων. Έτσι προκύπτει ο **Πίνακας 80** όπου φαίνονται οι συνολικές διαφορές στα διανυθέντα ναυτικά μίλια σε όλη τη διάρκεια ζωής του πλοίου.

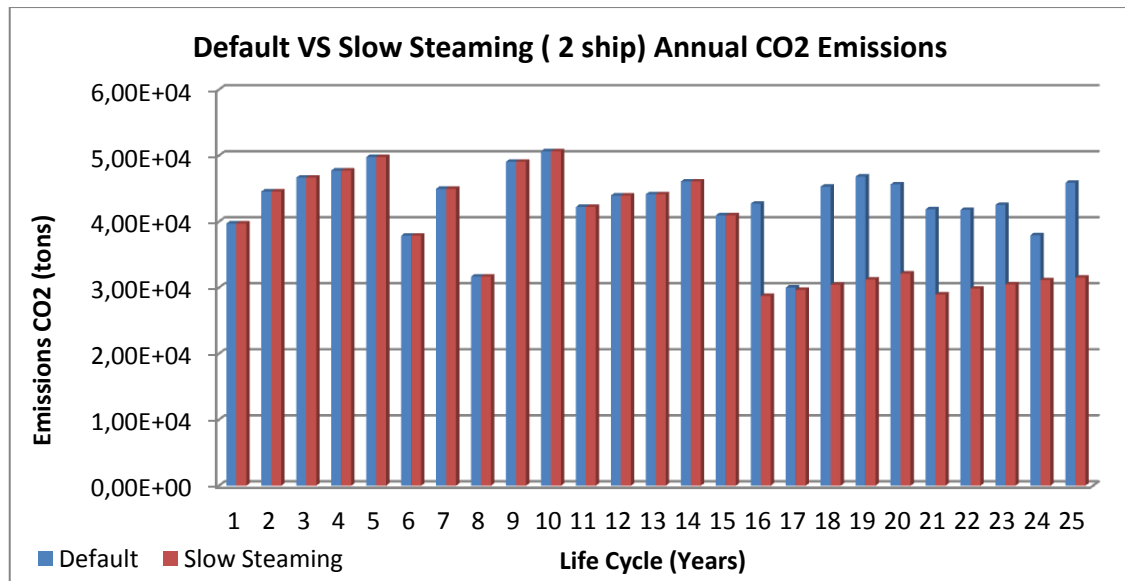
Πίνακας 80. Αριθμός χαμένων ταξιδιών και χαμένη μεταφορική ικανότητα λόγω μειωμένων ταξιδιών

	Total Trips (Life Cycle)	Total n.miles	Reduction (Trips)	Reduction (n.miles)
Default Scenario	311,32	1105962,83	0	0
Slow Steaming Scenario	298,92	1056658,28	12,4	49304,55
Speed Limit Scenario	289,75	1025429,59	21,57	80533,24

Η εισαγωγή και η λειτουργία του δεύτερου πλοίου όπως είναι λογικό επιβαρύνει το περιβάλλον με την κατασκευή του, την λειτουργία του και την διάλυση του όταν φτάσει στο τέλος της ζωής του. Στου πίνακες και τα διαγράμματα που ακολουθούν φαίνεται η συνολική επιβάρυνση του περιβάλλοντος από την λειτουργία και των δύο πλοίων σε κάθε εξεταζόμενο σενάριο έτσι ώστε να παραμείνει ίδια η μεταφορική ικανότητα του πλοίου που μελετάμε.

Πίνακας 81. Συγκριτικά Αποτελέσματα βασικού σεναρίου και Slow Steaming(15 +10 έτη) σε βάση κύκλου ζωής χρησιμοποιώντας 2 πλοία.

Default VS Slow Steaming (2 ship) Life Cycle				
	Default	Slow Steaming		Reduction%
CO2	1,088E+06	9,341E+05	tons	-14,177371
CO	3,240E+03	2,854E+03	tons	-11,906593
CH4	2,986E+01	2,860E+01	tons	-4,2301106
Nox	3,073E+04	2,595E+04	tons	-15,575232
PM (all)	2,483E+03	2,001E+03	tons	-19,397752
SO2	1,596E+04	1,239E+04	tons	-22,362534

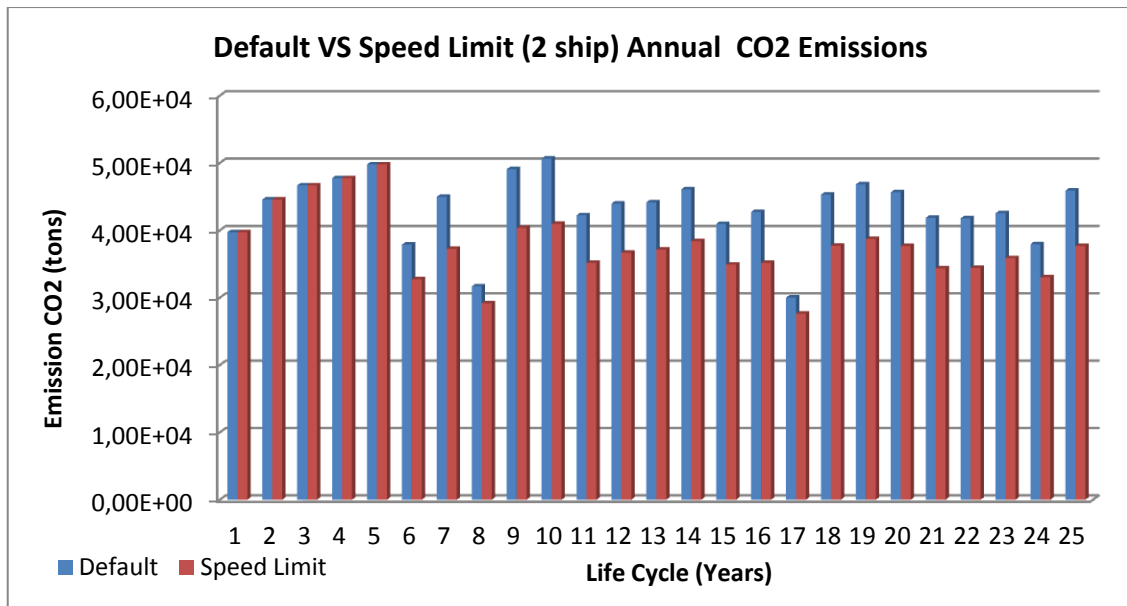


Διάγραμμα 15. Συγκριτικά Αποτελέσματα εκπομπών CO,CH₄,NO_X, PM και SO₂ βασικού σεναρίου και Slow Steaming (15+10 έτη) σε βάση κύκλου ζωής χρησιμοποιώντας 2 πλοία

Στο **Διάγραμμα 15** παρατηρούμε πως οι μεταβολές ξεκινούν από το 15^ο έτος και μετά όπου διαφοροποιούνται τα προφίλ λειτουργίας και για αυτό το λόγο βλέπουμε τις διαφορές ανάμεσα στα δύο σεναρία. Τα διαγράμματα για τις υπόλοιπες κατηγορίες ρύπων βρίσκονται στο **Παράρτημα 1**. Στα διαγράμματα φαίνεται η συνολική επιβάρυνση του περιβάλλοντος από την εισαγωγή του δεύτερου πλοίου στην περίπτωση του σεναρίου της περιορισμένης ταχύτητας.

Πίνακας 82. Συγκριτικά Αποτελέσματα βασικού σεναρίου και Speed Limit (5+20 έτη) σε βάση κύκλου ζωής χρησιμοποιώντας 2 πλοία.

Default VS Speed Limit (2 ship) Life Cycle				
	Default	Speed Limit		Reduction%
CO ₂	1,088E+06	9,589E+05	tons	-11,901
CO	3,240E+03	2,863E+03	tons	-11,6176
CH ₄	2,986E+01	2,887E+01	tons	-3,31902
Nox	3,073E+04	2,645E+04	tons	-13,9268
PM (all)	2,483E+03	1,949E+03	tons	-21,5053
SO ₂	1,596E+04	1,329E+04	tons	-16,7338



Διάγραμμα 16. Συγκριτικά Αποτελέσματα εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) βασικού σεναρίου και Speed Limit (5+20 έτη) σε ετήσια βάση χρησιμοποιώντας 2 πλοία.

5.7.6 Συγκριτικά Αποτελέσματα

Στο αμέσως προηγούμενο της μελέτης εξετάστηκαν σενάρια με την υπόθεση του ίδιου ταξιδιού και με εναλλαγή ταξιδιών. Επίσης παρουσιάστηκαν και συγκριτικά αποτελέσματα όπου απεικονίστηκαν οι μεταβολές που μπορεί να υπάρχουν λόγω της εναλλαγής των σεναρίων. Σε αυτό το σημείο χρειάζεται να τονιστεί πως η πρώτη προσέγγιση με το ίδιο ταξίδι για όλη την διάρκεια ζωής του πλοίου προσφέρεται επαρκώς για σχολιασμό και εξαγωγή συμπερασμάτων. Αν μπορεί να θεωρηθεί σαν σφάλμα η θεώρηση του ίδιου ταξιδιού για όλη την διάρκεια ζωής του πλοίου τότε πρόκειται για ένα συστηματικό σφάλμα το οποίο δεν θα επηρεάσει καθόλου τα αποτελέσματα.

5.8 Δυνατότητα παραμετροποίησης υπολογιστικού εργαλείου.

Όπως αναφέρθηκε και στο κεφάλαιο όπου περιγράφεται το υπολογιστικό μας εργαλείο πρόκειται για ένα πλήρως παραμετροποιημένο υπολογιστικό εργαλείο το οποίο μπορεί να φιλοξενήσει και να υποστηρίξει οποιαδήποτε αλλαγή θέλει να κάνει ο χρήστης σχετικά με τα στοιχεία του πλοίου ή και με τα στοιχεία σύμφωνα με τα οποία «τρέχουν» τα σενάρια λειτουργίας. Για παράδειγμα, ας θεωρηθεί πως διατηρούμε το ίδιο πλοίο (πλοίο αναφοράς) οπότε δεν θα επηρεαστεί το εργαλείο σε σχέση με τα στάδια κατασκευής, συντήρησης και διάλυσης. Αν θελήσει ο χρήστης να μελετήσει συγκεκριμένα το σενάριο της μειωμένης ταχύτητας και θέλει να αλλάξει μερικές παραμέτρους όπως είναι η ταχύτητα, τα δεδομένα τα οποία και πρέπει να εισάγει είναι ελάχιστα και απεικονίζονται στον **Πίνακα 83** παρακάτω.

Πίνακας 83. Δεδομένα εισόδου παραμετροποίησης υπολογιστικού εργαλείου

INPUT		
POWER ME	12240	KW
SERVICE SPEED	12,5	Knots
BALLAST SPEED	12,5	Knots
SFOC	178,73	gr/kwh
SFOC Ballast	180	gr/kwh
POWER BALLAST	5406,019897	kw

Αρχικά ο χρήστης πρέπει να εισάγει την ισχύ μηχανής που χρησιμοποιείται για να επιτύχει το πλοίο της ταχύτητα που θέλει ο χρήστης (δεδομένο από το διάγραμμα φόρτισης). Στην συνέχεια πρέπει να εισάγει τα δεδομένα για την ταχύτητα που επιθυμεί στην έμφορτη κατάσταση και στην κατάσταση ερματισμού καθώς επίσης θα πρέπει να εισαχθούν και οι ειδικές καταναλώσεις που έχει η κύρια μηχανή σε αυτά τα ποσοστά φόρτισης. Λόγω έλλειψης του διαγράμματος φόρτισης της μηχανής για την κατάσταση ερματισμού προσεγγίζουμε την φόρτιση της μηχανής μέσω του αξιόπιστου συντελεστή ναυαρχείου. Με αυτόν τον τρόπο έχουν εισαχθεί όλα τα δεδομένα που χρειάζονται για να γίνει παραμετρική αλλαγή της ταχύτητας του πλοίου και για να εξετάσουμε διαφορετικά σενάρια. Τα αποτελέσματα που προκύπτουν είναι οι συνολικές εκπομπές της μηχανολογικής εγκατάστασης με την ορισμένη από τον χρήστη ταχύτητα. Τα αποτελέσματα αυτά μπορούν να αναπαρασταθούν και σε ετήσια βάση για να είναι πιο κατανοητές οι μεταβολές ανάμεσα στα έτη λειτουργίας.

5.9 Αξιολόγηση Σεναρίων

Μετά από την εκτενή εξέταση μίας σειράς διαφορετικών σεναρίων παρέχεται ένα συμπερασματικό αποτέλεσμα σχετικά με το πιο σενάριο θα ήταν ιδανικότερο για την λειτουργία του πλοίου αναφοράς μας με κριτήριο τις αέριες εκπομπές από την λειτουργία της μηχανολογικής εγκατάστασης για τον κύκλο ζωής του πλοίου. Στον **Πίνακα 84** απεικονίζονται (με την υπόθεση ενός σταθερού δρομολογίου) οι συνολικές τιμές αερίων εκπομπών από τα σενάρια που εξετάστηκαν. Θεωρήθηκε ότι παραμένει σταθερή η μεταφορική ικανότητα σε όλη την διάρκεια του κύκλου ζωής του πλοίου και για αυτό το λόγο παρατίθενται τα αποτελέσματα που περιλαμβάνουν και την είσοδο του δεύτερου πλοίου (όμοιο πλοίο) για την κάλυψη της απώλειας μεταφορικού έργου λόγω της μειωμένης ταχύτητας. Παρουσιάζονται μόνο τα αποτελέσματα για τις εκπομπές του διοξειδίου του άνθρακα. Τα αποτελέσματα για τις υπόλοιπες κατηγορίες αερίων ρύπων παρατίθενται στο **Παράρτημα 1**.

Πίνακας 84. Συγκεντρικά αποτελέσματα εκπομπής αέριων ρύπων σε βάση κύκλου ζωής με την λειτουργία 2 πλοίων

Scenario(s) Life Cycle Results							
Emissions	Default (tons)	Slow Steaming (tons)	Reduction*	Cold Ironing (tons)	Reduction*	Speed Limit (tons)	Reduction*
CO ₂	1,012E+06	9,341E+05	-7,65	1,002E+06	-0,96	9,046E+05	-10,57
CO	3,017E+03	2,854E+03	-5,40	2,990E+03	-0,88	2,708E+03	-10,23
CH ₄	2,840E+01	2,860E+01	0,68	2,820E+01	-0,72	2,789E+01	-1,80
NO _X	2,850E+04	2,595E+04	-8,95	2,833E+04	-0,58	2,489E+04	-12,65
PM(all)	2,266E+03	2,001E+03	-11,67	2,266E+03	-0,01	1,810E+03	-20,12
SO ₂	1,459E+04	1,239E+04	-15,09	1,441E+04	-1,24	1,232E+04	-15,55
* Reduction compared to the Default Scenario							

5.10 Σχολιασμός Αποτελεσμάτων

Κατά την διάρκεια της μελέτης μας έγινε προσέγγιση δύο διαφορετικών σεναρίων και τα οποία περιλαμβάνουν μείωση της ταχύτητας του πλοίου. Το πρώτο σενάριο είναι το σενάριο της μειωμένης ταχύτητας και το δεύτερο σενάριο είναι εκείνο της περιορισμένης ταχύτητας. Κατά την εξέταση των δύο αυτών σεναρίων ταχύτητας καταλήξαμε στο συμπέρασμα πως υπάρχει μείωση της συνολικής μεταφορικής ικανότητας του πλοίου στο σύνολο της ζωής του και αυτό οφείλεται στην μείωση των ταξιδιών που πραγματοποιούνταν. Θεωρώντας σαν βασικό σημείο αναφοράς πως ζητούμενο είναι η διατήρηση της ίδιας μεταφορικής ικανότητας συμπεριλάβαμε και άλλα πλοία στην μελέτη και στον **Πίνακα 84** απεικονίζονται τα τελικά αποτελέσματα που αποτελούν την συγκεντρωτική εικόνα όλης της μελέτης και όπου υπάρχουν πολλά σημεία από τα οποία μπορούν να εξαχθούν πολύ χρήσιμα συμπεράσματα.

Παρατηρούμε ότι οι ποσότητες των αέριων εκπομπών που προκύπτουν από την λειτουργία του πλοίου σε κανονικές συνθήκες όπως εκείνες του βασικού σεναρίου προκύπτουν αρκετά λογικές. Αυτό αποδεικνύει και πάλι την εγκυρότητα των αποτελεσμάτων που μπορεί και παράγει το υπολογιστικό μας εργαλείο. Γενικότερα είναι εμφανές πως οι διαφορές μεταξύ των ποσοτήτων των εκπεμπόμενων αερίων από σενάριο σε σενάριο μπορεί να προκύπτουν μεγάλες αλλά και πολύ μικρές σε κάποιες περιπτώσεις ακόμα και αρνητικές.

Συγκρίνοντας τις διαφορές ανάμεσα στο βασικό σενάριο και στο σενάριο μειωμένης ταχύτητας μπορούμε να παρατηρήσουμε πως η μεγαλύτερη διαφορά παρουσιάζεται στις εκπομπές του διοξειδίου του θείου. Αυτό μπορεί να ερμηνευθεί από το γεγονός ότι το διοξείδιο του θείου είναι ένας αέριος ρύπος ο οποίος προέρχεται άμεσα από την καύση του καυσίμου στην μηχανή. Έτσι στην περίπτωση του σεναρίου μειωμένης ταχύτητας η κατανάλωση καυσίμου είναι αισθητά μικρότερη και για αυτό το λόγο εμφανίζεται αυτή η μείωση του 15%. Παρατηρώντας τις εκπομπές των οξειδίων του αζώτου ανάμεσα στα δύο σενάρια υπάρχει μία μείωση της τάξης του 9% και είναι απολύτως αναμενόμενη καθώς τα οξείδια του αζώτου είναι προϊόντα της υψηλής θερμοκρασίας η οποία αναπτύσσεται μέσα στον θάλαμο καύσης και στην περίπτωση του σεναρίου μειωμένης ταχύτητας η μηχανή δουλεύει σε πολύ χαμηλά ποσοστά φόρτισης με αποτέλεσμα και οι θερμοκρασίες που υπάρχουν μέσα στον θάλαμο να είναι μικρότερες άρα και οι εκπομπές των οξειδίων του αζώτου.

Μία από τις πιο ενδιαφέρουσες κατηγορίες ρύπων είναι το διοξείδιο του άνθρακα και στο οποίο παρατηρείται μία μείωση της τάξης του 7,5%. Η επίτευξη μιας μείωσης τέτοιου μεγέθους στις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα έχοντας πετύχει την διατήρηση της μεταφορικής ικανότητας του πλοίου με την εισαγωγή ενός δεύτερου πλοίου αποτελεί πολύ ενδιαφέρον αποτέλεσμα.

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η διαφορά στις εκπεμπόμενες ποσότητες μεθανίου η οποία είναι αρνητική καθώς προκύπτει πως η λειτουργία του πλοίου σύμφωνα με το σενάριο της μειωμένης ταχύτητας παράγει ελαφρώς μεγαλύτερη ποσότητα μεθανίου σε σχέση με το σενάριο κανονικής λειτουργίας του πλοίου της τάξης του 0,7 % . Η διαφορά αυτή είναι αναμενόμενη καθώς οι εκπομπές μεθανίου επί το πλείστον είναι προϊόν της παραγωγής του πετρελαίου και όχι τόσο της διαδικασίας καύσης του. Για αυτό το λόγο συγκρίνοντας τις εκπομπές μεθανίου ανάμεσα στα 2 σενάρια για την λειτουργία του ενός πλοίου προέκυπτε μια πολύ μικρή μείωση από το βασικό σενάριο σε αυτό της μειωμένης ταχύτητας και η οποία ήταν τόσο μικρή όπου αντισταθμιζόταν από την είσοδο του δεύτερου πλοίου για την κάλυψη της συνολικής μεταφορικής ικανότητας.

Εξετάζοντας το σενάριο της περιορισμένης ταχύτητας όπου το πλοίο λειτουργεί τα πρώτα 5 έτη της ζωής του υπό κανονικές λειτουργίες (14 κόμβους) και τα υπόλοιπα 20 έτη υπό συνθήκες περιορισμένης ταχύτητας (12,5 κόμβους) συμπεραίνεται ότι οι διαφορές των 2 αυτών σεναρίων έναντι των προηγούμενων που αναλύθηκαν παραπάνω είναι μεγαλύτερες κατά απόλυτο μέγεθος. Οι εκπομπές του διοξειδίου του θείου είναι 15% μειωμένες σε σχέση με αυτές του βασικού σεναρίου και αυτό διότι η μηχανολογική εγκατάσταση φορτίζεται κοντά στο 50% της μέγιστης ισχύος της και έτσι η κατανάλωση καυσίμου είναι αισθητά μικρότερη.

Ανάμεσα στα 2 εξεταζόμενα σενάρια μείωσης ταχύτητας δεν υπάρχει διαφορά στην ποσότητα εκπομπής διοξειδίου του άνθρακα. Όσον αφορά στις εκπομπές οξειδίου του αζώτου στο σενάριο περιορισμένης ταχύτητας εμφανίζεται μια μείωση της τάξης του 12,5% και αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι η μηχανολογική εγκατάσταση φορτίζεται ιδανικότερα καθώς λειτουργεί πιο κοντά στο ιδανικό εύρος λειτουργίας και για αυτό το λόγο δικαιολογείται και η μείωση της τάξεως 1,8% του εκπεμπόμενου μεθανίου. Επιπλέον, διαπιστώνεται στο σενάριο περιορισμένης ταχύτητας πως οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα είναι μειωμένες κατά 10,5 % σε σχέση με το βασικό σενάριο λειτουργίας.

Το 4^ο σενάριο που εξετάστηκε στην παρούσα διπλωματική εργασία αφορά στην περίπτωση ηλεκτρικής σύνδεσης του πλοίου με το λιμάνι. Παρατηρείται ότι οι διαφορές με το βασικό σενάριο λειτουργίας είναι μηδαμινές (1%). Αυτό οφείλεται στο γεγονός το υπό εξέταση πλοίο είναι δεξαμενόπλοιο με αποτέλεσμα ο χρόνος παραμονής του στο λιμάνι να είναι σχετικά μικρός (3 ημέρες/ταξίδι) και αντίστοιχα μικρές είναι και οι εκπομπές αέριων ρύπων που εξοικονομούνται σε σύγκριση με το βασικό σενάριο λειτουργίας. Μπορεί να θεωρηθεί ότι η εφαρμογή ενός τέτοιου μέτρου σε πλοία τέτοιας κατηγορίας δεν θα προσφέρει σημαντικά οφέλη συγκριτικά με το υψηλό αρχικό κόστος επένδυσης για την εγκατάσταση.

Συμπερασματικά, παρατηρώντας τον πίνακα συγκεντρωτικών αποτελεσμάτων μπορεί να θεωρηθεί ότι υπό συνθήκες διατήρησης της ίδιας μεταφορικής ικανότητας παρά την

μείωση της ταχύτητας του πλοίου το καλύτερο σενάριο προς εφαρμογή είναι το σενάριο περιορισμένης ταχύτητας καθώς οι συνολικές του περιβαλλοντολογικές επιβαρύνσεις είναι σαφώς μικρότερες σε σχέση με τα υπόλοιπα εξεταζόμενα σενάρια. Οι μειώσεις στις συνολικές εκπεμπόμενες ποσότητες αέριων ρύπων που προκύπτουν από τη λειτουργία του πλοίου υπό περιορισμένη ταχύτητα είναι τέτοιου μεγέθους όπου παρακάμπτεται οποιαδήποτε δυσκολία εφαρμογής ενός τέτοιου μέτρου στον παγκόσμιο στόλο της ναυτιλίας.

6. ΠΛΗΡΩΣ ΕΞΗΛΕΚΤΡΙΣΜΕΝΟ ΠΛΟΙΟ ΜΕ ΦΥΣΙΚΟ ΑΕΡΙΟ ΓΙΑ ΚΑΥΣΙΜΟ

Με το πέρασμα των ετών γίνονται όλο και πιο έντονες οι ανησυχίες σχετικά με την περιβαλλοντική επιβάρυνση λόγω των αέριων εκπομπών από τα πλοία. Στην κατεύθυνση αυτή γίνονται συνέχεια προσπάθειες από όλους τους κλάδους της ναυτιλίας για να βρεθούν τρόποι για να έχουμε λιγότερες εκπομπές αέριων ρύπων στο περιβάλλον. Η μεγαλύτερη προσπάθεια γίνεται από τον μηχανολογικό τομέα της ναυτιλίας όπου είναι αναγκαία η τεχνολογική εξέλιξη των μηχανολογικών εγκαταστάσεων έτσι ώστε να καταναλώνουν λιγότερο καύσιμο και να εκπέμπουν λιγότερους αέριους ρύπους για να μπορέσει η λειτουργία του πλοίου να συμβαδίζει με τους πολύ αυστηρούς κανονισμούς που έχουν τεθεί από τον Παγκόσμιο Οργανισμό Ναυτιλίας. Μία από τις πιο σημαντικές και πολλά υποσχόμενες ιδέες για την ελαχιστοποίηση των αέριων ρύπων είναι η αντικατάσταση του βαρέους πετρελαίου σαν καύσιμο μηχανής με το φυσικό αέριο. Έχουν γίνει πάρα πολλές μελέτες τώρα πια που αποδεικνύουν την ‘πράσινη’ εικόνα μίας τέτοιας μηχανολογικής εγκατάστασης αλλά ακόμα δεν υπάρχουν πολλά πλοία που να χρησιμοποιούν το φυσικό αέριο σαν καύσιμο με εξαίρεση τα πλοία τα οποία μεταφέρουν υγροποιημένο φυσικό αέριο. Οι λόγοι για τους οποίους δεν έχει αναπτυχθεί αρκετά μία τέτοια ιδέα είναι πολλοί με κύριο λόγο την έλλειψη του χώρου για την αποθήκευση όλου εκείνου του φυσικού αερίου. Μέσα στα πλαίσια αυτής της διπλωματικής εργασίας και του διεθνούς διαγωνισμού VISIONS 2012 σε συνεργασία με τους συναδέλφους μου Λάμπρο Νικολόπουλο και Μιχάλη Πυθαρούλη έχει γίνει μία προσπάθεια να προσεγγίσουμε το περιβαλλοντικό όφελος το οποίο προκύπτει από την λειτουργία ενός τέτοιου πλοίου σε όλη την διάρκεια ζωής του. Αρχικά θα γίνει μία μικρή εισαγωγή στον σχεδιασμό του πλοίου αυτού και στην συνέχεια χρησιμοποιώντας το υπολογιστικό μοντέλο της παρούσας διπλωματικής θα γίνει ένας υπολογισμός εκπομπών αέριων ρύπων του πλοίου αυτού και θα συγκριθεί με τα αντίστοιχα πλοία τα οποία λειτουργούν αυτή τη στιγμή.

Μια εναλλακτική λύση για ένα συμβατικό δίχρονο κινητήρα προώσεως, και η οποία λύση κυριαρχεί στα δεξαμενόπλοια, είναι η χρήση ντίζελ-ηλεκτρικής πρόωσης. Στο πλαίσιο αυτής της μελέτης έγινε μια προσπάθεια να παρέχεται μια διαμόρφωση προώσεως που χρησιμοποιεί υγροποιημένο φυσικό αέριο ως καύσιμο και μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν εναλλακτικές πηγές ενέργειας όπως οι κυψέλες καυσίμου, μπαταρίες λιθίου κ.λπ. Αυτό επιτυγχάνεται χάρη στο πρόγραμμα ανάπτυξης ενός πλήρως εξηλεκτρισμένου πλοίου το οποίο αξιοποιεί την ηλεκτρική ενέργεια που προέρχεται από την λειτουργία ηλεκτρομηχανών. Αυτό το είδος των εφαρμογών είναι συνήθως να συναντιούνται στα κρουαζιερόπλοια, ενώ στον τομέα των δεξαμενόπλοιων, υπάρχουν μερικά παραδείγματα δεξαμενόπλοιων (με σημειογραφία Ice κατηγορίας). Ο λόγος για τον οποίο αναπτύσσονται τέτοιου είδους καινοτόμοι σχεδιασμοί είναι η ανάγκη για διατήρηση θέσης, μείωση της απαιτούμενης ισχύος και μια ισχυρή

μετάδοση ισχύος για ένα μεγάλο εύρος φορτίου. στην ακαδημία USCG. Το ντίζελ εργοστασίου παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας μπορεί να αποτελέσει την ιδανική πλατφόρμα για αυτήν την έννοια.

Τα πλεονεκτήματα ενός τέτοιου συστήματος που βασίζεται στην παραγωγή, διαχείριση και διανομή της ηλεκτρικής αντί της μηχανικής ενέργειας είναι οι εξής:

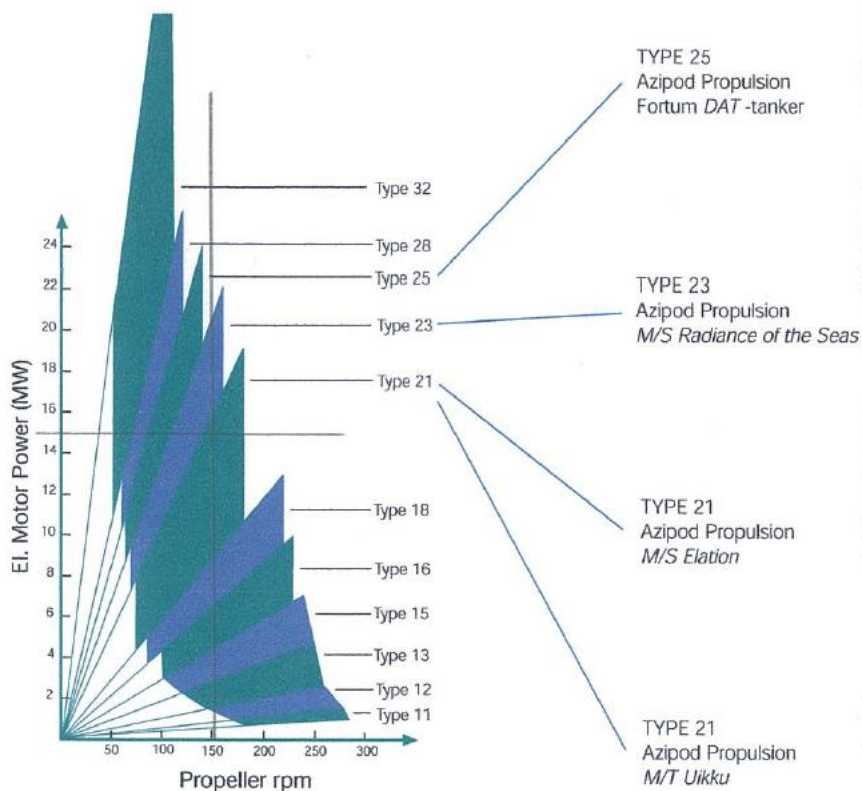
- Μειωμένο βάρος, το οποίο σημαίνει ότι το ωφέλιμο φορτίο του πλοίου μπορεί να αυξηθεί
- Δημιουργείται μεγάλη ποικιλία από επιλογές υβριδισμού που μπορούν να μεταφέρουν φορτία από τις κύριες ηλεκτρομηχανές μέσω των εναλλακτικών πηγών ενέργειας
- Αύξηση της απόδοσης
- Μικρότεροι Χώροι Μηχανοστασίου που μπορούν να αυξήσουν την εκμετάλλευση του χώρου επί του σκάφους
- Ταχύτερος χρόνος απόκρισης όταν το φορτίο πρέπει να αλλάξει (αυξημένη ευελιξία)
- Αύξηση της εφεδρείας ισχύος, καθώς το πλοίο μπορεί να μείνει ακυβέρνητο μόνο αν σταματήσουν όλες οι γεννήτριες (πάνω από 2) και όλα τα υπόλοιπα σύνολα ενέργειας
- Πιο ευέλικτα λειτουργικά χαρακτηριστικά

Στην περίπτωση του Slow Steaming μερικά σετ γεννητριών μπορούν να αποκοπούν και να διατηρηθεί έτσι η λειτουργία των κινητήρων στο μέγιστο φορτίο τους. Επιπλέον, χρησιμοποιώντας ένα προηγμένο και βελτιωμένο controller (μέρος του συστήματος ελέγχου του πλοίου) είναι σε θέση να έχουμε ένα σχέδιο διαχείρισης ενέργειας, το οποίο και θα οδηγήσει στην αύξηση της αποτελεσματικότητας.

- Αυξημένες δυνατότητες για τις μελλοντικές εργασίες που πρέπει να γίνουν στον εξοπλισμό, δεδομένου ότι οι κινητήρες βρίσκονται κοντά στο κύριο κατάστρωμα και μπορούν εύκολα να αφαιρεθούν και να αντικατασταθούν. Αυτό μπορεί επίσης να προκαλέσει ένα νέο είδος διαχείρισης πλοίων με συστήματα μίσθωσης του κινητήρα που μπορεί να συμβάλει στη βελτίωση της εφοδιαστικής και της πολιτικής συντήρησης.
- Μειωμένη κατανάλωση λιπαντικού ελαίου και ευκολότερη συντήρηση για τις 4 γεννήτριες. Από την άλλη τα μειονεκτήματα ενός τέτοιου συστήματος, είναι:
- Αυξημένο αρχικό κόστος κατασκευής, που μπορεί να αποσβεστεί από την εισαγωγή του κινητήρα σε προγράμματα χρηματοδοτικής μίσθωσης
- Η σχετική απόδοση κάθε γεννήτριας είναι χαμηλότερη σε σύγκριση με την απόδοση μίας δίχρονης παλινδρομικής μηχανής
- Αυξημένη πολυπλοκότητα για το πλήρωμα για να λειτουργήσει.

6.1 Ισχύς πρόωσης

Η ισχύς πρόωσης είναι η απαιτούμενη ηλεκτρική ενέργεια για να λειτουργήσουν οι αντίστοιχοι ηλεκτρικοί κινητήρες. Από την προμελέτη, και σύμφωνα με τις μελέτες βελτιστοποίησης που έγιναν, η απαιτούμενη ενέργεια για την ταχύτητα των 15 κόμβων εκτιμάται σε περίπου 13900 kW, συμπεριλαμβανομένης της ρύπανσης της γάστρας και του περιθώριου θάλασσας λόγω άσχημων καιρικών συνθηκών, καθώς και ένα περιθώριο μείωσης λόγω του βαθμού απόδοσης των ηλεκτροκινητήρων (στην αρχική μελέτη το πλοίο ήταν εξοπλισμένο με 2 δίχρονους κινητήρες με μηχανικά συστήματα). Το περιθώριο αυτό (5%) αφαιρείται και έτσι η ενέργεια που απαιτείται για την κίνησή είναι 13292 kW, ή 6646 kW για κάθε έλικα. Με εκτιμώμενη διάμετρο έλικας 6 μέτρα, το RPM που αντιστοιχούν στον μεγαλύτερο συντελεστή πρόωσης λαμβάνεται ίσο με 100. Με βάση αυτά τα αποτελέσματα, οι ηλεκτροκινητήρες που πρέπει να εγκατασταθούν πρέπει να παράγουν μια δύναμη 6646 kW στις 100 στροφές. Στο **Σχήμα 21** που προέρχεται από την ABB είναι προφανές ότι ο τύπος 25 Azipods είναι κατάλληλος για αυτού του τύπου την χρήση. Το μεγάλο πλεονέκτημα με αυτούς τους κινητήρες είναι ότι λόγω του μικρού όγκου τους είναι πολύ εύκολοι στην τοποθέτηση και βολεύουν στην διαμόρφωση του χώρου.



Σχήμα 21. Διάγραμμα επιλογής ηλεκτροκινητήρων

6.2 Φορτία βοηθητικών μηχανών

Τα βοηθητικά φορτία για ένα δεξαμενόπλοιο αργού πετρελαίου σε αυτό το μέγεθος (Aframax) μπορούν να ταξινομηθούν ως εξής:

- Κύριοι Βοηθητικοί κινητήρες
- Βοηθητικά Μηχανοστασίου
 - Οι αντλίες φορτίου και έρματος
 - Λεβητοστάσιο
 - Μηχανήματα Καταστρώματος
 - Κλιματισμός και Ψύξη
 - Εξαερισμός
 - Κουζίνα / πλυντήριο
 - Φωτισμός / πλοήγησης
 - Διάφορα.

Οι αντλίες φορτίου και έρματος τροφοδοτούνται από την ηλεκτρικά υδραυλικής ισχύος, που παρέχεται από την FRAMO, και είναι το μεγαλύτερο από τα βοηθητικά φορτία (2048 kW). Το υπόλοιπο των απαιτήσεων, ελήφθησαν από ένα ισοδύναμο μεγέθους (Capesize) μεταφοράς χύδην φορτίου πλοίο, μετά από συγκριτική μελέτη

6.3 Συνολικά ηλεκτρικά φορτία

Τα συνολικά ηλεκτρικά φορτία υπολογίζονται για 4 διαφορετικές καταστάσεις πλεύσης δηλαδή για πλεύση υπό κανονικές συνθήκες, κατάσταση ελιγμών, φορτοεκφόρτωση φορτίου και παραμονή στο λιμάνι. Η επιλογή των ηλεκτρομηχανών έγινε με βάση τα μέγιστα φορτία που μπορούν να προκύψουν σε κάθε κατάσταση και φαίνονται στον παρακάτω πίνακα

Πίνακας 85. Ανάλυση ηλεκτρικού φορτίου

	Normal Sea Going		Maneuvering				Cargo Handling		Harbour	
			With Ballast		Without Ballast					
Consumer Group	C.L	I.L	C.L	I.L	C.L	I.L	C.L	I.L	C.L	I.L
Main Engine Aux	76.9	1.4	167.5	1.4	167.5	1.4	81.6	4.7	81.6	5.6
Engine Room Aux	86.3	296.6	360.1	73.1	134.3	73.1	302.8	255.2	79.9	202.5
Boiler Plant	4.3	0	6.4	0	6.4	0	6.4	0	6.4	0
Deck Machinery	12.2	0	184.2	0	184.2	0	62.2	159.7	0	30.5
Air Cond/Ref.	72.8	0	72.8	0	72.8	0	72.8	0	72.8	0
Vents	68.7	0	68.7	0	68.7	0	48.3	0	48.3	0

Galley/Laundry	0	62.4	0	62.4	0	62.4	0	62.4	0	62.4
Lighting/Navigation	81.5	0	81.5	0	81.5	0	81.5	0	81.5	0
Misc	0	2.7	0	14.9	0	14.9	0	25.4	0	25.4
Total	402.7	363.1	941.2	151.8	715.4	151.8	655.6	507.4	370.5	326.4
Total Continuous Load										
	402.7		941.2		715.4		655.6		370.5	
Total Intermittent Load										
	363.1		151.8		151.8		507.4		326.4	
Diversity Factor										
	33		33		33		33		33	
Actual Load of IL										
	119.823		50.094		50.094		167.442		107.712	
Total Auxilliary Load										
	522.523		991.294		765.494		2526.212		478.212	
Propulsion Load										
	13292		3987.6				0			
Total Maximum Load										
	13814.523		4978.894		4753.094		2526.212		478.212	

6.4 Γεννήτριες και διάταξη του υβριδικού συστήματος πρόωσης

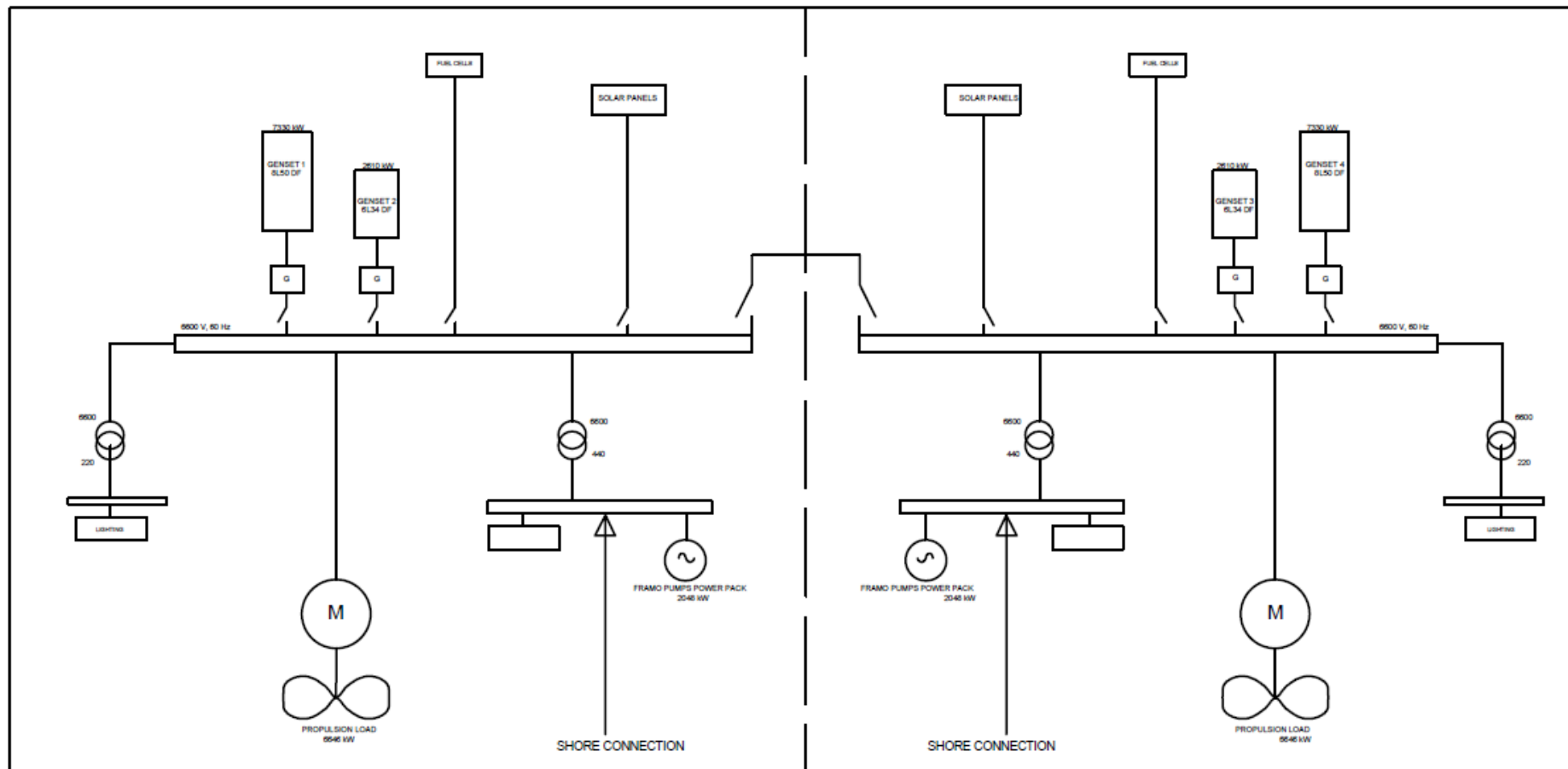
6.4.1 Κύρια μηχανικά μέρη

Για να υπάρχει η δυνατότητα μιας πιο ευέλικτης λειτουργία και αυξημένης ικανότητας απενεργοποίησης κάποιων από τις μηχανές, τέσσερα ζεύγη επιλέχθηκαν για να παράγουν την απαιτούμενη ηλεκτρική ενέργεια, και μια μικρότερη γεννήτρια εγκαθίσταται επίσης για τα φορτία στο λιμάνι προκειμένου να αποφευχθεί η πολύ μικρή φόρτιση από τα κύρια σετ γεννητριών. Όπως αναφέρεται στην εισαγωγή, ο στόχος είναι να χρησιμοποιούν εναλλακτικά καύσιμα, όπως υγροποιημένο φυσικό αέριο και, ενδεχομένως, τα βιοκαύσιμα. Για αυτό το λόγο τα ηλεκτροπαραγωγά ζεύγη τα οποία και επιλέξαμε είναι κινητήρες διπλού καυσίμου που χρησιμοποιούν το LNG που έχει αποθηκευτεί στο σκάφος. Οι κατασκευαστές των εν λόγω μονάδων είναι MAN Diesel, Wartsila, Rolls Royce και η Caterpillar. Η επιλογή της Wartsila έγινε με βάση τα διαθέσιμα τεχνικά στοιχεία από τα βιβλία οδηγιών των κατασκευαστών. Οι τέσσερις κύριες ηλεκτρογεννήτριες έχουν σχεδιαστεί ώστε να είναι σε ζεύγη των δύο:

- Δύο Wartsila 8L50DF, με μια παραγωγή του 7330 kWe (7600 kW κινητήρα)
- Δύο Wartsila 6L34DF, με μια παραγωγή του 2510 kWe (2610 kW κινητήρα)

Για κάθε λειτουργική κατάσταση, συμπεριλαμβανομένης της περίπτωσης του Slow Steaming, οι διαφορετικοί συνδυασμοί που χρησιμοποιούνται για να παρέχουν την απαραίτητη δύναμη, είναι διαφορετικοί κάθε φορά και γίνονται με κριτήριο την μέγιστη

απόδοση του συνδυασμού. Ο λόγος για αυτή την προσεκτική επιλογή είναι ότι η απόδοση των γεννητριών σε χαμηλά φορτία είναι πολύ πιο αναποτελεσματική από αυτήν που προκύπτει από την Ειδικής Κατανάλωσης Πετρελαίου (SFOC), και έτσι ένα μέρος του υψηλού φορτίου απαιτείται πάντα (άνω του 75%). Οι γεννήτριες που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας είναι μεσαίας τάσης (6600 V, 60Hz), όπως εφαρμόζεται συνήθως σε αυτές τις εγκαταστάσεις, και είναι συνδεδεμένα με το κεντρικό κόμβο που λαμβάνεται συμμετρικά, ώστε να εξασφαλιστεί η ύπαρξη πλεονάσματος ισχύος. Η συνολική εγκατάσταση μπορεί να φανεί στο απλό διάγραμμα που ακολουθεί. Οι δύο ομάδες των παραγωγών και των καταναλωτών φορτίου μπορεί διαχωριστούν όπως φαίνεται και στο **Σχήμα 22**.



Σχήμα 22. Γενική διάταξη μηχανολογικής εγκατάστασης

6.4.2 Ηλεκτρομηχανές με δυνατότητα καύσης δύο καυσίμων

Ο πυρήνας του πλήρους εξηλεκτρισμένου πλοίου είναι η γεννήτρια. Στο σενάριο που θα μελετήσουμε θα χρησιμοποιηθούν ένα είδος συμβατικού και ένα είδος εναλλακτικού καυσίμου και πιο συγκεκριμένα υγροποιημένο φυσικό αέριο. Ο λόγος για τον οποίο δεν χρησιμοποιείται μόνο το φυσικό αέριο σαν καύσιμο καύσης διότι η απαιτούμενη ποσότητα που θα χρειαζόταν δεν υπάρχει η δυνατότητα να χωρέσει μέσα στον όγκο του πλοίου καθώς θα πρέπει να καλυφθεί μία ακτίνα ενέργειας (15.000 ναυτικά μίλια). Επιπλέον, ο υπερβολικός χώρος που απαιτείται για τις δεξαμενές υγροποιημένου φυσικού αερίου θα επηρεάσει τόσο το ωφέλιμο φορτίο και το φορτίο που μεταφέρουν κάτι το οποίο θα επιφέρει μείωση της κερδοφορίας και της ανταγωνιστικότητας του πλοίου. Ένα άλλο πλεονέκτημα της δυνατότητας χρήσης δύο καυσίμων είναι ότι μια μεγαλύτερη ευελιξία επιτυγχάνεται, τόσο όσον αφορά τις στρατηγικές αγοράς καυσίμων (κυρίως το χρονοδιάγραμμα) και από την άποψη της λειτουργίας σε περιοχές όπου ο ανεφοδιασμός φυσικού αερίου δεν είναι δυνατόν να πραγματοποιηθεί.

Τα σετ γεννητριών τα οποία και έχουν επιλεγεί από τον οδηγό της Wartsila και πληρούν τις απαιτήσεις του IMO Tier II για τα πρότυπα εκπομπών παρουσιάζονται στον **Πίνακα 86**.

Πίνακας 86. Εγκατεστημένη ισχύς και προφίλ λειτουργίας της μηχανολογικής εγκατάστασης

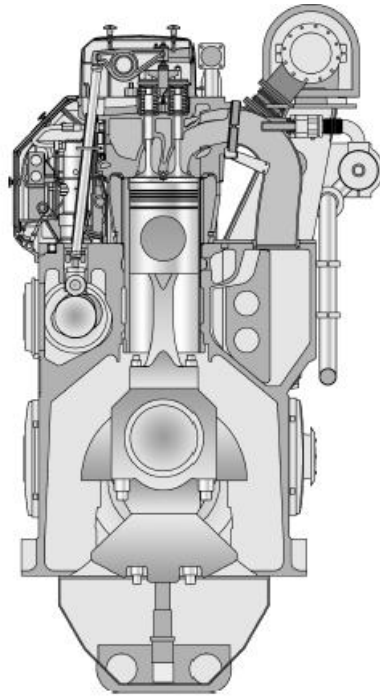
Engine I.D	Power (kW)				
50 DF	7330				
50 DF	7330				
34 DF	2610				
34DF	2610				
20DF	1056				
Total Available	20936				
Condition	Aux	Total Power	Engines Operating	Power	Load
Normal Sea Going	522.523	13814.523	2 X 50,1 X34	17270	0.799
Manoeuvring	991.294	4314.294	2X34	7330	0.826
Manoeuvring II	765.494	4088.494	2X34	7330	0.783

Cargo Unloading	2526.212	2526.212	1 X 34, 1 X 20	3666	0.689092199
Port	478.212	478.212	1X20	1056	0.452852273

6.4.3 Ηλεκτρογενήτρια 8L50 DF

Αυτά είναι τα πρωτογενή σετ γεννητριών και χρησιμοποιούνται για την κάλυψη του φορτίου προώθησης του συστήματος. Το φορτίο τους είναι περίπου στο 75 % της μέγιστης ισχύος τους για να είναι εξασφαλισμένη η πρόσδοση της απαραίτητης ισχύος καθώς χρησιμοποιείται και μία γεννήτρια μικρότερης ισχύος (34DF). Η Wärtsilä 50DF είναι 4-χρονη, μη αναστρέψιμη, υπερτροφοδοτούμενη - εσώψυκτη με απευθείας έγχυση του υγρού καυσίμου και έμμεση έγχυση καυσίμου αερίου. Η Wärtsilä 50DF κινητήρας λειτουργεί σε πρόγραμμα καύσης φτωχού μίγματος. Η φτωχή καύση επιτρέπει την υψηλή αναλογία συμπίεσης, η οποία συμβάλλει στην αύξηση της ενεργειακής απόδοσης του κινητήρα με την σειρά του, μειώνει τις μέγιστες θερμοκρασίες, και, επομένως μειώνει επίσης τις εκπομπές NOX. Τόσο η εισαγωγή του φυσικού αερίου και η πιλοτική έγχυση καυσίμου ελέγχονται ηλεκτρονικά. Οι λειτουργίες του κινητήρα ελέγχονται από ένα προηγμένο σύστημα αυτοματισμού που επιτρέπει τις βέλτιστες συνθήκες λειτουργίας που θα καθοριστούν, ανεξάρτητα από τις συνθήκες του περιβάλλοντος ή του τύπου καυσίμου. Ο κινητήρας είναι πλήρως συμβατός με τους κανονισμούς του IMO Tier II σχετικά με τις εκπομπές καυσαερίων που ορίζονται στο παράρτημα VI της MARPOL 73/78 σύμβαση. Τα κύρια χαρακτηριστικά του κινητήρα είναι τα ακόλουθα:

Cylinder bore 500 mm
 Stroke 580 mm
 Piston displacement 113.9 l/cyl
 Number of valves 2 inlet valves and 2 exhaust valves
 Cylinder configuration 6, 8 and 9 in-line; 12, 16 and 18 in V-form
 V-angle 45°
 Direction of rotation clockwise
 Speed 500, 514 rpm
 Mean piston speed 9.7, 9.9 m/s



Σχήμα 22. Πλάγια όψη της μηχανής 8L50 DF (Wartsila)

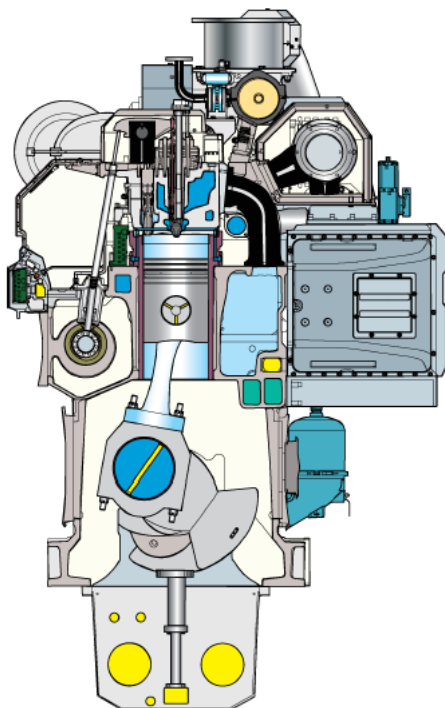
6.4.4 Ηλεκτρογεννήτρια 6L34 DF

Αυτά τα σετ γεννητριών συμπληρώνουν το δίδυμο των 8L50 DF στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, ιδίως στις πιο απαιτητικές συνθήκες, όπως το πλήρες φορτίο στην κανονική κατάσταση πλεύσης. Το πεδίο εφαρμογής της χρήσης αυτών των κινητήρων είναι η βελτιστοποίηση του φορτίου της κάθε γεννήτριας και επιπλέον έχει την ενεργό υποστήριξη και των υπόλοιπων γεννητριών στην περίπτωση διακοπής ρεύματος ή συντήρησης. Η Wärtsilä 34DF είναι μία 4-χρονη, μη αναστρέψιμη, και υπερτροφοδοτούμενη –εσώψυκτη με απευθείας έγχυση του υγρού καυσίμου και έμμεση έγχυση καυσίμου αερίου. Ο κινητήρας μπορεί να λειτουργεί με φυσικό τρόπο είτε με αέριο είτε με ντίζελ.

Cylinder bore	340 mm
Stroke	400 mm
Piston displacement	36.3 l/cyl
Number of valves	2 inlet valves and 2 exhaust valves
Cylinder configuration	6 and 9 in-line; 12 and 16 in V-form
Direction of rotation	clockwise, counterclockwise on request
Speed	720, 750 rpm
Mean piston speed	9.6, 10.0 m/s

Επιπλέον, κατά την διάρκεια της πλεύσης με χαμηλό φορτίο (π.χ. Slow Steaming), ή στην κατάσταση ελιγμών το δίδυμο 6L34 DF χρησιμοποιούνται στη θέση των μεγαλύτερων σετ γεννητριών και έτσι αυτές λειτουργούν στο βέλτιστο σημείο λειτουργίας από την άποψη της ειδικής κατανάλωσης καυσίμου. Η ευελιξία αυτή

άλλωστε είναι η βασική αξία του πλήρως εξηλεκτρισμένου πλοίου. Η διατομή του κυλίνδρου φαίνεται παρακάτω:



Σχήμα 23. Πλάγια όψη της μηχανής 6L34 DF (Wartsila)

6.4.5 Ηλεκτρογεννήτρια **6L20 DF**

Αυτή η μικρότερη γεννήτρια χρησιμοποιείται για τα φορτία στο λιμάνι, ώστε να αποφευχθεί η πολύ μικρή φόρτιση των άλλων ηλεκτρογεννητριών κάτι το οποίο δεν θα ήταν αποδοτικό. Στο λιμάνι υπάρχει η δυνατότητα να απενεργοποιείται αυτή η ηλεκτρογεννήτρια καθώς θα λειτουργούν οι κυψέλες καυσίμου και ίσως και να υπάρχει παροχή ηλεκτρισμού από την ξηρά.

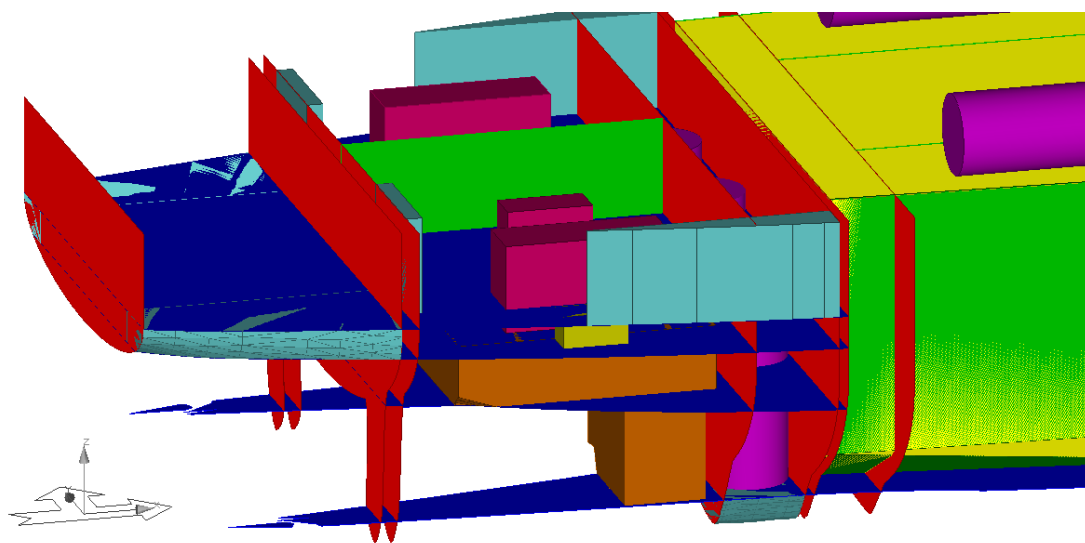
6.5 Διάταξη χώρου μηχανοστασίου

Η διάταξη του μηχανοστασίου διαμορφώθηκε στο ναυπηγικό πρόγραμμα AVEVA προκειμένου να υπάρχει η δυνατότητα να μελετηθεί η φόρτωση, η διαγωγή και η ευστάθεια του πλοίου. Οι δεξαμενές υγροποιημένου φυσικού αερίου ελήφθησαν επίσης υπόψη.

Η θέση του μηχανοστασίου ορίστηκε στα ανώτερα μέρη του πλοίου, ένα επίπεδο κάτω από το κύριο κατάστρωμα. Αυτό το χαρακτηριστικό τοποθέτησης το οποίο έχει εφαρμοστεί ήδη σε κάποια πλοία μπορεί να επιτρέψει την ευκολότερη συντήρηση των κινητήρων μαζί με την ταχύτερη αφαίρεση εξαρτημάτων σε περιπτώσεις επισκευών και συντηρήσεων. Το κατάστρωμα των μηχανών υποδιαιρείται στην εγκάρσια κατεύθυνση με μία φρακτή από πυρίμαχο υλικό, ώστε να παρέχει ασφάλεια σε περίπτωση έκρηξης (π.χ. έκρηξη στροφαλοφόρου άξονα) ενός κινητήρα. Το

μηχανοστάσιο είναι διαχωρισμένο συμμετρικά (για σκοπούς κλίσης) και έτσι έχουν τοποθετηθεί ένας μεγάλος και ένας μικρός κινητήρας. Το μηχανοστάσιο περιορίζεται στο κατάστρωμα πλατφόρμα με δύο διαφράγματα. Πίσω από το μηχανοστάσιο και στο ίδιο κατάστρωμα, βρίσκονται οι χώροι ελέγχου και οι γενικοί πίνακες. Υπάρχει και μία γενική μονάδα ελέγχου η οποία και συντονίζει και ελέγχει όλες τις γεννήτριες μαζί και έτσι μπορεί να λειτουργεί το μηχανοστάσιο χωρίς την παρουσία ανθρώπων σε αυτό. Αυτό μπορεί να θεωρηθεί ως μέτρο ασφάλειας, δεδομένου ότι η περιοχή αυτή σφραγίζεται από ένα εγκάρσιο διάφραγμα στην μπροστά πλευρά και το καθρέπτη από πίσω, δημιουργώντας έτσι ένα "φρούριο" το οποίο έχει απομονωθεί και μπορεί να έχει τον πλήρη έλεγχο του πλοίου, ακόμη και όταν το πλοίο βρίσκεται υπό επίθεση από πειρατές, χωρίς περιορισμό για την ασφάλεια του πληρώματος και του πλοίου.

Κάτω από την πλατφόρμα του κινητήρα υπάρχει ένα μικρό κατάστρωμα (2μ) που τοποθετείται το λιπαντικό αποθήκευσης και οι δεξαμενές κατακαθίσεων για τις κύριες μηχανές και είναι εύκολα προσβάσιμο από την κύρια πλατφόρμα. Παρακάτω το τρίτο κατάστρωμα φιλοξενεί τις κύριες δεξαμενές μαζούτ που βρίσκονται σε συμμόρφωση με κανονισμούς της SOLAS για το κενό διάστημα μεταξύ του περιβλήματος του σκάφους και των ορίων της δεξαμενής.



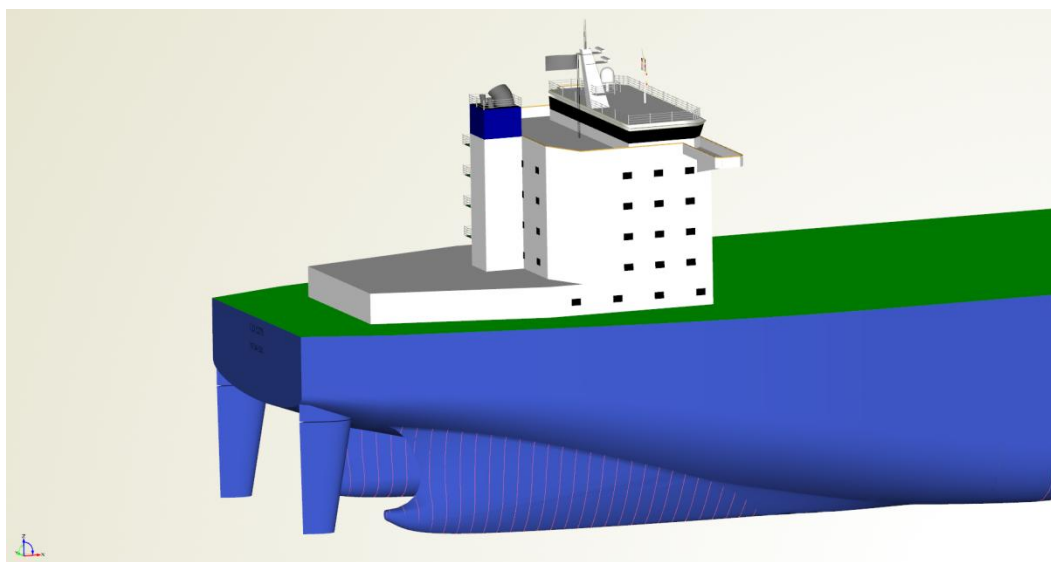
Σχήμα 24. Αποτύπωση της γενικής διάταξης από το πρόγραμμα AVEVA όπου φαίνονται οι ηλεκτρογεννήτριες και όλες οι δεξαμενές

6.6 Διαμόρφωση μηχανοστασίου

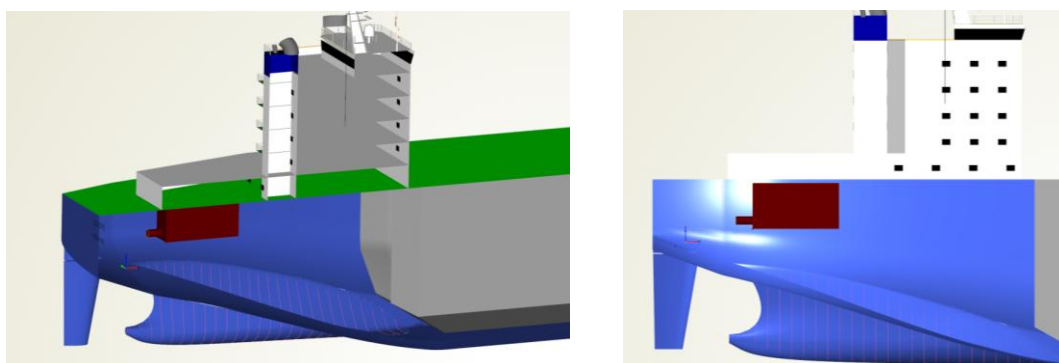
Η μετατόπιση του μηχανοστασίου από τη χαμηλότερη θέση στη νέα πλατφόρμα κοντά στο κατάστρωμα κάνει το νέο τροποποιημένο μηχανοστάσιο μια ευνοϊκή λύση, κυρίως λόγω της ικανότητας των κινητήρων να αφαιρεθούν και να αντικατασταθούν εύκολα λόγω της θέσης τους αλλά και λόγω του μικρού βάρους τους.

Σε μια τέτοια περίπτωση το πλοίο είναι εξοπλισμένο με κινητήρες που δεν ανήκουν στον πλοιοκτήτη ή τον διαχειριστή, αλλά στον κατασκευαστή του κινητήρα. Αντί της αγοράς ενός νέου κινητήρα ο ιδιοκτήτης / διαχειριστής του πλοίου έχει μία σύμβαση μίσθωσης με τον κατασκευαστή του κινητήρα για την παροχή αδιάκοπα ηλεκτρογεννητριών. Αυτό έχει ήδη εφαρμοστεί με επιτυχία στην αεροπορική βιομηχανία, όπου υπάρχουν προγράμματα χρηματοδοτικής μίσθωσης που έχουν διάρκεια από 1 ταξίδι έως και για 10 χρόνια. Σε ένα τέτοιο σύστημα, που έχει ως προϋπόθεση την ύπαρξη μιας πολύ ανεπτυγμένης προσφοράς και της εφοδιαστικής αλυσίδας για τα ανταλλακτικά και τις μηχανές, ο διαχειριστής έχει πρόσβαση σε μια βάση δεδομένων με τις διαθέσιμες μηχανές σε αρκετές θέσεις (λιμάνια) σε όλο τον κόσμο ανάλογα με το δίκτυο παροχής που διαθέτει ο κατασκευαστής του κινητήρα. Με βάση τη διαθεσιμότητα και τη διαδρομή του πλοίου ο πελάτης μπορεί να προγραμματίσει την επόμενη επιθεώρηση-επισκευή του πλοίου να συμπέσει με την περίοδο αντικατάστασης της μηχανής. Αυτό σημαίνει ότι για την περίοδο μέχρι την επόμενη επιθεώρηση (συνήθως 5 χρόνια) ο μηχανισμός αυτός μπορεί να θεωρηθεί ως καινούργιος και να πραγματοποιηθούν οι λιγότερες συντηρήσεις που κάνει κατά τη διάρκεια της αρχικής περιόδου. Μια άλλη πτυχή αυτού του νέου τύπου της σύμβασης είναι ότι κατά τη διάρκεια των περιόδων με χαμηλή ζήτηση στην αγορά και χωρίς πολλά ταξίδια του πλοίου (που μπορεί να διαρκέσει από μερικές ημέρες έως δύο χρόνια), ο ιδιοκτήτης του πλοίου μπορεί να καταργήσει την εγκατάσταση των γεννητριών και να αποφύγει την αναγκαία συντήρηση και διατήρηση τους, ενώ έχει ακόμα αποθέματα ηλεκτρικής ενέργειας επί του σκάφους από το σύστημα κυψελών καυσίμου και της γεννήτριας εκτάκτου ανάγκης.

Οι επιπτώσεις του σχεδιασμού αυτής της ιδέας διάταξης κυρίως έχουν να κάνουν με τη διαρρύθμιση του χώρου διαμονής και το κύριο κατάστρωμα, καθώς και στη διαχρονική θέση του μηχανοστασίου. Στο κύριο κατάστρωμα πρέπει να υπάρχουν ανοίγματα, ώστε να μπορέσουν οι μηχανές να αφαιρεθούν. Αυτές οι καταπακτές, ωστόσο, πρέπει να είναι τόσο υδατοστεγή, ώστε να είναι σε συμμόρφωση με τα κριτήρια του IMO για την ευστάθεια πλοίου σε περίπτωση βλάβης (όπως καθορίζεται στη MARPOL 73/78). Τελευταία, το ανώτερο κατάστρωμα των χώρων ενδιαίτησης πρέπει να μετατοπιστεί προς τα εμπρός, ενώ το πρυμναίο τμήμα της, πρέπει να έχει μόνο ένα κάλυμμα για τις κύριες καταπακτές του καταστρώματος. Η απεικόνιση όλης αυτής της καινοτόμας διάταξης φαίνεται στην ακόλουθη εικόνα που λαμβάνεται από το πρόγραμμα σχεδιασμού Friendship



Σχήμα 25. Γενική διάταξη των υπερκατασκευών



Σχήμα 26. Απεικόνιση της γενικής διάταξης της μηχανολογικής εγκατάστασης

6.7 Ανάκτηση χαμένης θερμότητας και θερμική ανάλυση

Λόγω της μεγάλης ισχύς που παρέχεται από τις ηλεκτρογεννήτριες κρίνεται απαραίτητο να αυξηθεί ο βαθμός απόδοσης της όλης μηχανολογικής εγκατάστασης. Η χρήση του υγροποιημένου φυσικού αερίου σαν καύσιμο καύσης επιτρέπει την ανάκτηση θερμότητας με πολύ υψηλή απόδοση από ακόμα χαμηλότερες θερμοκρασίες από εκείνες του απλού πετρελαίου, λόγω της απουσίας του θείου και οξειδίων του θείου στο καύσιμο αυτό. Ωστόσο, κατά τη διάρκεια της λειτουργία με πετρέλαιο η θερμοκρασία πρέπει να είναι πάνω από 160°C, προκειμένου να αποφευχθεί η υποβάθμιση και η διάβρωση της εξάτμισης. Αυτό είναι ένα ζήτημα το οποίο και απαιτεί προσεκτική διαστασιολόγηση στις διατάξεις των βαλβίδων παράκαμψης στο στάδιο του σχεδιασμού για την εξάτμιση. Για το εύρος των εργασιών στο πλαίσιο αυτό και την συνοπτική περιγραφή του σχεδιασμού, είναι επιτακτική ανάγκη να υπολογιστεί το ποσό της ενέργειας που μπορεί να ανακτηθεί και να χρησιμοποιηθεί από ένα τέτοιο σύστημα. Αυτό είναι εφικτό χάρη στο ποσό

των καυσαερίων και της θερμοκρασίας που παρέχονται από τον οδηγό του προϊόντος του κατασκευαστή του κινητήρα.

Το σύστημα ανάκτησης θερμότητας των αποβλήτων επί του σκάφους είναι χωρισμένο σε δύο διαφορετικά υποσυστήματα, ένα για κάθε τύπο κινητήρα. Οι κινητήρες θεωρούνται ότι εργάζονται σε φορτίο 75%, για την κανονική κατάσταση πλεύσης η οποία είναι η πιο έντονη κατάσταση.

Πίνακας 87. Πίνακας ανάκτησης θερμότητας από τον ανακομιστή θερμότητας

NORMAL SEA GOING CONDITION					
		LNG		DIESEL	
EGB 1		amount	T exhaust	amount	T exhaust
Input	50DF1	9.5	424	11.9	351
	50DF2	9.5	424	11.9	351
Boiler Heat	m corr	19		23.8	
	Tout	100		170	
	ΔT	324		181	
	t air	45		50	
	Cp o	1.015		1.015	
	Cp exhaust	1.12		1.095	
	Cp mean	1.0675		1.055	
	Q	6571.53	kW	4544.729	kJ/s

Η παραγωγή θερμότητας από τη διαδικασία ανάκτησης της χαμένης θερμότητας μπορεί να θεωρηθεί υψηλή, κυρίως χάρη στη μεγάλη διαφορά του και της θερμοκρασίας εισόδου και εξόδου το αυξημένο ποσό του φυσικού αερίου. Η θερμοχωρητικότητα των καυσαερίων κατευθύνεται προς ένα λέβητα καυσαερίων που παράγει ατμό. Ο ατμός που παράγεται, ανάλογα με το φορτίο του λέβητα μπορεί να κατευθύνεται είτε σε αμοστρόβιλο που συνδέεται με μια γεννήτρια ή να χρησιμοποιείται για την θέρμανση του φορτίου και για πιο γενικούς σκοπούς. Καθώς το σκάφος χρησιμοποιεί το σύστημα αντλιών FRAMO, ο ατμός δεν είναι πλέον αναγκαίος (και ως εκ τούτου οι βοηθητικοί λέβητες μειώνεται στο ένα αντί για δύο). Για αυτό το λόγο, ο ατμός που παράγεται από αυτό το λέβητα μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με αμοστρόβιλο.

Πίνακας 88. Πίνακας ανάκτησης θερμότητας από τον ανακομιστή θερμότητας

NORMAL SEA GOING CONDITION					
		LNG		DIESEL	
EGB 2		amount	T exhaust	amount	T exhaust
Input	34DF	3.4	425	4	375
Boiler Heat	m corr	3.4		4	
	Tout	100		160	
	ΔT	325		215	
	t air	45		50	
	Cp o	1.015		1.015	
	Cp exhaust	1.122		1.105	
	Cp mean	1.0685		1.06	
	Q	1180.6925	kW	911.6	kJ/s

Για τους μικρότερους κινητήρες, στην κατάσταση πλεύσης του πλοίου χρησιμοποιείται μόνο ο ένας από τους δύο ενώ στην κατάσταση των ελιγμών χρησιμοποιούνται και οι δύο. Για αυτό το είδος των πλεύσεων, είναι προφανές ότι το ποσό της ανακτημένης θερμότητας είναι πολύ μικρότερο σε σύγκριση με τις μεγαλύτερες μηχανές που συνδέονται με τον ανακομιστή θερμότητας. Για αυτό το λόγο ο ατμός που παράγεται εδώ μπορεί να χρησιμοποιηθεί εν πλω.

Στο επόμενο κεφάλαιο για το υβριδικό σύστημα πρόωσης, μπορεί κανείς να βρει περισσότερες πληροφορίες σχετικά με το επιλεγμένο σύστημα ατμού και ενέργειας που μπορεί να παραχθεί από αυτό.

6.8 Υβριδικό σύστημα πρόωσης

Σε αυτό το κεφάλαιο περιγράφονται τα εξαρτήματα του υβριδικού συστήματος πρόωσης όπως επίσης και διαστασιολογούνται. Συνήθως όταν κάποιος αναφέρεται στην υβριδική πρόωση θεωρείται πως η παραγωγή ενέργειας αποτελείται από διαφορετικές πηγές παραγωγής. Σε ένα θαλάσσιο περιβάλλον, η υβριδοποίηση όπως ονομάζεται μπορεί να ερμηνευθεί ως η χρήση των πρόσθετων μονάδων παραγωγής ενέργειας όπως οι κυψέλες καυσίμου, οι μονάδες ανάκτησης θερμότητας των αποβλήτων, οι μικροί αεριοστρόβιλοι, μπαταρίες λιθίου, ηλιακοί συλλέκτες, κλπ.

Για την περίπτωση του πλοίου που μελετάται στην παρούσα διπλωματική εργασία δοκιμάστηκαν πολλές δυνατές επιλογές υβριδικής λειτουργίας. Η τελική υβριδική λύση για αυτό το πλοίο περιλαμβάνει έναν αμοστρόβιλο που παράγει ηλεκτρική ενέργεια από τη θερμότητα των αποβλήτων των γεννητριών και των κυψελών καυσίμου σε δοχεία στο πρυμναίο μέρος του καταστρώματος. Οι μπαταρίες λιθίου επίσης θεωρήθηκαν ως πιθανή πηγή ενέργειας, αλλά δεν μπορούν να παρέχουν μια σταθερή παραγωγή του εναλλασσόμενου ρεύματος. Άλλες καινοτομίες που δεν είχαν ληφθεί υπόψη είναι ο βαθμός της καινοτομίας που είναι αρκετά υψηλός με αποτέλεσμα τη συνολική αύξηση του κόστους του αρχικού απαιτούμενου κεφαλαίου.

Συνοψίζοντας, τα στοιχεία του υβριδικού συστήματος που αποσκοπούν στην ενίσχυση των βασικών μονάδων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας επιλέχθηκαν να είναι για ένα σύστημα κυψελών καυσίμου (με φυσικό αέριο ως καύσιμο) και μια γεννήτρια αμοστρόβιλου.

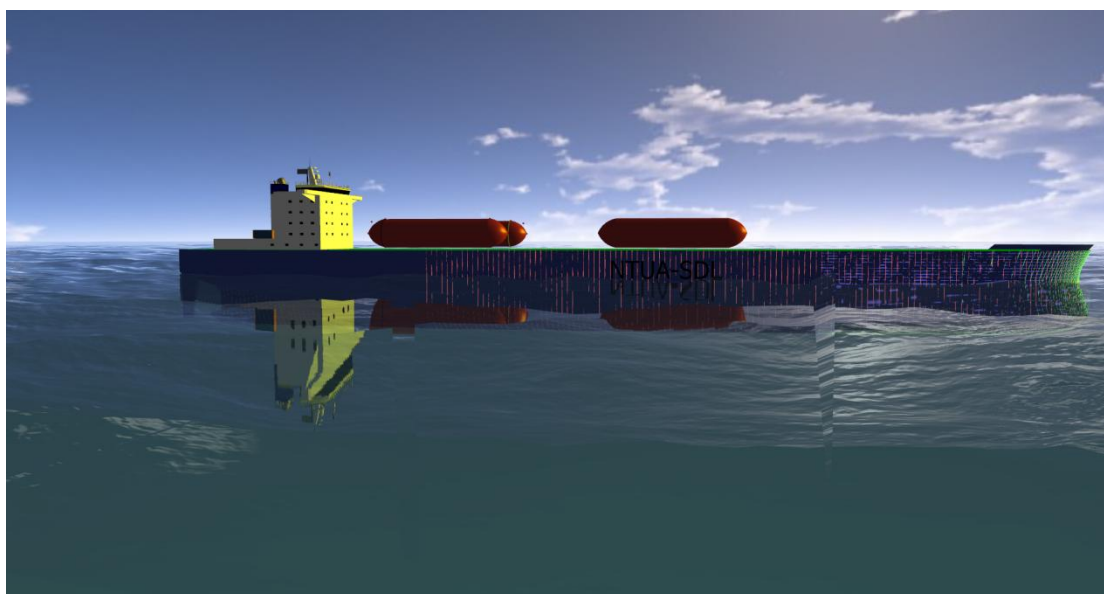
6.9 Τεχνολογία κυψελών καυσίμου σε υβριδικό σύστημα

Μια κυψέλη καυσίμου είναι μια συσκευή η οποία μετατρέπει άμεσα τη χημική ενέργεια ενός καυσίμου, όπως το υδρογόνο που είναι πλούσιο στο φυσικό αέριο. Παράγει, επίσης, τη θερμότητα, η οποία σε ορισμένες εφαρμογές μπορεί να είναι ένα χρήσιμο υποπροϊόν. Τα συστήματα αποτελούνται από τρία βασικά στοιχεία, η καρδιά των οποίων είναι η ίδια η κυψέλη καυσίμου. Το υποσύστημα παροχής καυσίμου, συνήθως είναι ένας επεξεργαστής για την παραγωγή αερίου υδρογόνου και ένα ηλεκτρικό μετατροπέα, για την παροχή ηλεκτρικής ενέργειας σε μια μορφή σε μια μορφή χρήσιμη για το χρήστη. Τα χαρακτηριστικά και η απόδοση των κυψελών καυσίμου μπορούν να διαφοροποιούνται αρκετά καθώς εξαρτώνται από την ποιότητα των ηλεκτροδίων, ηλεκτρολυτών και καταλυτών.

6.10 Διάταξη δεξαμενών φυσικού αερίου

Το χωροταξικό πρόβλημα είναι ίσως το πιο σημαντικό πρόβλημα που έχουν να αντιμετωπίσουν οι σχεδιαστές των πλοίων τα οποία είτε θα μεταφέρουν είτε θα χρησιμοποιούν σαν καύσιμο λειτουργίας το φυσικό αέριο. Το φυσικό αέριο απαιτεί πολύ μεγαλύτερους όγκους δεξαμενών για αποθήκευση καθώς η πυκνότητα του είναι πολύ μικρότερη από αυτή του υγρού καυσίμου πετρελαίου. Στην διαμόρφωση των δεξαμενών για την αποθήκευση του φυσικού αερίου που χρειάζεται το πλοίο της διπλωματικής μας για να εξασφαλιστεί η πλευση του καταλήξαμε στο συμπέρασμα πως θα ήταν ιδανικότερο η τοποθέτηση των δεξαμενών να γίνει στο κατάστρωμα του πλοίου όπως και φαίνεται στην παρακάτω εικόνα. Είναι ένα μέτρο σχεδιασμού το οποίο έχει πολλά πλεονεκτήματα αλλά και μειονεκτήματα. Ένα από τα πλεονεκτήματα του είναι πως η αποθήκευση του φυσικού αερίου δεν καταλαμβάνει χώρο αποθήκευσης φορτίου οπότε και δεν έχουμε μείωση της μεταφορικής ικανότητας του πλοίου κάτι το οποίο είναι πάρα πολύ σημαντικό. Ένα από τα

μειονεκτήματα του είναι πως οι δεξαμενές βρίσκονται σε πολύ ευκολοπρόσβατο σημείο για τους πειρατές με αποτέλεσμα να αντιμετωπίσει το πλοίο περισσότερους κινδύνους. Το κόστος των δεξαμενών αυτών είναι αρκετά μεγάλο αλλά μπορεί να γίνει πολύ εύκολη απόσβεση της επένδυσης αυτής μέσα σε λίγο χρονικό διάστημα από την λειτουργία του πλοίου. Στην περίπτωση του πλοίου που μελετάμε ο όγκος των δεξαμενών στο κατάστρωμα δεν επαρκούσε για να μπορέσουμε να εξασφαλίσουμε την κάλυψη όλης της ακτίνας ενέργειας του πλοίου και για αυτό το λόγο τοποθετήθηκαν και άλλες 3 δεξαμενές ίδιου τύπου με αυτές στο κατάστρωμα μέσα στο εσωτερικό του πλοίου καθύψος και στον χώρο που υπάρχει ανάμεσα στο μηχανοστάσιο και στο φορτίο. Με την προσθήκη αυτών των δεξαμενών επιτεύχθηκε η συμπλήρωση της απαιτούμενης ποσότητας φυσικού αερίου για την πλεύση του πλοίου. Στην **Σχήμα 27** φαίνεται ξεκάθαρα η διάταξη των δεξαμενών καυσίμου στο κατάστρωμα.



Σχήμα 27. Διάταξη δεξαμενών αποθήκευσης φυσικού αερίου στο κατάστρωμα

Η προσθήκη όλων αυτών των καινοτομιών στο πλοίο οδηγεί στην δημιουργία ενός πολύ ανταγωνιστικού μοντέλου πλοίου το οποίο αρχικά θα έχει κάπως μεγαλύτερο κόστος κατασκευής αλλά τα πλεονεκτήματα και τα οφέλη που θα αποδίδονται στον πλοιοκτήτη θα είναι τεράστια. Μία πολύ ενδιαφέρουσα προσέγγιση θα ήταν να μπορέσουμε να εκφράσουμε την λειτουργία αυτού του πλοίου συγκριτικά με τα πλοία τα οποία και κυκλοφορούν αυτή τη στιγμή στις θάλασσες για να μπορέσουμε να έχουμε μία απεικόνιση του αντίκτυπου στο περιβάλλον της λειτουργίας ενός τέτοιου πλοίου. Σε αυτήν την διπλωματική εργασία χρησιμοποιώντας το υπολογιστικό εργαλείο που κατασκευάστηκε θα προσπαθήσουμε να απεικονίσουμε την περιβαλλοντική εικόνα του πλήρους εξηλεκτρισμένου πλοίου που σχεδιάστηκε.

Για σενάριο λειτουργίας θεωρήθηκε το πραγματικό προφίλ λειτουργίας ενός αντίστοιχου πλοίου με αυτό που σχεδιάσαμε και το οποίο λαμβάνει υπόψη του πως το

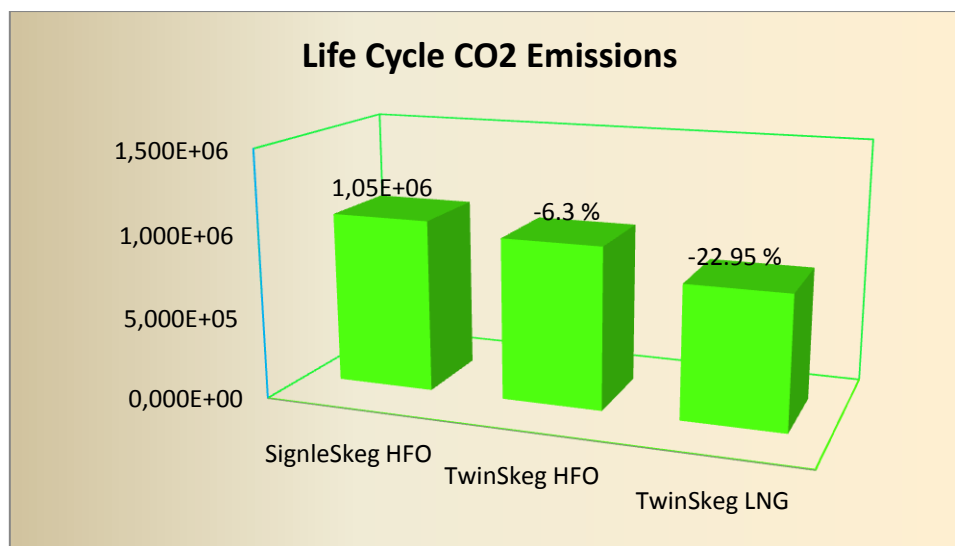
πλοίο μας δραστηριοποιείται στην περιοχή της Καραϊβικής όπου και μεταφέρει πετρέλαιο και αυτό γίνεται για όλα τα χρόνια λειτουργίας του πλοίου. Θα εξεταστεί μόνο ένα σενάριο κανονικής λειτουργίας με πραγματικές ταχύτητες και έτσι θα πραγματοποιηθεί μία σύγκριση μεταξύ ενός απλού συμβατικού πλοίου που πραγματοποιεί αυτή τη στιγμή το δρομολόγιο αυτό, με ένα αντίστοιχο πλοίο διπλέλικο όπου και αυτό θα χρησιμοποιεί κανονικό καύσιμο για πρόωση και στην συνέχεια αυτά τα δύο θα συγκριθούν με το πλήρως εξηλεκτρισμένο πλοίο διπλέλικο και θα γίνει παρουσίαση των αποτελεσμάτων σχετικά με το περιβαλλοντολογικό αποτύπωμα της λειτουργίας των πλοίων αυτών. Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της μελέτης μας

6.11 Παρουσίαση αποτελεσμάτων

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω σε αυτό το κεφάλαιο γίνεται η παρουσίαση των αποτελεσμάτων της μελέτης μας όπου και χρησιμοποιώντας το υπολογιστικό μας εργαλείο που δημιουργήσαμε εξετάζουμε τις εκπομπές των αέριων ρύπων που προέρχονται από την λειτουργία της μηχανολογικής εγκατάστασης του πλοίου μας για όλη την διάρκεια ζωής του πλοίου που στην συγκεκριμένη περίπτωση την έχουμε θεωρήσει ίση με 25 χρόνια. Στα παρακάτω διαγράμματα απεικονίζονται τα συγκριτικά αποτελέσματα ανάμεσα στα 3 πλοία που συγκρίνουμε για τα δεδομένα σενάρια και προφίλ λειτουργίας που έχουμε περιγράψει. Οι κατηγορίες των αέριων ρύπων που θα μελετηθούν είναι αυτές που ερευνήθηκαν και στα προηγούμενα σενάρια. Ο τρόπος με τον οποίο και προσεγγίστηκαν οι υπολογισμοί από το υπολογιστικό μας μοντέλο είναι μέσω των συντελεστών εκπομπής αέριων ρύπων οι οποίοι φαίνονται στον **Πίνακα 89** και σύμφωνα με τους οποίους προκύπτουν τα γραμμάρια αέριων εκπομπών τα οποία προκύπτουν ανά κιλοβατώρα λειτουργίας με την χρήση του φυσικού αερίου.

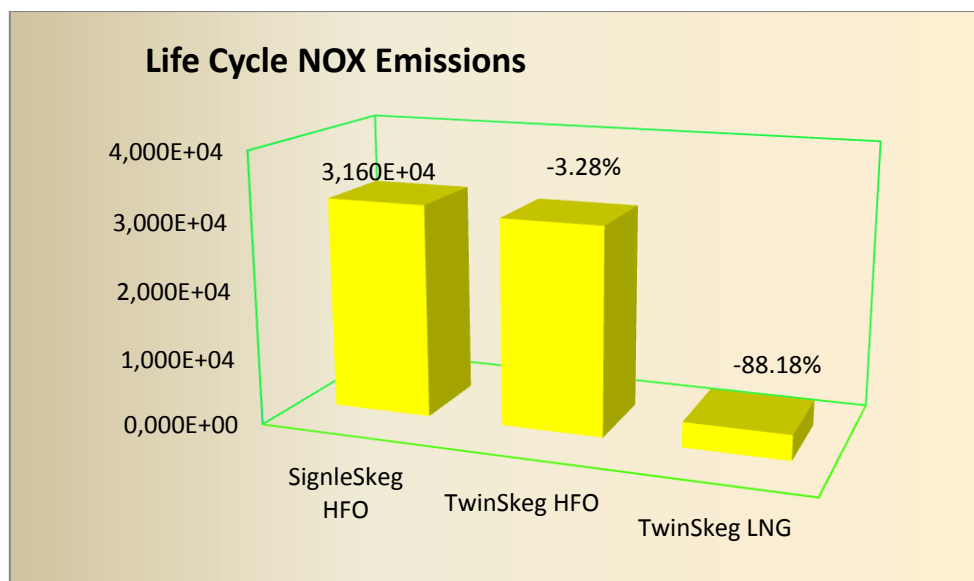
Πίνακας 89. Συντελεστές εκπομπών φυσικού αερίου

	SOX(gr/kwh)	NOX(gr/kwh)	PM(gr/kwh)	CO2(gr/kwh)
RESIDUAL OIL 3.5 %	13	9--12	1,5	580-630
LNG	0	2	0,075	430-480



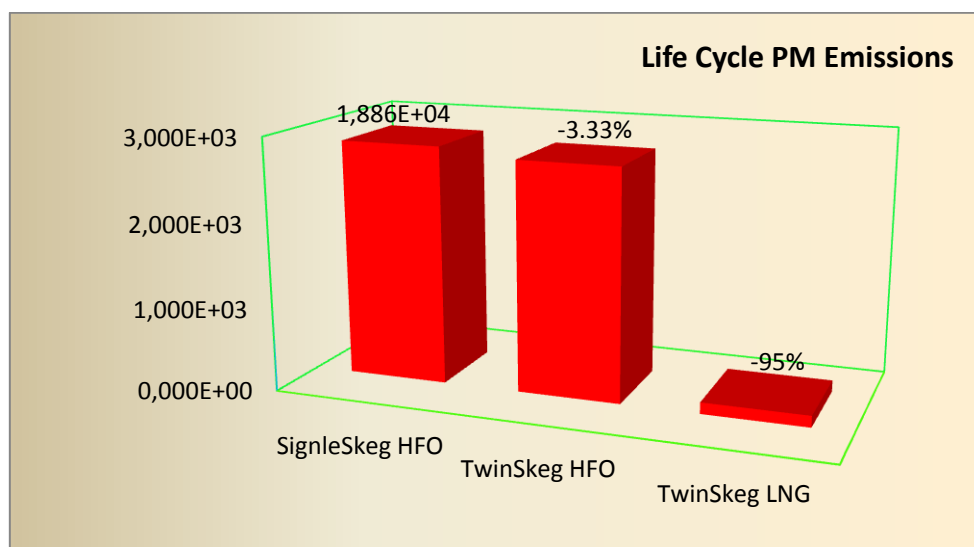
Διάγραμμα 17. Συγκριτικές εκπομπές CO2 στον κύκλο ζωής του πλοίου

Στο **Διάγραμμα 17** απεικονίζονται οι συνολικές εκπομπές CO2 στην διάρκεια ζωής των πλοίων. Στην πρώτη μπάρα περιγράφεται οι εκπομπές που προκύπτουν από την λειτουργία ενός συμβατικού πλοίου μονέλικο όπως ακριβώς είναι η πλειοψηφία των πλοίων σήμερα που κυκλοφορούν στις θάλασσες ανά τον κόσμο. Το πλοίο αυτό κινείται χρησιμοποιώντας σαν καύσιμο πετρέλαιο και παρατηρούμε πως οι εκπομπές του κυμαίνονται κοντά στο 10^6 τόννους τιμή η οποία είναι λογική και αποδεκτή σύμφωνα και με τα προηγούμενα σενάρια που έχουμε εξετάσει γύρω από τα συμβατικά πλοία. Παρατηρούμε μία μείωση καθώς το πλοίο μας από απλό μονέλικο μετατρέπεται σε ένα διπλέλικο πιο νέας τεχνολογίας και αυτό οφείλεται στο ότι το διπλέλικο πλοίο μπορεί να έχει την ίδια απαίτηση σε ισχύ για να κινηθεί αλλά μπορεί και διαμοιράζει το φορτίο αυτό σε δύο μηχανές μικρότερης ισχύος από την αντίστοιχη του μονέλικο και αυτό έχει σαν αποτέλεσμα η συνολική κατανάλωση του πλοίου σε αυτήν την περίπτωση να είναι αρκετά μικρότερη σε σχέση με το απλό μονέλικο πλοίο. Παρατηρώντας την Τρίτη μπάρα στα δεξιά του διαγράμματος βλέπουμε τις συνολικές εκπομπές CO2 που προέρχονται από την λειτουργία του πλήρως εξηλεκτρισμένου πλοίου που χρησιμοποιεί το φυσικό αέριο σαν καύσιμο λειτουργίας. Βλέπουμε πως σε σχέση με το απλό συμβατικό μονέλικο πλοίο υπάρχει μία μείωση της τάξης του 22.3 % και η οποία είναι αρκετά μεγάλη αλλά και αναμενόμενη καθώς υπάρχει αντίστοιχη μείωση και στους συντελεστές εκπομπής CO2 ανάμεσα σε πετρέλαιο και φυσικό αέριο.



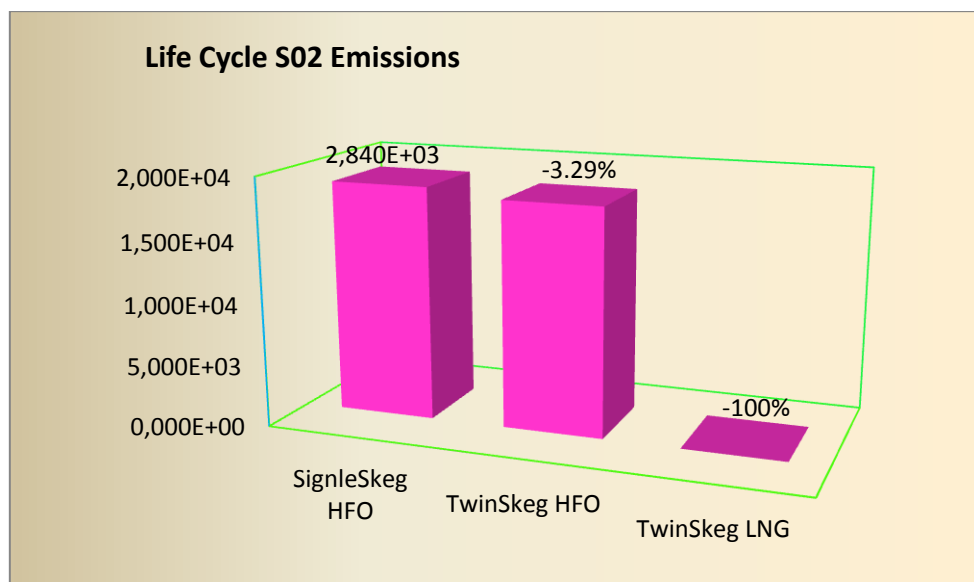
Διάγραμμα 18. Συγκριτικές εκπομπές NOX στον κύκλο ζωής του πλοίου

Στο **Διάγραμμα 18** παρουσιάζονται τα συνολικά συγκριτικά αποτελέσματα για τις εκπομπές NOX σε όλη τη διάρκεια ζωής του πλοίου όπου και βλέπουμε πως και σε αυτήν την περίπτωση λόγω ιδανικότερης λειτουργίας των μηχανών στην περίπτωση του διπλέλικου πλοίου έχουμε μία μικρή μείωση σε σχέση με το συμβατικό μονέλικο πλοίο. Στην περίπτωση του πλήρως εξηλεκτρισμένου πλοίου παρατηρούμε μία πολύ μεγάλη μείωση της τάξης του 88% σε σχέση με το συμβατικό πλοίο και αυτό προκύπτει από το γεγονός ότι η καύση του φυσικού αερίου παράγει ελάχιστες έως και μηδενικές ποσότητες NOX με αποτέλεσμα το οι συνολικές εκπομπές από την λειτουργία του πλοίου να τείνουν προς το μηδέν όπως φαίνεται και στο **Διάγραμμα 19**.

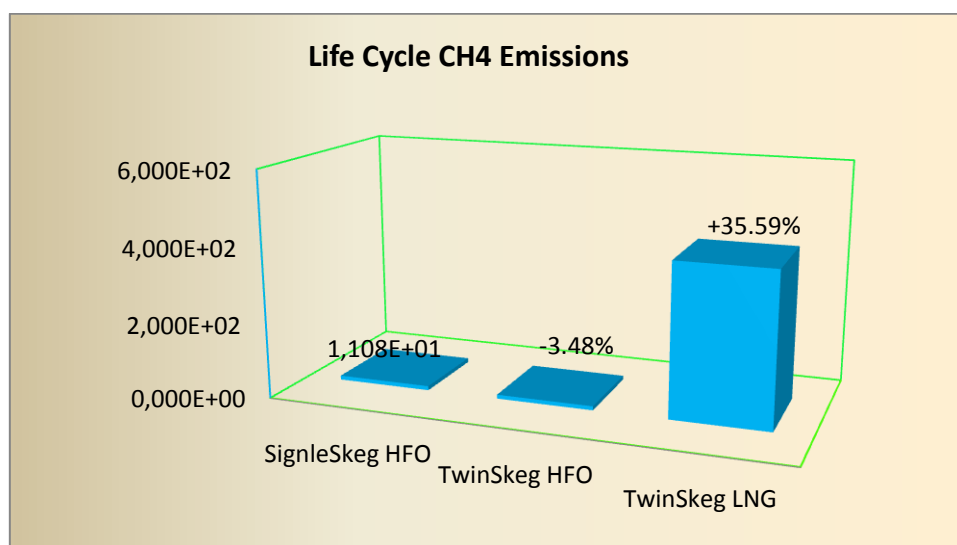


Διάγραμμα 19. Συγκριτικές εκπομπές PM στον κύκλο ζωής του πλοίου

Στο **Διάγραμμα 20** παρατηρείται κάτι αντίστοιχο με τα προηγούμενα σχήματα καθώς με την χρήση του φυσικού αερίου σαν καύσιμο επιτυγχάνεται πολύ μεγάλη μείωση στα PM της μηχανολογικής εγκατάστασης όπως επίσης και στα SO₂ όπως φαίνεται στο **Διάγραμμα 21** καθώς το φυσικό αέριο δεν περιέχει ποσοστά θείου στην περιεκτικότητά του και για αυτό δεν υπάρχει εκπομπή διοξειδίων του θείου κατά την λειτουργία του πλοίου.



Διάγραμμα 20. Συγκριτικές εκπομπές SO₂ στον κύκλο ζωής του πλοίου



Διάγραμμα 21. Συγκριτικές εκπομπές CH₄ στον κύκλο ζωής του πλοίου

Τελευταία παρατηρώντας το **Διάγραμμα 21** απεικονίζεται ίσως ένα από τα πιο σημαντικά μειονεκτήματα της χρήσης του φυσικού αερίου σαν καύσιμο λειτουργίας καθώς αυξάνονται σε ποσοστό 35% οι συνολικές εκπομπές του μεθανίου κατά την λειτουργία του πλοίου. Το αποτέλεσμα αυτό είναι πλήρως αναμενόμενο καθώς και ο συντελεστής εκπομπής μεθανίου ανάμεσα στο πετρέλαιο και στο φυσικό αέριο έχει

και αυτός μία διαφορά ίδιας τάξης μεγέθους. Παρατηρώντας την μεσαία στήλη του διαγράμματος φαίνεται και η μείωση των εκπομπών του μεθανίου ανάμεσα στο απλό μονέλικο και στο διπλέλικο πλοίο όπως ήταν αναμενόμενο.

6.12 Συμπεράσματα

Έχοντας ολοκληρώσει την συγκριτική μελέτη σχετικά με την χρήση του φυσικού αερίου σαν καύσιμο λειτουργίας μπορούμε να καταλήξουμε στο συμπέρασμα πως η χρήση φυσικού αερίου αντί για κανονικό καύσιμο είναι μία κίνηση η οποία αποφέρει πολλά οφέλη για το περιβάλλον καθώς υπάρχει πολύ μεγάλη μείωση των αέριων εκπομπών που προέρχονται από την λειτουργία της μηχανολογικής εγκατάστασης του πλοίου με πιο σημαντική ίσως την μείωση 23% των εκπομπών CO₂. Το γεγονός του ότι υπάρχει μία αύξηση 35% στις εκπομπές του μεθανίου είναι ένα γεγονός το οποίο δεν μπορεί να παραλειφθεί παρόλαυτα προτείνεται για περαιτέρω μελέτη έτσι ώστε να ανακαλυφθούν τρόποι με τους οποίους θα είναι εφικτή μία μείωση των εκπεμπόμενων ποσοτήτων μεθανίου. Γενικότερα αποδεικνύεται πως η χρήση του φυσικού αερίου σαν καύσιμο λειτουργίας της μηχανολογικής εγκατάστασης είναι ίσως μία από τις επικρατέστερες λύσεις στην προσπάθεια μείωσης των αέριων εκπομπών από τα πλοία και η οποία πρέπει να εξεταστεί πολύ σοβαρά παρά τα μειονεκτήματά τα οποία μπορεί να έχει όπως είναι το υψηλότερο αρχικό κεφάλαιο επένδυσης, οι χωροταξικές δυσκολίες και οι αυξημένες εκπομπές μεθανίου.

7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Σκοπός της διπλωματικής αυτής εργασίας ήταν να αξιολογηθεί η μηχανολογική εγκατάσταση του πλοίου όσον αφορά τις ποσότητες αέριων εκπομπών από την λειτουργία της σε βάθος μελέτης ίσο με τον κύκλο ζωής του πλοίου. Ως κύκλος ζωής ενός πλοίου θεωρείται το χρονικό διάστημα από την κατασκευή του πλοίου μέχρι και την διάλυση- αποσυναρμολόγηση του. Εξετάστηκε η λειτουργία της μηχανολογικής εγκατάστασης κάτω από διάφορα σενάρια διαφορετικών συνθηκών λειτουργίας έτσι ώστε να υπάρχει μια κατά το δυνατόν ρεαλιστική προσέγγιση. Για να είναι εφικτό κάτι τέτοιο κατασκευάστηκε ένα υπολογιστικό «εργαλείο» το οποίο έχει την δυνατότητα να υπολογίζει τις συνολικές ποσότητες αέριων ρύπων που εκπέμπονται από την μηχανολογική εγκατάσταση σε όλο το κύκλο ζωής του πλοίου. Οι περιπτώσεις οι οποίες και εξετάστηκαν είναι οι παρακάτω:

- Περίπτωση κανονικής λειτουργίας του πλοίου όπου το πλοίο λειτουργεί για 25 χρόνια με ταχύτητα 14 κόμβων στην έμφορτη κατάσταση και 14 κόμβους στην κατάσταση ερματισμού
- Περίπτωση λειτουργίας του πλοίου με μειωμένη ταχύτητα (Slow Steaming) όπου το πλοίο για τα πρώτα 15 χρόνια λειτουργεί σε κανονικές συνθήκες και τα επόμενα 10 χρόνια λειτουργεί με μειωμένη ταχύτητα στην έμφορτη κατάσταση της τάξης των 10,5 κόμβων και στην ερματισμένη κατάσταση με 13 κόμβους.
- Περίπτωση λειτουργίας του πλοίου με συνθήκες κανονικής λειτουργίας αλλά με διασύνδεση με το λιμάνι όποτε το πλοίο βρίσκεται μέσα στο λιμάνι έτσι ώστε να του παρέχεται από το λιμάνι όλη η απαραίτητη ηλεκτρική ενέργεια που χρειάζεται κατά την φορτοεκφόρτωση του φορτίου.
- Περίπτωση λειτουργίας του πλοίου με περιορισμένη ταχύτητα όπου υπάρχει περιορισμός ώστε το πλοίο να λειτουργεί με ταχύτητες έως 12,5 κόμβους σε όλες τις καταστάσεις φόρτωσης. Αυτό γίνεται για τα τελευταία 20 χρόνια της ζωής του πλοίου καθώς τα 5 πρώτα λειτουργεί κάτω από κανονικές συνθήκες λειτουργίας.
- Περίπτωση λειτουργίας του πλοίου με φυσικό αέριο για καύσιμο σε κανονικές συνθήκες λειτουργίας.

7.1 Συμπεράσματα διερεύνησης σεναρίων λειτουργίας

Μετά το «τρέξιμο όλων των υπολογισμών στα επιλεγμένα σενάρια προκύπτουν τα εξής συμπεράσματα.

- 1) Από το σενάριο της μειωμένης ταχύτητας προκύπτει πως υπάρχουν πολύ σημαντικές μειώσεις στις ποσότητες εκπεμπόμενων αέριων ρύπων ακόμα και στην περίπτωση εισαγωγής δευτέρου πλοίου για να καλύψει την χαμένη μεταφορική ικανότητα που προέκυψε από τις μειωμένες ταχύτητες του πλοίου. Χαρακτηριστικά αναφέρεται ότι οι μειώσεις για το CO₂ είναι της τάξης του 6%.
- 2) Στο σενάριο όπου υπάρχει σύνδεση του πλοίου με το λιμάνι για την παροχή ενέργειας η μείωση των εκπεμπόμενων ποσοτήτων είναι ελάχιστη (της τάξης του 1,5%) και καταλήγουμε στο συμπέρασμα πως δεν συμφέρει η εφαρμογή ενός τέτοιου μέτρου σε πλοία τέτοιας κατηγορίας καθώς ο χρόνος τον οποίο παραμένουν μέσα στο λιμάνι είναι περιορισμένος.
- 3) Εξετάζοντας το σενάριο της περιορισμένης ταχύτητας για εφαρμογή 20 ετών παρατηρούμε πως η μείωση των εκπεμπόμενων ρύπων είναι πολύ μεγάλη ακόμα και με διάθεση δευτέρου πλοίου για την κάλυψη του χαμένου μεταφορικού έργου.
- 4) Η εφαρμογή του μέτρου της περιορισμένης ταχύτητας στους 12,5 κόμβους για περίοδο 20 ετών αποδεικνύεται πολύ καλύτερη σε εκπομπές σε σύγκριση με τη λειτουργία με μειωμένη ταχύτητα 1,5 κόμβων για 10 χρόνια.
- 5) Το μέτρο του περιορισμού της ταχύτητας είναι ελκυστικότερο σε σχέση με το σενάριο μειωμένης ταχύτητας καθώς η μηχανολογική εγκατάσταση δουλεύει πιο κοντά στο βέλτιστο σημείο της με αποτέλεσμα να μην υπάρχουν τόσες φθορές στην μηχανή όσες υπάρχουν με την λειτουργία σε μειωμένη ταχύτητα. Αντίθετα σε αυτό το πλεονέκτημα βρίσκεται ένα σημαντικό μειονέκτημα του μέτρου της περιορισμένης ταχύτητας καθώς αντιμετωπίζονται δυσκολίες όσον αφορά τον έλεγχο αυτής της ταχύτητας των πλοίων.
- 6) Η εφαρμογή του φυσικού αερίου σαν καύσιμο λειτουργίας της μηχανολογικής εγκατάστασης όπως ήταν αναμενόμενο έχει πάρα πολύ μεγάλο όφελος στη μείωση των εκπεμπόμενων αέριων ρύπων αρκεί να ξεπεραστούν όλα εκείνα τα προβλήματα (πχ χωροταξίας, ασφάλειας κλπ) που αφορούν στην τοποθέτηση των δεξαμενών φυσικού αερίου στο πλοίο.

7.2 Προτάσεις για περαιτέρω μελέτη και επέκταση της εργασίας

Η μελέτη η οποία πραγματοποιήθηκε σε αυτήν την διπλωματική εργασία χρησιμοποιώντας το συγκεκριμένο υπολογιστικό εργαλείο θα μπορούσε επιδέχεται των ακόλουθων περαιτέρω αναπτύξεων:

- Αξιολόγηση του κύκλου ζωής της μεταλλικής κατασκευής του πλοίου από την πλευρά των εκπεμπόμενων αέριων ρύπων.
- Αντίστοιχα με την μεταλλική κατασκευή του πλοίου θα μπορούσε να πραγματοποιηθεί ανάλυση κύκλου ζωής όσον αφορά τους αέριους ρύπους που εκπέμπονται από την μεταφορά και την διαχείριση των φορτίων των πλοίων κάτι το οποίο είναι πολύ σημαντικό εάν αναλογιστεί κάποιος τις ποσότητες VOC για παράδειγμα που παράγονται κατά την μεταφορά πετρελαιοειδών φορτίων από τα δεξαμενόπλοια.
- Εφαρμογή του υπολογιστικού μοντέλου το οποίο χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα διπλωματική εργασία σε ένα αρκετά μεγάλο αριθμό πλοίων διαφόρων κατηγοριών και μεγεθών έτσι ώστε να κατασκευαστεί μία βάση δεδομένων και η οποία θα αποτελεί μία βάση αναφοράς για τις εκπεμπόμενες ποσότητες ρύπων.
- Στην παρούσα διπλωματική εργασία εξετάστηκε μία συγκεκριμένη μηχανολογική εγκατάσταση ενός συγκεκριμένου πλοίου που εξετάστηκε για διαφορετικά σενάρια που περιλάμβαναν διαφορετικές καταστάσεις φόρτισης της μηχανολογικής εγκατάστασης. Ιδιαίτερα ενδιαφέρον θα ήταν χρησιμοποιώντας σαν δεδομένο αυτή τη φορά το προφίλ λειτουργίας της μηχανολογικής εγκατάστασης να εξετάζονται όλοι οι κατάλληλοι συνδυασμοί μεταξύ των μηχανημάτων που απαρτίζουν την μηχανολογική εγκατάσταση έτσι ώστε να επιτευχθεί ο καλύτερος δυνατός βαθμός απόδοσης της μηχανολογικής εγκατάστασης.
- Εφαρμόζοντας το παρόν υπολογιστικό εργαλείο για μία δεδομένη κατάσταση λειτουργίας του πλοίου (σενάριο) και με εφαρμογή σε παγκόσμια κλίμακα θα ήταν δυνατό να προσεγγιστεί η πιθανή επιβάρυνση του περιβάλλοντος από την λειτουργία του παγκόσμιου στόλου της ναυτιλίας υπό δεδομένες συνθήκες λειτουργίας.
- Μέσα στην παρούσα διπλωματική εξετάστηκαν κάποια σενάρια τα οποία περιλάμβαναν μία μεγάλη μείωση ταχύτητας κατά την λειτουργία του πλοίου. Θα ήταν χρήσιμο να πραγματοποιηθεί κάποια έρευνα σχετικά με το ελάχιστη δυνατή ταχύτητα την οποία μπορούν να έχουν τα πλοία έτσι ώστε η διάρκεια του ταξιδιού να είναι τέτοια όπου να είναι δυνατή η κάλυψη των αναγκών του πλοίου σε προμήθειες .
- Η βιβλιογραφική έρευνα της εργασίας κατέληξε ότι ως τώρα δεν υπάρχει κάποια αποδεκτή μέθοδος η οποία να έχει την δυνατότητα να παρέχει μία πραγματική απεικόνιση της επίπτωσης της λειτουργίας των πλοίων στο περιβάλλον. Με την χρήση του παρόντος υπολογιστικού εργαλείου θα ήταν δυνατή η δημιουργία μίας μεθόδου που θα αξιολογεί και θα μετατρέπει τις

ποσότητες των εκπεμπόμενων ρύπων από την λειτουργία του πλοίου σε επιπτώσεις για το περιβάλλον (επίδραση στο φαινόμενο του θερμοκηπίου κα).

- Στην εργασία έγινε μία προσέγγιση του κύκλου ζωής του πλοίου από την πλευρά του υπολογισμού των αέριων εκπομπών με προσπάθεια να ελαχιστοποιηθούν οι εκπομπές για όφελος του περιβάλλοντος. Με δεδομένη την ύπαρξη του συγκεκριμένου υπολογιστικού εργαλείου θα μπορούσε να πραγματοποιηθεί μία προσέγγιση από πλευράς της πλοιοκτήτριας εταιρίας με σκοπό τον υπολογισμό και την μείωση όσο το δυνατόν των ποσοτήτων καταναλισκόμενου καυσίμου κατά την διάρκεια του κύκλου ζωής.
- Μέσα από την παρούσα μελέτη αναδείχτηκε το πολύ μεγάλο πρόβλημα που δημιουργείται από την χρήση του φυσικού αερίου σαν καύσιμο όσον αφορά τις μεγάλες ποσότητες μεθανίου που παράγονται από την καύση του αερίου και με αφορμή αυτό το γεγονός θα ήταν ιδανική η διεξαγωγή μία έρευνας για την μείωση του ποσοστού εκπομπής μεθανίου αναλογιζόμενοι πάντα την επιβάρυνση του περιβάλλοντος από την παραγωγή του μεθανίου (περίπου 20 φορές μεγαλύτερη από την επιβάρυνση που προέρχεται από τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα).

8. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Stefan Seuring and Maria Goldbach "Integrating life cycle costing and life cycle assessment for managing costs and environmental impacts in supply chains.", Cost Management in Supply Chains, 128-144
2. Annik Magerholm Fet. 2001 "Environmental reporting in marine transport based on LCA" The Norwegian University of Science and Technology (NTNU)
3. Feng, C., and X.Q. Ma 2009 "The energy consumption and environmental impacts of a color TV set in China." Journal of Cleaner Production 17 (1): 13-25.
4. Atlantic Consulting and IPU 1998 "LCA study for the product group personal computers in the EU Ecolabel scheme" LCA Study (Version 1.2), EU Ecolabels for Personal Computers
5. M.A Shama 2005 "Life cycle assessment of ships" Maritime Transportation and Exploitation of Ocean and Coastal Resources Vol 2
6. ISO 14040 standards, the International Standardisation Organisation, 1998.
7. ISO 14044 standards, the International Standardisation Organisation, 1998.
8. G.Rebitzer and T.Ekvall and other.2003 "Life Cycle Assessment Part1:Framework, goal and scope definition, inventory analysis and applications" Science Direct 2003
9. Aida Sefic Williams 2009 "Life Cycle Analysis: A Step by Step Approach" ISTC's Report Series No.40
10. Battelle and Franklin,1993 "Life-Cycle Assessment:Inventory Guidelines and Principles," EPA/600/SR-92/245
11. Battelle and Franklin 1995 "Guidelines for Assessing the Quality of Life Cycle Inventory Analysis," EPA530-R-95-010
12. KAMEYAMA M, HIRAOKA K and TAUCHI H. "Study on Life Cycle Impact Assessment for Ships" Japan Technical Information Services Corporation
13. Jean-Jacques CHANARON "Life Cycle Assessment Practices: Benchmarking Selected European Automobile Manufacturers" International Journal of Product Lifecycle Management 2, 3 (2007) pp. 290-311

14. Dahlgqvist, E. and Wendel, A., "LCA Working Procedures when Developing Environmental Product Declarations for Cars from Volvo," SAE Technical Paper 2001-01-3731, 2001, doi:10.4271/2001-01-3731.
15. Chester, Mikhail and Horvath 2008 "Environmental Life-cycle Assessment of Passenger Transportation: A Detailed Methodology for Energy, Greenhouse Gas and Criteria Pollutant Inventories of Automobiles, Buses, Light Rail Heavy Rail and Air v.2", Working Paper UCB-ITS-VWP-2008-2
16. R. S. Phillips III (BP) and Tim Solis (BP) and Hitoshi Konishi JGC 2005 "Tanggung LNG – Energy Efficiency Measures through Life Cycle Cost Analysis" Gastech 2005.
17. Mark A. Delucci and Timothy E. Lipman 2001 "An analysis of the retail and lifecycle cost of battery powered electric vehicle." ,University of California, UCD-ITS-REP-01-16
18. Tommy Johnsen (DNV) and Annik Magerholm Fet (HiÅ) 1998 "Screening Life Cycle Assessment of Color Festival" DNV Research report HiÅ 10/B101/R-98/008/00
19. KAMEYAMA M, HIRAOKA Ka and other 2001 "Development of LCA software for ships and LCI Analysis based on actual shipbuilding and operation" National Maritime Research Institute 3-38-1
20. H. Ellingsen, A.M. Fet Dr. Ing and S. Aanonden 2002 "Tool for environmental efficient ship design" ENSUS 2002
21. Matthias Altmann, Werner Weindorf and Martin Weinberger 2004 "Life Cycle Analysis results of fuel cell ships" Study carried out in the framework of the project FCSHIP – Fuel Cell Technology in Ships
22. Buhaug, O et al. Second IMO GHG Study 2009 Update of the 2000 GHG. Final Report covering Phrase 1 and Phrase 2. IMO 2009 London
23. General Electric Oil Gas 2010 "Financial results and Company Highlights" GE 2010 Second Quarter Performance
24. Selma Bengtsson 2010 "Marine fuels from a life cycle perspective" Chalmers University of Technology, Lighthouse Eco Ship Theme Day Program
25. Thomas Stenhede 2010 "LNG och LBG I Helsingborg" Wartsila Sweden
26. Φραγκόπουλος, 2008 "Μέθοδος Προμελέτης ναυτικών συστημάτων με κινητήρες DIESEL" Εκδόσεις ΕΜΠ

27. Torben Munk et al 2006 ‘*Fuel Conservation through Managing Hull Resistance*’, Motorship Propulsion Conference, Copenhagen
28. Κυρτάτος Ν. 1993 ‘*Ναυτικοί κινητήρες Diesel*’, Εκδόσεις ΕΜΠ
29. ‘*MAN B&W Project Guide Tier II*, 2010
30. *Second IMO GHG Study 2009*, International Maritime Organization (IMO) London, UK, April 2009; Buhaug, Ø., Corbett, J.J., Endresen, Ø., Eyring, V., Faber, J., Hanayama, S., Lee, D.S., Lee, D., Lindstad, H., Markowska, A.Z., Mjelde, A., Nelissen, D., Nilsen, J., Pålsson, C., Winebrake, J.J., Wu, W., Yoshida, K. *GHG Study*, International Maritime Organization, London, p. 129, 2009.
31. M. Maryamchik, D.L. Wietzke 2012 ‘*B&W PGG IR-CFB: Operating, Experience and New Developments*’ 21st International Fluid Bed Combustion Conference, Technical Paper BR-1868
32. WiWinebrake, J.J, Corbett, J.J, Meyer, P.E ‘*Energy Use and Emissions from Marine Vessels: A Total Fuel Life Approach*’ *J. Air & Waste Manage. Assoc.* 57(2007); 102-110
33. Turan, O., Ölçer, A., Lazakis, I., Rigo, P. and Caprace, D. (2009) ‘*Maintenance/repair and production-oriented life cycle cost/earning model for ship structural optimisation during conceptual design stage*’, *Ships and Offshore Structures*, 4:2, 107-125
34. ‘*Eco Indicator 99*’, Spatial Planning and the Environment. 2000
35. ‘*LMT-ABS work (D2.5)*’ NTUA. 2011
36. Selim Alcaner, Peihlin Zhou, 2005 ‘*A comparative study on life cycle analysis of molten carbon fuel cells and diesel engines for marine application*’ *Journal of Power Sources*, Volume 158, Issue 1, 14 July 2006, Pages 188-199
37. *ITTC* ‘*Testing and Extrapolation Methods, Manoeuvrability, Captive Model Test Procedures*’ *Recommended Procedures and Guidelines, Revision 2*
38. *Extremis Database*, Internet 2009
39. KAMEYAMA M, HIRAOKA Ka and other 2001 ‘*Development of LCA software for ships and LCI Analysis based on actual shipbuilding and operation*’ National Maritime Research Institute 3-38-1
40. ‘*Cost and benefits of ship Recycling/Breaking in the United States*’, MARAD, January 2007

41. Annik Magerholm Fet and Eirik Sorgad,1998 ‘*Life Cycle Evaluation of ship Transportatio- Development of methodology and testing*’ DNV Research report HiÅ 10/B101/R-98/008/00
42. Pierre Cariou,2010 ‘*Is slow steaming a sustainable mean for reducing liner shipping CO2 emissions?*’ EUROMED MANAGEMENT MARE FORUM 14 September 2010 - Marseilles
43. Pierre Cariou,2010 ‘*Is slow steaming a sustainable means of reducing CO2 emissions from container shipping?*’ EUROMED MANAGEMENT MARE FORUM
44. Harilaos N. Psaraftis† and Christos A. Kontovas 2009‘*CO2 Emission Statistics for the World Commercial Fleet*’ WMU Journal of Maritime Affairs, (2009)
45. *Second IMO GHG Study 2009, International Maritime Organization (IMO)London, UK, April 2009; Buhaug, Ø., Corbett, J.J., Endresen, Ø., Eyring, V., Faber, J., Hanayama, S., Lee, D.S., Lee, D., Lindstad, H.,Markowska, A.Z., Mjelde, A., Nelissen, D., Nilsen, J., Pålsson, C., Winebrake, J.J., Wu, W., Yoshida, K.GHG Study , International Maritime Organization, London, p. 129, 2009.*
46. Corbett, J. J., Winebrake, J. J., and Green 2010 ‘*An assessment of technologies for reducing regional short-lived climate forcers emitted by ships with implications for arctic shipping*’[Carbon Management](#), Volume 1, Number 2, December 2010 , pp. 207-225(19)
47. Corbett, J. J., Lack, D. A., Winebrake, J. J., Harder, S., Silberman, J. A., and Gold, M.: Arctic shipping emissions inventories and future scenarios, *Atmos. Chem. Phys.*, 10, 9689-9704, doi:10.5194/acp-10-9689-2010, 2010.
48. John Maggs (Seas at Risk) ‘*Speed Limits for Ships*’ ECCP WG Ships – Meeting 2 on 22-23 June 2011
49. Mary Ann Curran 2006‘*Life Cycle Assessment: Principles and Practice*’ , Scientific Applications International Corporation (SAIC),EPA/600/R-06/060
50. Tsekouras 2011 ‘*Ship Energy Efficiency within the Framework of IMO*’ Εκδόσεις EMΠ
51. ‘<http://www.mandieselturbo.com/ceas/index.html>’ accessed at 16/3/2012
52. Tsakos Group Shipmanagement Company
53. DG Environment (2009). ‘*Support to the impact assessment of a new legislative proposal on ship dismantling*’. Doc Number: P-70610-G-1, Final report

54. Ventikos N., S. Chatzinikolaou (2008) ‘ ‘ *Hazardous Waste Management & Ship Recycling: Friends or Foes?*’ ’ ? In Proceedings of the 1st International Conference of Hazardous Waste Management, Chania-Crete, Greece 1-3 Oct 2008,
55. Jown W.Boulston 2011 "*Fueling with LNG*" Marine Technology (mt), SNAME, October 2011

9. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1 (MICROSOFT OFFICE EXCEL)

Σε αυτό το Παράρτημα παρατίθενται όλοι οι πίνακες οι οποίοι και περιλαμβάνονται μέσα στους υπολογισμούς των σεναρίων οι οποίοι πραγματοποιήθηκαν με την χρήση του υπολογιστικού εργαλείου στο Microsoft Office Excel. Ταξινομούνται με την σειρά που πραγματοποιήθηκαν οι μελέτες των σεναρίων μέσα στην διπλωματική εργασία. Ο Πίνακας Υπομνήματος παραμένει ίδιος και ισχύει και για τους πίνακες του Παραρτήματος 1

Πίνακας Υπομνήματος	
Εισαγωγή Δεδομένων	XXX
Υπολογισμοί	XXX
Περιγραφή	XXX
Αποτελέσματα Υποσυστήματος	XXX
Τελικά Αποτελέσματα	XXX

Πίνακας 1. Πίνακας Υπομνήματος

Στάδιο Εισαγωγής Δεδομένων

Ship	XXX	
DWT	74296	tonnes
Builder	South Korea	
Date of built	2009	
L	219	m
B	32,56	m
T	14,32	m
D	20,6	m
Speed	14	knots

Πίνακας 2. Εισαγωγή δεδομένων γεωμετρία του πλοίου αναφοράς

MAIN ENGINE (s)		
Design	STX-MAN B&W 6S60MC	
Builder	South Korea	
Power (MCR)	12240	kw
Rpm	105	rpm
SFOC	177,11	gr/kWh
Fuel	HFO RMG 380	
Number	1	
Weight	368	ton

Πίνακας 3. Εισαγωγή δεδομένων κύριας μηχανής

AUXILLARY ENGINE (s)		
Design	STX-MAN B&W 6L23/30H	
Builder	South Korea	
Power (MCR)	740	kw
Rpm	720	rpm
SFOC	171,3	gr/kWh
Fuel	MDO RMG 380	
Number	3	
Weight	19,7	ton

Πίνακας 4. Εισαγωγή δεδομένων βοηθητικών μηχανών

BOILER (s)		
Design	Aalborg	
Builder	South Korea	
Power (MCR)		kw
Rpm		rpm
SFOC		gr/kWh
Fuel	HFO RMG 380	
Number	2	
Weight	18,8	ton
Steam Production Rate	10	ton/h

Πίνακας 5. Εισαγωγή δεδομένων λέβητα

PUMP (s)		
Design	Framo	
Builder	South Korea	
Power (MCR)	12240	kw
Rpm	105	rpm
SFOC	177,11	gr/kWh
Fuel	HFO RMG 380	
Number	1	
Weight	368	ton

Πίνακας 6. Εισαγωγή δεδομένων αντλιών

Ship Name	XXX	
Type	Tanker	
Port of Departure (A)	XXX	
Port of Arrival (B)	XXX	
Distance covered (A-B)	2015	n.miles
Speed laden (A-B)	14	knots
Speed ballast (B-A)	14	knots
time (A-B)	6,00	days
time (B-A)	6,00	days
days at see	11,99	days
days at port (loading)	1,5	days
days at port (unloading)	1,5	days
total days at port	3,00	days
Duration of 1 trip	15,99	days
days off /year	48,87	days
days outside port per trip	1	days
number of trips / year	19,77	trips
ship life cycle	1,00	years
total trips in life cycle	19,77	trips
number of ships	1	ships
days at manouvering	0,64	days

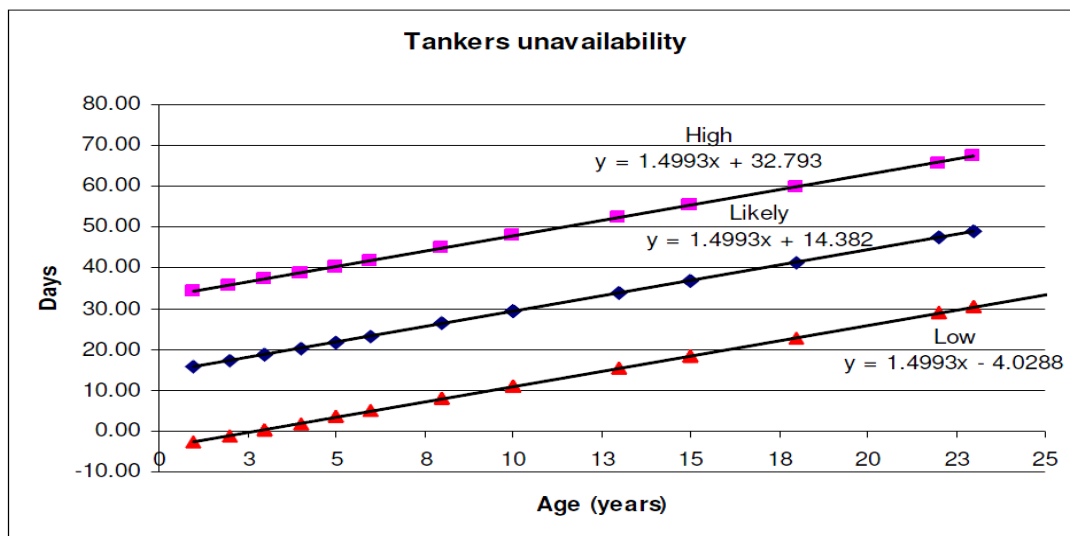
Πίνακας 7. Εισαγωγή δεδομένων λειτουργίας πλοίου

PORT A	PORT B	DISTANCE	
Ras Tanura (Saudi Arabia)	Yokohama (Japan)	2015	nmiles
Rotterdam (Netherlands)	New York (USA)	2015	nmiles
Singapore (Malaysia)	Chiba (Japan)	2015	nmiles
Caribbean (USA)	Venezouela (USA)	2015	nmiles
Shuwaikh (Kouwait)	Singapore (Malaysia)	2015	nmiles
Sitki Kerir (Alexandreia)	Lavera (France)	2015	nmiles
Bonny (Nigeria)	Filadelfeia (USA)	2015	nmiles
Sullom Voe (Scotland)	Wilhelushaven(Germany)	2015	nmiles
Ras Tanura (Saudi Arabia)	New York (USA)	2015	nmiles
Ras Tanura (Saudi Arabia)	Yokohama (Japan)	2015	nmiles
Rotterdam (Netherlands)	New York (USA)	2015	nmiles
Singapore (Malaysia)	Chiba (Japan)	2015	nmiles
Caribbean (USA)	Venezouela (USA)	2015	nmiles
Shuwaikh (Kouwait)	Singapore (Malaysia)	2015	nmiles
Sitki Kerir (Alexandreia)	Lavera (France)	2015	nmiles
Bonny (Nigeria)	Filadelfeia (USA)	2015	nmiles
Sullom Voe (Scotland)	Wilhelushaven (Germany)	2015	nmiles
Ras Tanura (Saudi Arabia)	New York (USA)	2015	nmiles
Ras Tanura (Saudi Arabia)	Yokohama (Japan)	2015	nmiles
Rotterdam (Netherlands)	New York (USA)	2015	nmiles
Singapore (Malaysia)	Chiba (Japan)	2015	nmiles
Caribbean (USA)	Venezouela (USA)	2015	nmiles
Shuwaikh (Kouwait)	Singapore (Malaysia)	2015	nmiles
Sitki Kerir (Alexandreia)	Lavera (France)	2015	nmiles
Bonny (Nigeria)	Filadelfeia (USA)	2015	nmiles

Πίνακας 8. Πίνακας προγράμματος πλεύσης πλοίου και εισαγωγή αποστάσεων

Ages	Days off
1	15,8813
2	17,3806
3	18,8799
4	20,3792
5	21,8785
6	23,3778
7	24,8771
8	26,3764
9	27,8757
10	29,375
11	30,8743
12	32,3736
13	33,8729
14	35,3722
15	36,8715
16	38,3708
17	39,8701
18	41,3694
19	42,8687
20	44,368
21	45,8673
22	47,3666
23	48,8659
24	50,3652
25	51,8645

Πίνακας 9. Απεικόνιση διαγράμματος για μη διαθεσιμότητα δεξαμενοπλοίων κατά την διάρκεια του κύκλου ζωής (Touran. O et al, 2006)



Στάδιο Κατασκευής

EF for engine(s) construction		
CO2	84,83	kg/kw
CO	0,18	kg/kw
CH4	0,10	kg/kw
NOx	0,24	kg/kw
PM (all)	0,56	kg/kw
SO2	0,28	kg/kw
SOx	0,01	kg/kw
VOC	0,00	kg/kw
NMVOOC	0,02	kg/kw

Πίνακας 10. Συντελεστές εκπομπής ρύπων (*LMT-ABS work (D2.5)*)

Emissions from ME construction		
CO2	1038319,20	kg
CO	2239,92	kg
CH4	1272,96	kg
NOx	2888,64	kg
PM (all)	6817,68	kg
SO2	3414,96	kg
SOx	134,64	kg
VOC	0,00	kg
NMVOOC	220,32	kg

Πίνακας 11. Ποσότητες εκπεμπόμενων ρύπων από την κατασκευή της κύριας μηχανής

Emissions from AE construction		
CO2	188322,60	kg
CO	406,26	kg
CH4	230,88	kg
Nox	523,92	kg
PM (all)	1236,54	kg
SO2	619,38	kg
SOx	24,42	kg
VOC	0,00	kg
NMVOOC	39,96	kg

Πίνακας 12. Ποσότητες εκπεμπόμενων ρύπων από την κατασκευή των βοηθητικών μηχανών

Emission Factors: steel production		
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
SO2	5,27	gr/kg
SOx	313,72	mg/kg
VOC	12,57	mg/kg
NMVOC	10,84	mg/kg
<i>factors data from Eco Indicator 99</i>		

Πίνακας 13. Συντελεστές εκπομπής ρύπων από την παραγωγή χάλυβα (Eco Indicator 99)

Emission from steel production		
CO2	465,53	tons
CO	14,88	tons
CH4	0,08	tons
Nox	2,73	tons
PM (all)	0,43	tons
SO2	2,46	tons
SOx	0,15	tons
VOC	0,01	tons
NMVOC	0,01	tons

Πίνακας 14. Ποσότητες εκπεμπόμενων ρύπων από παραγωγή χάλυβα

Emission Factors: HFO & MDO production			
		HFO	MDO
CO2	kg/kg fuel	0,35109	0,3449
CO	g/kg fuel	0,60928	0,64572
Nox	g/kg fuel	1,8103	1,9206
SO2	g/kg fuel	0,84228	0,83693

Πίνακας 15. Συντελεστές εκπομπής ρύπων λόγω των δοκιμών της μηχανής

Emission from HFO & MDO production for testing					
		HFO	MDO	TOTAL	
CO2	ton	9,574772	1,7455389	11,3203109	ton
CO	ton	0,016616	0,003267989	0,019884005	ton
Nox	ton	0,0493697	0,009720157	0,059089862	ton

SO2	ton	0,0229703	0,004235703	0,027205992	ton
-----	-----	-----------	-------------	-------------	-----

Πίνακας 16. Ποσότητες εκπεμπόμενων ρύπων από την διαδικασία δοκιμής των μηχανών

ME		
Duration 3-9 hours	0,208333333	days
85 % MCR Load	10404	kw
HFO consumption(daily)	44223658,56	gr
	44,22365856	ton
Sea trials HFO consumption	9,2132622	ton
Emissions		
CO2	28,6937838	ton
NOX	0,8260776	ton
SO2	0,483340858	ton
CO	0,082682323	ton
CH4	0,000596772	ton
PM	0,076293817	ton

Πίνακας 17. Ποσότητες εκπεμπόμενων ρύπων της κύριας μηχανής από την διαδικασία των δοκιμών παράδοσης του πλοίου

AE		
Duration 3-9 hours	0,208333333	days
85 % MCR Load	1258	kw
MDO consumption(daily)	5171889,6	gr
	5,1718896	ton
Sea trials MDO consumption	1,077477	ton
Emissions		
CO2	3,454391262	ton
NOX	0,0761719	ton
SO2	0,043903404	ton
CO	0,009815905	ton
CH4	8,05036E-05	ton
PM	0,003492041	ton

Πίνακας 18. Ποσότητες εκπεμπόμενων ρύπων των βοηθητικών μηχανών από την διαδικασία των δοκιμών παράδοσης του πλοίου

Totan Emissions		
CO2 Emissions	32,14817506	ton
NOX	0,9022495	ton
SO2	0,527244262	ton
CO	0,092498228	ton
CH4	0,000677276	ton
PM	0,079785858	ton

Πίνακας 19. Συνολικές ποσότητες εκπεμπόμενων ρύπων της μηχανολογικής εγκατάστασης κατά το στάδιο των δοκιμών παράδοσης του πλοίου

Emission Factors: HFO & MDO production			
		HFO	MDO
CO2	kg/kg fuel	0,35109	0,3449
CO	g/kg fuel	0,60928	0,64572
Nox	g/kg fuel	1,8103	1,9206
SO2	g/kg fuel	0,84228	0,83693

Πίνακας 20. Συντελεστές εκπομπής ρύπων από την παραγωγή του δαπανόμενου καυσίμου κατά τις δοκιμές παράδοσης

Emissions from fuel production			
	HFO	MDO	Total
CO2	3,234684226	0,371622	3,606306
CO	0,005613456	0,000696	0,006309
Nox	0,016678769	0,002069	0,018748
SO2	0,007760146	0,000902	0,008662

Πίνακας 21. Ποσότητες εκπεμπόμενων ρύπων από την παραγωγή του δαπανόμενου καυσίμου κατά τις δοκιμές παράδοσης

Emission from HFO & MDO production for testing				
		HFO	MDO	TOTAL
CO2	ton	4036,9148	304,8399	4,34E+03
CO	ton	7,0056437	0,57072	7,58E+00
Nox	ton	20,815252	1,697523	2,25E+01
SO2	ton	9,6847321	0,739721	1,04E+01

Πίνακας 22. Ποσότητες εκπεμπόμενων ρύπων από την παραγωγή του καυσίμου το οποίο δαπανάται από την μηχανολογική εγκατάσταση σε όλο τον κύκλο ζωής του

Electricity consumed		
Cutting	236000	kwh
Welding	120000	kwh
Gouging	80000	kwh
Crane	90000	kwh
Compressor	328000	kwh
Lighting	112000	kwh
Fan	118000	kwh
Air conditioning	234000	kwh
Office work	198000	kwh
DEsign work	60000	kwh

Πίνακας 23. Τιμές απαιτούμενης ενέργειας για την κατασκευή ενός Bulk Carrier 75.000 τόννων (KAMEYAMA et al. 2004)

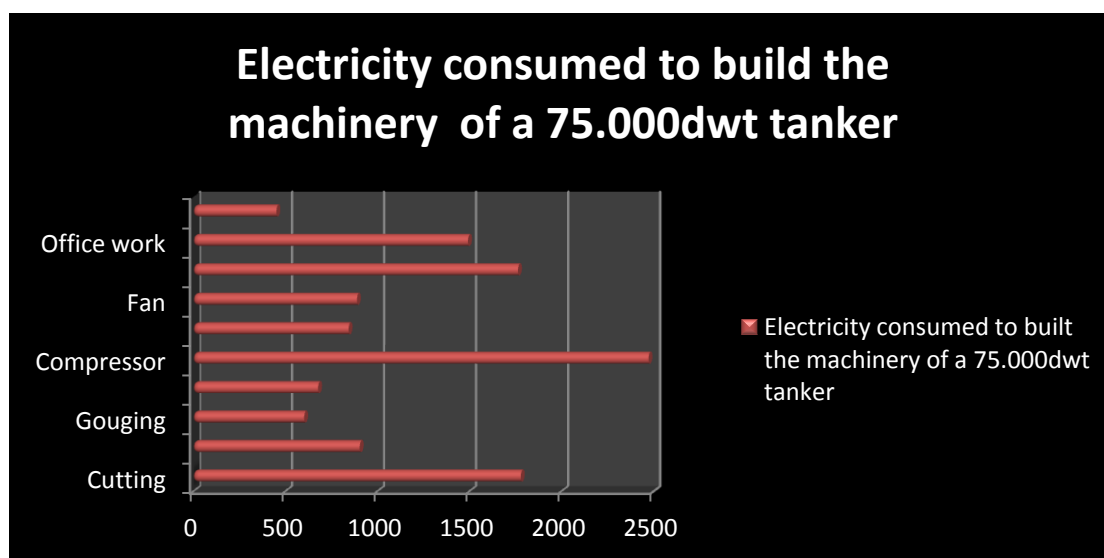
Emission factors for energy consumed		
CO2	752,0377	gr/kwh
CO	0,0751	gr/kwh
CH4	0,0109	gr/kwh
NOX	1,3378	gr/kwh
PM	0,0815	gr/kwh
SO2	0	gr/kwh
SOX	3,6406	gr/kwh
VOC	0,0089	gr/kwh

Πίνακας 24. Συντελεστές εκπεμπόμενων ρύπων της ενέργειας που καταναλώνεται κατά την κατασκευή

Electricity consumed		
Cutting	1626,632795	kwh
Welding	827,1014212	kwh
Gouging	551,4009475	kwh
Crane	620,3260659	kwh
Compressor	2260,743885	kwh
Lighting	771,9613265	kwh
Fan	813,3163975	kwh
Air conditioning	1612,847771	kwh
Office work	1364,717345	kwh
DEsign work	413,5507106	kwh

Πίνακας 25. Ποσότητες ενέργειας που καταναλώθηκαν για την κατασκευή της μηχανολογικής εγκατάστασης

Total emissions of energy consumed (Shipyard+on board shop tests)		
CO2	9,098663536	ton
CO	0,000908611	ton
CH4	0,000131876	ton
NOX	0,016185614	ton
PM	0,000986042	ton
SO2	0	ton
SOX	0,044046455	ton
VOC	0,000107678	ton

Πίνακας 26. Ποσότητες εκπεμπόμενων ρύπων από την κατασκευή της μηχανολογικής εγκατάστασης και τις δοκιμές που πραγματοποιήθηκαν στο πλοίο.**Διάγραμμα 1.** Απεικόνιση δαπανώμενης ενέργειας για την κατασκευή της μηχανολογικής εγκατάστασης του πλοίου αναφοράς μας.

Emissions in shipbuilding stage		
CO2	6090,10	tons
CO	26,03	tons
CH4	1,58	tons
NOx	29,65	tons
PM (all)	8,49	tons
SO2	17,49	tons
SOx	0,35	tons
VOC	0,0060	tons
NM VOC	0,27	tons

Πίνακας 27. Συνολικές εκπομπές ρύπων κατά το στάδιο κατασκευής **Στάδιο Συντήρησης**

Σε αυτό το σημείο αλλάζει λίγο η σειρά των σεναρίων αλλά αυτό γίνεται για πρακτικούς λόγους καθώς το στάδιο της λειτουργίας περιλαμβάνει μεγάλο αριθμό αποτελεσμάτων οπότε τοποθετήθηκε στο τέλος του Παραρτήματος.

Spares		
Spares used per year	5	tons
Spares used in life cycle	125	tons

Πίνακας 28. Πίνακας εισαγωγής δεδομένων για τα ανταλλακτικά της μηχανολογικής εγκατάστασης

Emission Factors: steel production		
CO ₂	996,00	gr/kg
CO	31,83	gr/kg
CH ₄	163,17	mg/kg
Nox	5,84	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
NM _{VOC}	10,84	mg/kg

Πίνακας 29. Συντελεστές εκπομπής αέριων ρύπων για την παραγωγή του απαιτούμενου χάλυβα για την κατασκευή των ανταλλακτικών (Eco Indicator 99)

Emission from steel production for spares		
CO ₂	124,5	tons
CO	3,978481	tons
CH ₄	0,020396	tons
Nox	0,730149	tons
PM (all)	0,11612	tons
SO ₂	0,65875	tons
SO _x	0,039215	tons
VOC	0,001571	tons
NM _{VOC}	0,001355	tons

Πίνακας 30. Ποσότητες αέριων εκπομπών από την κατασκευή των ανταλλακτικών

Στάδιο Διάλυσης- Ανακύκλωσης

Steel recovered	
Main engine	368,00
Auxillary engine(s)	59,1
Boiler(S)	37,6

Pump(s)	2,7
Ships recycled	1,00
Steel recovered	444,03

Πίνακας 31. Ποσότητα ανακυκλώσιμου χάλυβα από την μηχανολογική εγκατάσταση

Emissions averted from steel recycling		
CO2	442,25	tons
CO	14,13	tons
CH4	0,07	tons
Nox	2,59	tons
PM (all)	0,41	tons
SO2	2,34	tons
SOx	0,14	tons
VOC	0,01	tons
NMVOC	0,00	tons

Πίνακας 32. Ποσότητα εκπεμπόμενων αέριων ρύπων που εξοικονομούνται από την ανακύκλωση της μηχανολογικής εγκατάστασης

Στάδιο Λειτουργίας

Years	% MCR Load
1	0,75
2	0,8
3	0,85
4	0,925
5	1
6	0,76125
7	0,805625
8	0,85
9	0,925
10	1
11	0,77266875
12	0,81
13	0,85
14	0,925
15	1
16	0,784258781
17	0,817129391
18	0,85
19	0,925
20	1

21	0,796022663
22	0,823011331
23	0,85
24	0,925
25	1

Πίνακας 33. Πίνακας συντελεστών φόρτισης της κύριας μηχανής συναρτήσει των ετών λειτουργίας

Variables operation	
% MCR Load ME	0,75-1
% MCR Load AE	0,75
Number at AE at port	2
% MCR Load AE (Repairs)	0,25

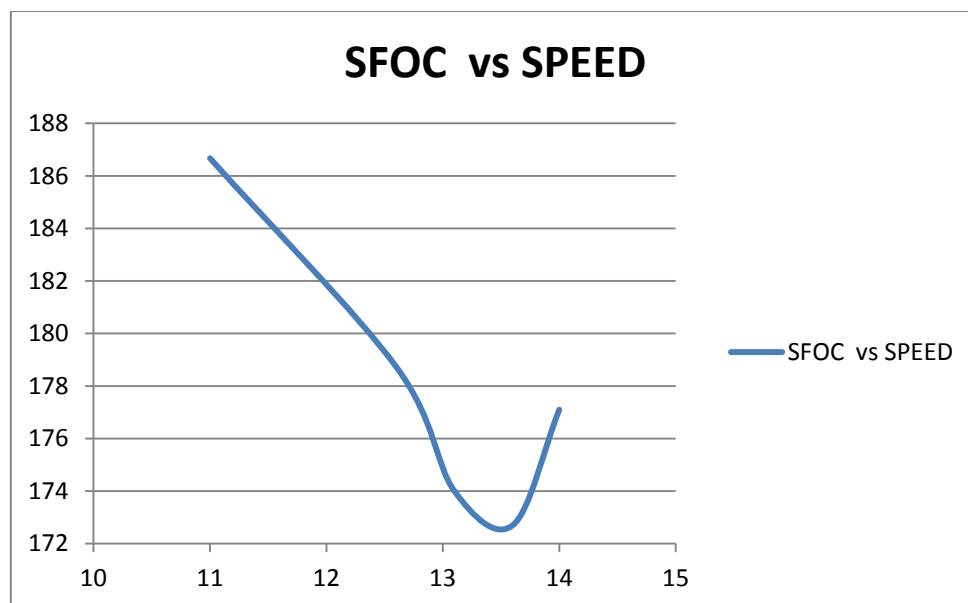
Πίνακας 34. Εισαγωγή μεταβλητών λειτουργίας

Engine(s) curve, real data						
Speed (knots)	RPM	ME Power (kw)	SFC ME (gr/kWh)	ME FC (tonnes/day)	AE FC (tonnes/day)	Total FC (tonnes/day)
11,00	66.1	3060,00	186,67	13,71	5,00	18.71
12.6	83.3	6120,00	178,73	26.25	5,00	31.25
13.1	95.4	9180.0	174,00	38.33	5,00	43.33
13.6	101.4	11016,0	172,70	45.65	5,00	50.65
14,00	105,00	12240.0	177,10	52.03	5,00	57.03

Πίνακας 35. Διάγραμμα φόρτισης της κύριας μηχανής σε έμφορτη κατάσταση

Ballast	$Cn=(\Delta^{2/3} * v^3)/P$	
Speed (kns)	ME Power	SFOC
14	7595,068723	174

Πίνακας 36. Πίνακας υπολογισμού ισχύος μηχανής σε κατάσταση ερματισμού μέσω του συντελεστή Ναυαρχείου



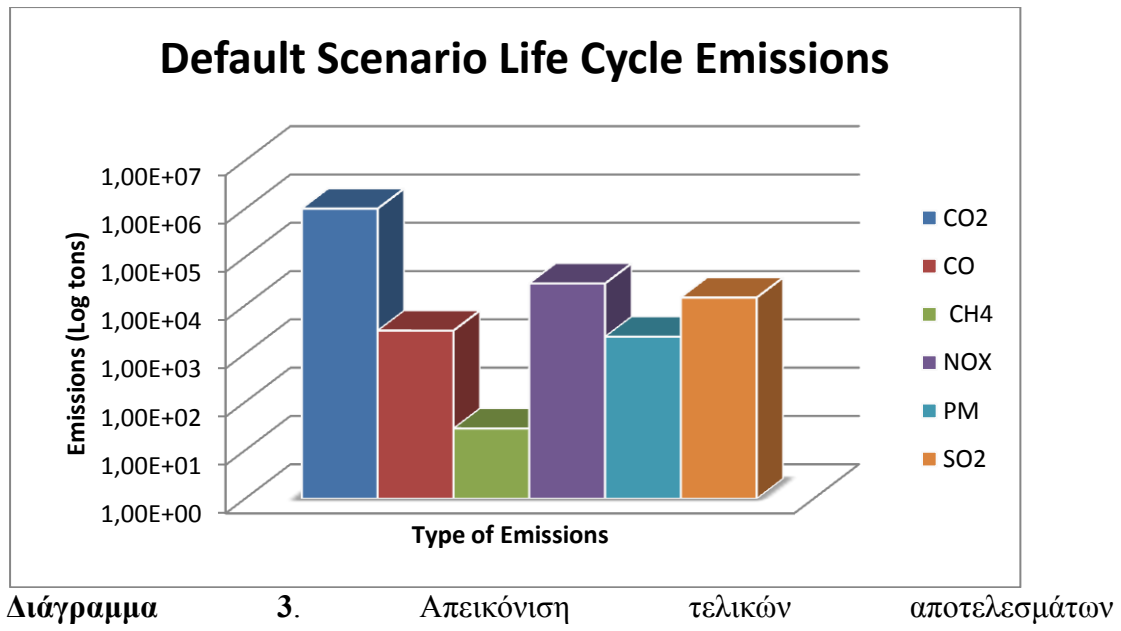
Διάγραμμα 2. Απεικόνιση ειδικής κατανάλωσης μηχανής συναρτήσει ταχύτητας πλεύσης

Σενάριο Κανονικής Λειτουργίας

Στην εξέταση των σεναρίων έχει γίνει ανάλυση σε ετήσια βάση με αποτέλεσμα να μην γίνεται να παρουσιαστούν τα αναλυτικά αποτελέσματα για κάθε έτος. Στο Παράρτημα βρίσκονται τα συνολικά αποτελέσματα και τα τελικά διαγράμματα για όλα τα σεναρία.

Total Life Cycle Emissions		
CO ₂	1,01E+06	tons
CO	3,02E+03	tons
CH ₄	2,84E+01	tons
Nox	2,85E+04	tons
PM (all)	2,26E+03	tons
SO ₂	1,46E+04	tons

Πίνακας 37. Συγκεντρωτικές ποσότητες εκπεμπόμενων ρύπων για το σενάριο κανονικής λειτουργίας



	Shipbuilding	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
CO2	6,97E+03	3,89E+04	4,06E+04	4,15E+04	4,29E+04	4,43E+04	3,91E+04	3,99E+04	4,06E+04	4,20E+04	4,33E+04
CO	2,76E+01	1,15E+02	1,20E+02	1,23E+02	1,27E+02	1,31E+02	1,16E+02	1,18E+02	1,20E+02	1,24E+02	1,28E+02
CH4	1,58E+00	1,03E+00	1,09E+00	1,11E+00	1,13E+00	1,16E+00	1,05E+00	1,07E+00	1,08E+00	1,11E+00	1,16E+00
Nox	3,42E+01	1,10E+03	1,15E+03	1,18E+03	1,22E+03	1,26E+03	1,11E+03	1,13E+03	1,15E+03	1,19E+03	1,23E+03
PM (all)	8,49E+00	8,77E+01	9,07E+01	9,31E+01	9,69E+01	1,01E+02	8,70E+01	8,91E+01	9,11E+01	9,48E+01	9,70E+01
SO2	1,96E+01	5,66E+02	5,86E+02	6,01E+02	6,25E+02	6,49E+02	5,62E+02	5,75E+02	5,88E+02	6,12E+02	6,26E+02

	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
CO2	3,87E+04	3,90E+04	4,01E+04	4,14E+04	4,27E+04	3,82E+04	3,87E+04	3,92E+04	4,05E+04	4,18E+04
CO	1,14E+02	1,16E+02	1,19E+02	1,22E+02	1,26E+02	1,13E+02	1,15E+02	1,16E+02	1,20E+02	1,23E+02
CH4	1,04E+00	1,07E+00	1,07E+00	1,10E+00	1,12E+00	1,03E+00	1,04E+00	1,05E+00	1,07E+00	1,10E+00
Nox	1,10E+03	1,11E+03	1,14E+03	1,17E+03	1,21E+03	1,08E+03	1,10E+03	1,11E+03	1,15E+03	1,19E+03
PM (all)	8,61E+01	8,58E+01	8,99E+01	9,36E+01	9,72E+01	8,52E+01	8,66E+01	8,79E+01	9,15E+01	9,50E+01
SO2	5,57E+02	5,55E+02	5,81E+02	6,04E+02	6,26E+02	5,51E+02	5,60E+02	5,68E+02	5,90E+02	6,13E+02

	21	22	23	24	25	Maintenance	Dismantling
CO2	3,76E+04	3,80E+04	3,83E+04	3,81E+04	3,80E+04	2,49E+02	4,42E+02
CO	1,11E+02	1,12E+02	1,13E+02	1,13E+02	1,12E+02	7,96E+00	1,41E+01
CH4	1,01E+00	1,02E+00	1,02E+00	1,02E+00	1,01E+00	4,08E-02	7,25E-02
Nox	1,07E+03	1,08E+03	1,09E+03	1,08E+03	1,08E+03	1,46E+00	2,59E+00
PM (all)	8,39E+01	8,49E+01	8,59E+01	8,55E+01	8,51E+01	2,32E-01	4,12E-01
SO2	5,43E+02	5,49E+02	5,55E+02	5,53E+02	5,50E+02	1,32E+00	2,34E+00

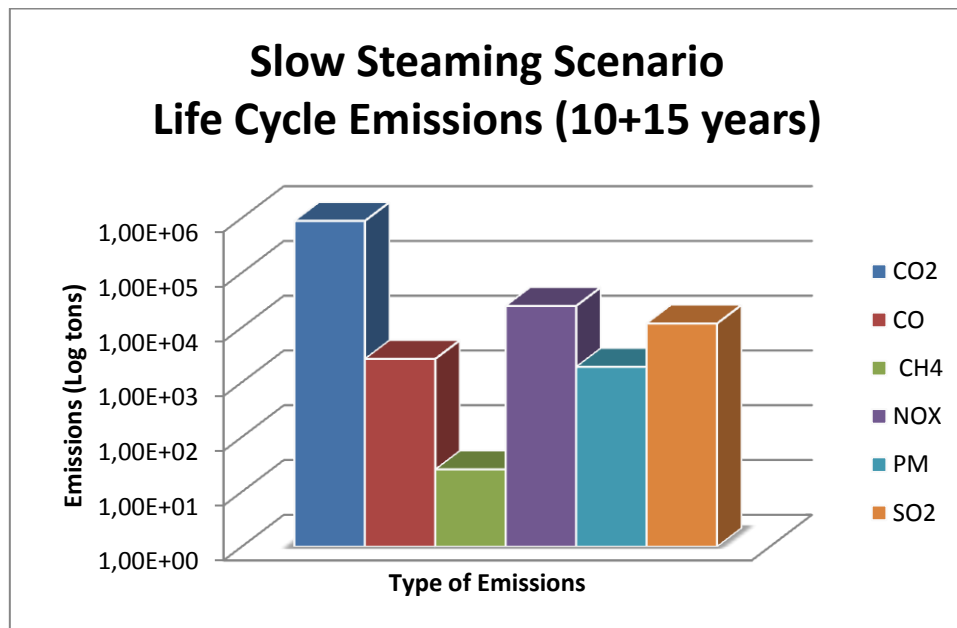
Πίνακας 38. Συγκεντρωτικός πίνακας εκπεμπόμενων αερίων για όλη την διάρκεια ζωής του πλοίου σε ετήσια βάση σεναρίου κανονικής λειτουργίας

Σενάριο Slow Steaming

Σε αυτό το σενάριο λειτουργίας υποθέσαμε πως το πλοίο μας για τα πρώτα 15 χρόνια λειτουργίας του λειτουργεί κάτω από κανονικές συνθήκες και τα υπόλοιπα 10 έχει μειωμένη ταχύτητα στους 10,5 κόμβους για την έμφορτη κατάσταση και 13 κόμβους στην κατάσταση ερματισμού.

Total Life Cycle Emissions		
CO ₂	8,89E+05	tons
CO	2,69E+03	tons
CH ₄	2,58E+01	tons
Nox	2,49E+04	tons
PM (all)	1,92E+03	tons
SO ₂	1,19E+04	tons

Πίνακας 39. Συγκεντρωτικές ποσότητες εκπεμπόμενων ρύπων για το σενάριο μειωμένης ταχύτητας



Διάγραμμα 4. Απεικόνιση τελικών αποτελεσμάτων

REAL SPEED SCENARIO(15 YEARS)											
	Shipbuilding	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
CO2	6,97E+03	3,89E+04	4,06E+04	4,15E+04	4,29E+04	4,43E+04	3,91E+04	3,99E+04	4,06E+04	4,20E+04	4,33E+04
CO	2,76E+01	1,15E+02	1,20E+02	1,23E+02	1,27E+02	1,31E+02	1,16E+02	1,18E+02	1,20E+02	1,24E+02	1,28E+02
CH4	1,58E+00	1,03E+00	1,09E+00	1,11E+00	1,13E+00	1,16E+00	1,05E+00	1,07E+00	1,08E+00	1,11E+00	1,16E+00
Nox	3,42E+01	1,10E+03	1,15E+03	1,18E+03	1,22E+03	1,26E+03	1,11E+03	1,13E+03	1,15E+03	1,19E+03	1,23E+03
PM (all)	8,49E+00	8,77E+01	9,07E+01	9,31E+01	9,69E+01	1,01E+02	8,70E+01	8,91E+01	9,11E+01	9,48E+01	9,70E+01
SO2	1,96E+01	0,00E+00	5,86E+02	6,01E+02	6,25E+02	6,49E+02	5,62E+02	5,75E+02	5,88E+02	6,12E+02	6,26E+02

	REAL SPEED SCENARIO(15 YEARS)						SLOW STEAMING (10 YEARS)					
	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
CO2	4,33E+04	3,87E+04	3,90E+04	4,01E+04	4,14E+04	4,27E+04	2,55E+04	2,62E+04	2,69E+04	2,76E+04	2,83E+04	
CO	1,28E+02	1,14E+02	1,16E+02	1,19E+02	1,22E+02	1,26E+02	7,87E+01	8,09E+01	8,27E+01	8,45E+01	8,66E+01	
CH4	1,16E+00	1,04E+00	1,07E+00	1,07E+00	1,10E+00	1,12E+00	7,50E-01	7,65E-01	7,77E-01	7,90E-01	8,04E-01	
Nox	1,23E+03	1,10E+03	1,11E+03	1,14E+03	1,17E+03	1,21E+03	7,05E+02	7,27E+02	7,45E+02	7,64E+02	7,85E+02	
PM (all)	9,70E+01	8,61E+01	8,58E+01	8,99E+01	9,36E+01	9,72E+01	4,97E+01	5,18E+01	5,36E+01	5,54E+01	5,74E+01	
SO2	6,26E+02	5,57E+02	5,55E+02	5,81E+02	6,04E+02	6,26E+02	3,30E+02	3,43E+02	3,54E+02	3,65E+02	3,78E+02	

	SLOW STEAMING (10 YEARS)						Maintenance	Dismantling
	21	22	23	24	25			
CO2	2,56E+04	2,63E+04	2,68E+04	2,67E+04	2,66E+04	2,49E+02	4,42E+02	
CO	7,88E+01	8,09E+01	8,24E+01	8,20E+01	8,16E+01	7,96E+00	1,41E+01	
CH4	7,47E-01	7,61E-01	7,71E-01	7,67E-01	7,64E-01	4,08E-02	7,25E-02	
Nox	7,08E+02	7,29E+02	7,44E+02	7,40E+02	7,37E+02	1,46E+00	2,59E+00	
PM (all)	5,03E+01	5,23E+01	5,38E+01	5,35E+01	5,33E+01	2,32E-01	4,12E-01	
SO2	3,33E+02	3,46E+02	3,55E+02	3,54E+02	3,52E+02	1,32E+00	2,34E+00	

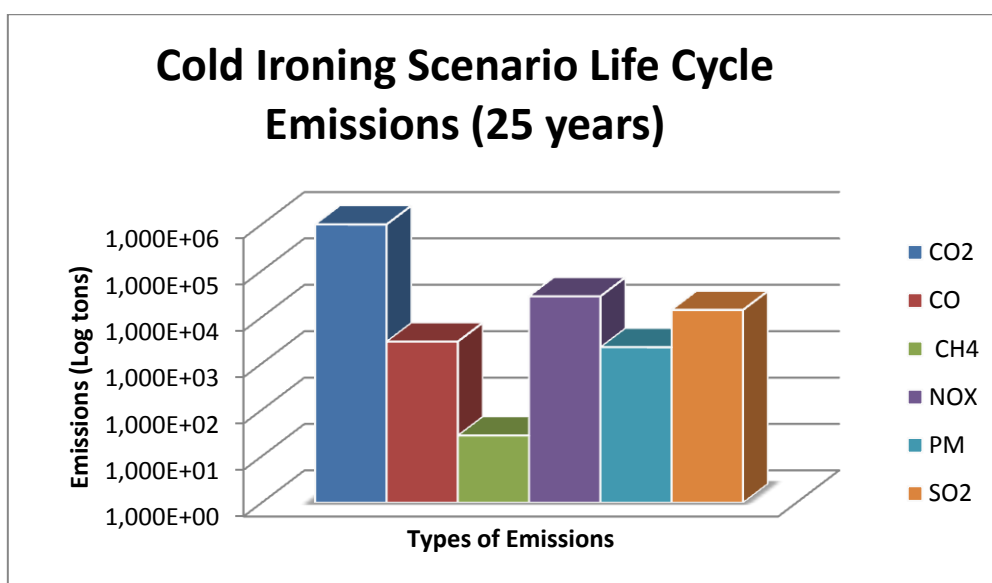
Πίνακας 40. Συγκεντρωτικός πίνακας εκπεμπόμενων αερίων για όλη την διάρκεια ζωής του πλοίου σε ετήσια βάση σεναρίου Slow Steaming.

Σενάριο Cold Ironing

Σε αυτό το σενάριο εφαρμόζεται στην λειτουργία του πλοίου μας ένα μέτρο μείωσης των εκπεμπόμενων αέριων ρύπων που προέρχονται από την παραμονή του πλοίου στα λιμάνια για λόγους φορτοεκφόρτωσης. Σύμφωνα με αυτό το μέτρο το πλοίο συνδέεται με το λιμάνι και έτσι του παρέχεται όλη εκείνη η ενέργεια που χρειάζεται για να πραγματοποιηθεί η φορτοεκφόρτωση χωρίς να λειτουργούν οι ηλεκτρογεννήτριες του πλοίου.

Total Life Cycle Emissions		
CO2	9,926E+05	tons
CO	2,963E+03	tons
CH4	2,798E+01	tons
Nox	2,807E+04	tons
PM (all)	2,243E+03	tons
SO2	1,427E+04	tons

Πίνακας 41. Συγκεντρωτικές ποσότητες εκπεμπόμενων ρύπων για το σενάριο Cold Ironing



Διάγραμμα 5. Απεικόνιση τελικών αποτελεσμάτων

	Shipbuilding	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
CO2	6,97E+03	3,52E+04	3,99E+04	4,08E+04	4,22E+04	4,36E+04	3,84E+04	3,92E+04	3,99E+04	4,46E+04	4,28E+04
CO	2,76E+01	1,04E+02	1,18E+02	1,21E+02	1,25E+02	1,29E+02	1,14E+02	1,16E+02	1,18E+02	1,32E+02	1,26E+02
CH4	1,58E+00	9,53E-01	1,07E+00	1,09E+00	1,12E+00	1,15E+00	1,04E+00	1,05E+00	1,07E+00	1,18E+00	1,13E+00
Nox	3,42E+01	1,00E+03	1,14E+03	1,16E+03	1,20E+03	1,24E+03	1,09E+03	1,11E+03	1,14E+03	1,27E+03	1,22E+03
PM (all)	8,49E+00	7,90E+01	9,00E+01	9,24E+01	9,62E+01	9,99E+01	8,63E+01	8,84E+01	9,04E+01	1,02E+02	9,82E+01
SO2	1,96E+01	5,05E+02	5,74E+02	5,89E+02	6,13E+02	6,37E+02	5,50E+02	5,64E+02	5,77E+02	6,48E+02	6,26E+02

	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
CO2	3,80E+04	3,86E+04	3,92E+04	4,06E+04	4,19E+04	3,74E+04	3,79E+04	3,84E+04	3,97E+04	4,09E+04
CO	1,13E+02	1,14E+02	1,16E+02	1,20E+02	1,24E+02	1,11E+02	1,12E+02	1,13E+02	1,17E+02	1,21E+02
CH4	1,02E+00	1,04E+00	1,05E+00	1,08E+00	1,10E+00	1,01E+00	1,02E+00	1,03E+00	1,05E+00	1,08E+00
Nox	1,08E+03	1,10E+03	1,12E+03	1,15E+03	1,19E+03	1,06E+03	1,08E+03	1,09E+03	1,13E+03	1,17E+03
PM (all)	8,54E+01	8,72E+01	8,88E+01	9,25E+01	9,60E+01	8,42E+01	8,55E+01	8,69E+01	9,04E+01	9,39E+01
SO2	5,45E+02	5,56E+02	5,67E+02	5,90E+02	6,12E+02	5,37E+02	5,46E+02	5,54E+02	5,77E+02	5,99E+02

	21	22	23	24	25	Maintenance	Dismantling
CO2	3,68E+04	3,71E+04	3,75E+04	3,73E+04	3,71E+04	2,49E+02	4,42E+02
CO	1,09E+02	1,10E+02	1,11E+02	1,10E+02	1,10E+02	7,96E+00	1,41E+01
CH4	9,89E-01	9,96E-01	1,00E+00	9,97E-01	9,93E-01	4,08E-02	7,25E-02
Nox	1,05E+03	1,06E+03	1,07E+03	1,06E+03	1,06E+03	1,46E+00	2,59E+00
PM (all)	8,29E+01	8,39E+01	8,49E+01	8,45E+01	8,41E+01	2,32E-01	4,12E-01
SO2	5,29E+02	5,35E+02	5,42E+02	5,39E+02	5,37E+02	1,32E+00	2,34E+00

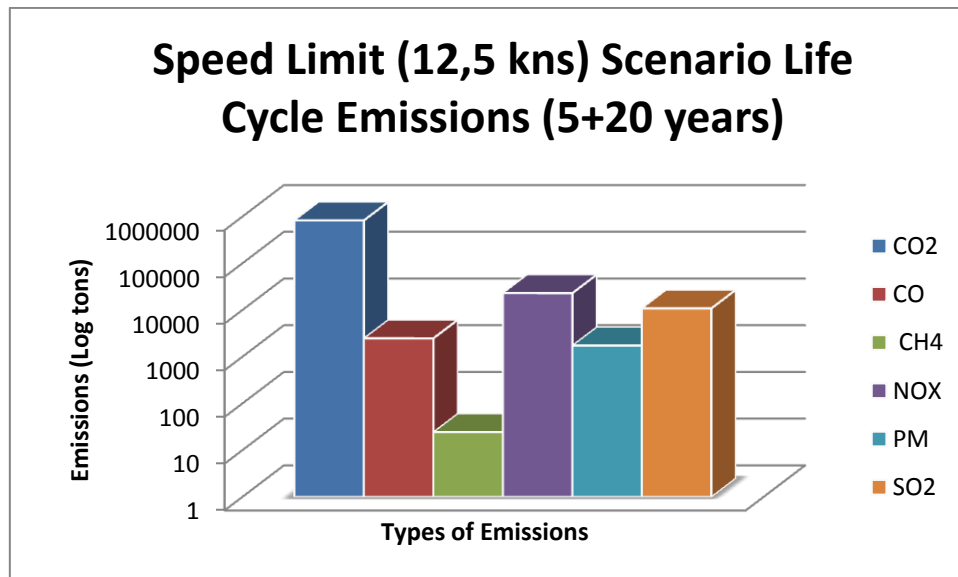
Πίνακας 42. Συγκεντρωτικός πίνακας εκπεμπόμενων αερίων για όλη την διάρκεια ζωής του πλοίου σε ετήσια βάση σεναρίου Cold Ironing.

Σενάριο Speed Limit

Σε αυτό το σενάριο έχουμε θεωρήσει πως το πλοίο μας λειτουργεί τα 5 πρώτα χρόνια της ζωής του σε κανονικές συνθήκες λειτουργίας και τα υπόλοιπα 20 λειτουργεί με περιορισμένη ταχύτητα λειτουργίας στους 12,5 κόμβους για όλες τις καταστάσεις.

Total Life Cycle Emissions		
CO ₂	8,406E+05	tons
CO	2,497E+03	tons
CH ₄	2,464E+01	tons
Nox	2,334E+04	tons
PM (all)	1,679E+03	tons
SO ₂	1,156E+04	tons

Πίνακας 43. Συγκεντρωτικές ποσότητες εκπεμπόμενων ρύπων για το σενάριο Speed Limit

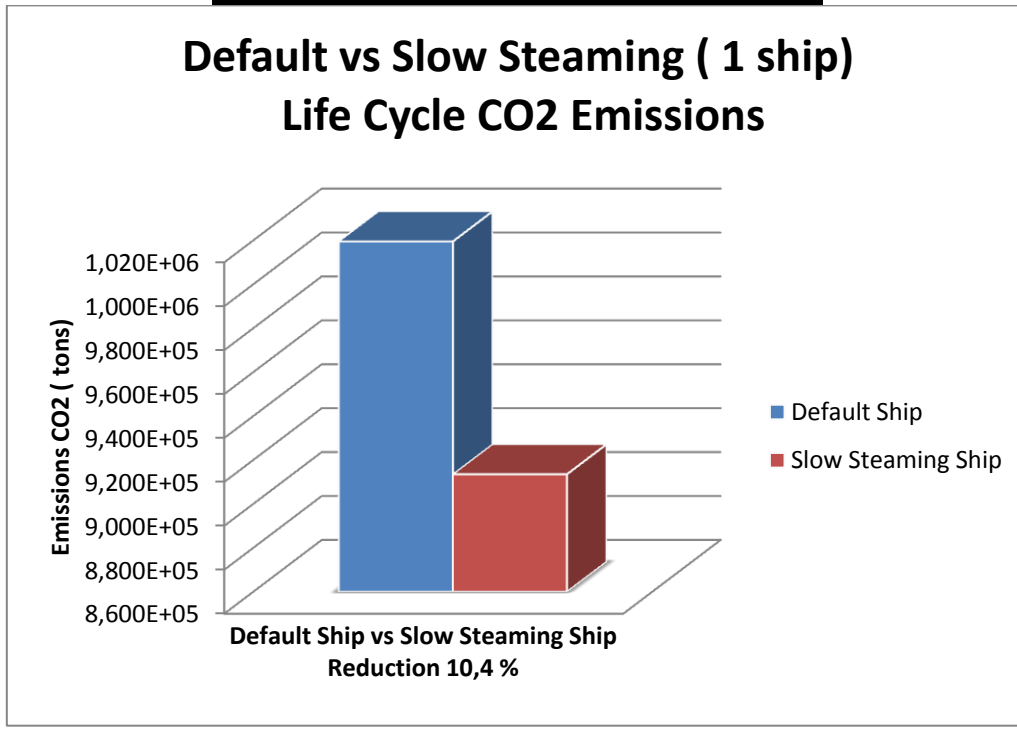


Διάγραμμα 6. Απεικόνιση τελικών αποτελεσμάτων

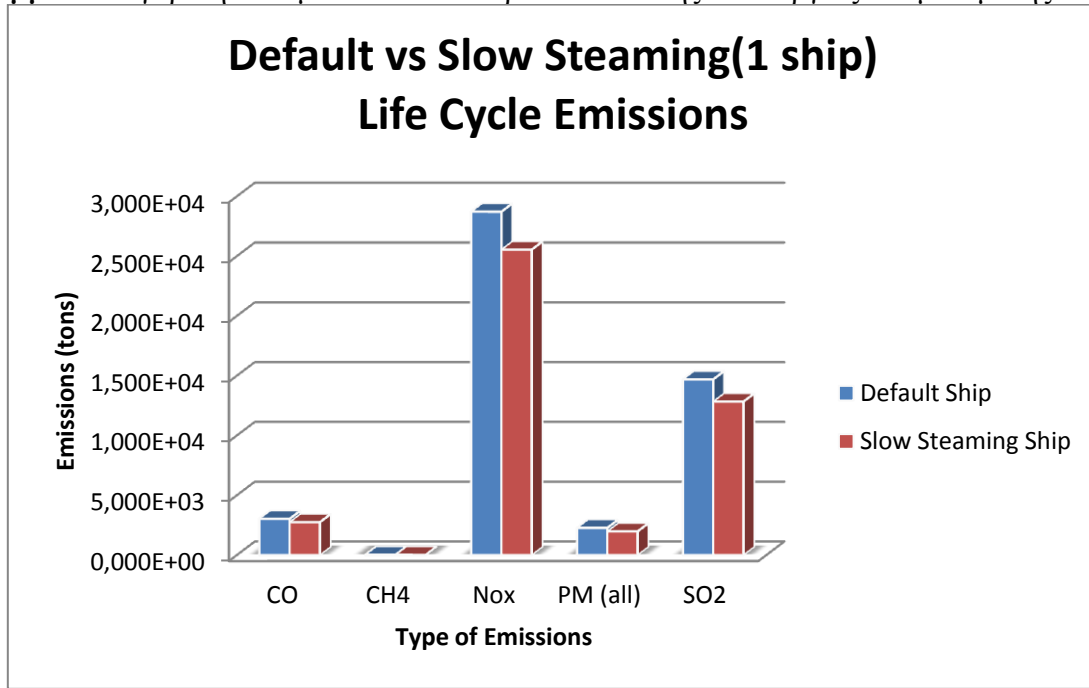
		REAL SPEED SCENARIO(5 YEARS)					SPEED LIMIT SCENARIO (20 YEARS)					
	Shipbuilding	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
CO2	6,97E+03	3,89E+04	4,06E+04	4,15E+04	4,29E+04	4,43E+04	3,09E+04	3,18E+04	3,24E+04	3,32E+04	3,37E+04	
CO	2,76E+01	1,15E+02	1,20E+02	1,23E+02	1,27E+02	1,31E+02	9,08E+01	9,36E+01	9,50E+01	9,73E+01	9,87E+01	
CH4	1,58E+00	1,03E+00	1,09E+00	1,11E+00	1,13E+00	1,16E+00	8,72E-01	9,07E-01	9,02E-01	9,18E-01	9,27E-01	
Nox	3,42E+01	1,10E+03	1,15E+03	1,18E+03	1,22E+03	1,26E+03	8,61E+02	8,86E+02	9,03E+02	9,26E+02	9,40E+02	
PM (all)	8,49E+00	0,00E+00	9,07E+01	9,31E+01	9,69E+01	1,01E+02	6,30E+01	6,43E+01	6,70E+01	6,92E+01	7,06E+01	
SO2	1,96E+01	5,66E+02	5,86E+02	6,01E+02	6,25E+02	6,49E+02	4,17E+02	4,25E+02	4,42E+02	4,56E+02	4,65E+02	
SPEED LIMIT SCENARIO (20 YEARS)												
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20		
CO2	3,04E+04	3,09E+04	3,17E+04	3,25E+04	3,30E+04	2,97E+04	3,02E+04	3,10E+04	3,18E+04	3,23E+04		
CO	8,93E+01	9,07E+01	9,30E+01	9,52E+01	9,66E+01	8,73E+01	8,87E+01	9,09E+01	9,31E+01	9,45E+01		
CH4	8,57E-01	8,67E-01	8,82E-01	8,98E-01	9,07E-01	8,39E-01	8,48E-01	8,63E-01	8,78E-01	8,86E-01		
Nox	8,46E+02	8,60E+02	8,83E+02	9,06E+02	9,20E+02	8,27E+02	8,41E+02	8,64E+02	8,86E+02	8,99E+02		
PM (all)	6,20E+01	6,33E+01	6,55E+01	6,77E+01	6,91E+01	6,06E+01	6,19E+01	6,41E+01	6,62E+01	6,75E+01		
SO2	4,10E+02	4,19E+02	4,33E+02	4,46E+02	4,55E+02	4,01E+02	4,10E+02	4,23E+02	4,37E+02	4,45E+02		
SPEED LIMIT SCENARIO (20 YEARS)												
	20	21	22	23	24	25	Maintenance	Dismantling				
CO2	3,23E+04	2,91E+04	2,96E+04	3,03E+04	3,02E+04	3,00E+04	2,49E+02	4,42E+02				
CO	9,45E+01	8,54E+01	8,67E+01	8,89E+01	8,85E+01	8,81E+01	7,96E+00	1,41E+01				
CH4	8,86E-01	8,20E-01	8,29E-01	8,43E-01	8,40E-01	8,36E-01	4,08E-02	7,25E-02				
Nox	8,99E+02	8,09E+02	8,22E+02	8,44E+02	8,40E+02	8,36E+02	1,46E+00	2,59E+00				
PM (all)	6,75E+01	5,92E+01	6,05E+01	6,26E+01	6,23E+01	6,21E+01	2,32E-01	4,12E-01				
SO2	4,45E+02	3,92E+02	4,01E+02	4,14E+02	4,12E+02	4,10E+02	1,32E+00	2,34E+00				

Πίνακας 44. Συγκεντρωτικός πίνακας εκπεμπόμενων αερίων για όλη την διάρκεια ζωής του πλοίου σε ετήσια βάση σεναρίου Speed Limit

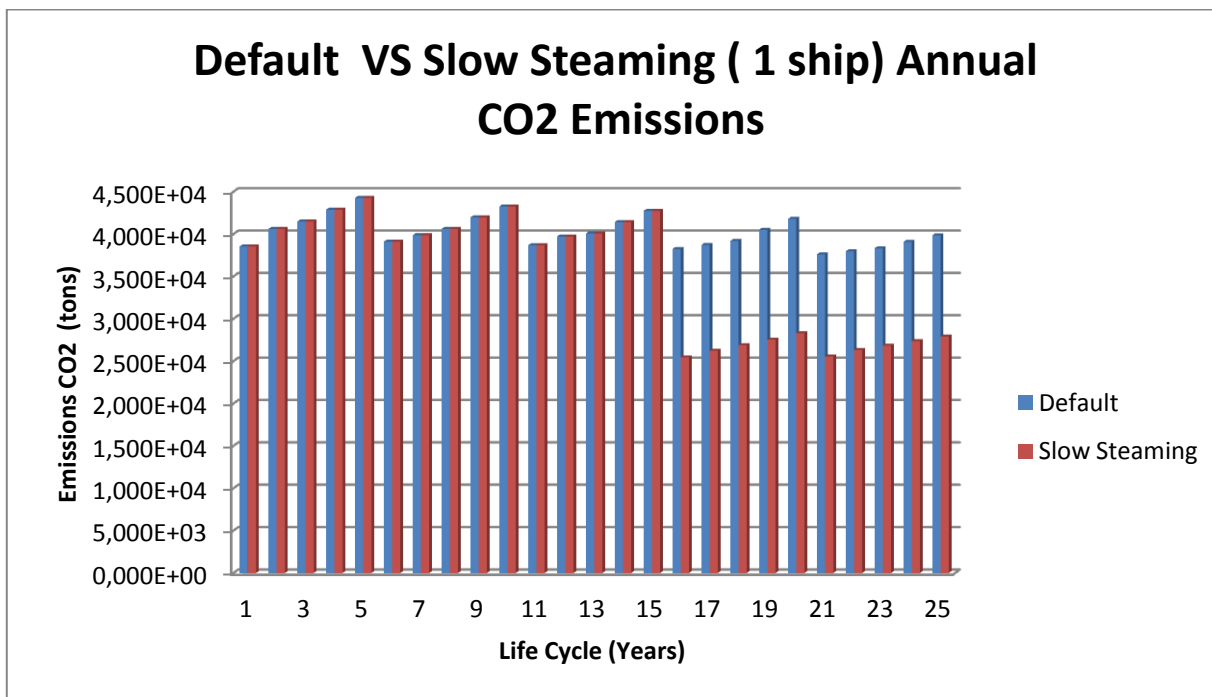
Συγκριτικά Αποτελέσματα



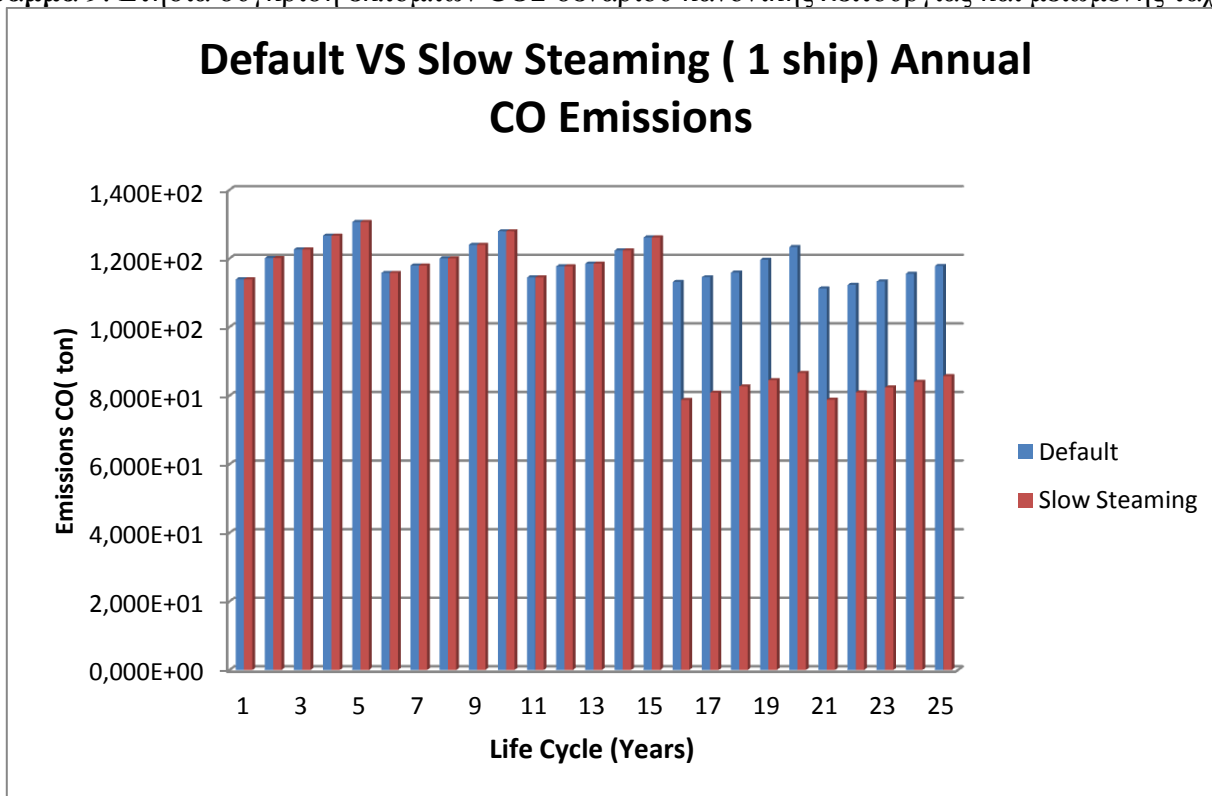
Διάγραμμα 7. Σύγκριση εκπομπών CO2 σεναρίου κανονικής λειτουργίας και μειωμένης ταχύτητας



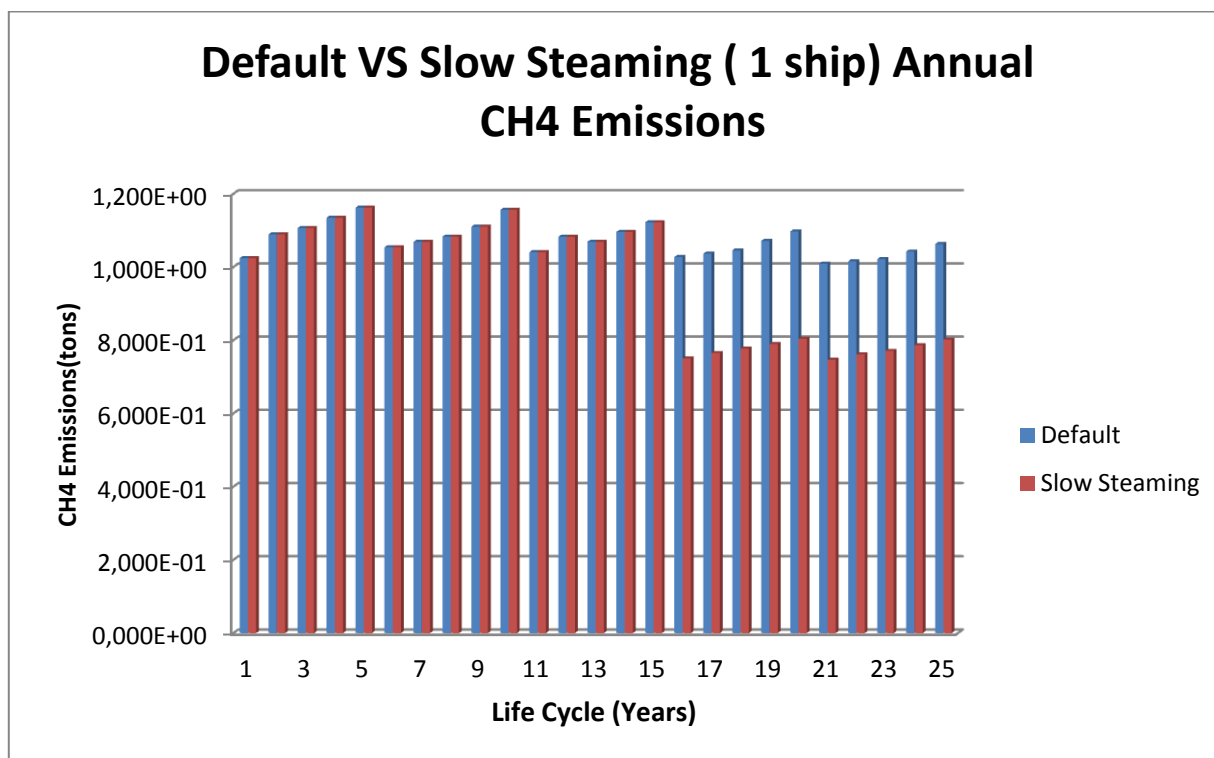
Διάγραμμα 8. Σύγκριση εκπομπών CO,CH4,NOX,PM,SO2 σεναρίου κανονικής λειτουργίας και μειωμένης ταχύτητας



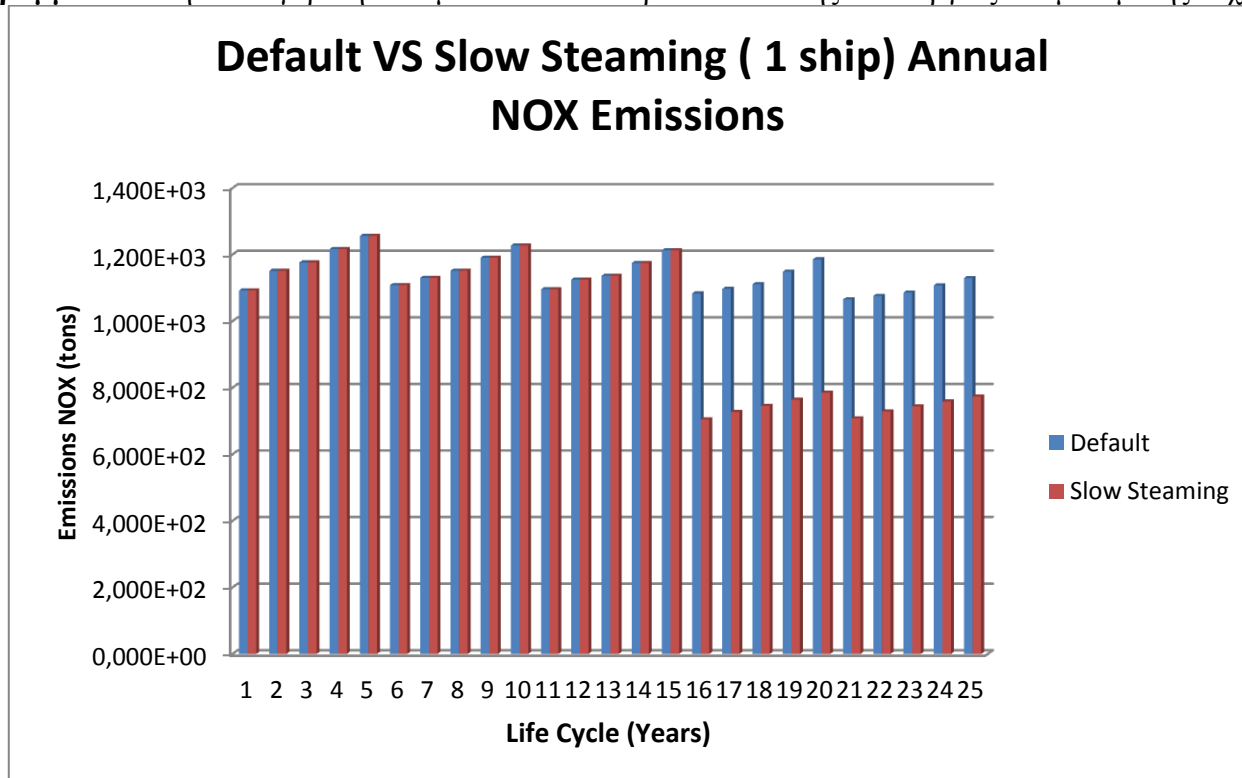
Διάγραμμα 9. Ετήσια σύγκριση εκπομπών CO2 σεναρίου κανονικής λειτουργίας και μειωμένης ταχύτητας



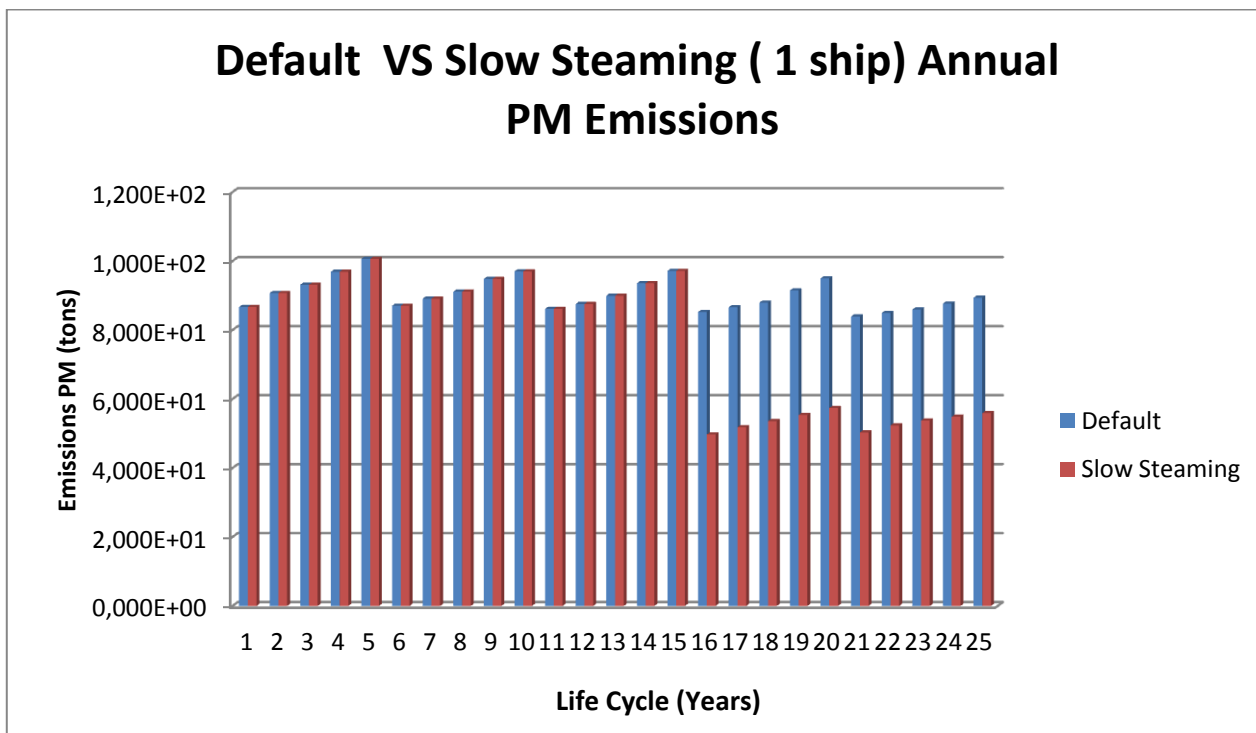
Διάγραμμα 10. Ετήσια σύγκριση εκπομπών CO σεναρίου κανονικής λειτουργίας και μειωμένης ταχύτητας



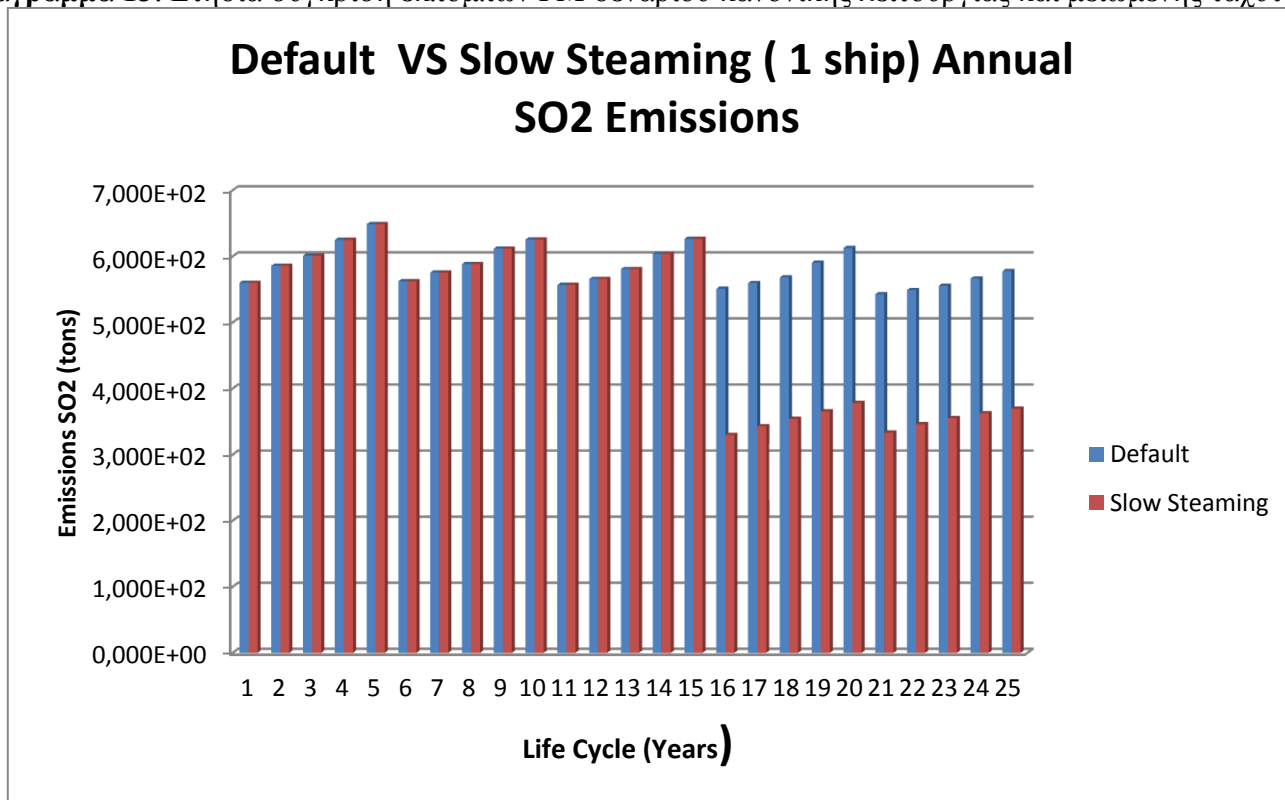
Διάγραμμα 11. Ετήσια σύγκριση εκπομπών CH₄ σεναρίου κανονικής λειτουργίας και μειωμένης ταχύτητας



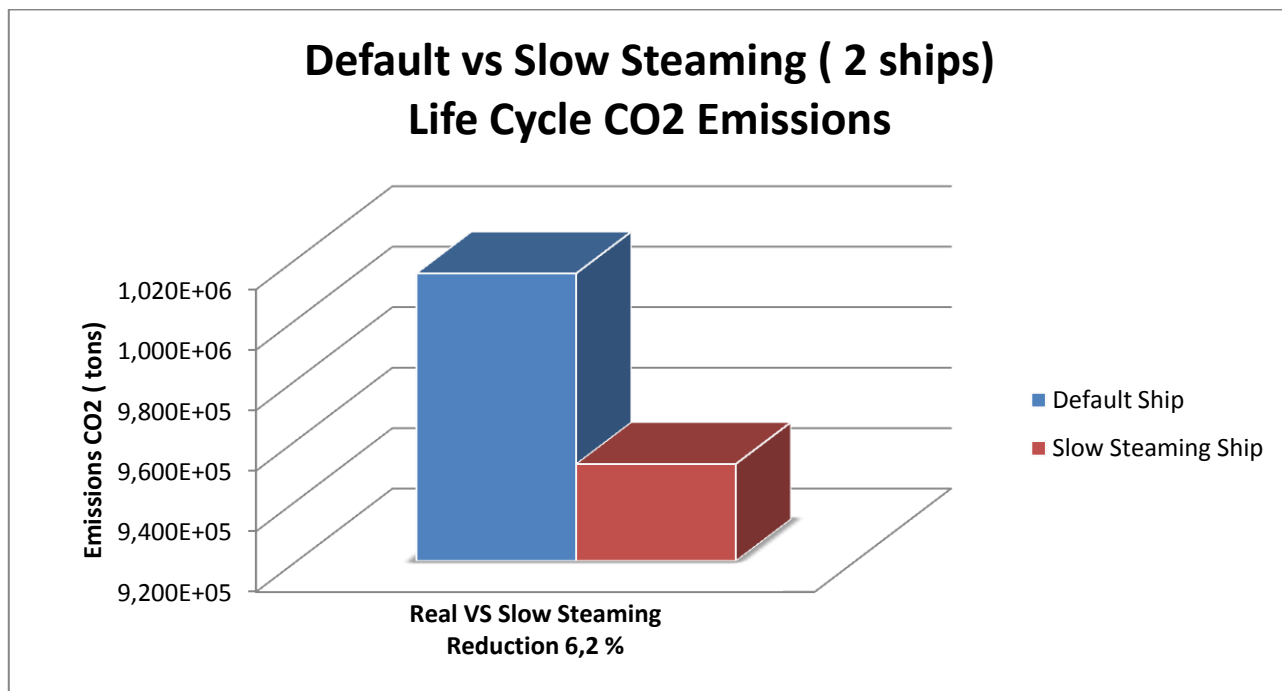
Διάγραμμα 12. Ετήσια σύγκριση εκπομπών NO_x σεναρίου κανονικής λειτουργίας και μειωμένης ταχύτητας



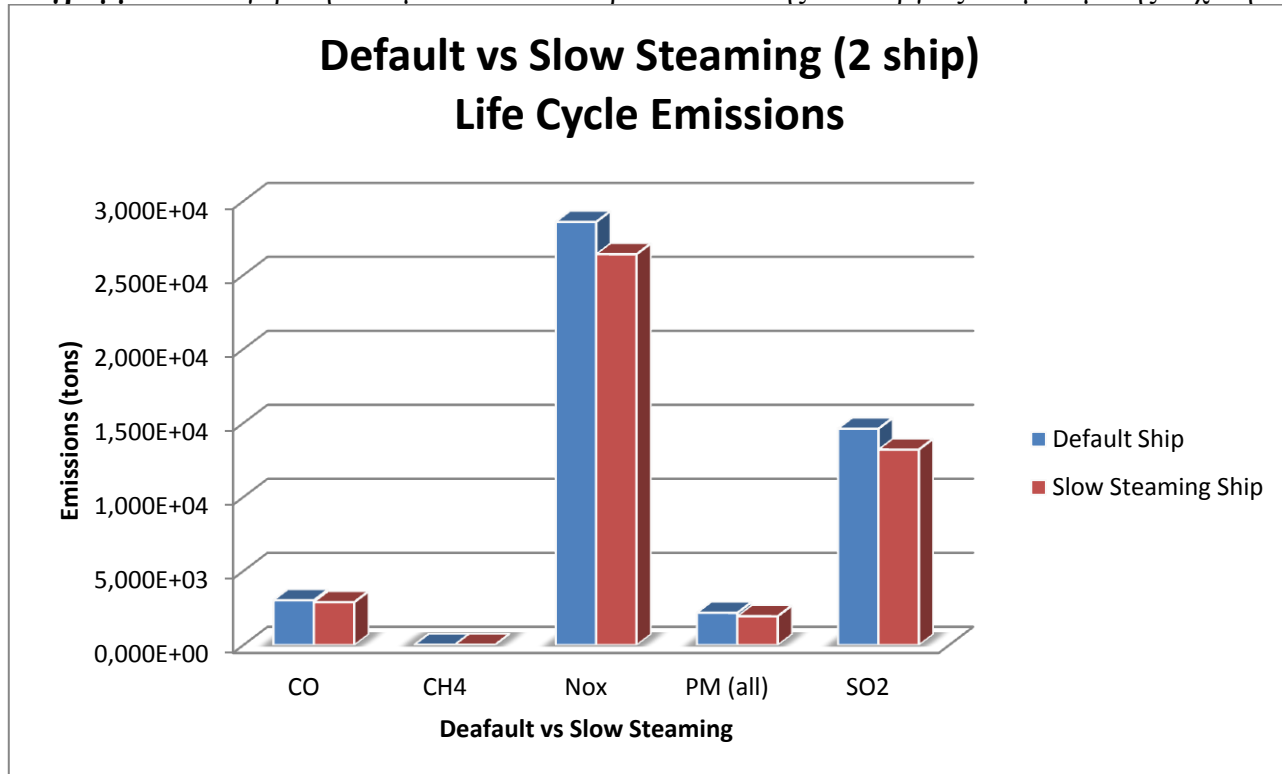
Διάγραμμα 13. Ετήσια σύγκριση εκπομπών PM σεναρίου κανονικής λειτουργίας και μειωμένης ταχύτητας



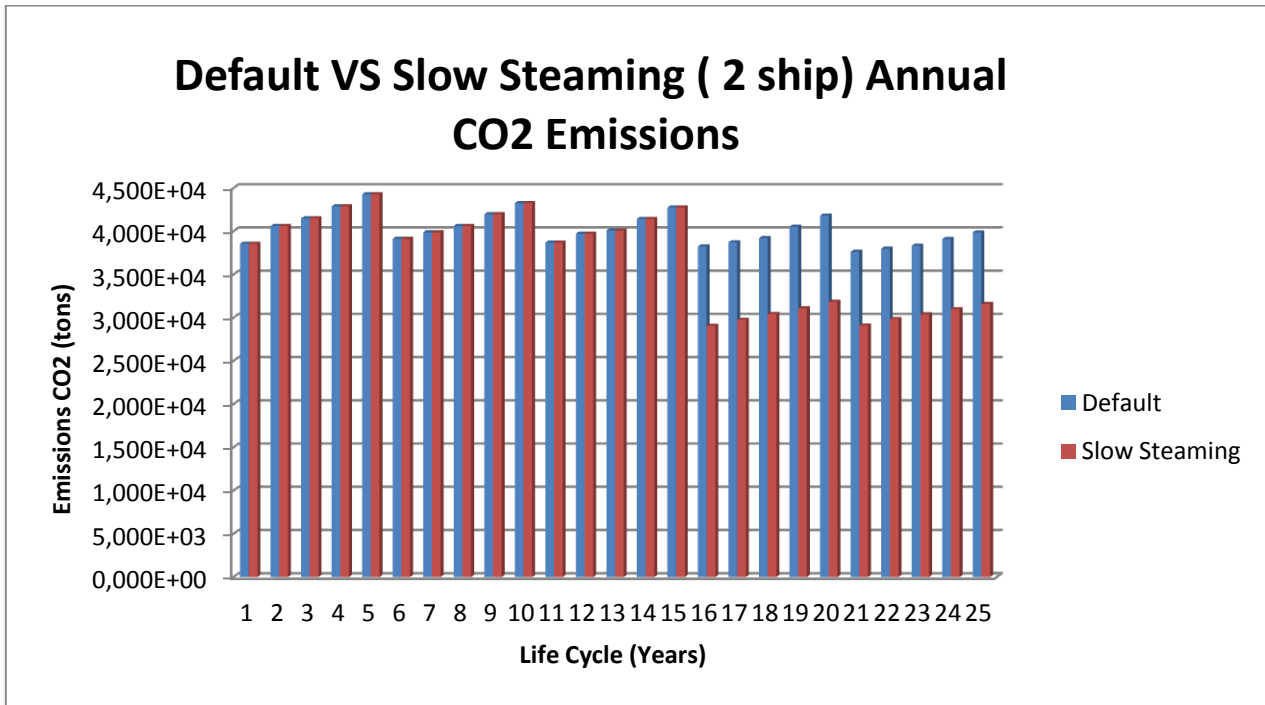
Διάγραμμα 14. Ετήσια σύγκριση εκπομπών SO2 σεναρίου κανονικής λειτουργίας και μειωμένης ταχύτητας



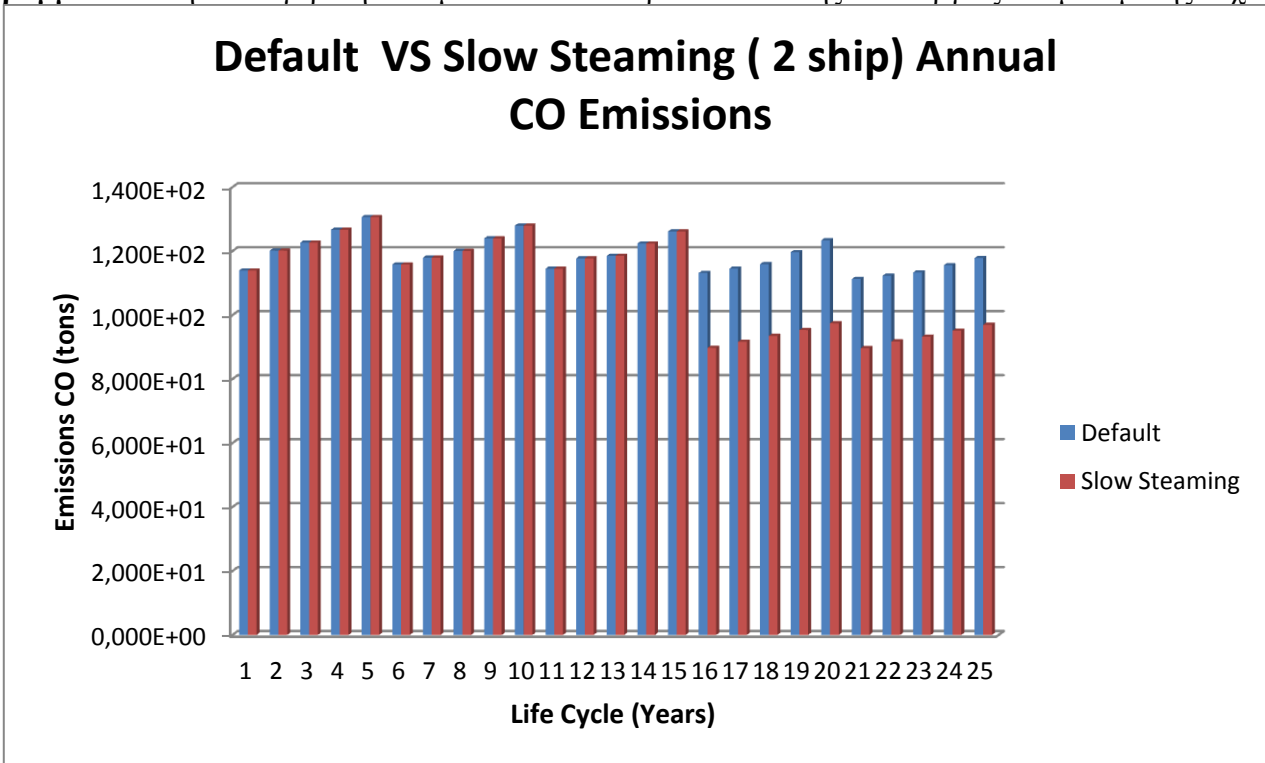
Διάγραμμα 15. Σύγκριση εκπομπών CO2 σεναρίου κανονικής λειτουργίας και μειωμένης ταχύτητας



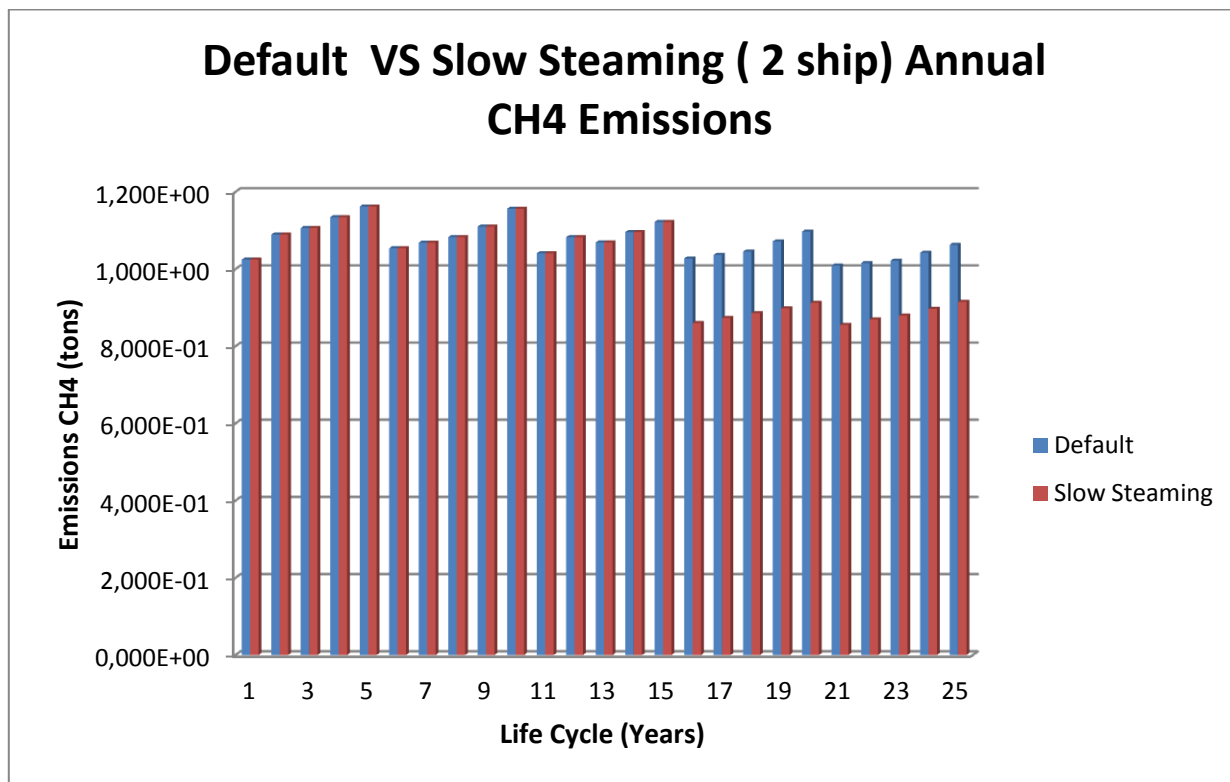
Διάγραμμα 16. Σύγκριση εκπομπών CO,CH4,NOX,PM,SO2 σεναρίου κανονικής λειτουργίας και μειωμένης ταχύτητας



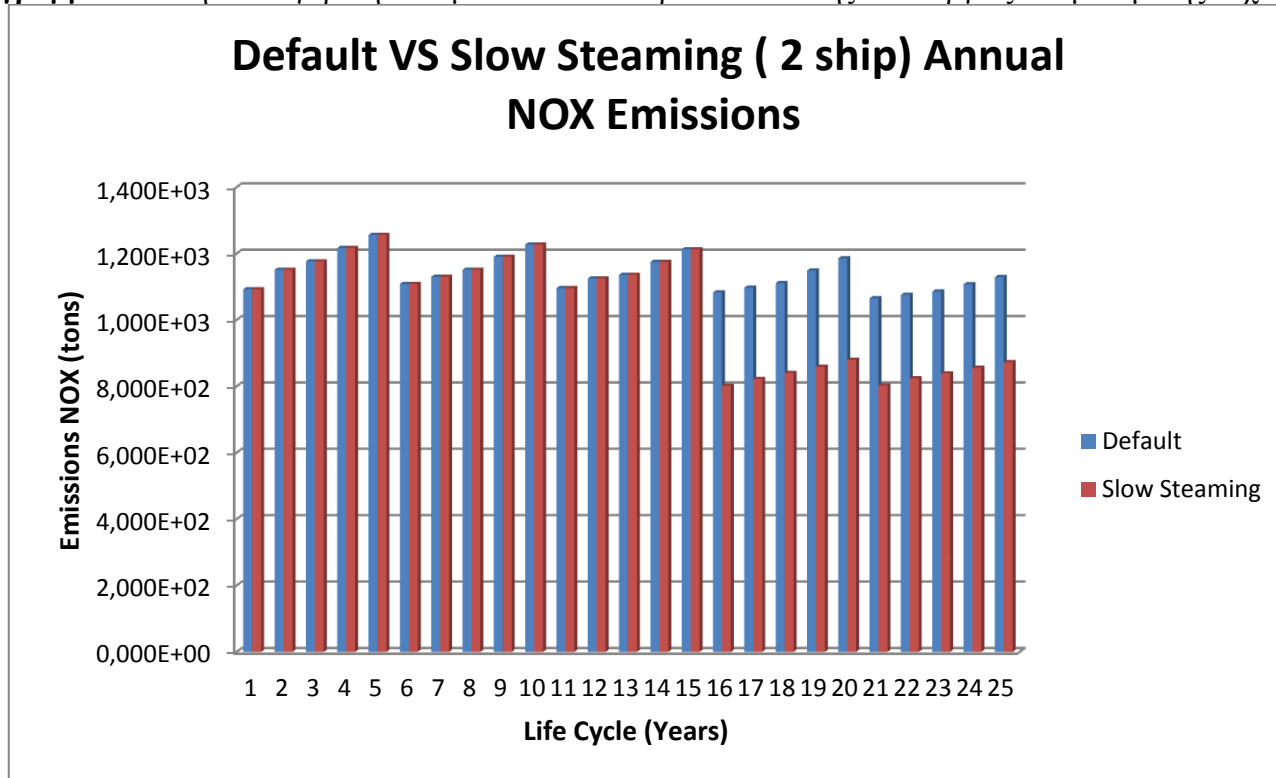
Διάγραμμα 17. Ετήσια σύγκριση εκπομπών CO2 σεναρίου κανονικής λειτουργίας και μειωμένης ταχύτητας



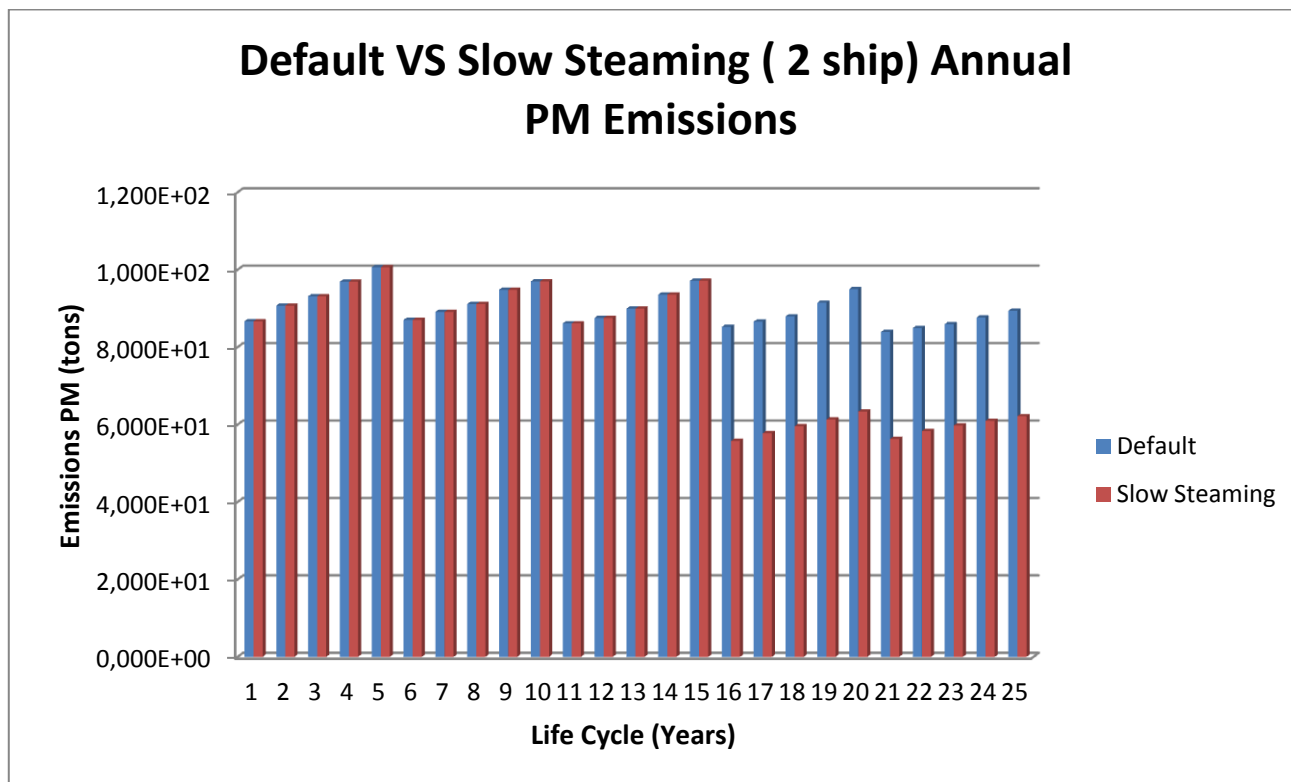
Διάγραμμα 18. Ετήσια σύγκριση εκπομπών CO σεναρίου κανονικής λειτουργίας και μειωμένης ταχύτητας



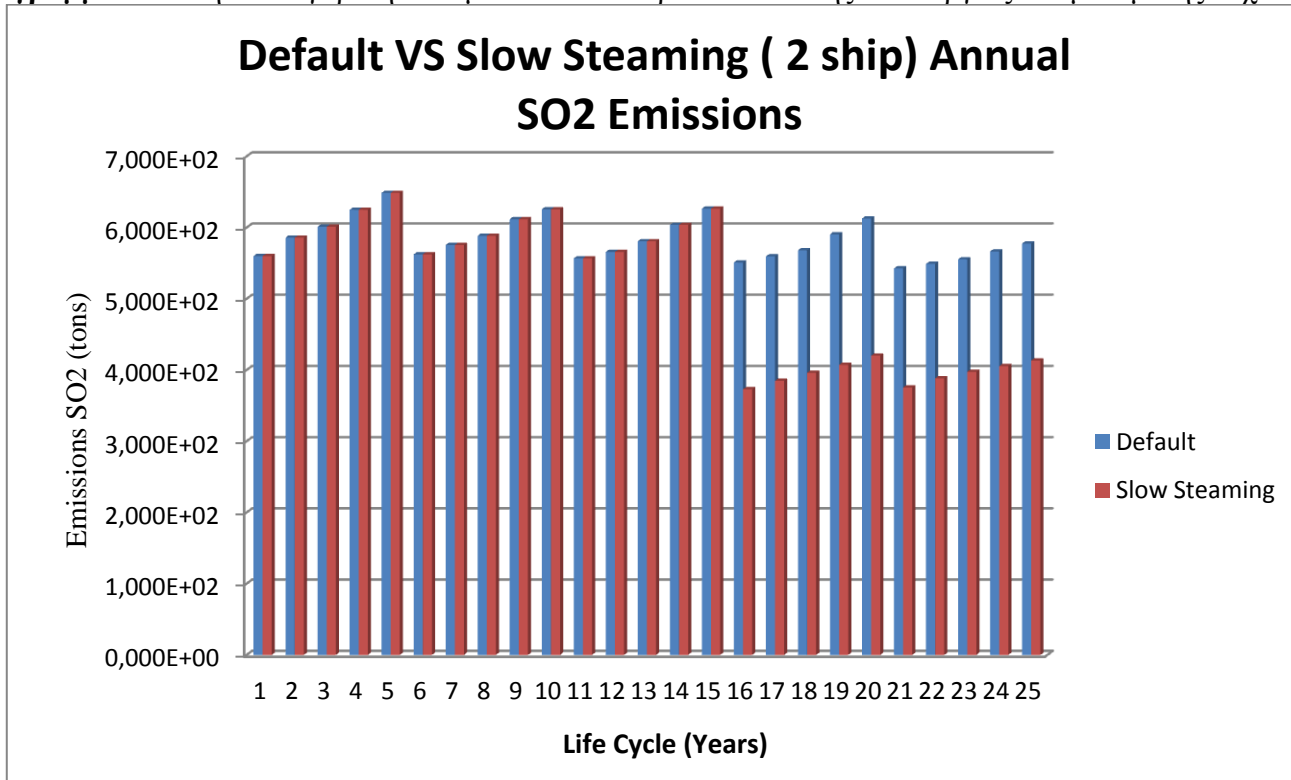
Διάγραμμα 19. Ετήσια σύγκριση εκπομπών CH4 σεναρίου κανονικής λειτουργίας και μειωμένης ταχύτητας



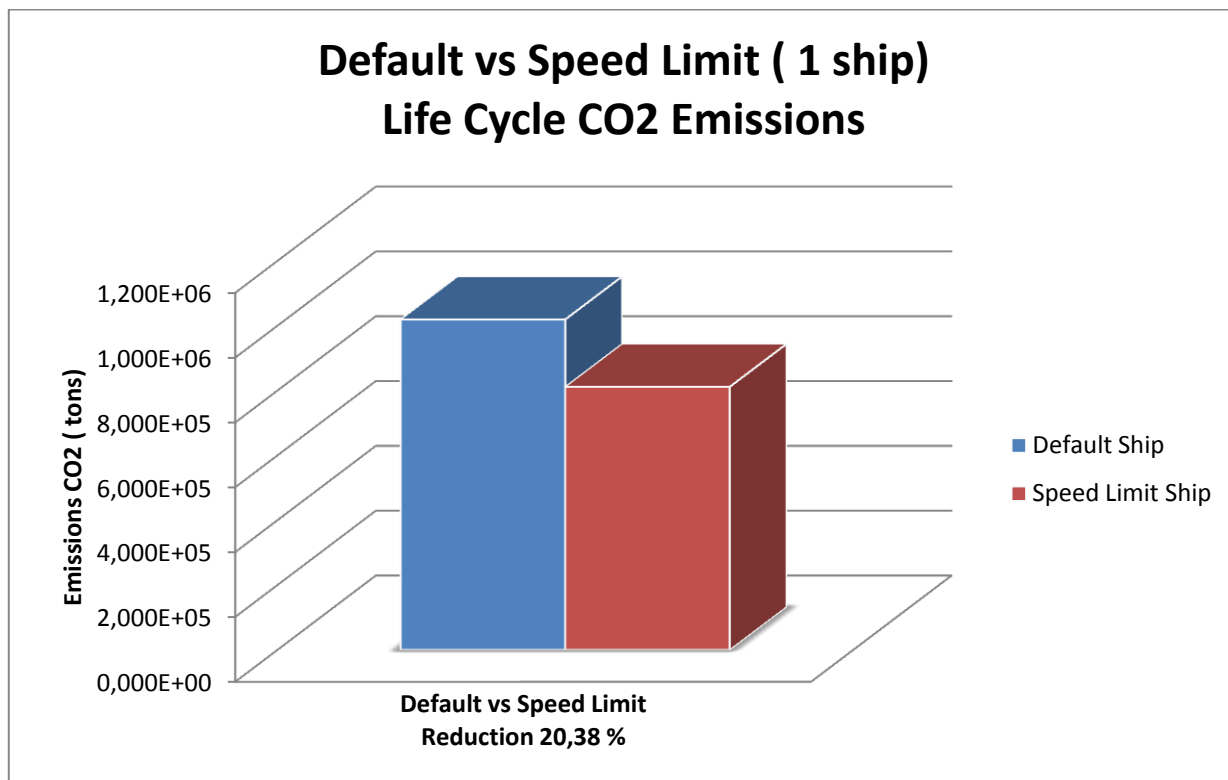
Διάγραμμα 20. Ετήσια σύγκριση εκπομπών NOX σεναρίου κανονικής λειτουργίας και μειωμένης ταχύτητας



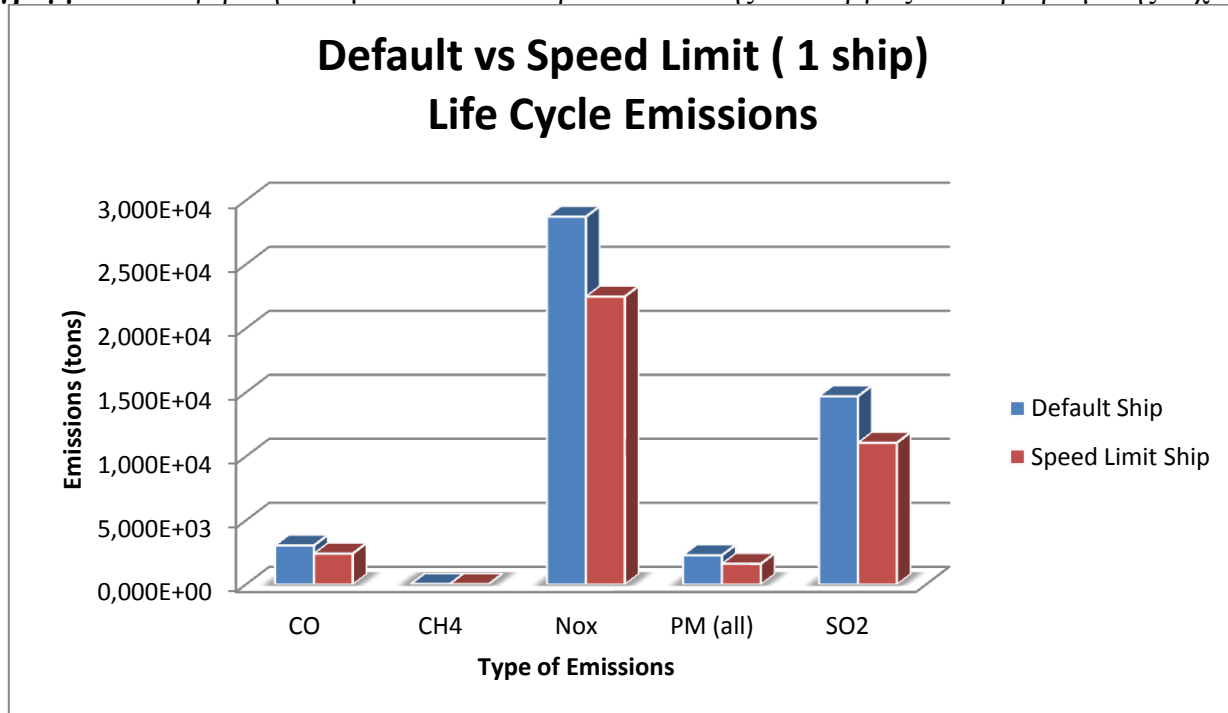
Διάγραμμα 21. Ετήσια σύγκριση εκπομπών PM σεναρίου κανονικής λειτουργίας και μειωμένης ταχύτητας



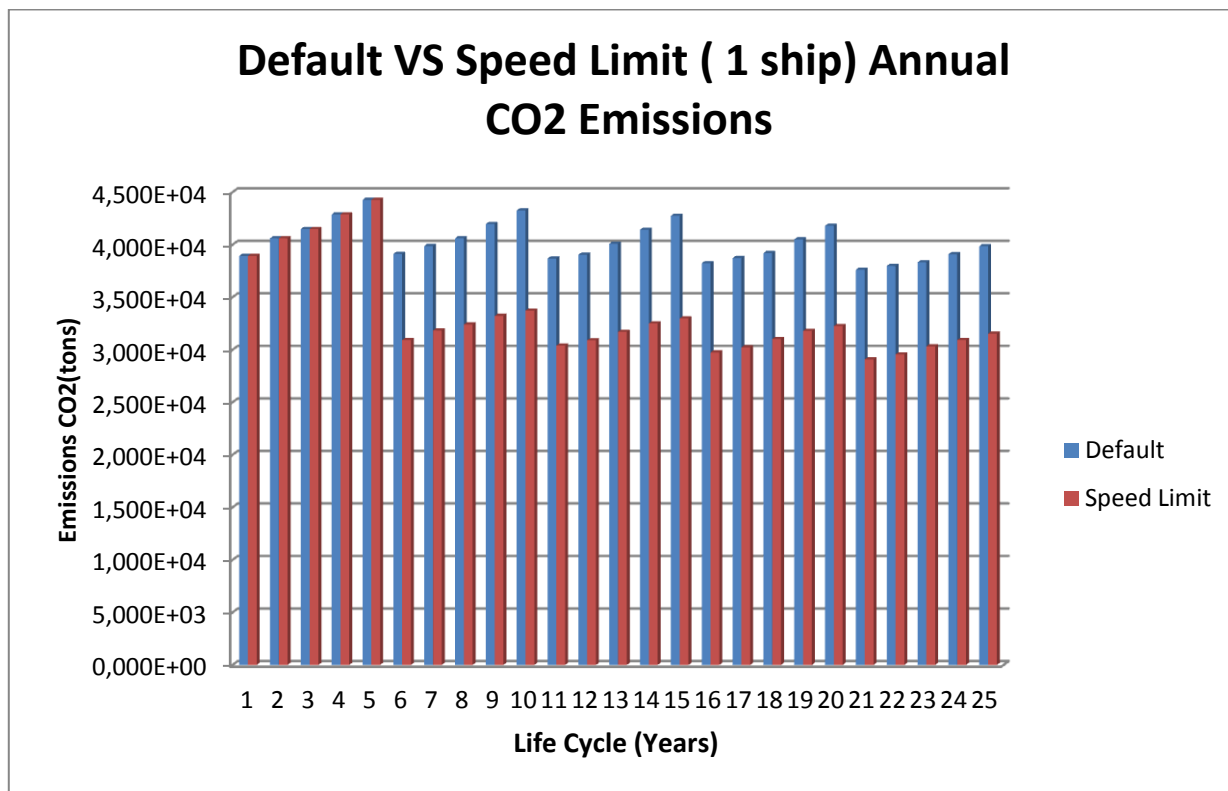
Διάγραμμα 22. Ετήσια σύγκριση εκπομπών SO2 σεναρίου κανονικής λειτουργίας και μειωμένης ταχύτητας
Default scenario VS Slow Steaming scenario



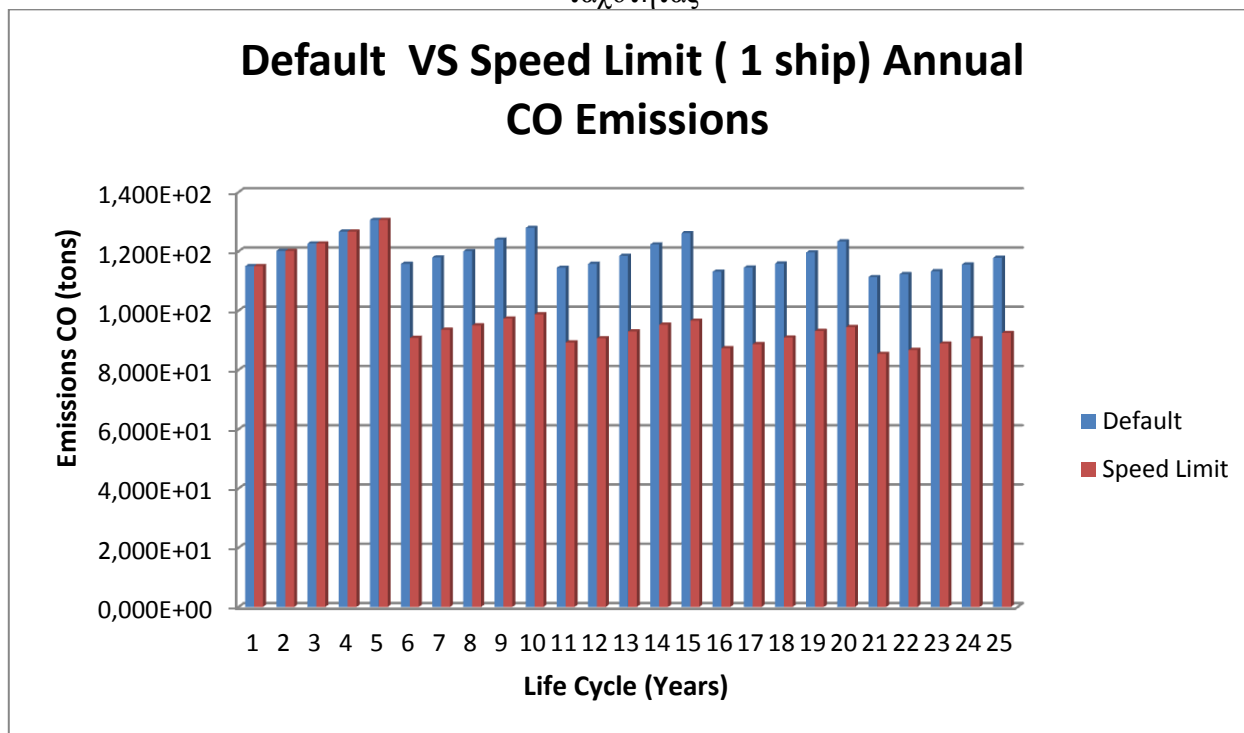
Διάγραμμα 23. Σύγκριση εκπομπών CO2 σεναρίου κανονικής λειτουργίας και περιορισμένης ταχύτητας



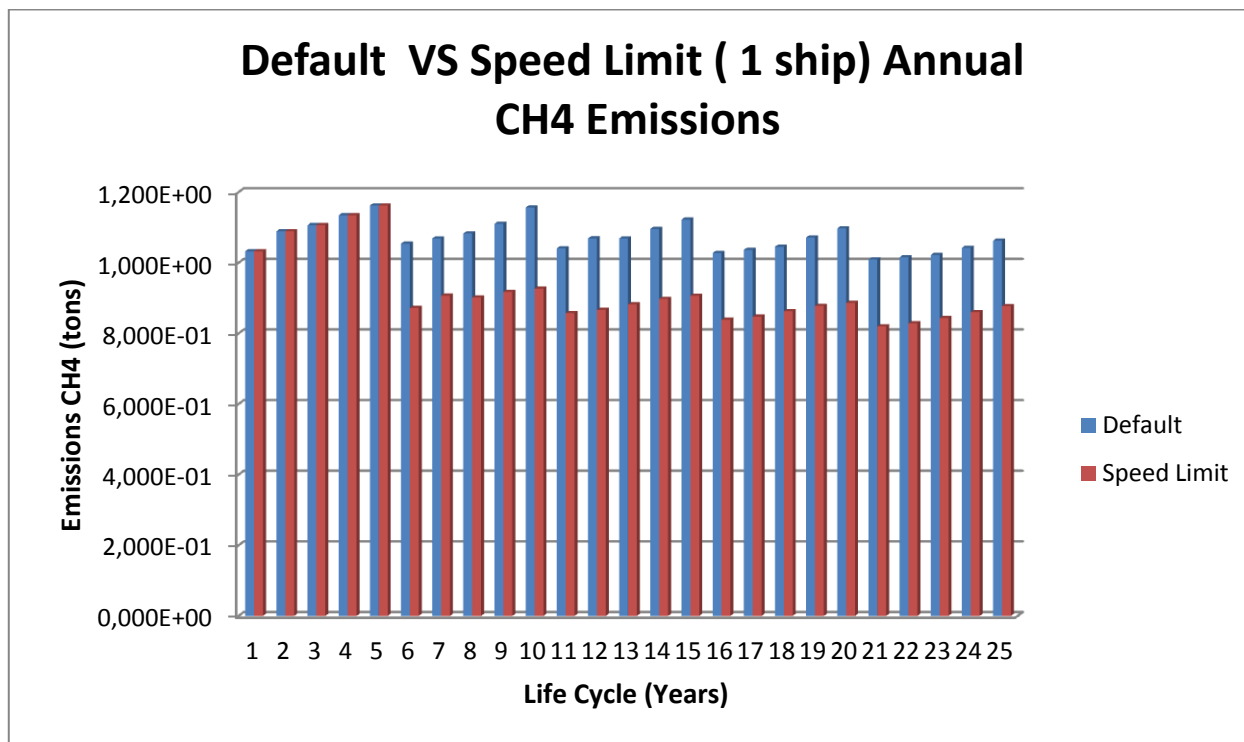
Διάγραμμα 24. Σύγκριση εκπομπών CO,CH4,NOX,PM,SO2 σεναρίου κανονικής λειτουργίας και περιορισμένης ταχύτητας



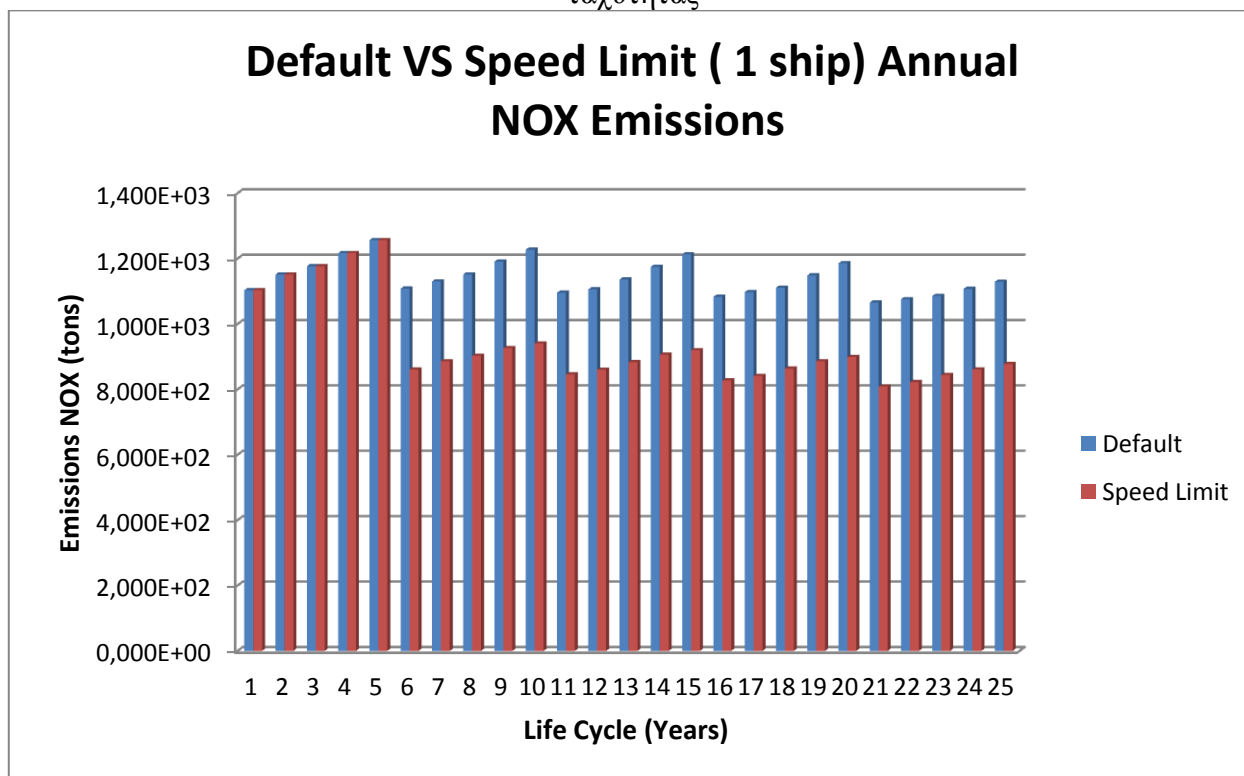
Διάγραμμα 25. Ετήσια σύγκριση εκπομπών CO2 σεναρίου κανονικής λειτουργίας και περιορισμένης ταχύτητας



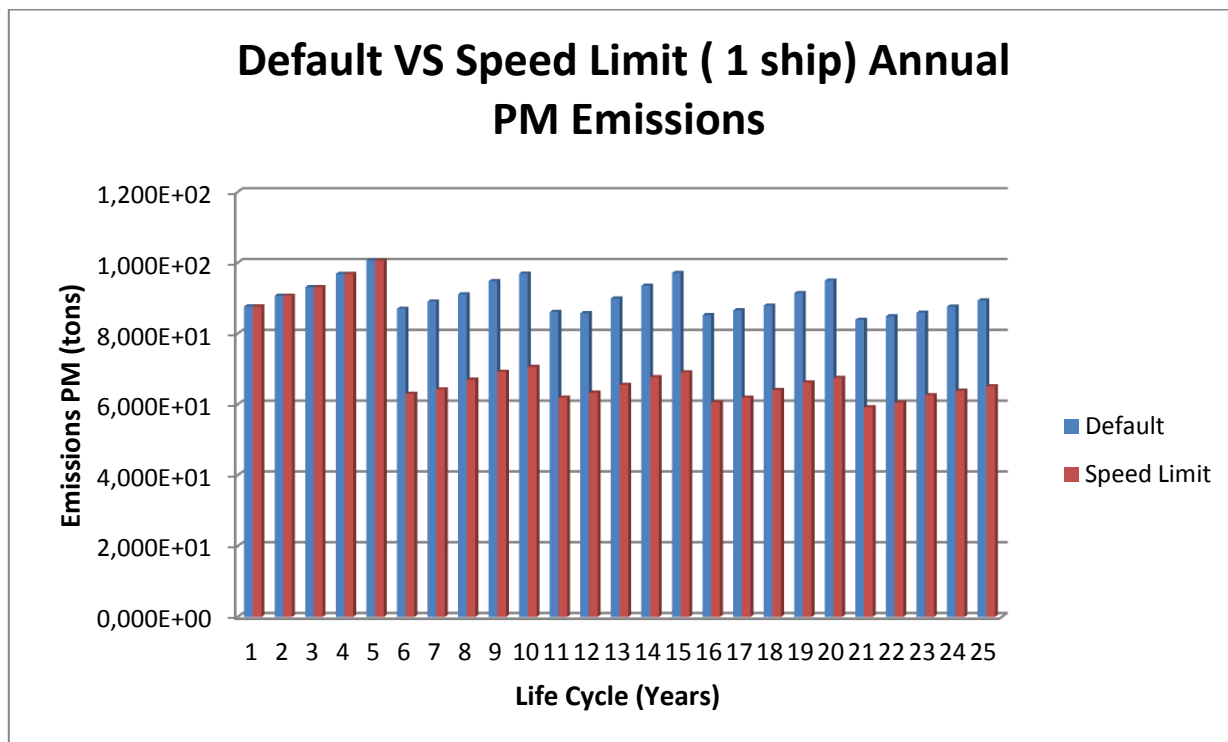
Διάγραμμα 26. Ετήσια σύγκριση εκπομπών CO σεναρίου κανονικής λειτουργίας και περιορισμένης ταχύτητας



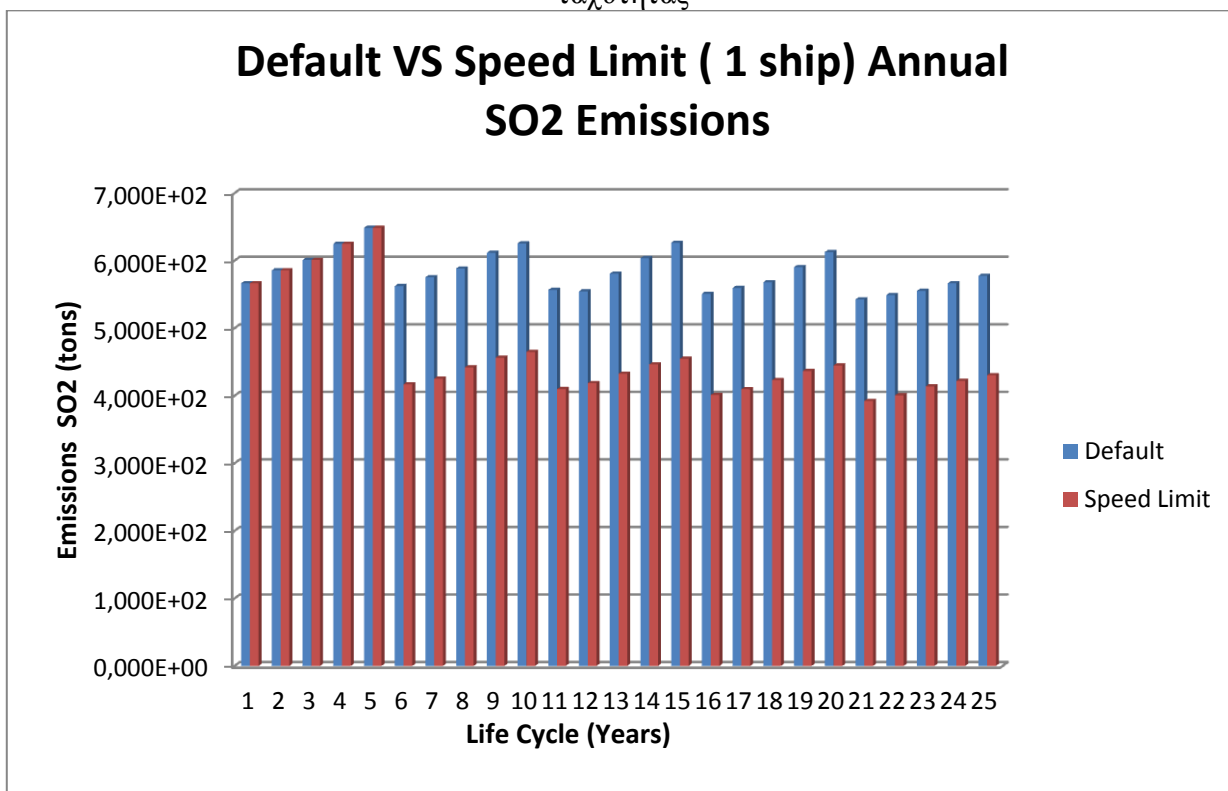
Διάγραμμα 27. Ετήσια σύγκριση εκπομπών CH4 σεναρίου κανονικής λειτουργίας και περιορισμένης ταχύτητας



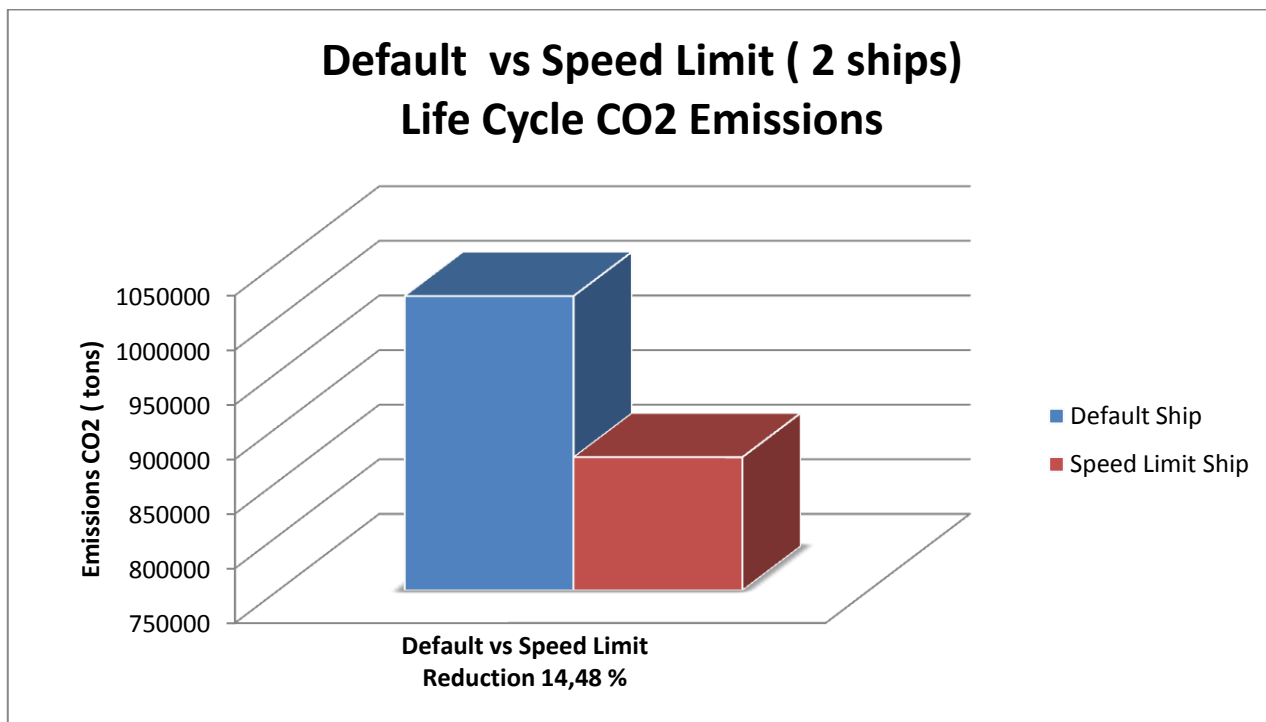
Διάγραμμα 28. Ετήσια σύγκριση εκπομπών NOX σεναρίου κανονικής λειτουργίας και περιορισμένης ταχύτητας



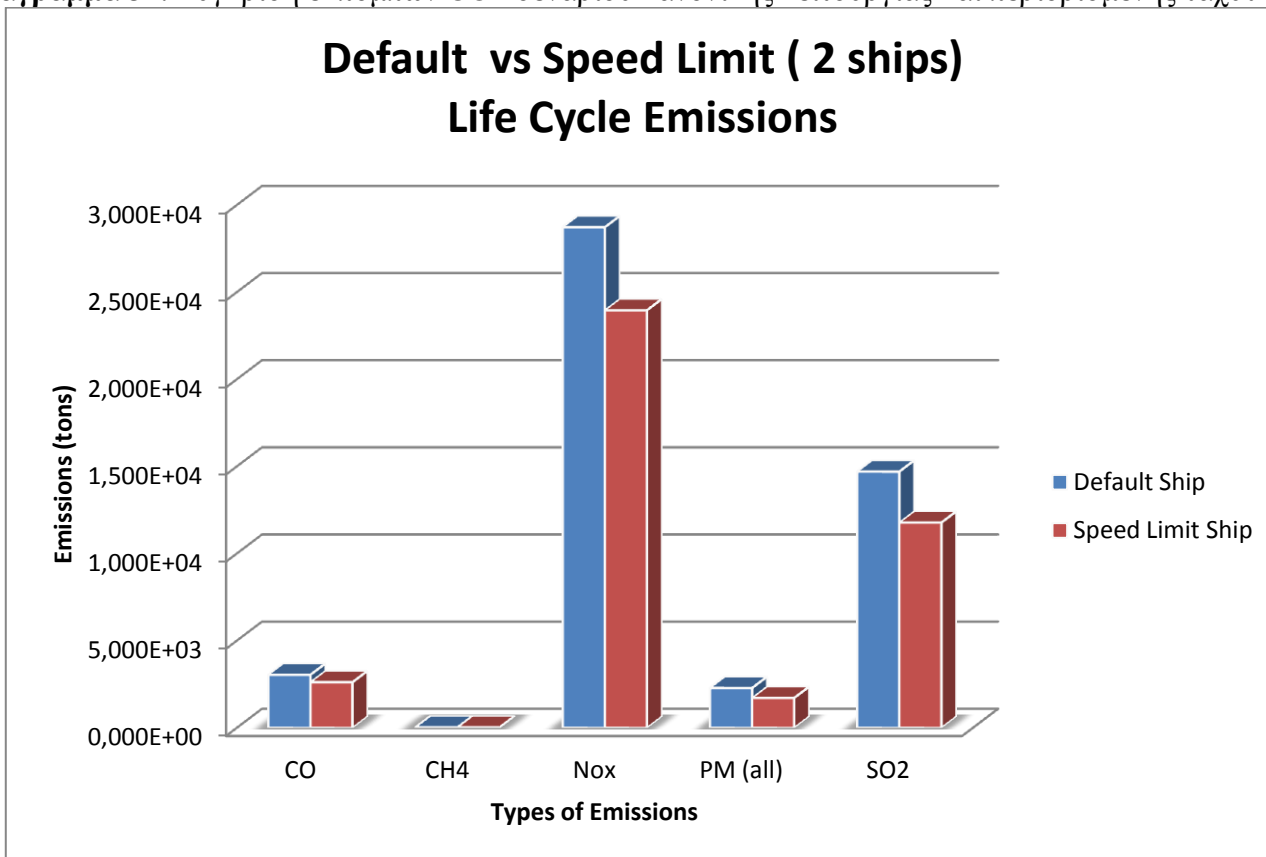
Διάγραμμα 29. Ετήσια σύγκριση εκπομπών PM σεναρίου κανονικής λειτουργίας και περιορισμένης ταχύτητας



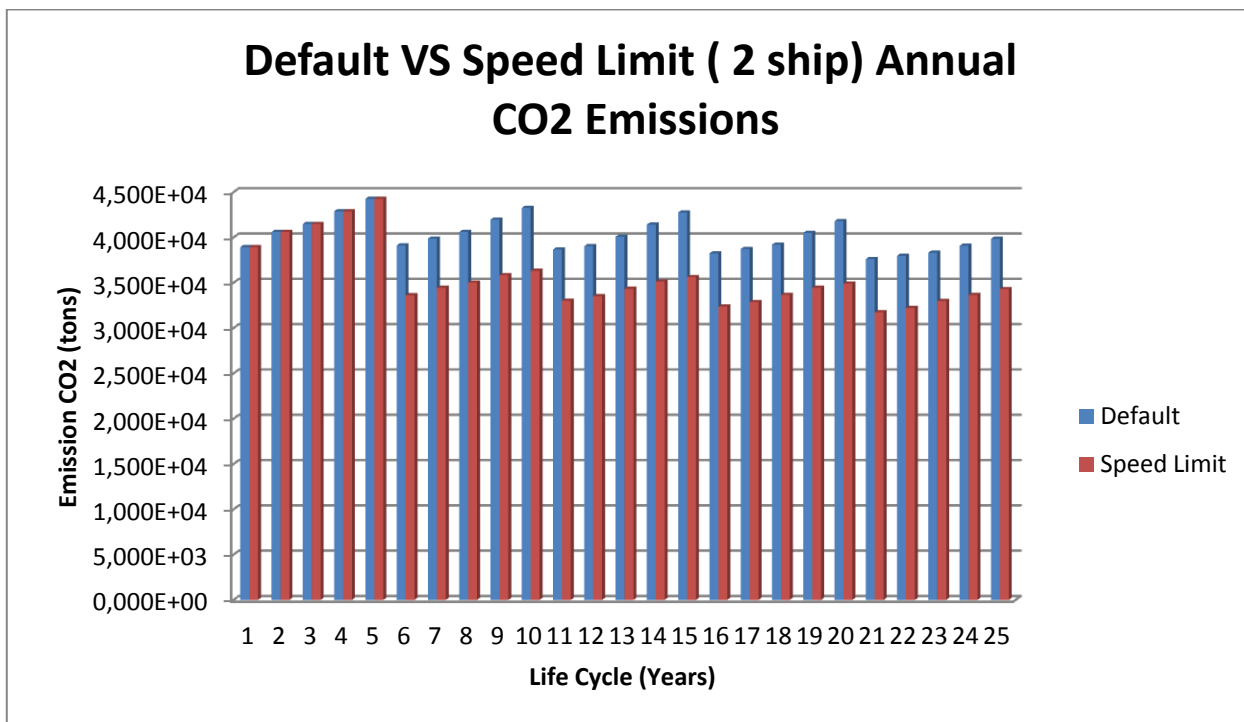
Διάγραμμα 30. Ετήσια σύγκριση εκπομπών SO2 σεναρίου κανονικής λειτουργίας και περιορισμένης ταχύτητας



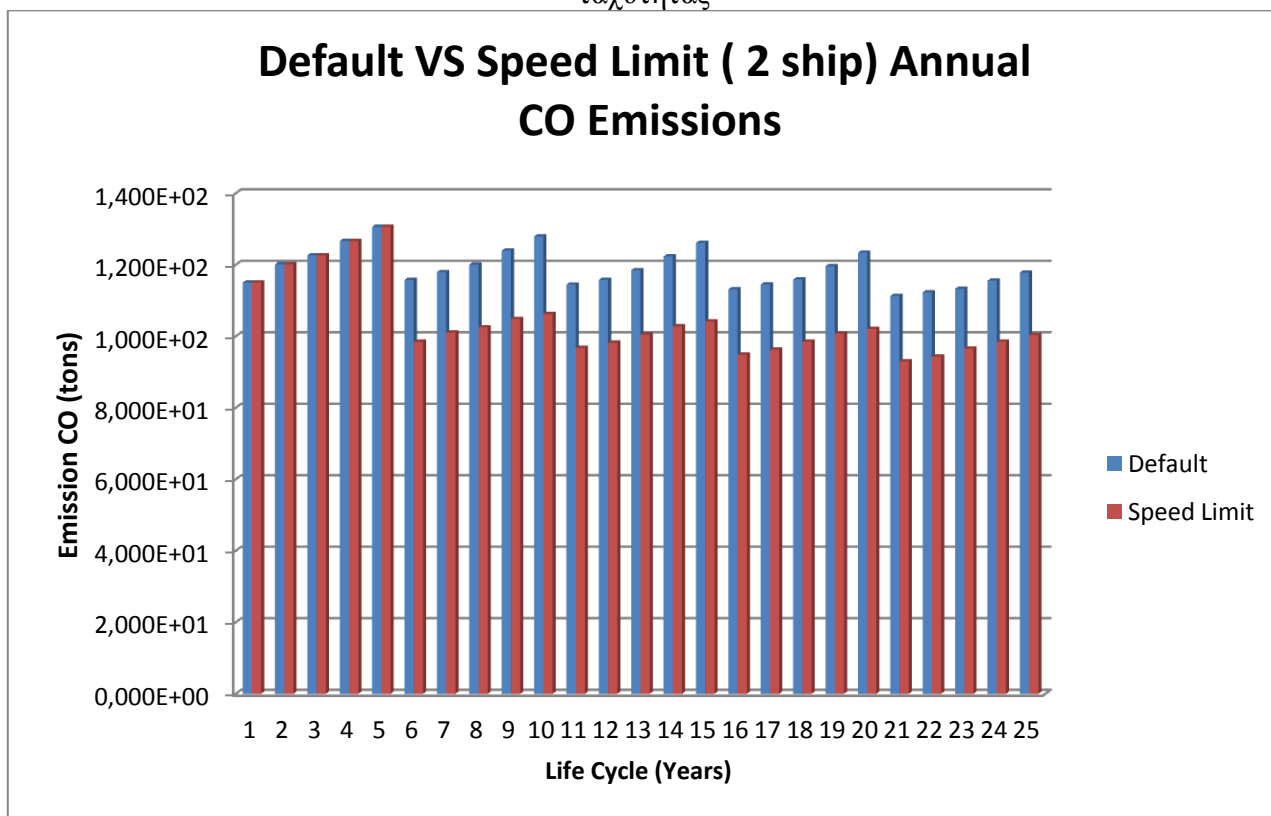
Διάγραμμα 31. Σύγκριση εκπομπών CO2 σεναρίου κανονικής λειτουργίας και περιορισμένης ταχύτητας



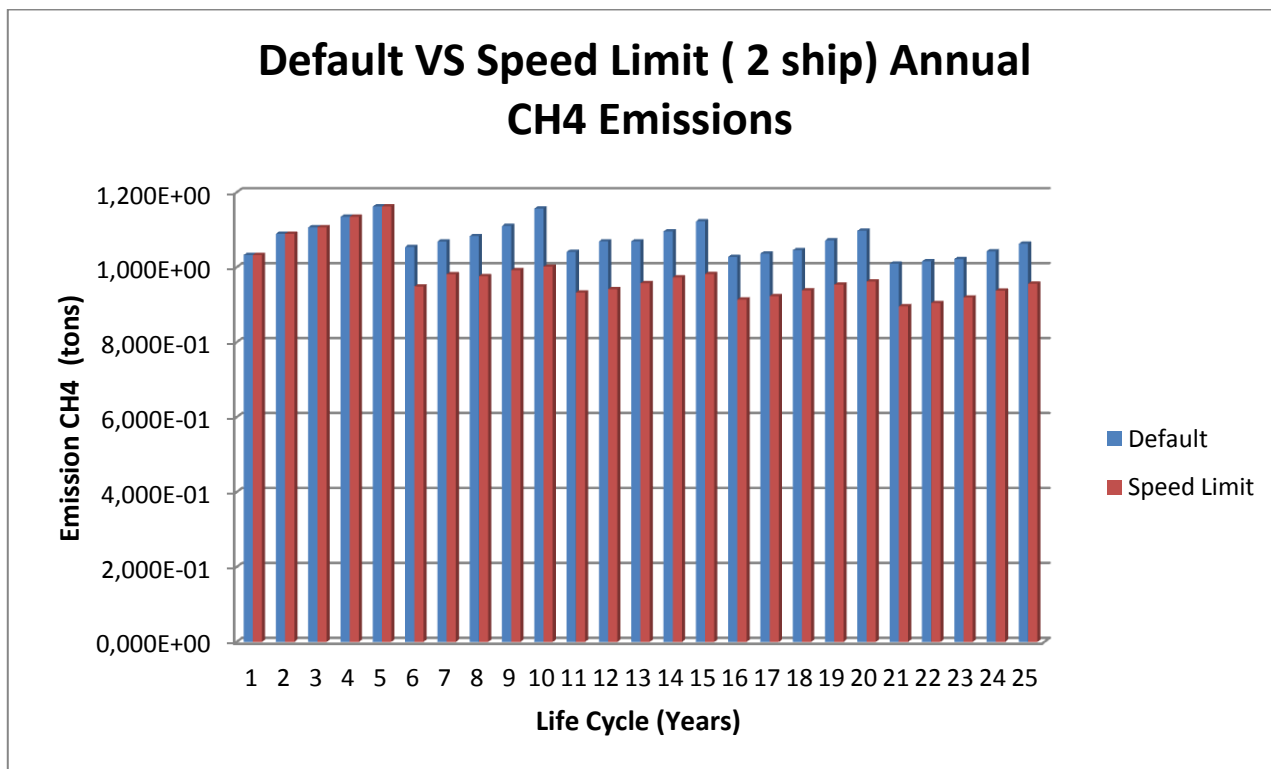
Διάγραμμα 32. Σύγκριση εκπομπών CO,CH4,NOX,PM,SO2 σεναρίου κανονικής λειτουργίας και περιορισμένης ταχύτητας



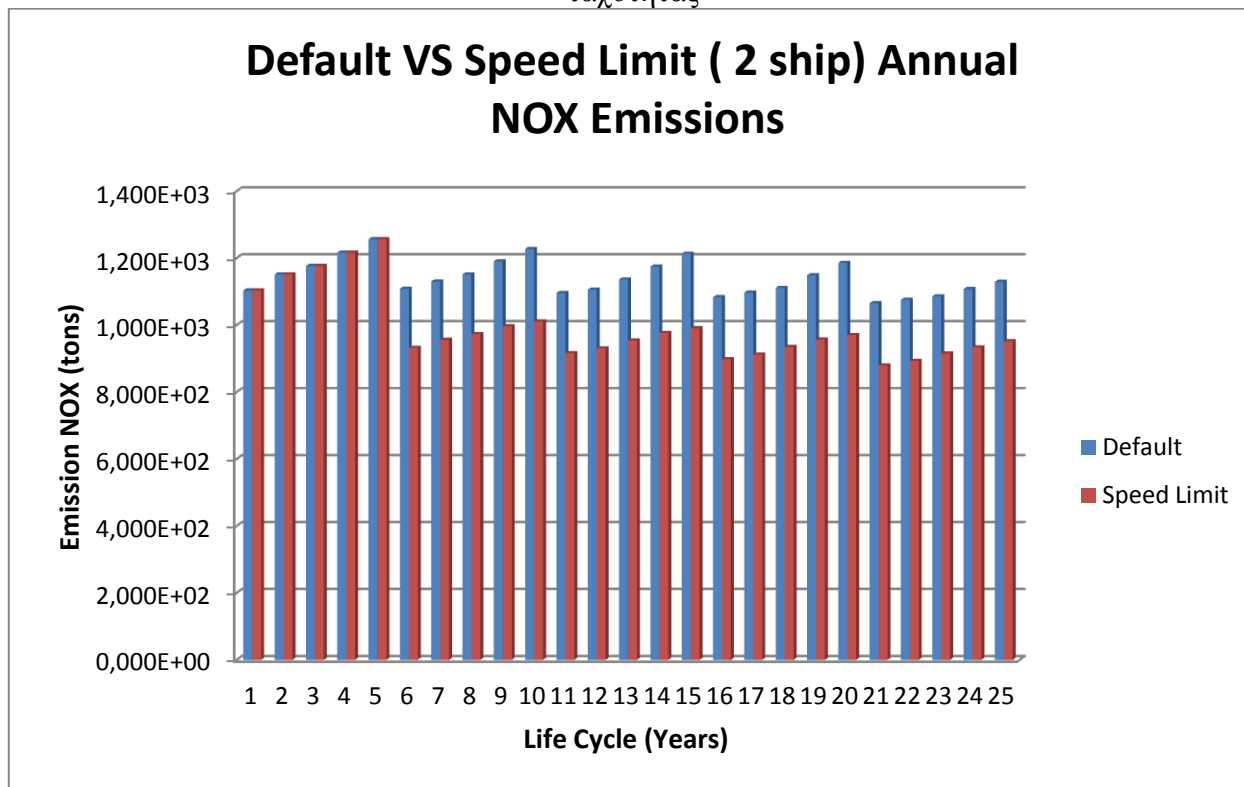
Διάγραμμα 33. Ετήσια σύγκριση εκπομπών CO2 σεναρίου κανονικής λειτουργίας και περιορισμένης ταχύτητας



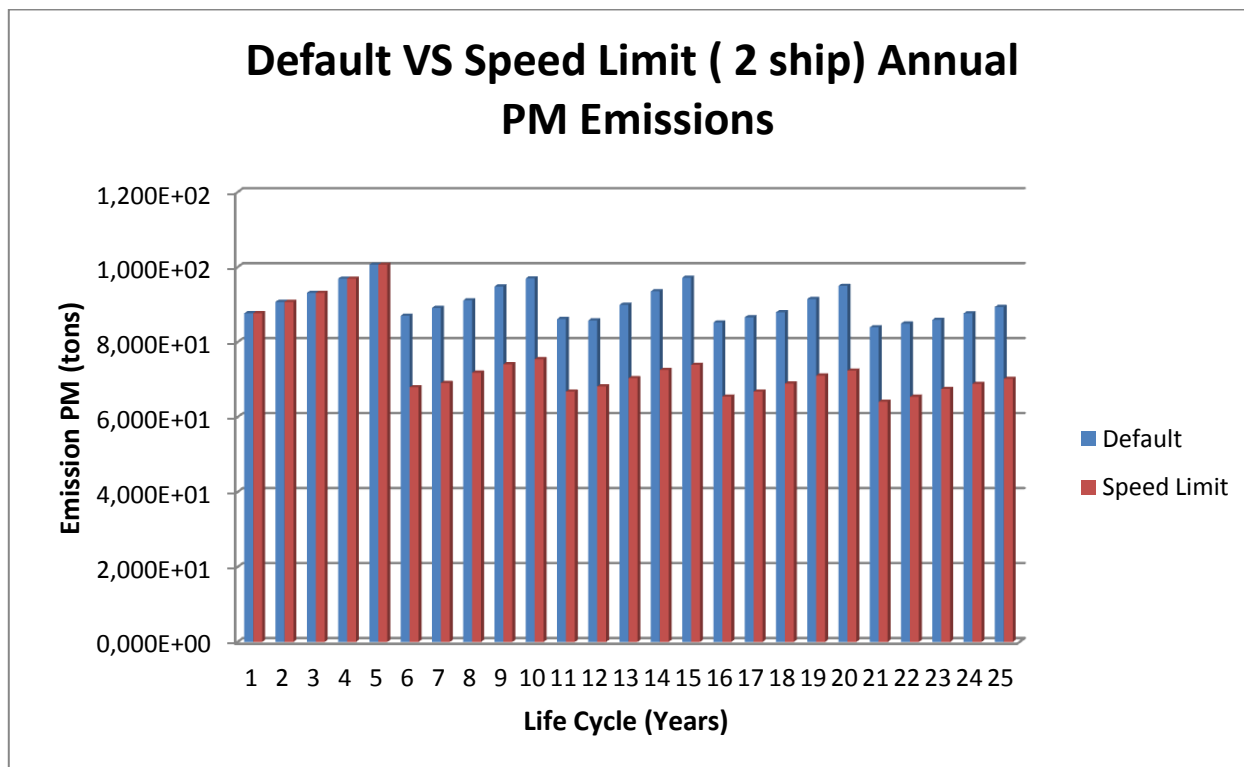
Διάγραμμα 34. Ετήσια σύγκριση εκπομπών CO σεναρίου κανονικής λειτουργίας και περιορισμένης ταχύτητας



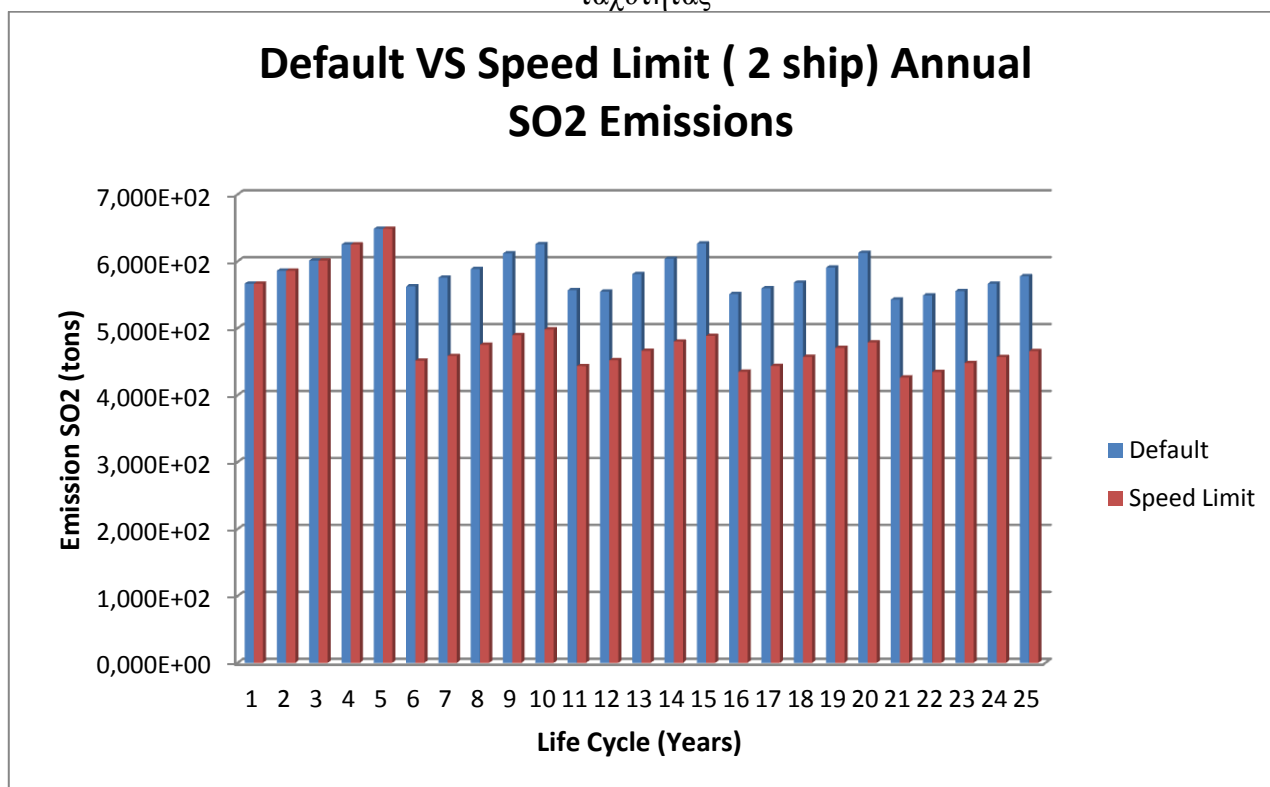
Διάγραμμα 35. Ετήσια σύγκριση εκπομπών CH4 σεναρίου κανονικής λειτουργίας και περιορισμένης ταχύτητας



Διάγραμμα 36. Ετήσια σύγκριση εκπομπών NOX σεναρίου κανονικής λειτουργίας και περιορισμένης ταχύτητας



Διάγραμμα 37. Ετήσια σύγκριση εκπομπών PM σεναρίου κανονικής λειτουργίας και περιορισμένης ταχύτητας

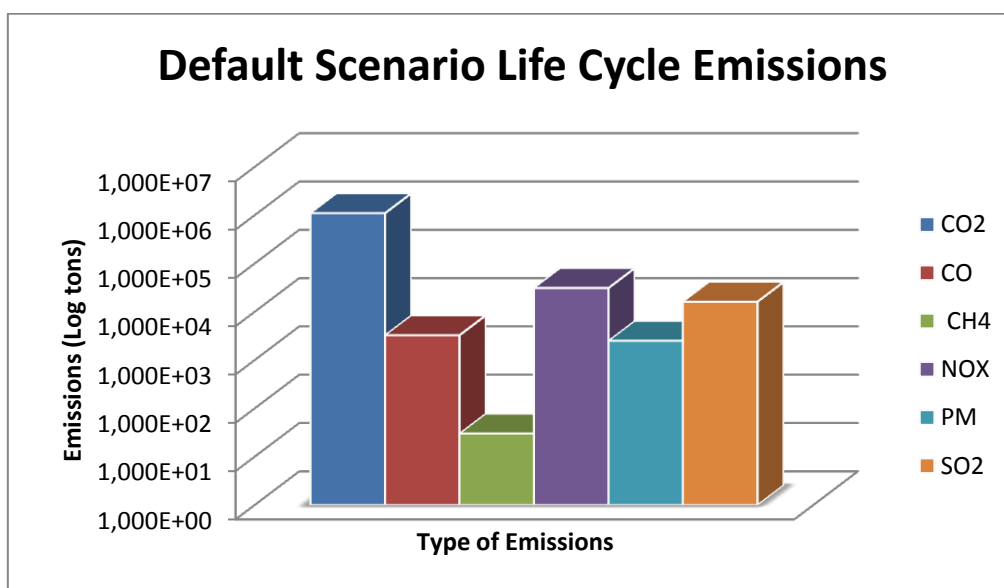


Διάγραμμα 38. Ετήσια σύγκριση εκπομπών SO2 σεναρίου κανονικής λειτουργίας και περιορισμένης ταχύτητας

Σενάριο Διαφορετικών Διαδρομών

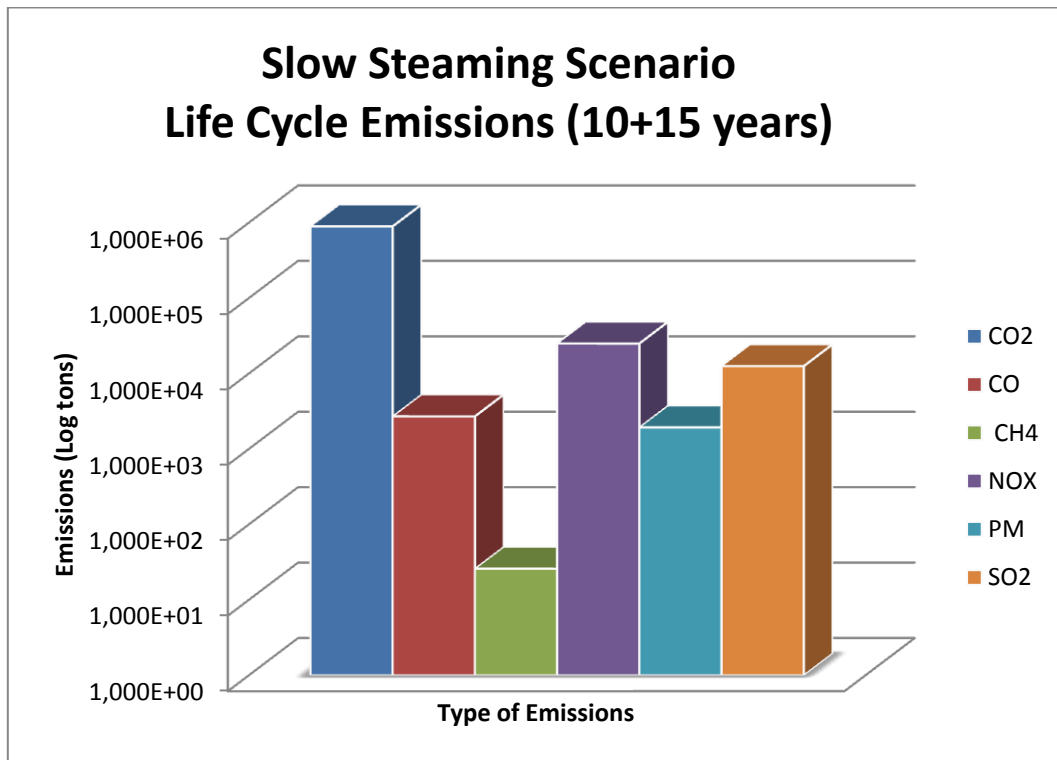
Σενάριο Κανονικής Λειτουργίας

Total Life Cycle Emissions		
CO2	1,099E+06	tons
CO	3,270E+03	tons
CH4	3,013E+01	tons
Nox	3,102E+04	tons
PM (all)	2,507E+03	tons
SO2	1,611E+04	tons

Πίνακας 45. Συνολικές εκπομπές αέριων ρύπων**Διάγραμμα 39.** Απεικόνιση τελικών αποτελεσμάτωνΣενάριο Slow Steaming

Total Life Cycle Emissions		
CO2	8,931E+05	tons
CO	2,703E+03	tons
CH4	2,584E+01	tons
Nox	2,498E+04	tons
PM (all)	1,935E+03	tons
SO2	1,253E+04	tons

Πίνακας 46. Συνολικές εκπομπές αέριων ρύπων

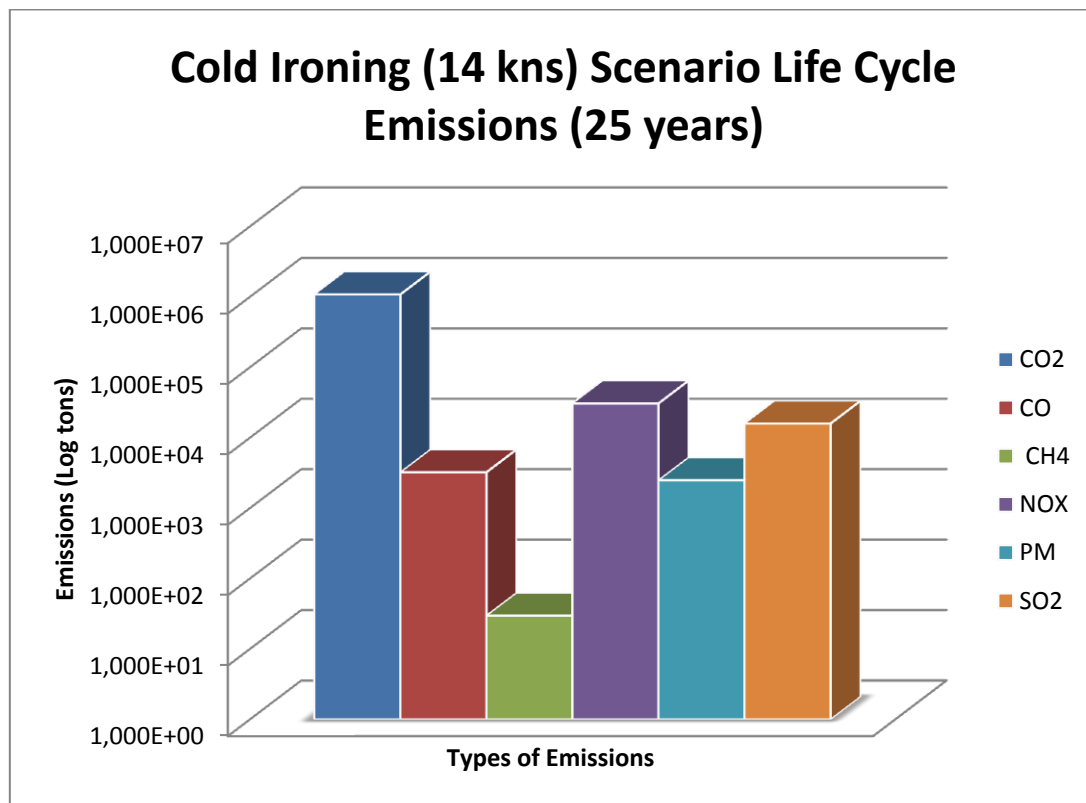


Διάγραμμα 40. Απεικόνιση τελικών αποτελεσμάτων

Σενάριο Cold Ironing

Total Life Cycle Emissions		
CO2	1,086E+06	tons
CO	3,234E+03	tons
CH4	2,981E+01	tons
Nox	3,074E+04	tons
PM (all)	2,494E+03	tons
SO2	1,592E+04	tons

Πίνακας 47. Συνολικές εκπομπές αέριων ρύπων

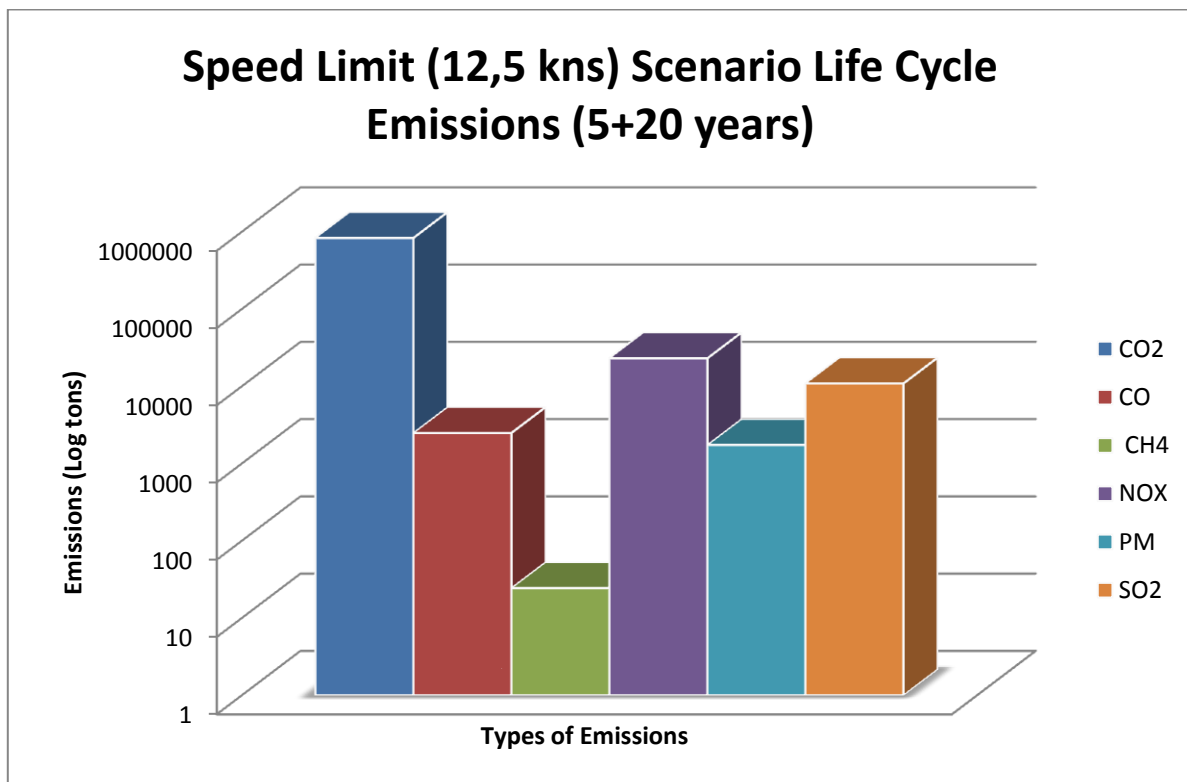


Διάγραμμα 41. Απεικόνιση τελικών αποτελεσμάτων

Σενάριο Speed Limit

Total Life Cycle Emissions		
CO2	8,429E+05	tons
CO	2,503E+03	tons
CH4	2,457E+01	tons
Nox	2,341E+04	tons
PM (all)	1,694E+03	tons
SO2	1,164E+04	tons

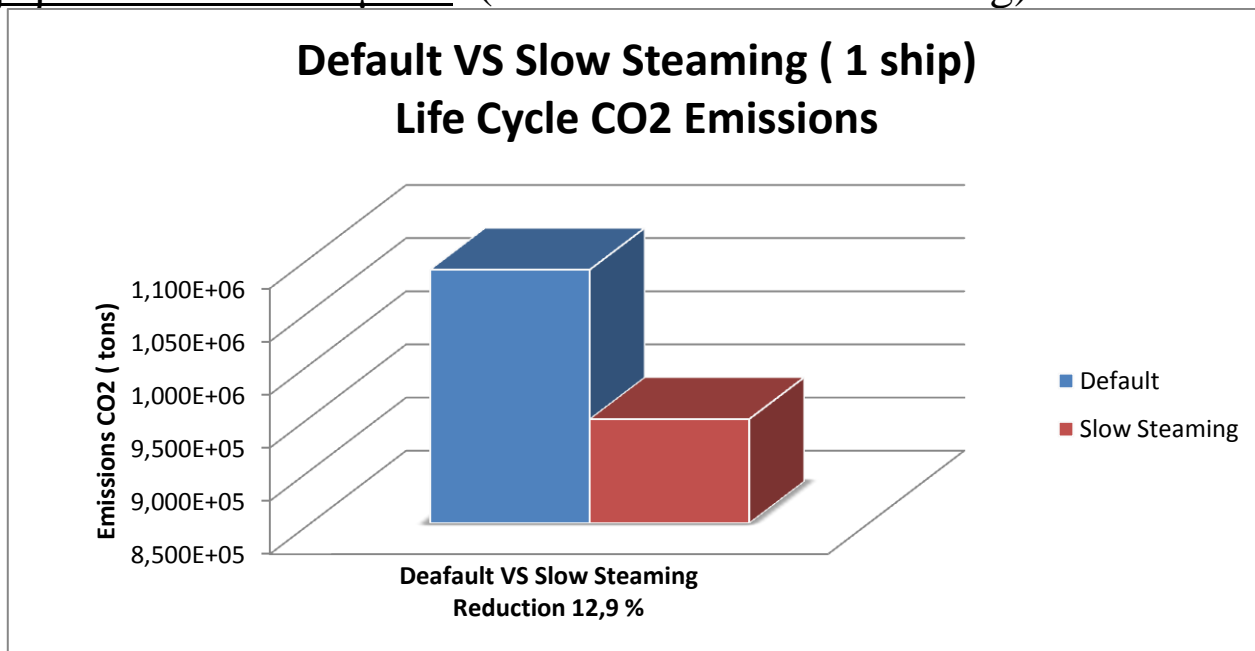
Πίνακας 48. Συνολικές εκπομπές αέριων ρύπων



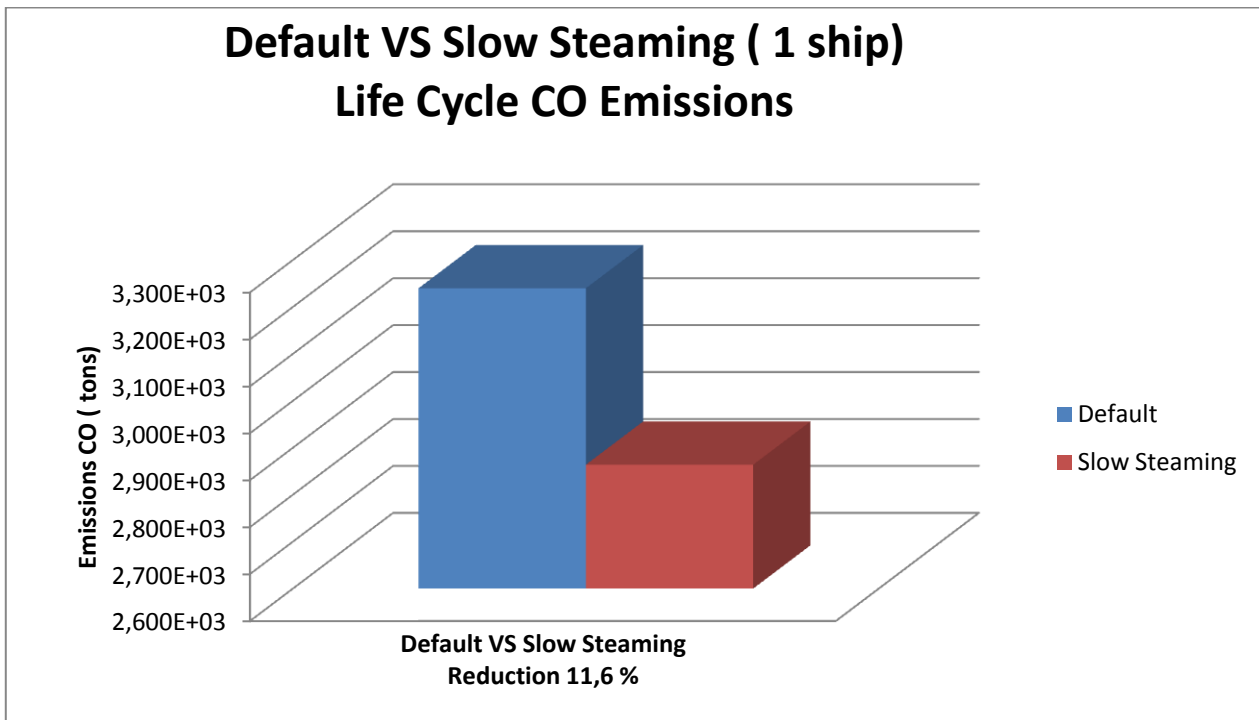
Διάγραμμα 42. Απεικόνιση τελικών αποτελεσμάτων

ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΑ ΔΡΟΜΟΛΟΓΙΑ

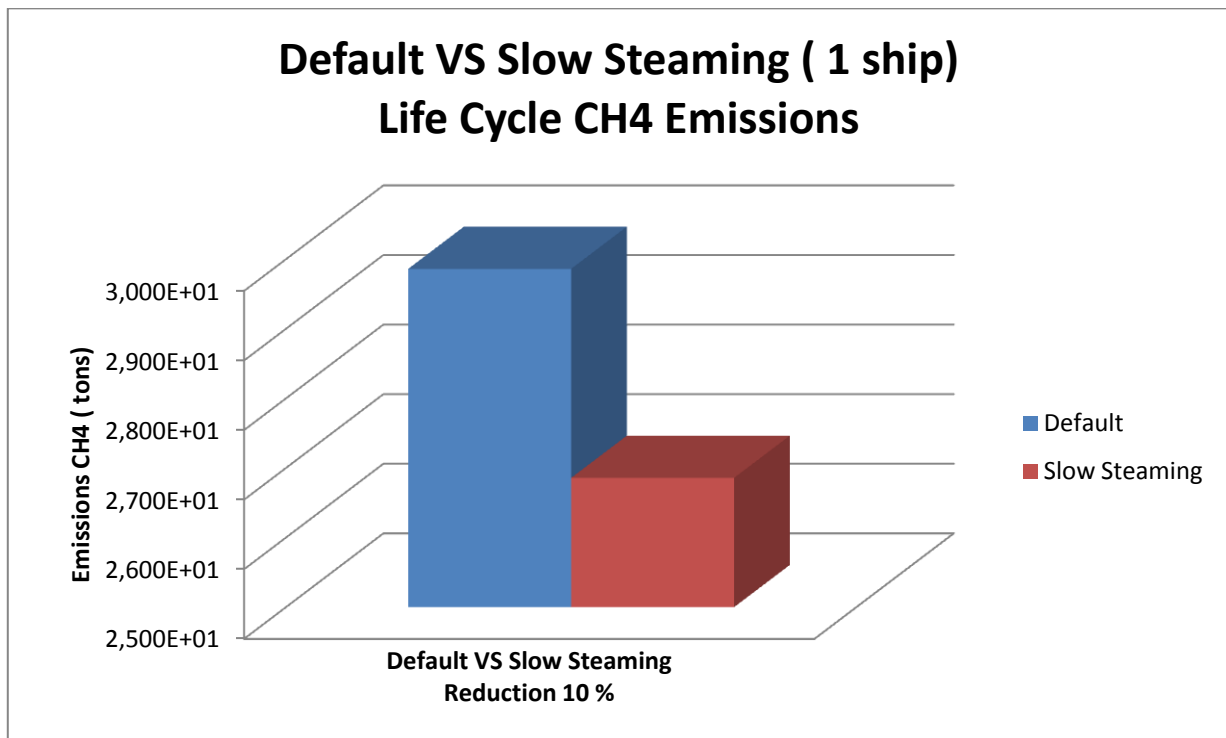
Συγκριτικά Αποτελέσματα (Default VS Slow Steaming)



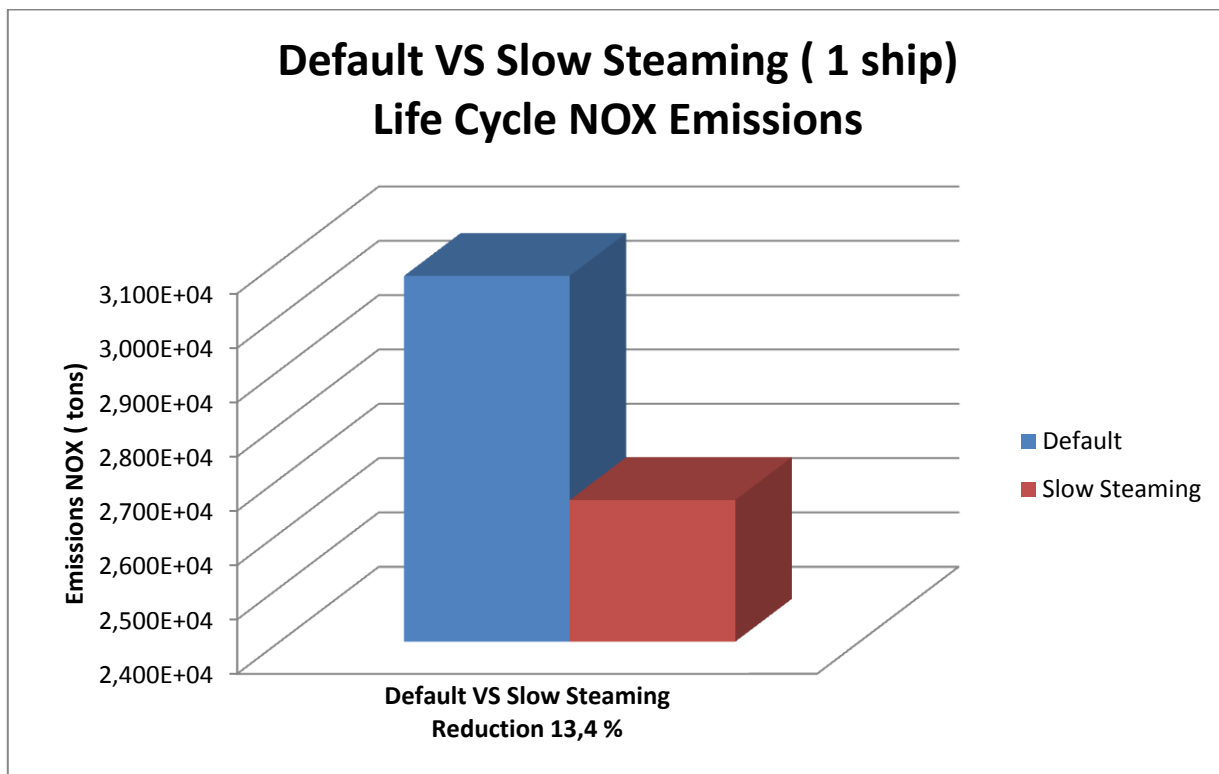
Διάγραμμα 43. Σύγκριση εκπομπών CO₂ σεναρίου κανονικής λειτουργίας και μειωμένης ταχύτητας



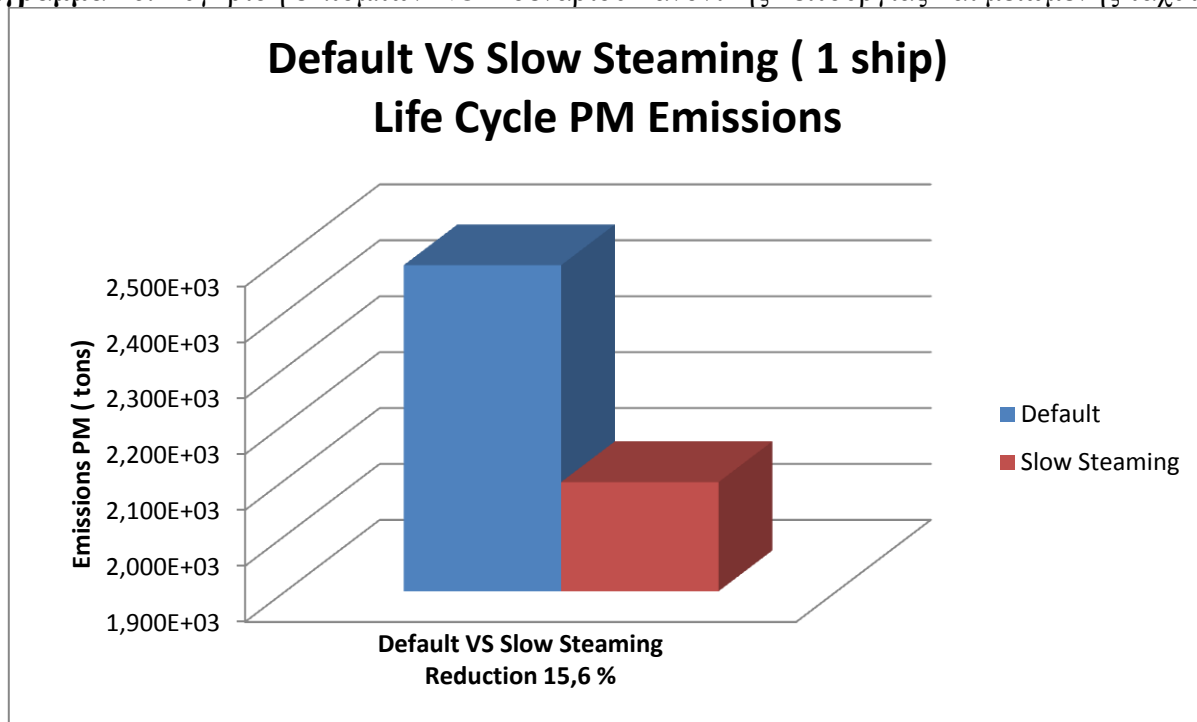
Διάγραμμα 44. Σύγκριση εκπομπών CO σεναρίου κανονικής λειτουργίας και μειωμένης ταχύτητας



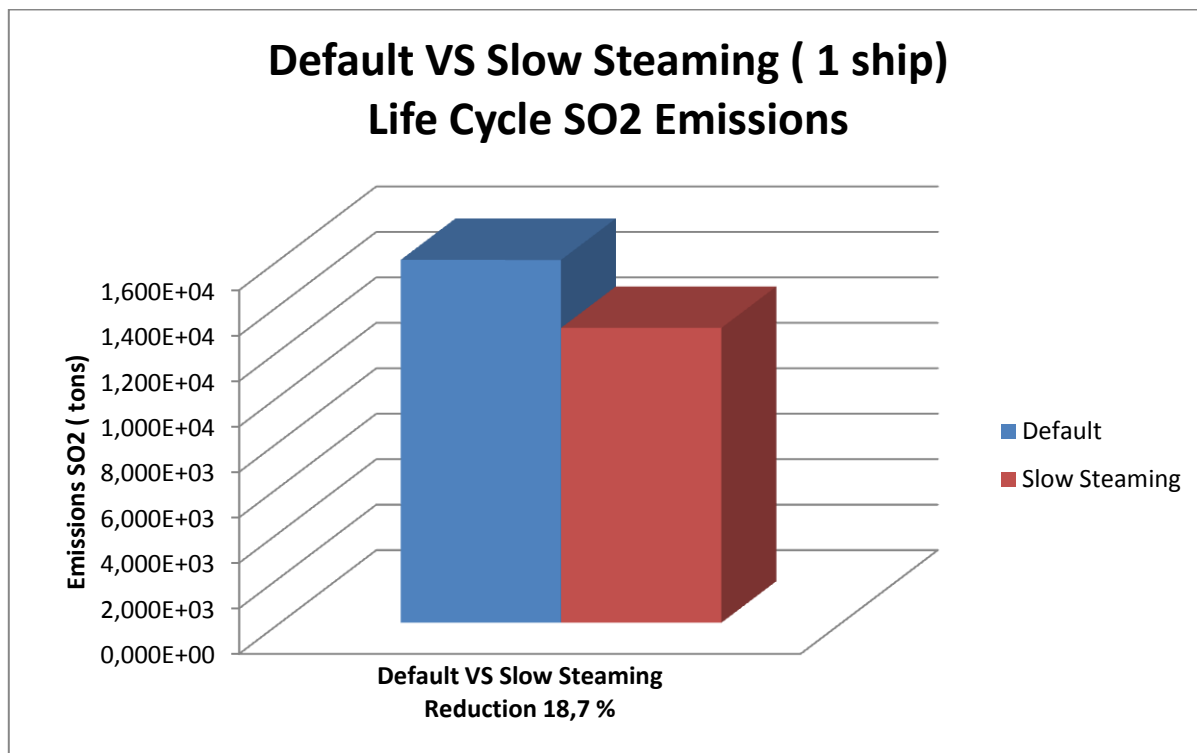
Διάγραμμα 45. Σύγκριση εκπομπών CH4 σεναρίου κανονικής λειτουργίας και μειωμένης ταχύτητας



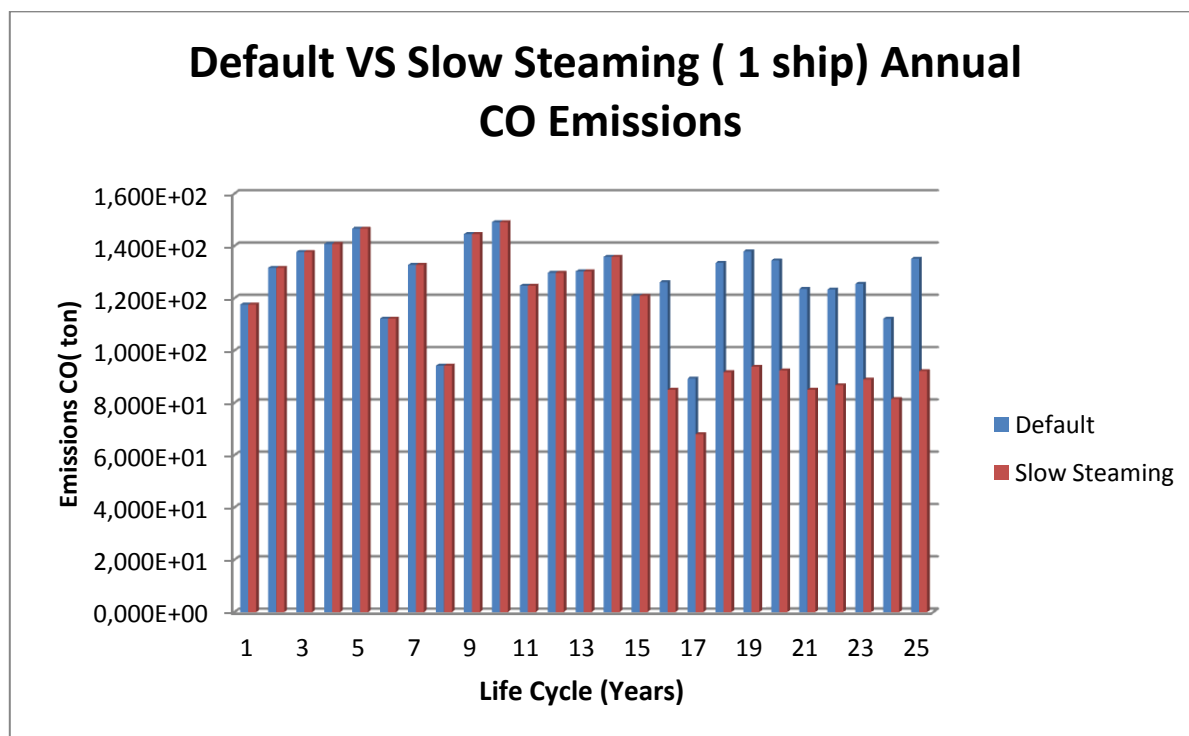
Διάγραμμα 46. Σύγκριση εκπομπών NOX σεναρίου κανονικής λειτουργίας και μειωμένης ταχύτητας



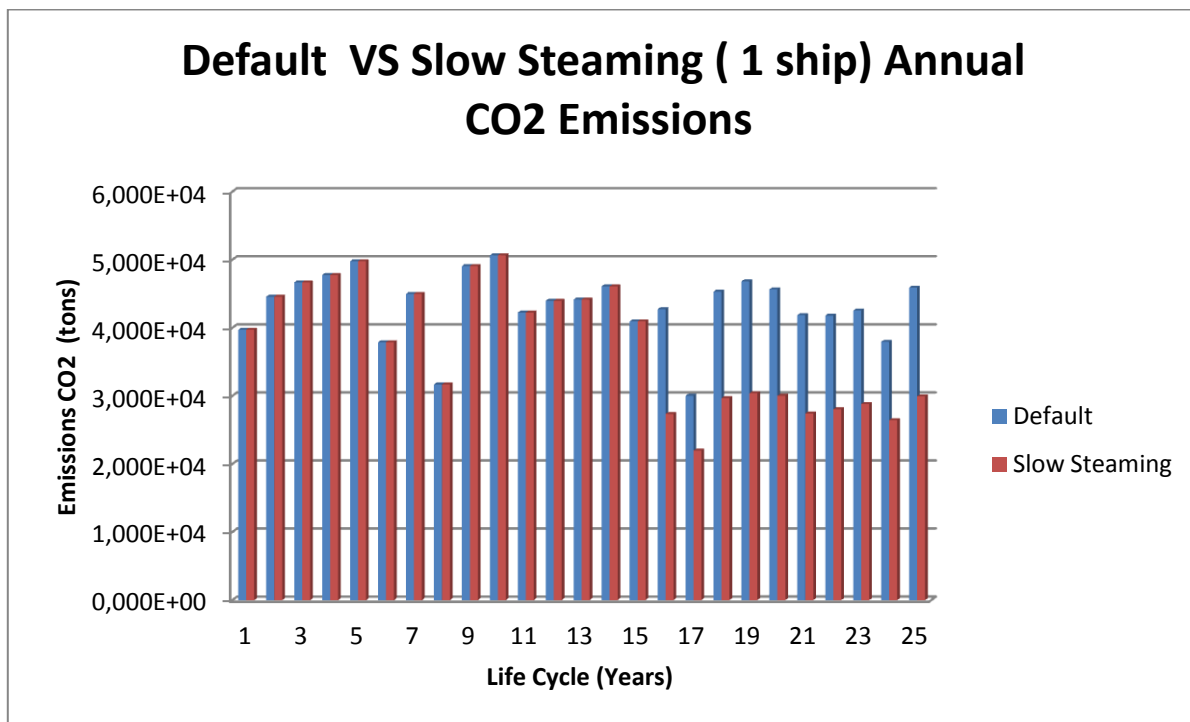
Διάγραμμα 47. Σύγκριση εκπομπών PM σεναρίου κανονικής λειτουργίας και μειωμένης ταχύτητας



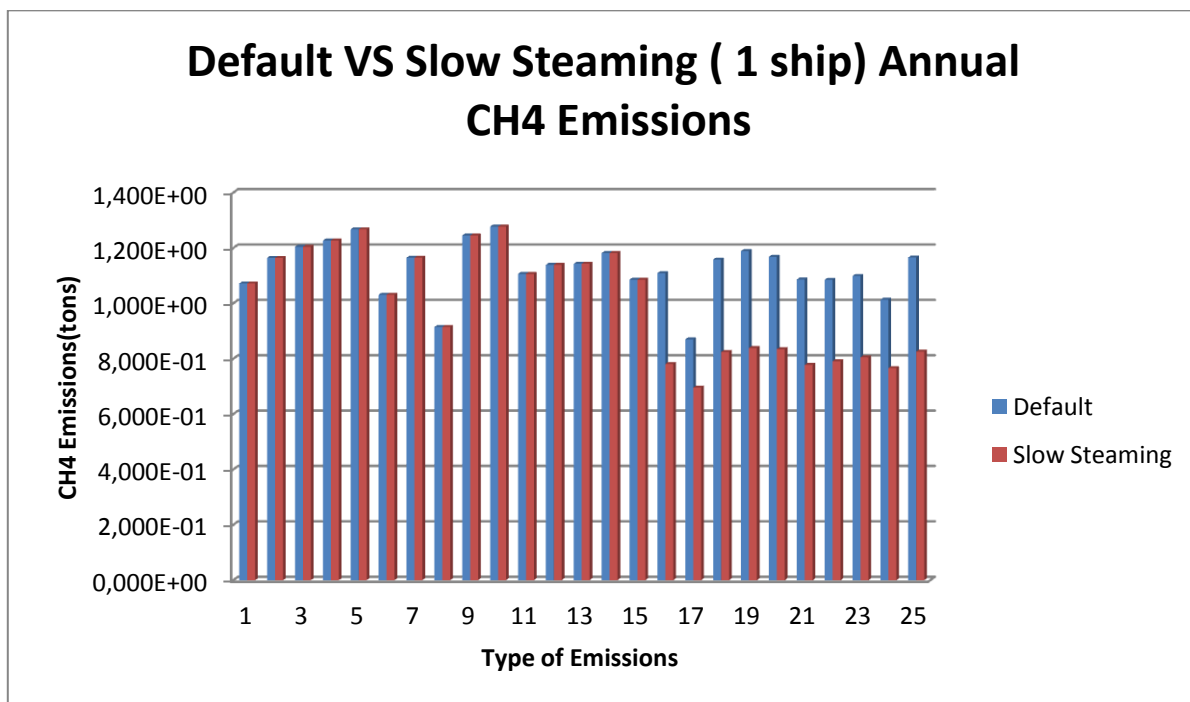
Διάγραμμα 48. Σύγκριση εκπομπών SO2 σεναρίου κανονικής λειτουργίας και μειωμένης ταχύτητας



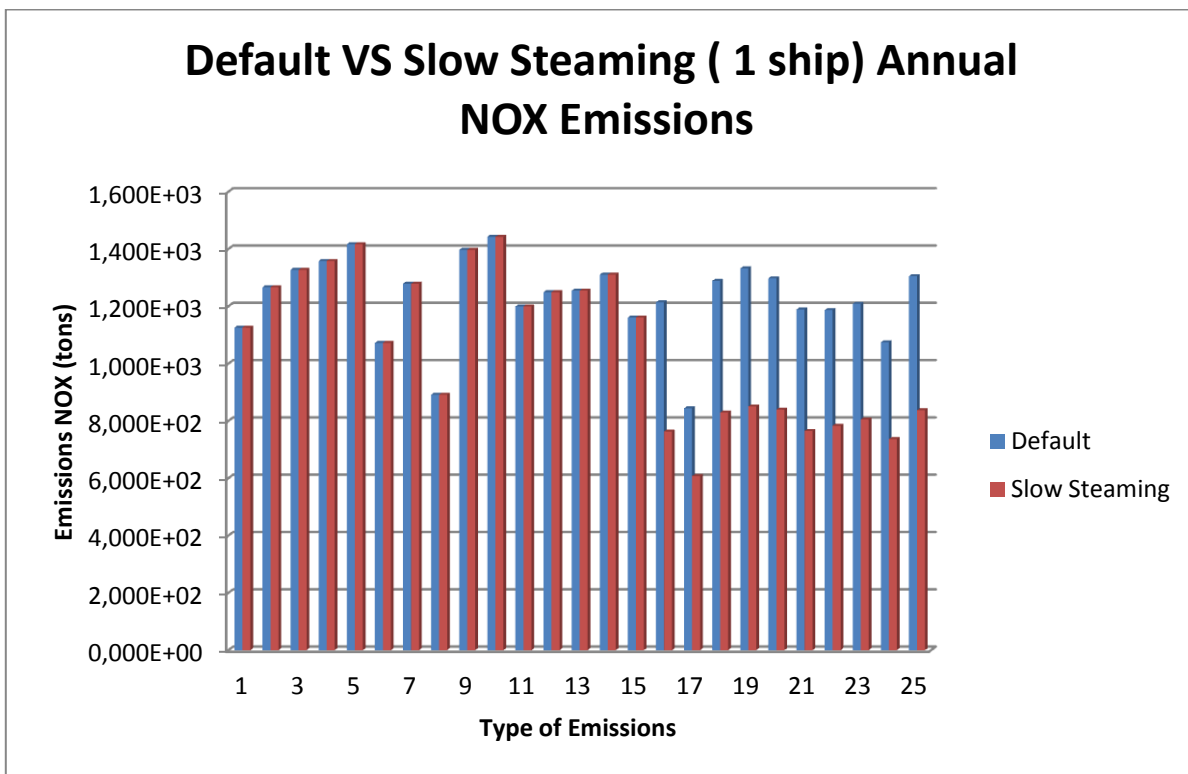
Διάγραμμα 49. Ετήσια σύγκριση εκπομπών CO2 σεναρίου κανονικής λειτουργίας και μειωμένης ταχύτητας



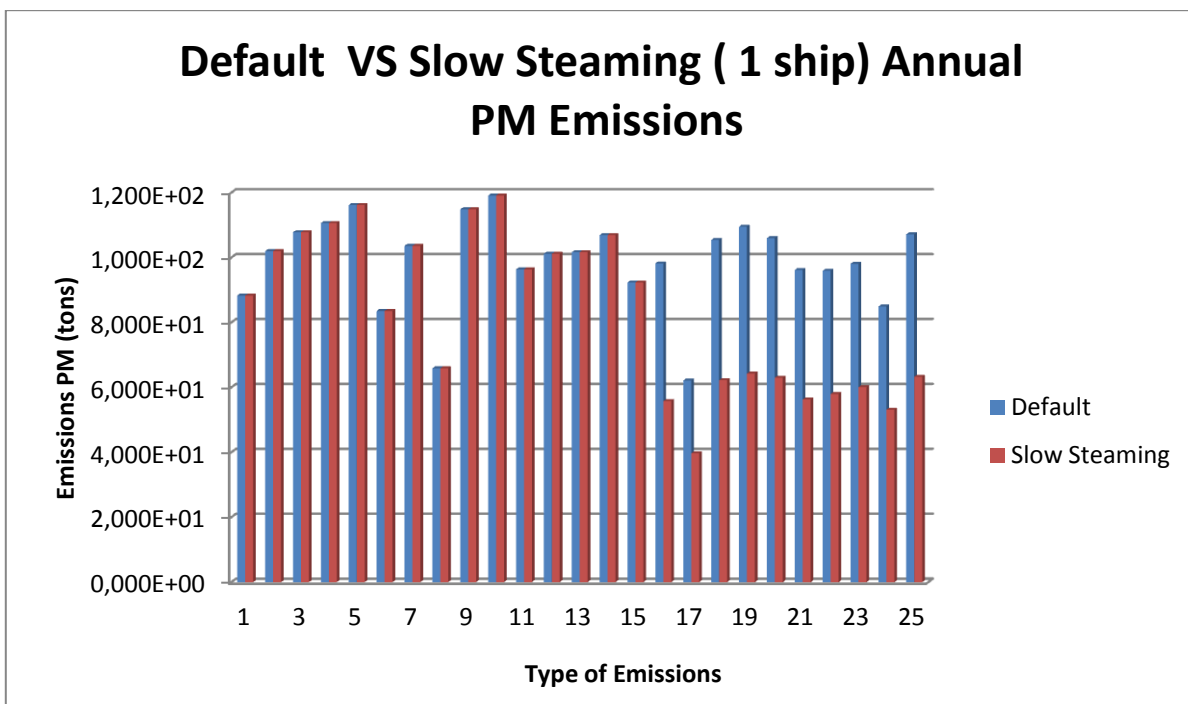
Διάγραμμα 50. Ετήσια σύγκριση εκπομπών CO σεναρίου κανονικής λειτουργίας και μειωμένης ταχύτητας



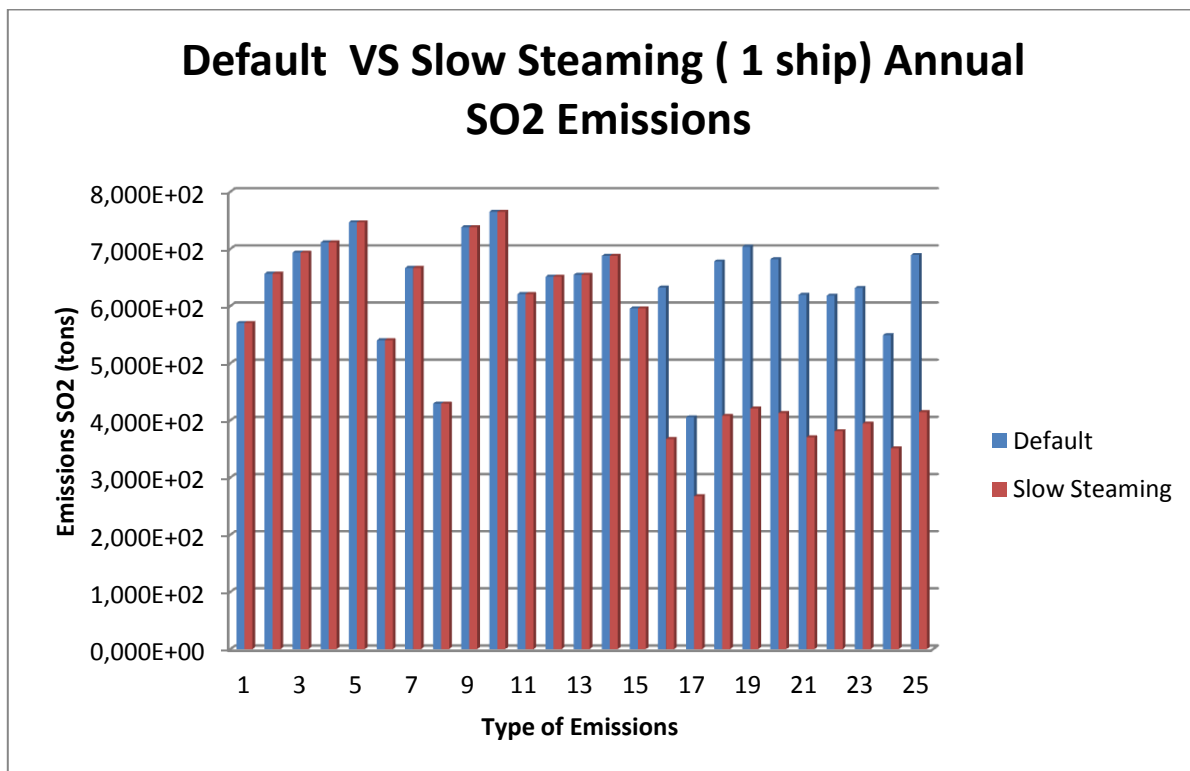
Διάγραμμα 51. Ετήσια σύγκριση εκπομπών CH4 σεναρίου κανονικής λειτουργίας και μειωμένης ταχύτητας



Διάγραμμα 52. Ετήσια σύγκριση εκπομπών NOX σεναρίου κανονικής λειτουργίας και μειωμένης ταχύτητας

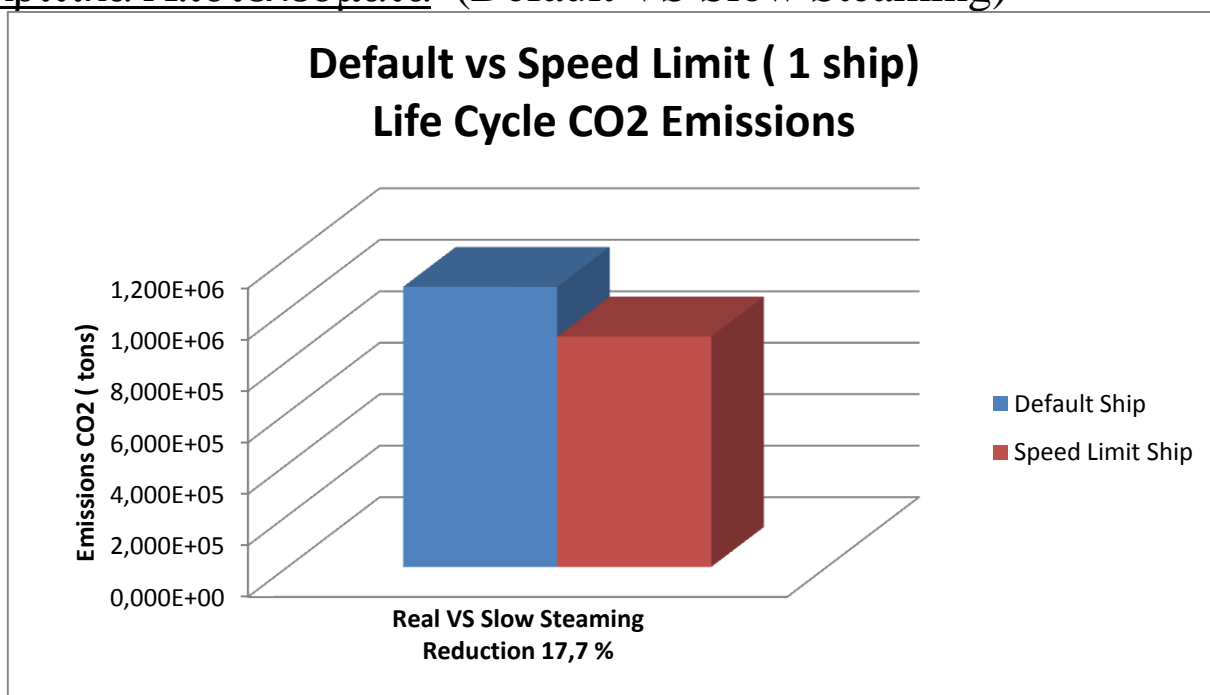


Διάγραμμα 53. Ετήσια σύγκριση εκπομπών PM σεναρίου κανονικής λειτουργίας και μειωμένης ταχύτητας

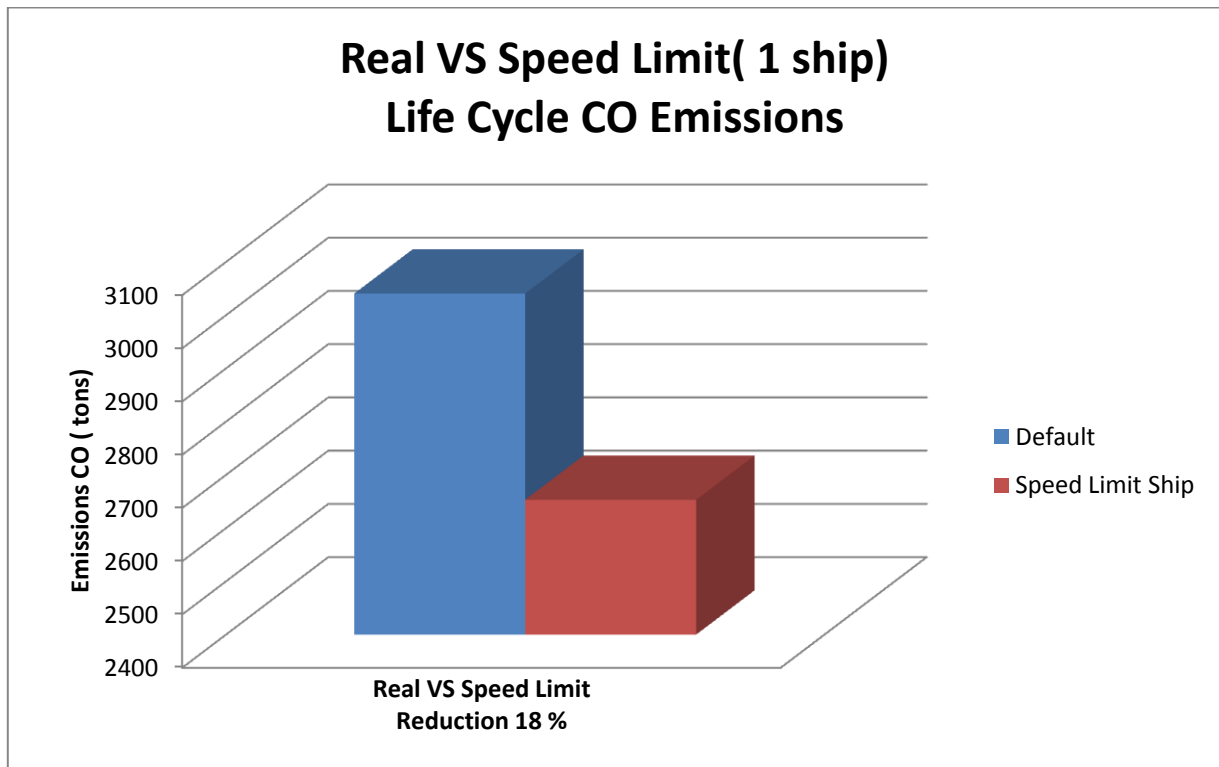


Διάγραμμα 54. Ετήσια σύγκριση εκπομπών SO2 σεναρίου κανονικής λειτουργίας και μειωμένης ταχύτητας

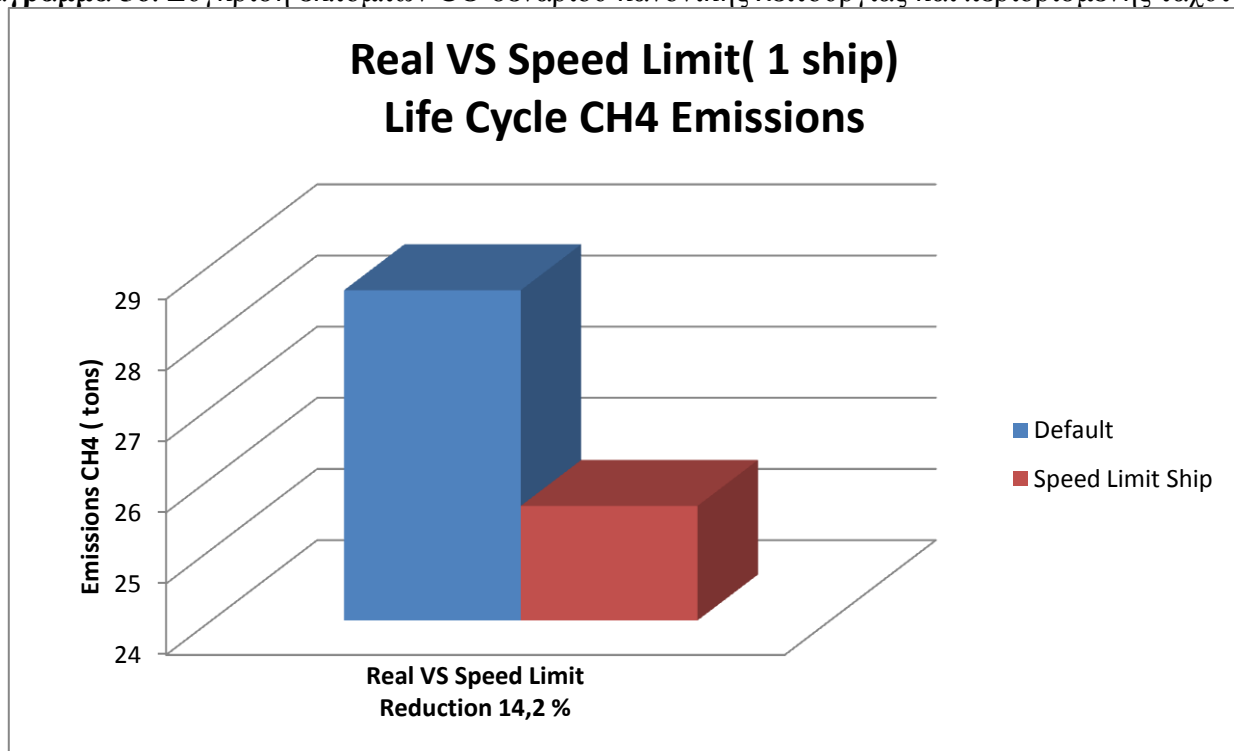
Συγκριτικά Αποτελέσματα (Default VS Slow Steaming)



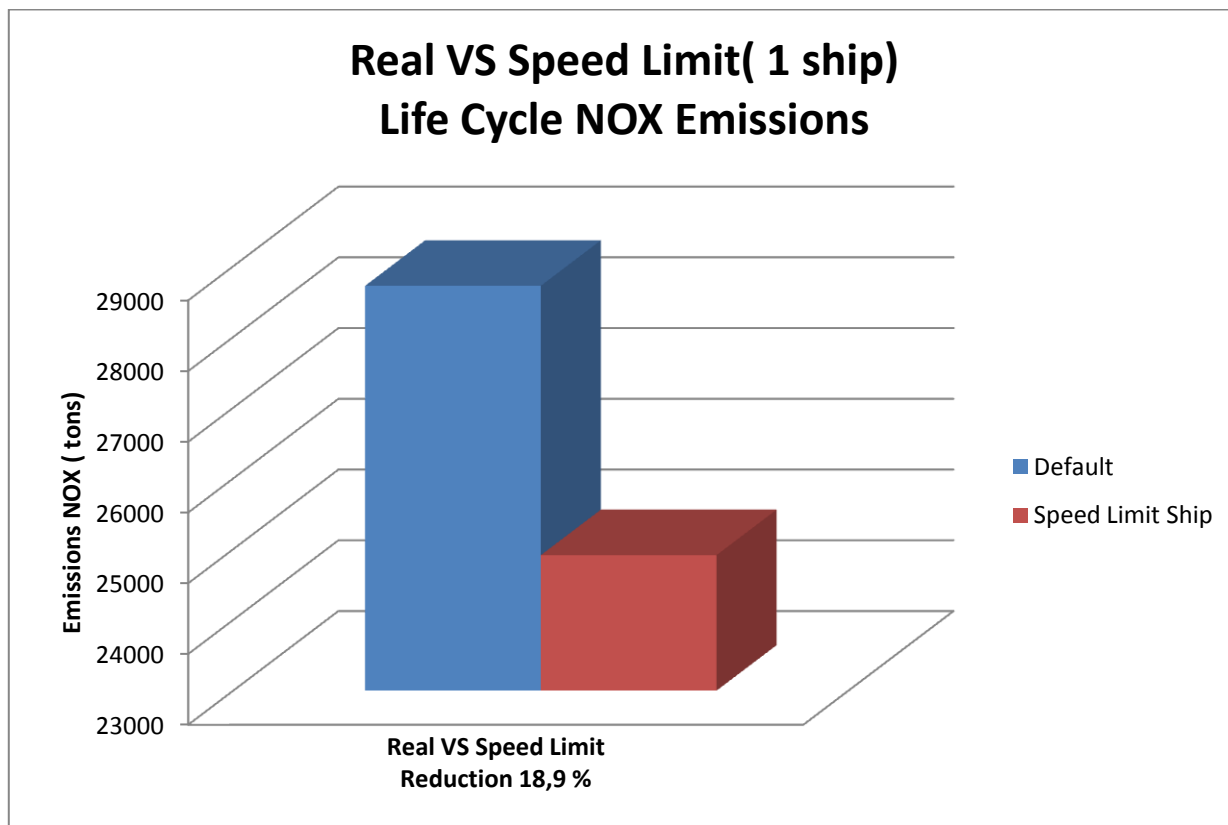
Διάγραμμα 55. Σύγκριση εκπομπών CO2 σεναρίου κανονικής λειτουργίας και περιορισμένης ταχύτητας



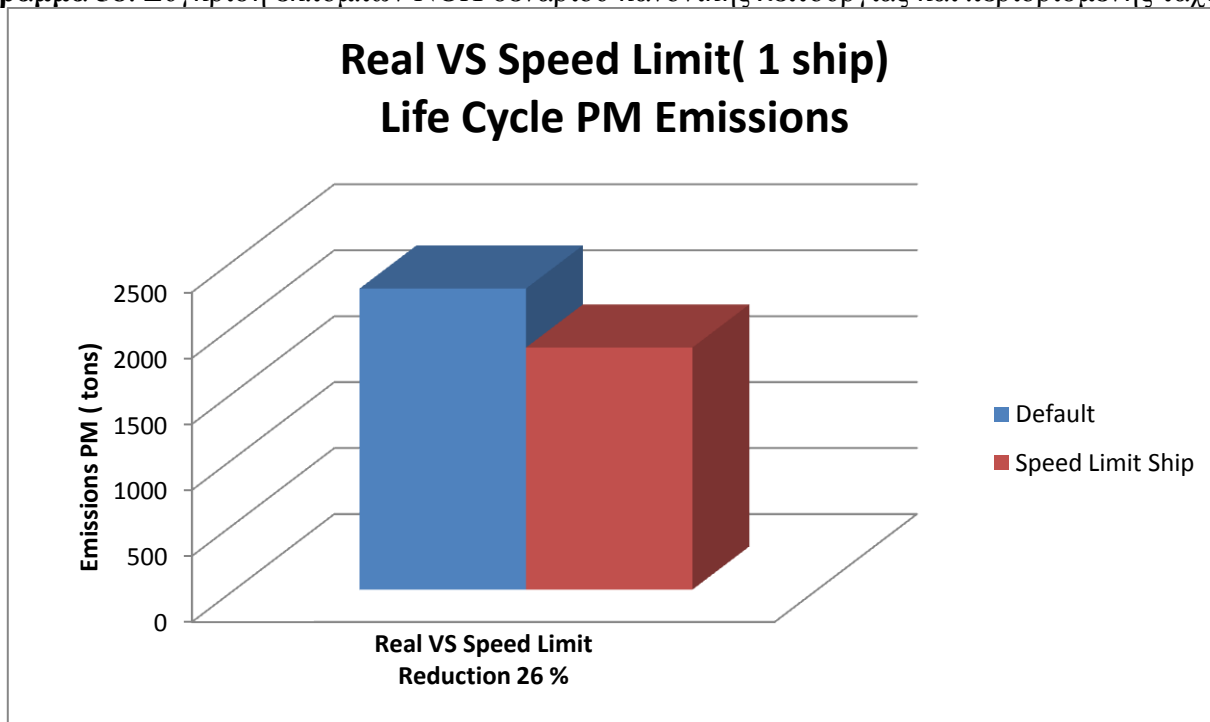
Διάγραμμα 56. Σύγκριση εκπομπών CO σεναρίου κανονικής λειτουργίας και περιορισμένης ταχύτητας



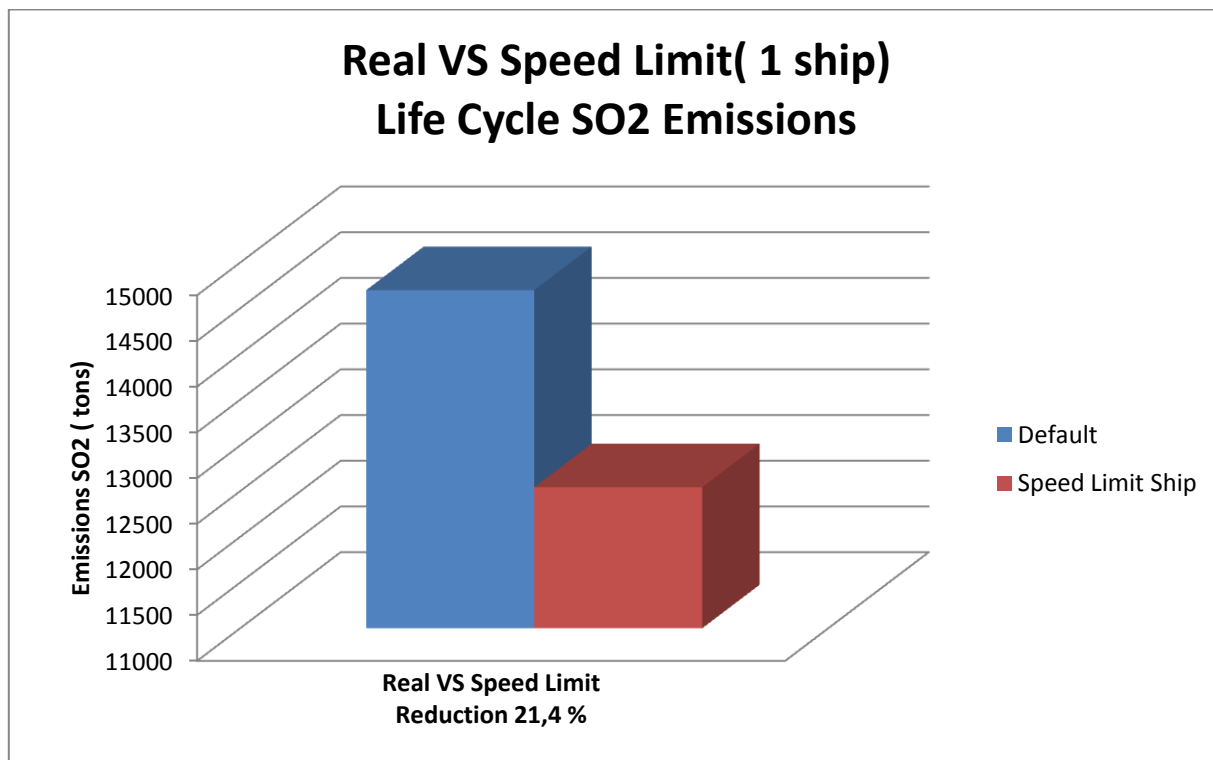
Διάγραμμα 57. Σύγκριση εκπομπών CH4 σεναρίου κανονικής λειτουργίας και περιορισμένης ταχύτητας



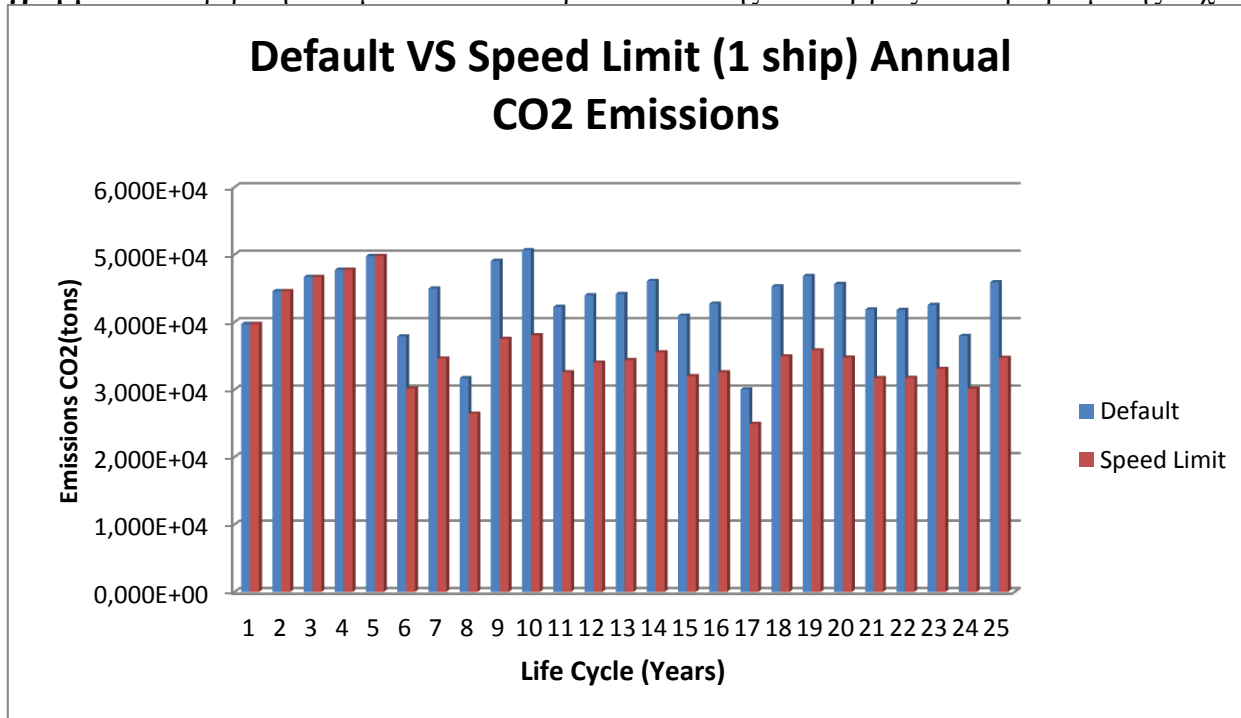
Διάγραμμα 58. Σύγκριση εκπομπών NOX σεναρίου κανονικής λειτουργίας και περιορισμένης ταχύτητας



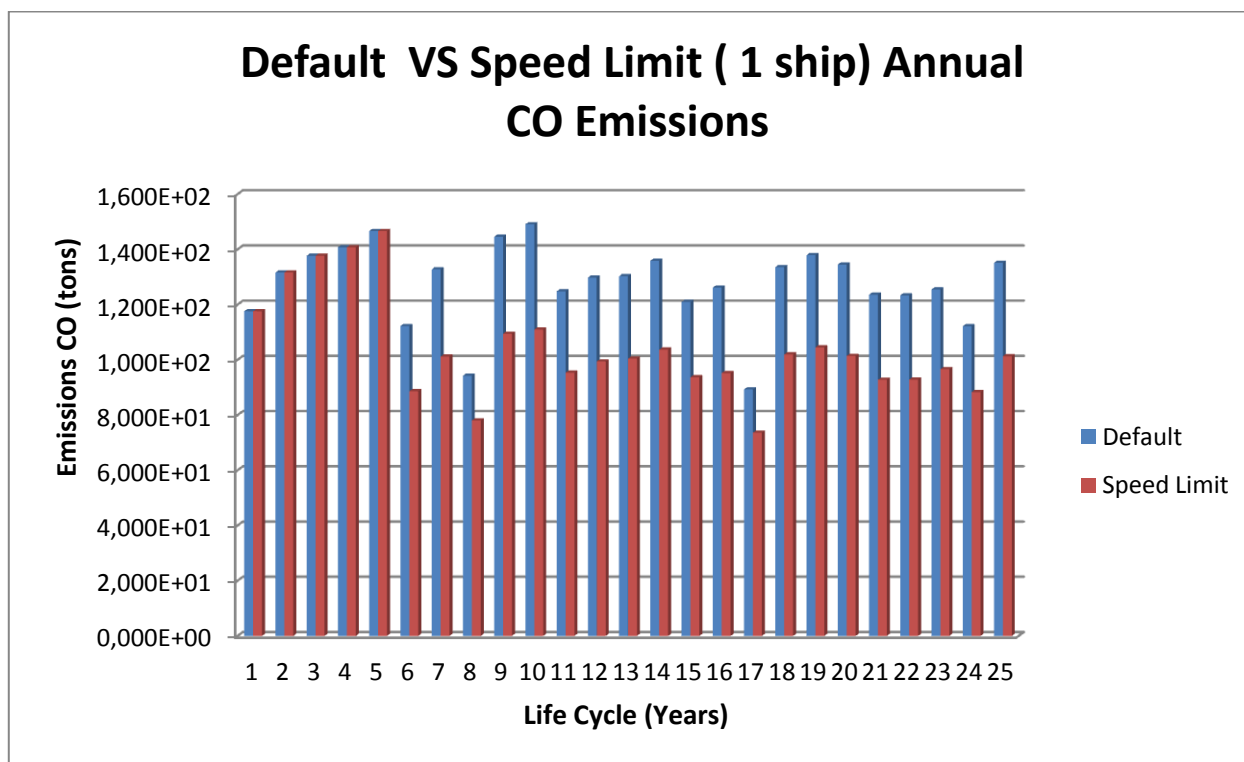
Διάγραμμα 59. Σύγκριση εκπομπών PM σεναρίου κανονικής λειτουργίας και περιορισμένης ταχύτητας



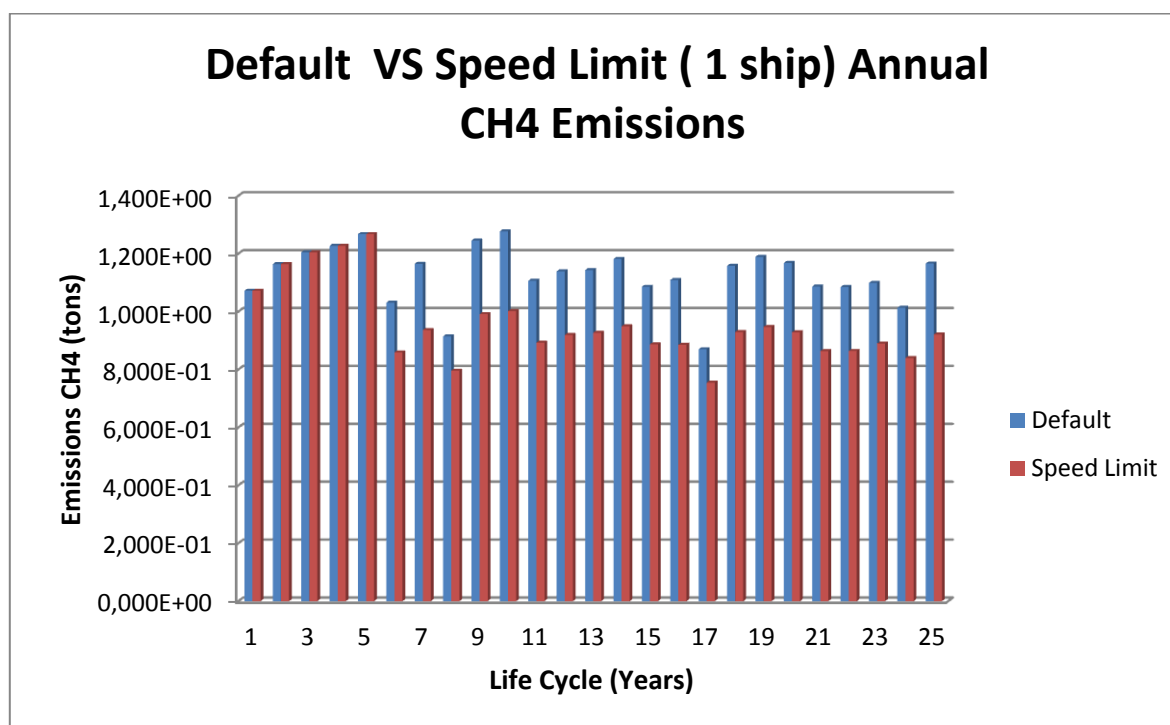
Διάγραμμα 60. Σύγκριση εκπομπών SO2 σεναρίου κανονικής λειτουργίας και περιορισμένης ταχύτητας



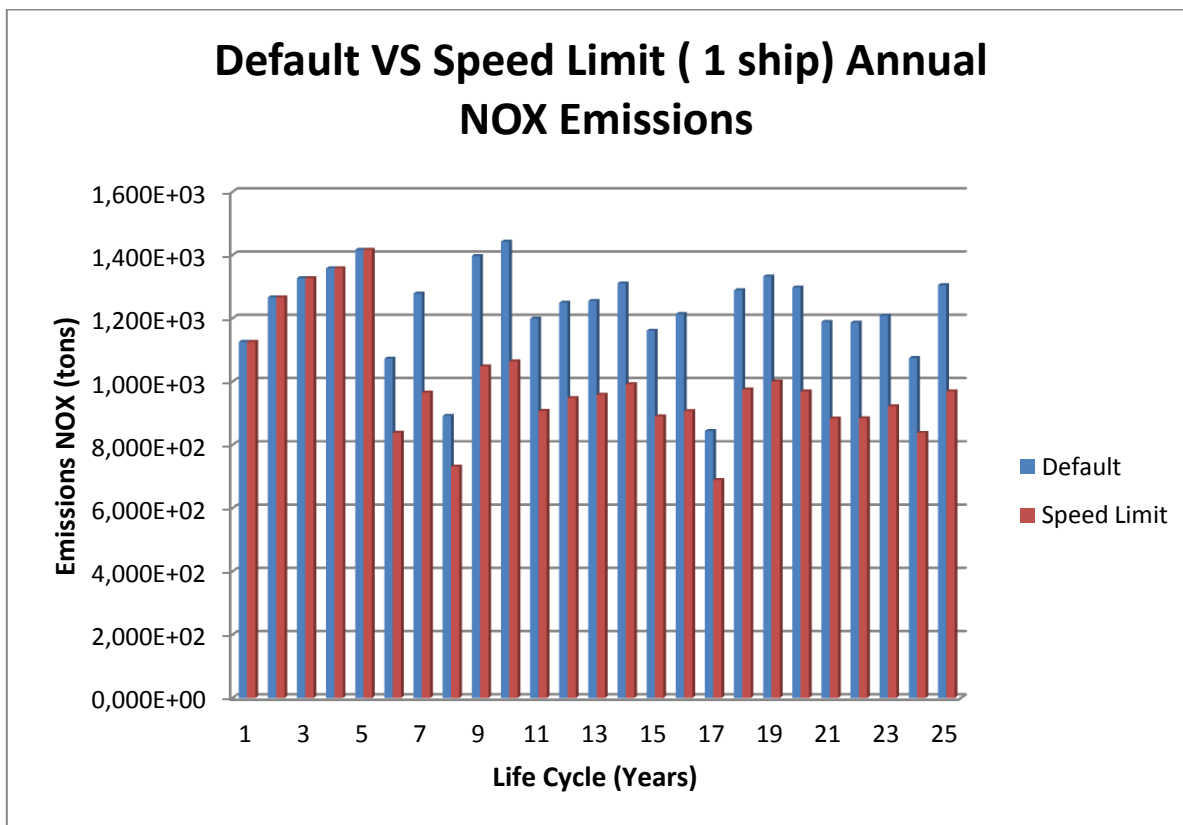
Διάγραμμα 61. Ετήσια σύγκριση εκπομπών CO2 σεναρίου κανονικής λειτουργίας και περιορισμένης ταχύτητας



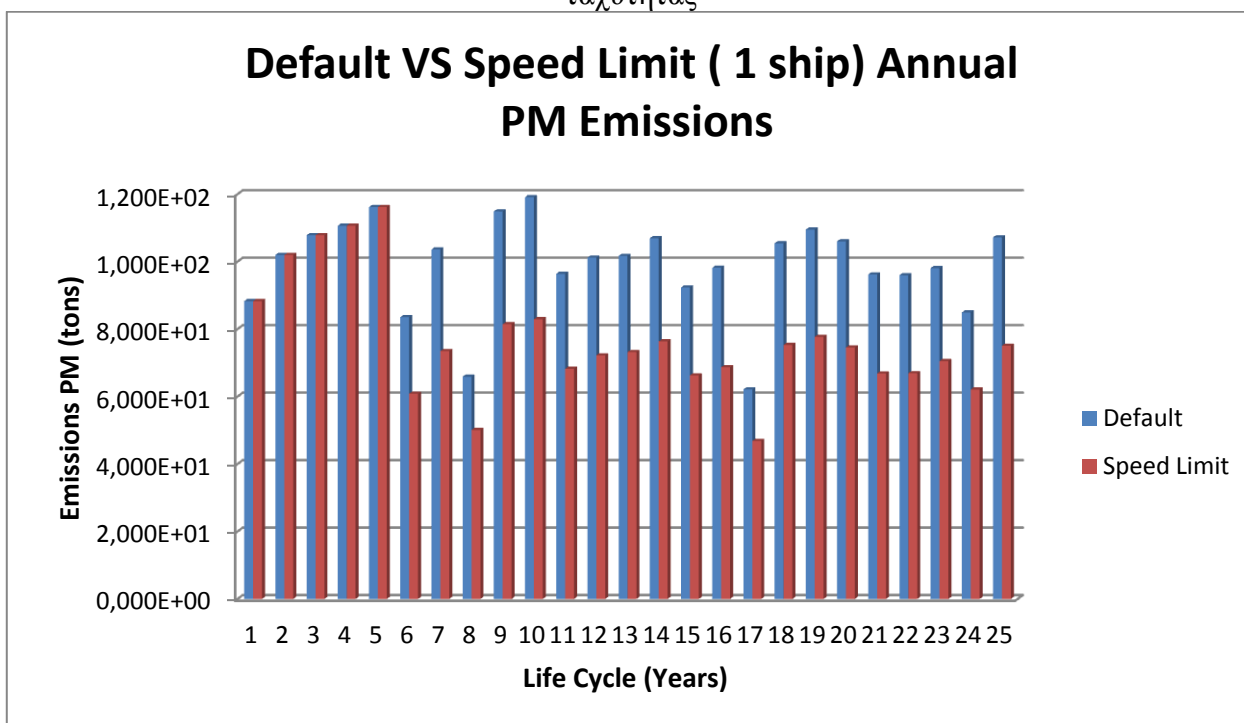
Διάγραμμα 62. Ετήσια σύγκριση εκπομπών CO σεναρίου κανονικής λειτουργίας και περιορισμένης ταχύτητας



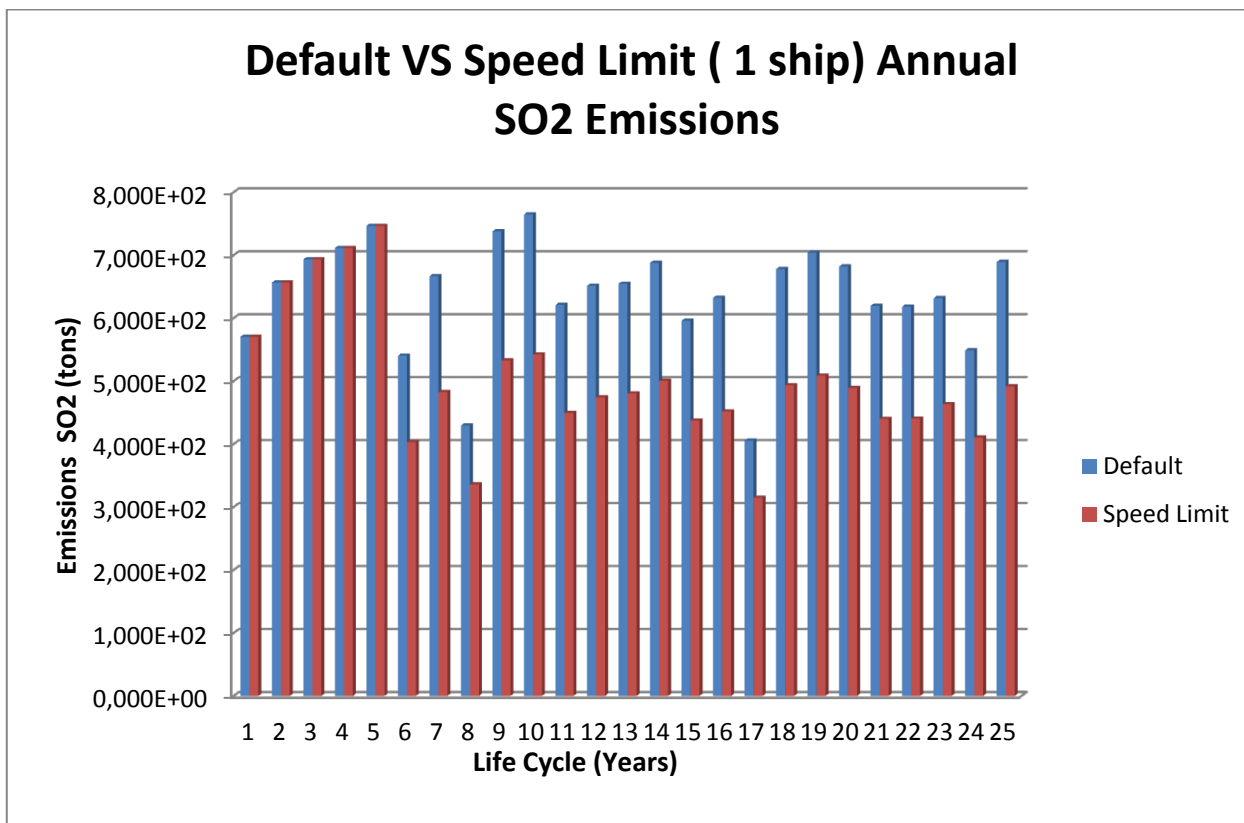
Διάγραμμα 63. Ετήσια σύγκριση εκπομπών CH4 σεναρίου κανονικής λειτουργίας και περιορισμένης ταχύτητας



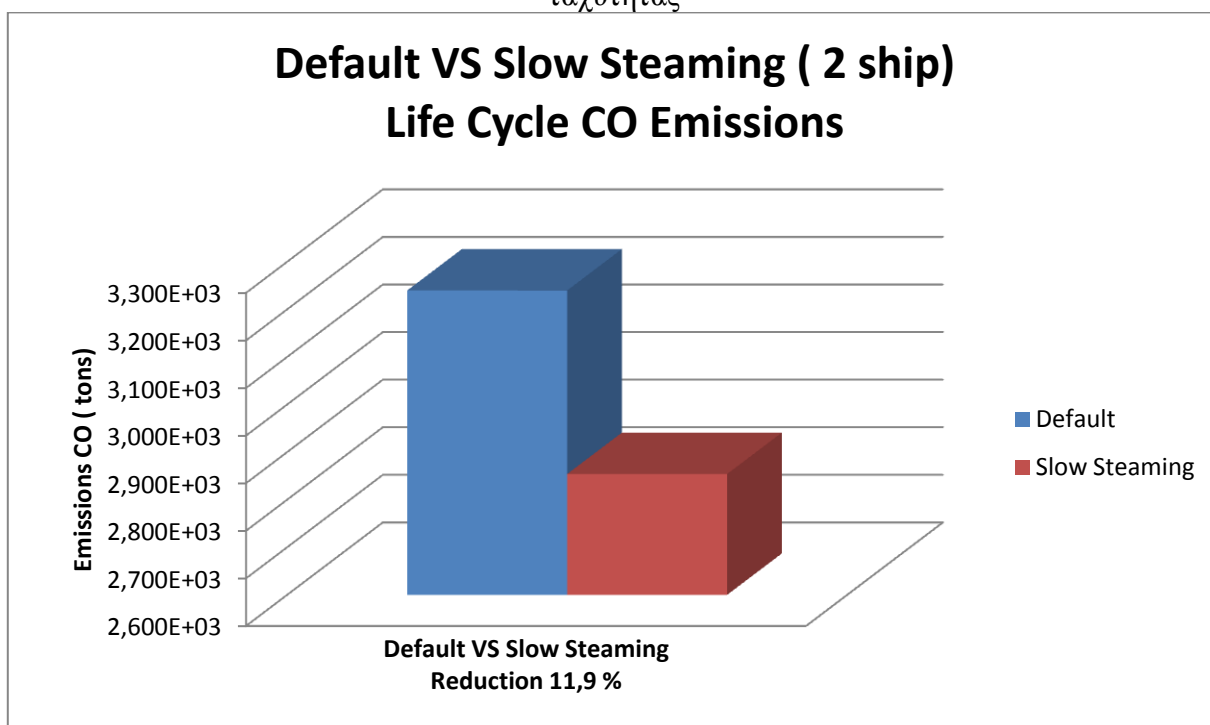
Διάγραμμα 64. Ετήσια σύγκριση εκπομπών NOX σεναρίου κανονικής λειτουργίας και περιορισμένης ταχύτητας



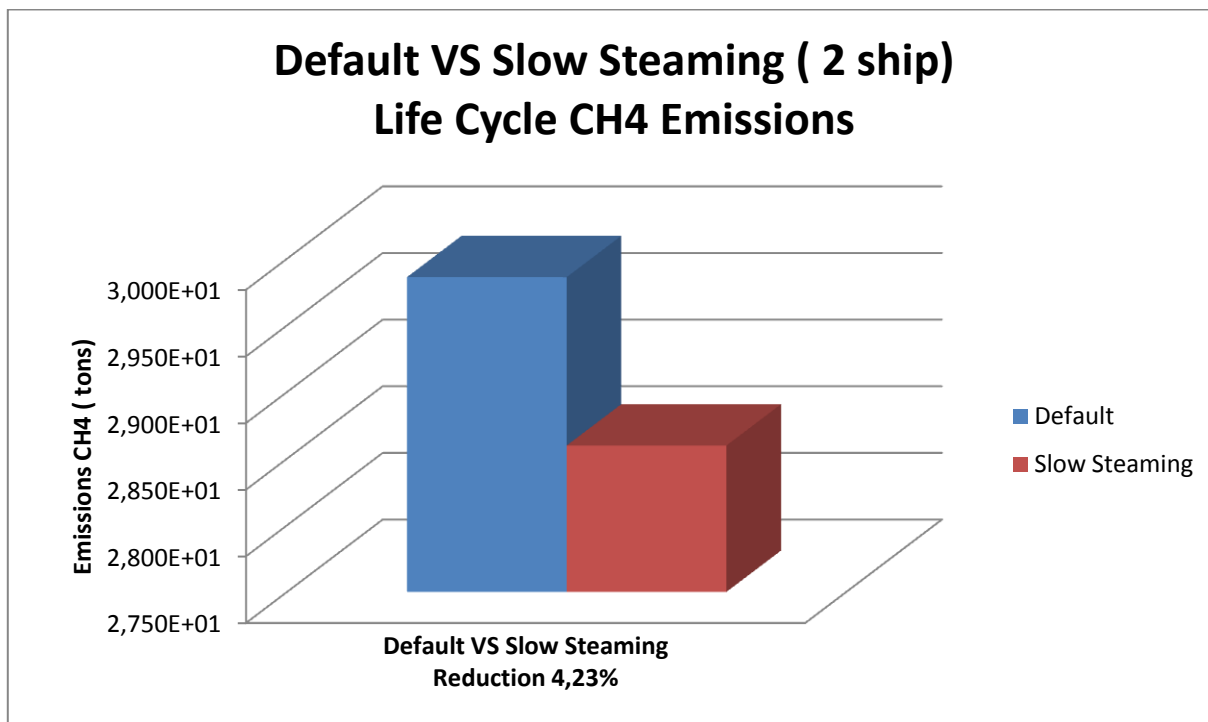
Διάγραμμα 65. Ετήσια σύγκριση εκπομπών PM σεναρίου κανονικής λειτουργίας και περιορισμένης ταχύτητας



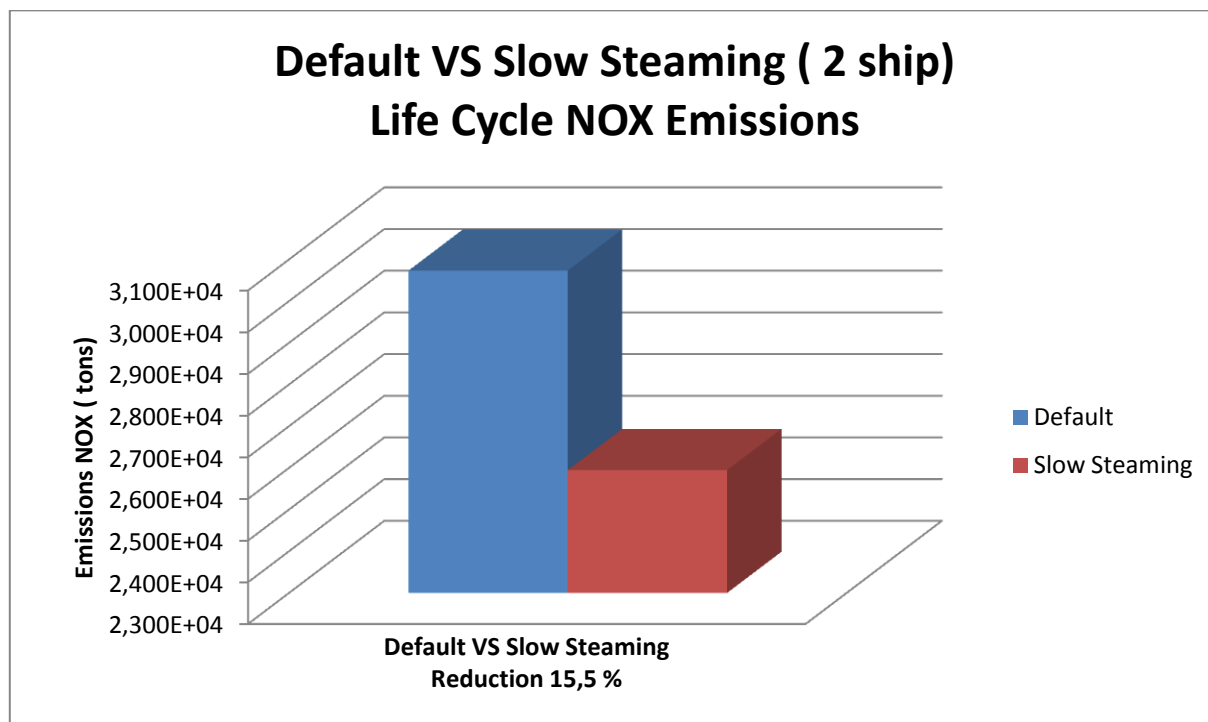
Διάγραμμα 66. Ετήσια σύγκριση εκπομπών SO2 σεναρίου κανονικής λειτουργίας και περιορισμένης ταχύτητας



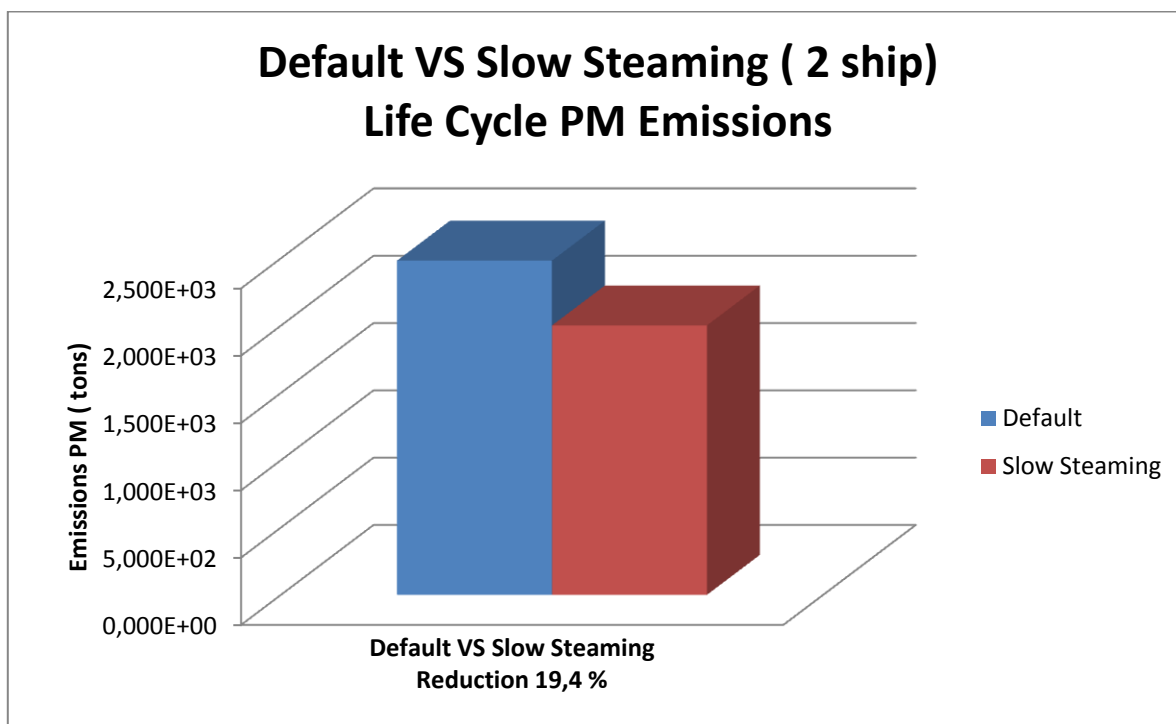
Διάγραμμα 67. Σύγκριση εκπομπών CO σεναρίου κανονικής λειτουργίας και μειωμένης ταχύτητας



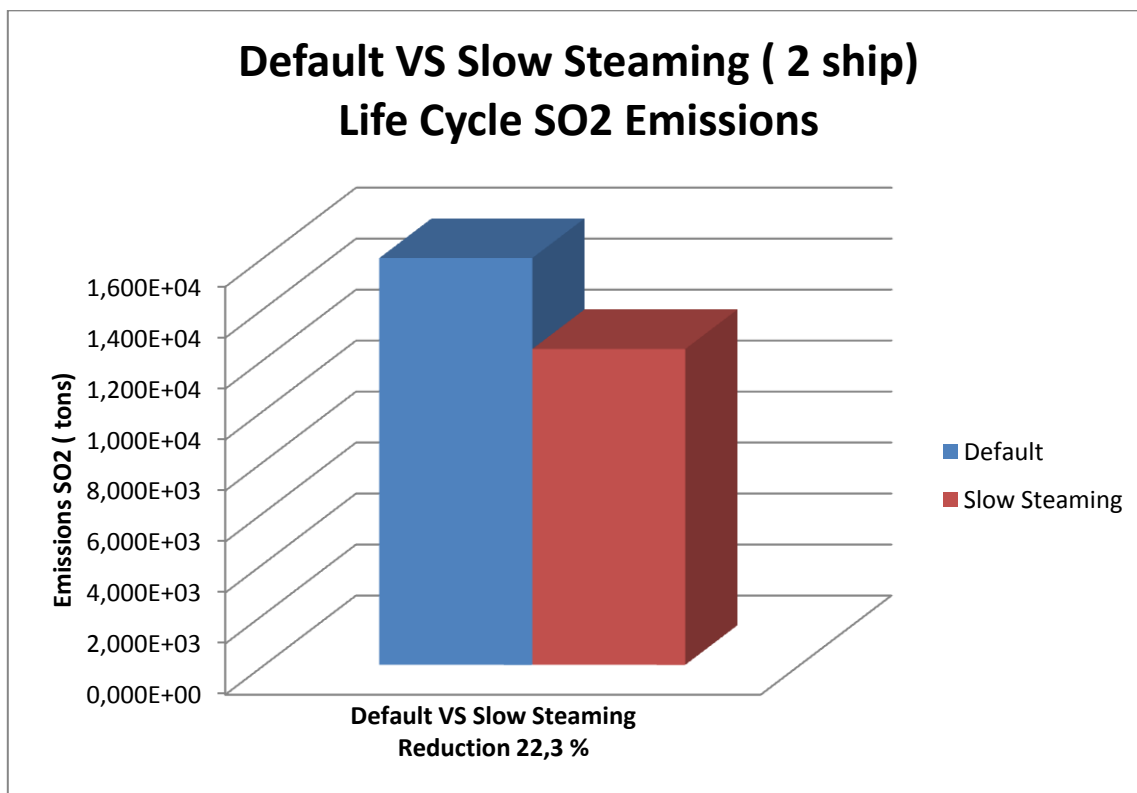
Διάγραμμα 68. Σύγκριση εκπομπών CH4 σεναρίου κανονικής λειτουργίας και μειωμένης ταχύτητας



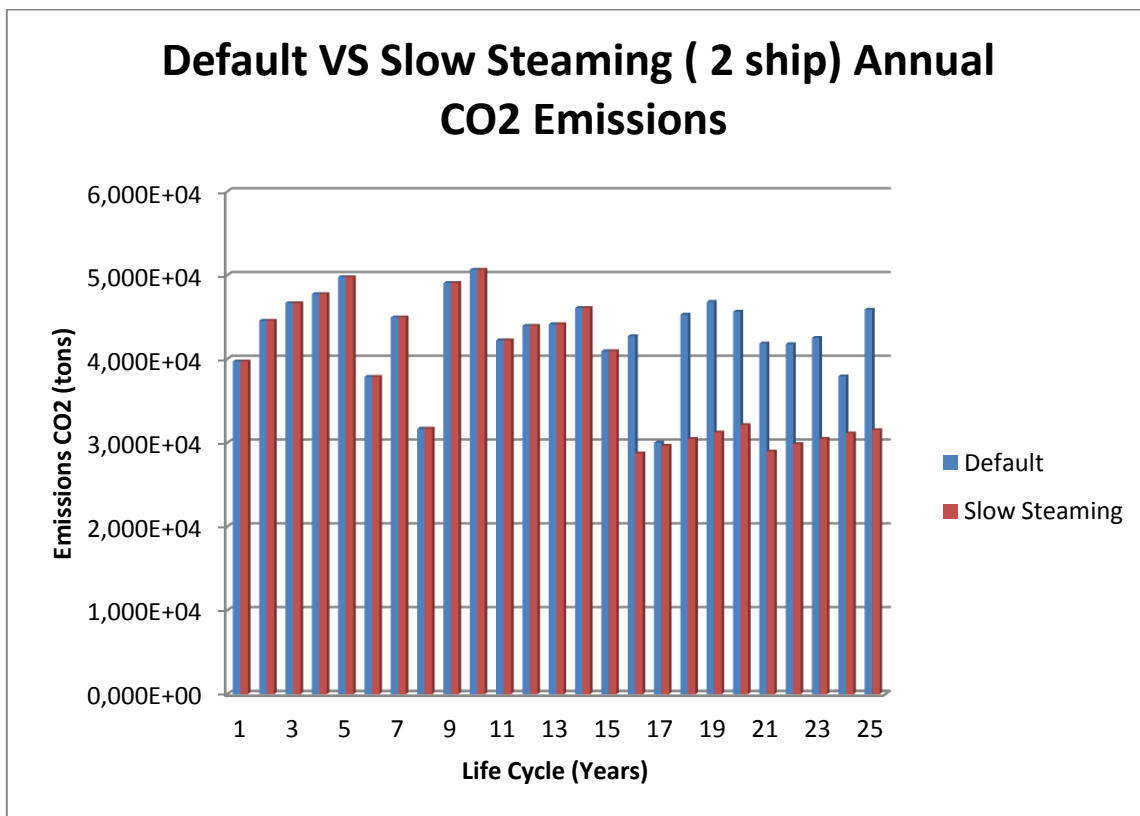
Διάγραμμα 69. Σύγκριση εκπομπών NOX σεναρίου κανονικής λειτουργίας και μειωμένης ταχύτητας



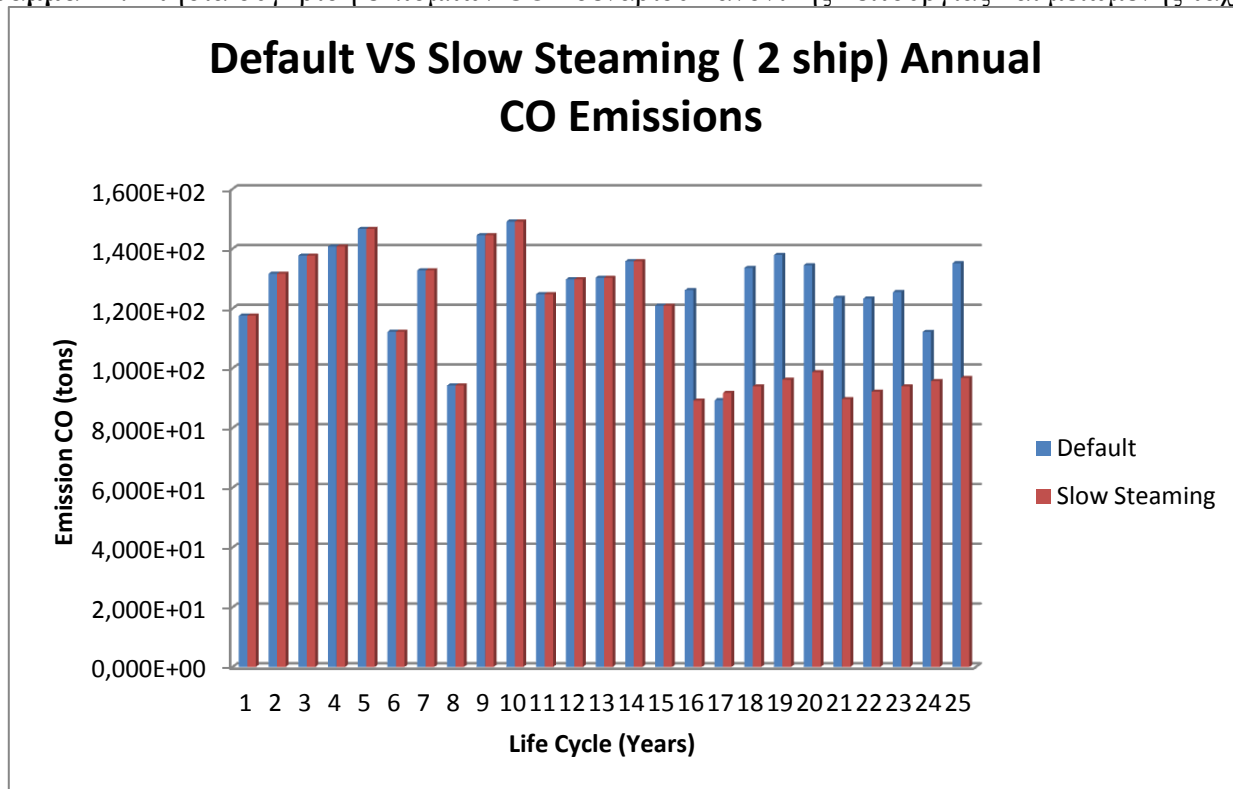
Διάγραμμα 70. Σύγκριση εκπομπών PM σεναρίου κανονικής λειτουργίας και μειωμένης ταχύτητας



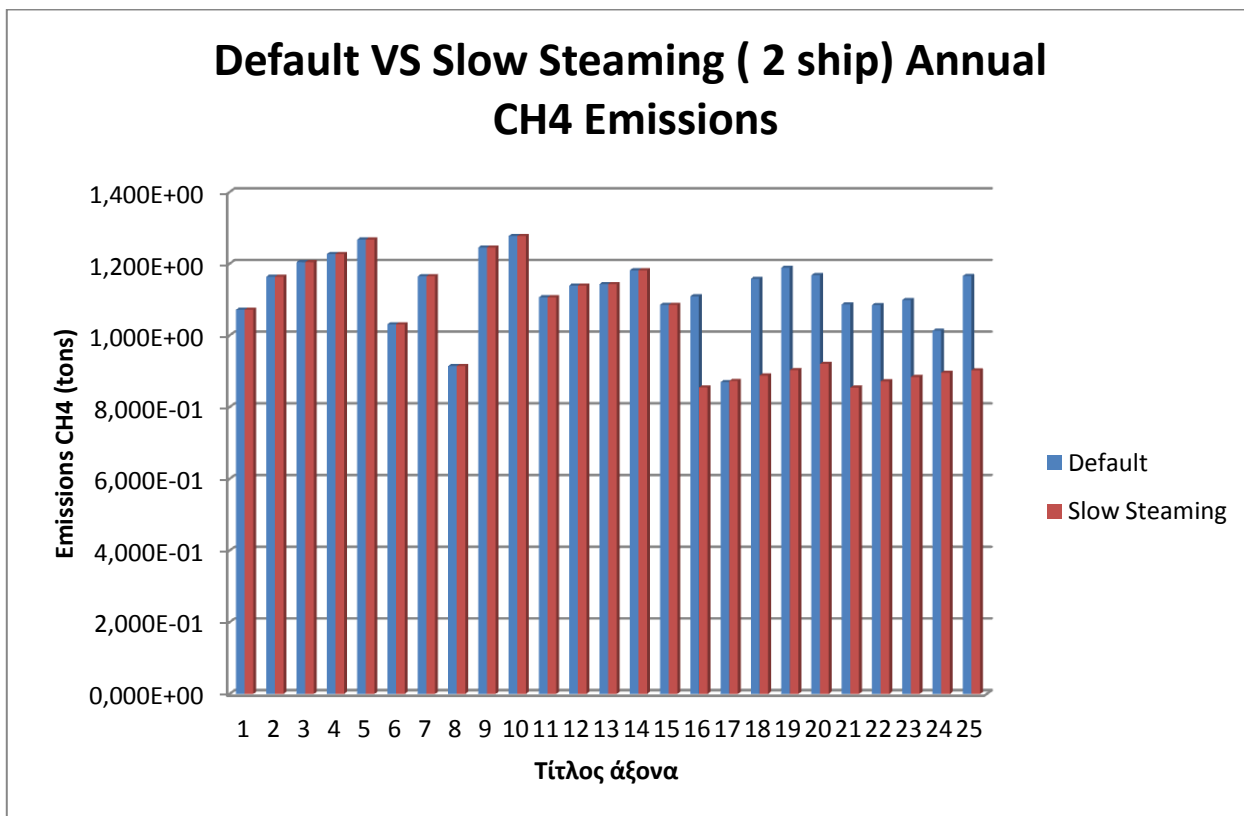
Διάγραμμα 71. Σύγκριση εκπομπών CH4 σεναρίου κανονικής λειτουργίας και μειωμένης ταχύτητας



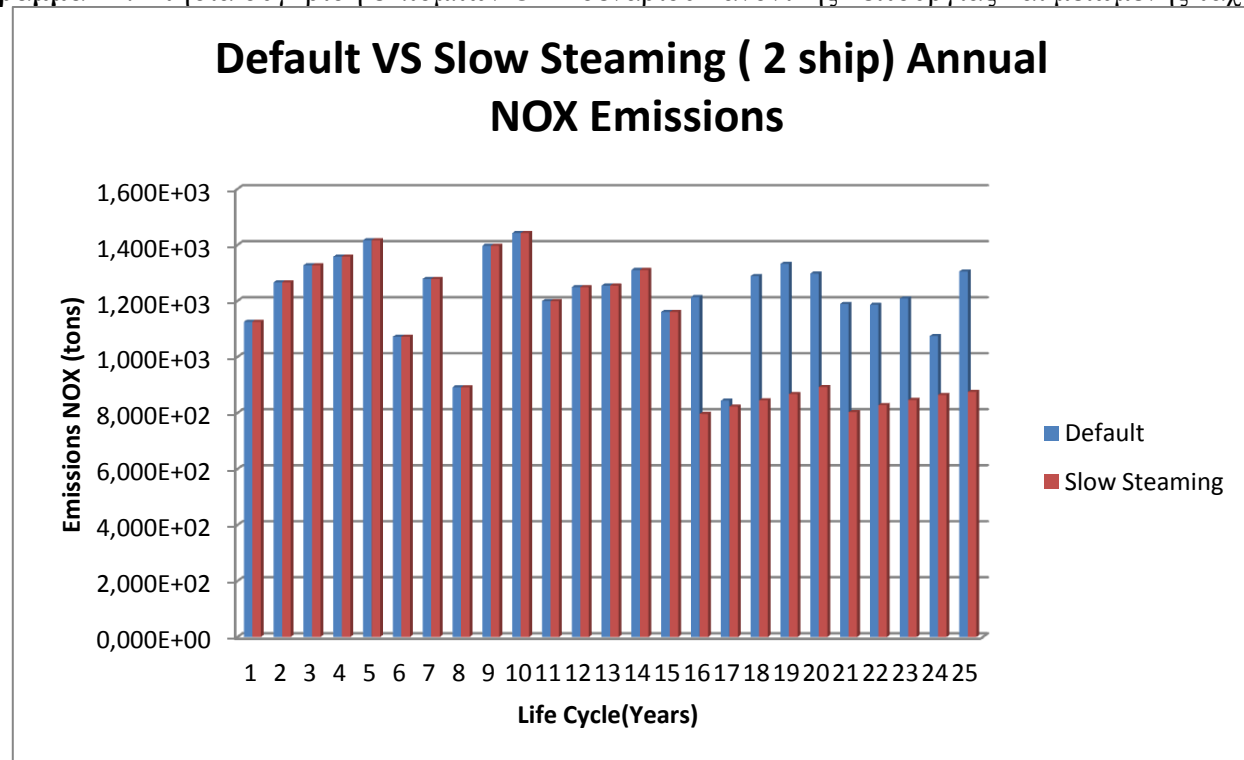
Διάγραμμα 72. Ετήσια σύγκριση εκπομπών CO2 σεναρίου κανονικής λειτουργίας και μειωμένης ταχύτητας



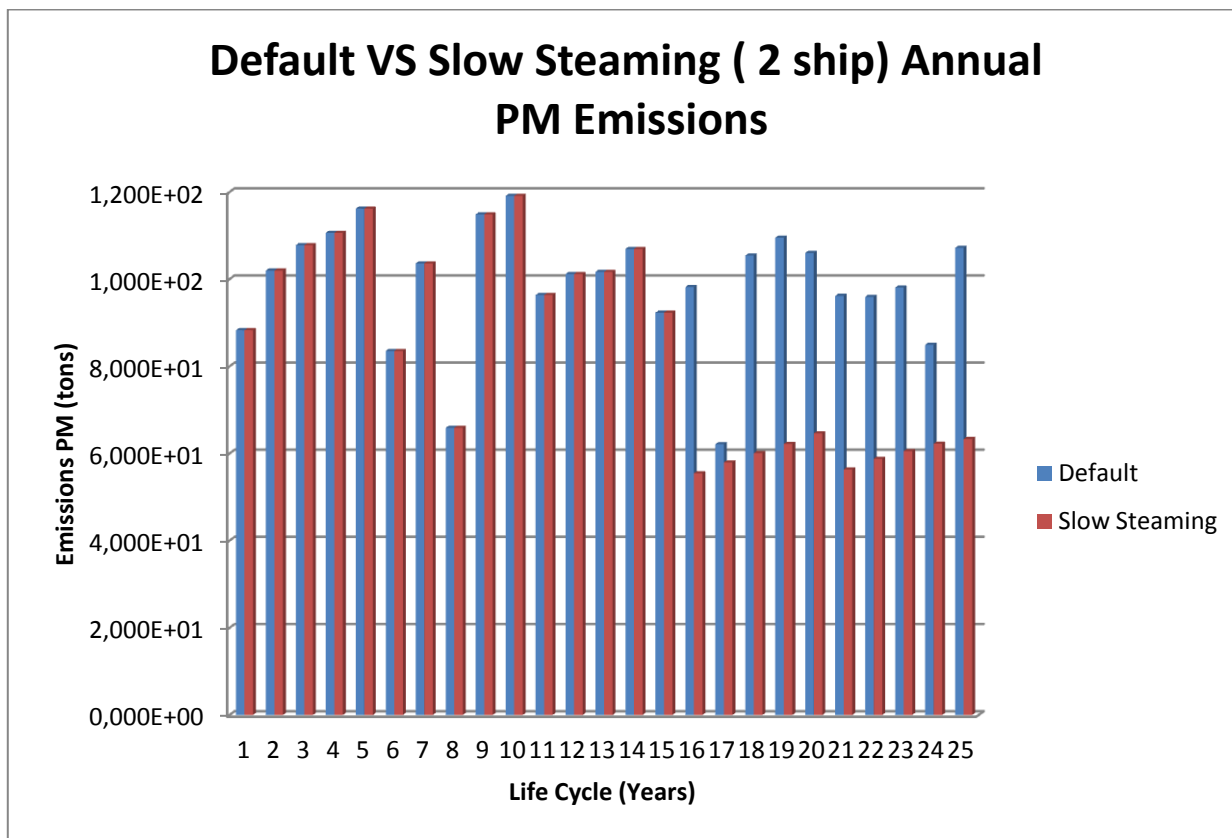
Διάγραμμα 73. Ετήσια σύγκριση εκπομπών CO σεναρίου κανονικής λειτουργίας και μειωμένης ταχύτητας



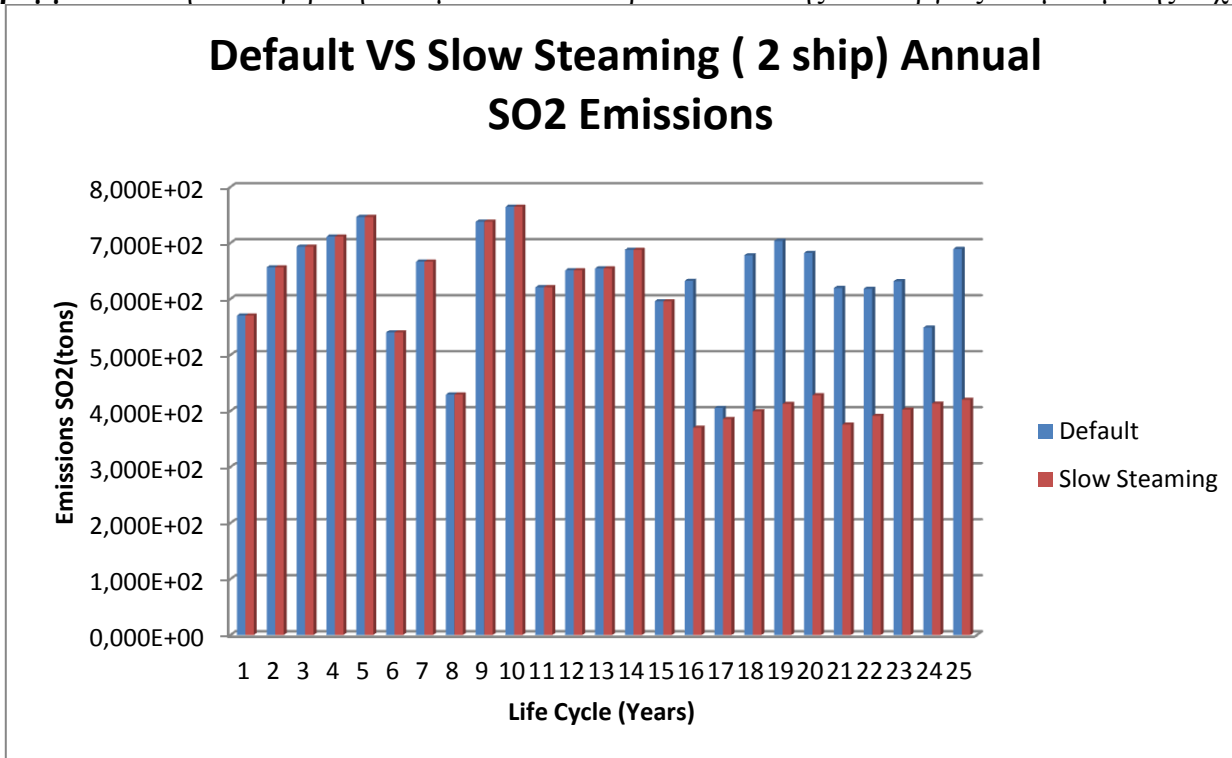
Διάγραμμα 74. Ετήσια σύγκριση εκπομπών CH4 σεναρίου κανονικής λειτουργίας και μειωμένης ταχύτητας



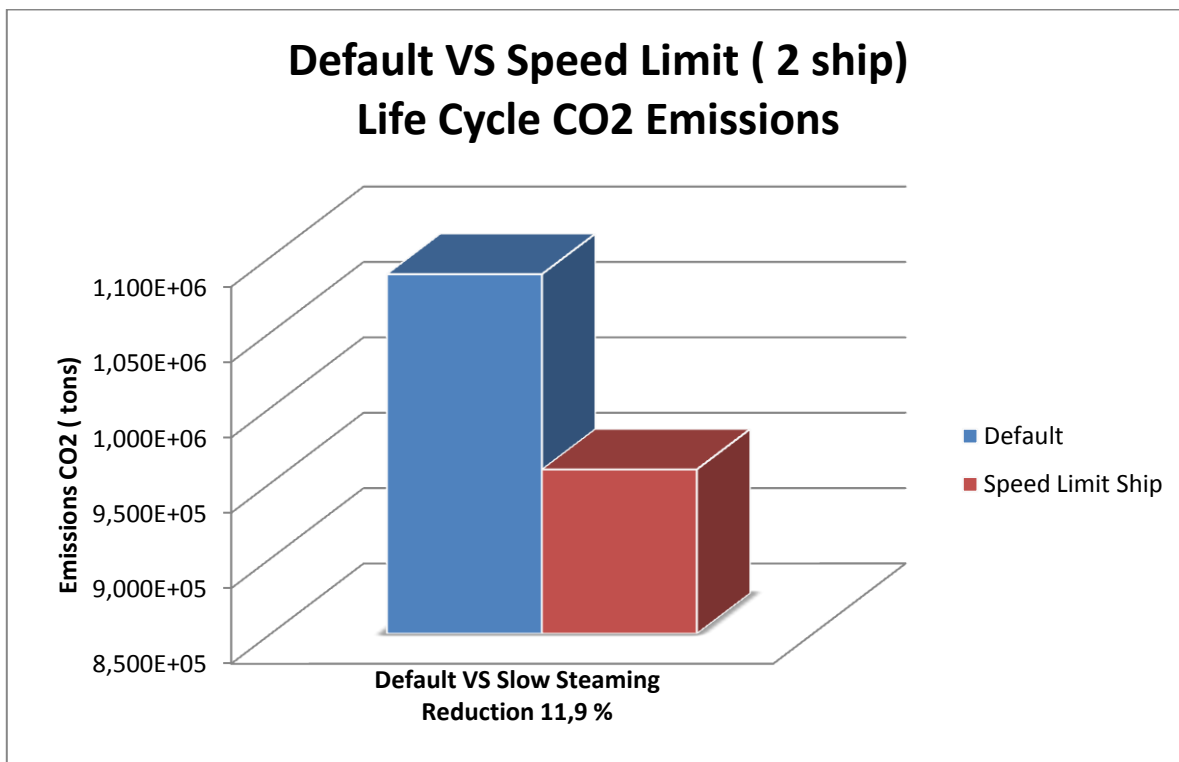
Διάγραμμα 75. Ετήσια σύγκριση εκπομπών NOX σεναρίου κανονικής λειτουργίας και μειωμένης ταχύτητας



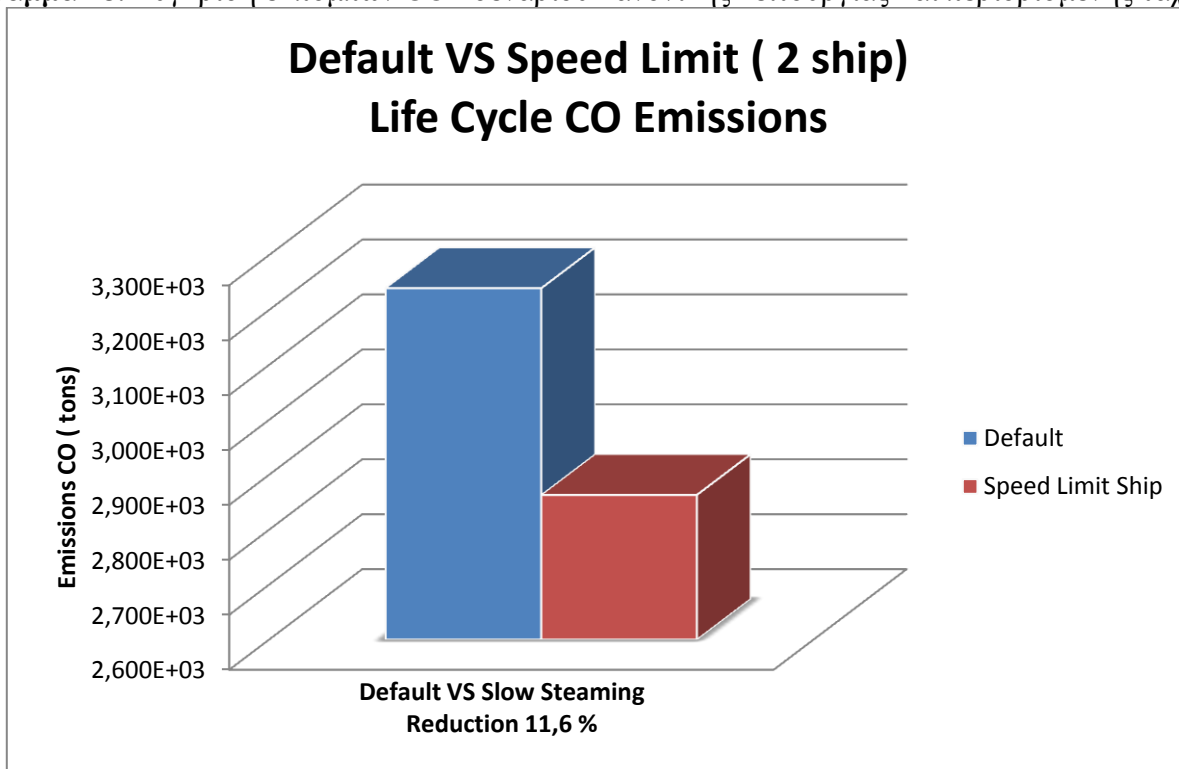
Διάγραμμα 76. Ετήσια σύγκριση εκπομπών PM σεναρίου κανονικής λειτουργίας και μειωμένης ταχύτητας



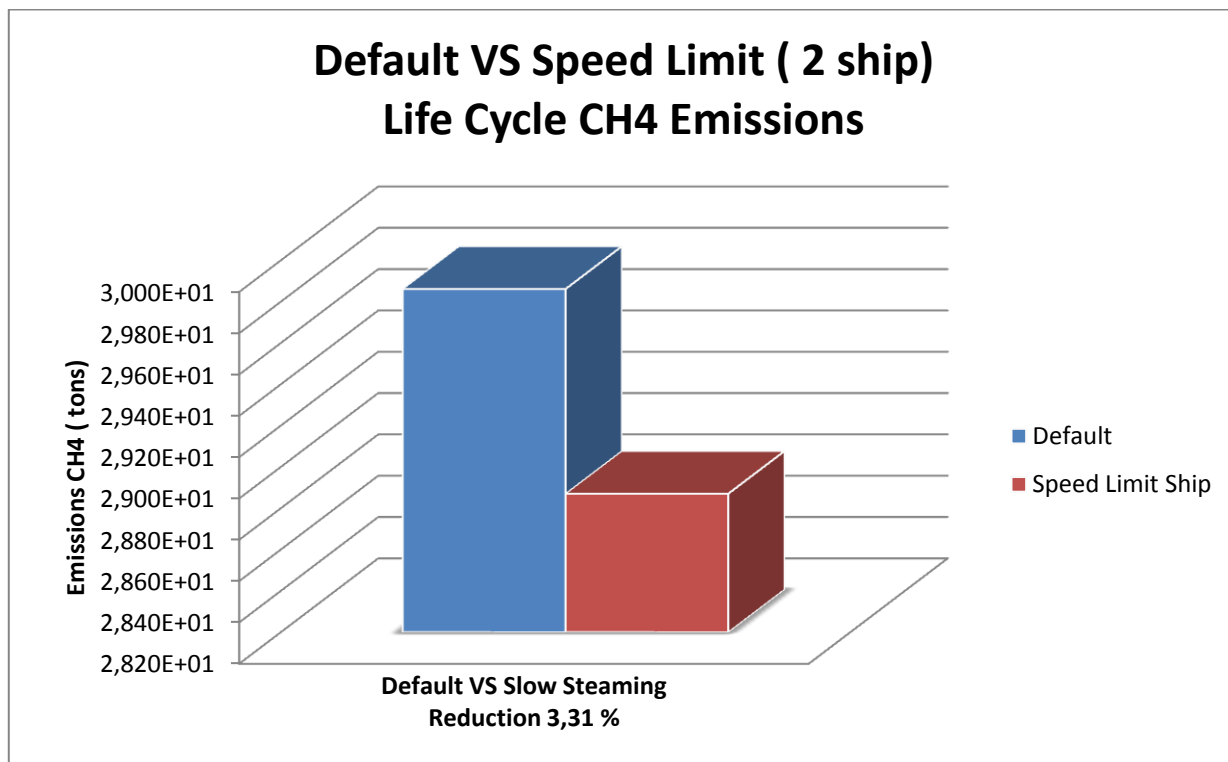
Διάγραμμα 77. Ετήσια σύγκριση εκπομπών SO2 σεναρίου κανονικής λειτουργίας και μειωμένης ταχύτητας



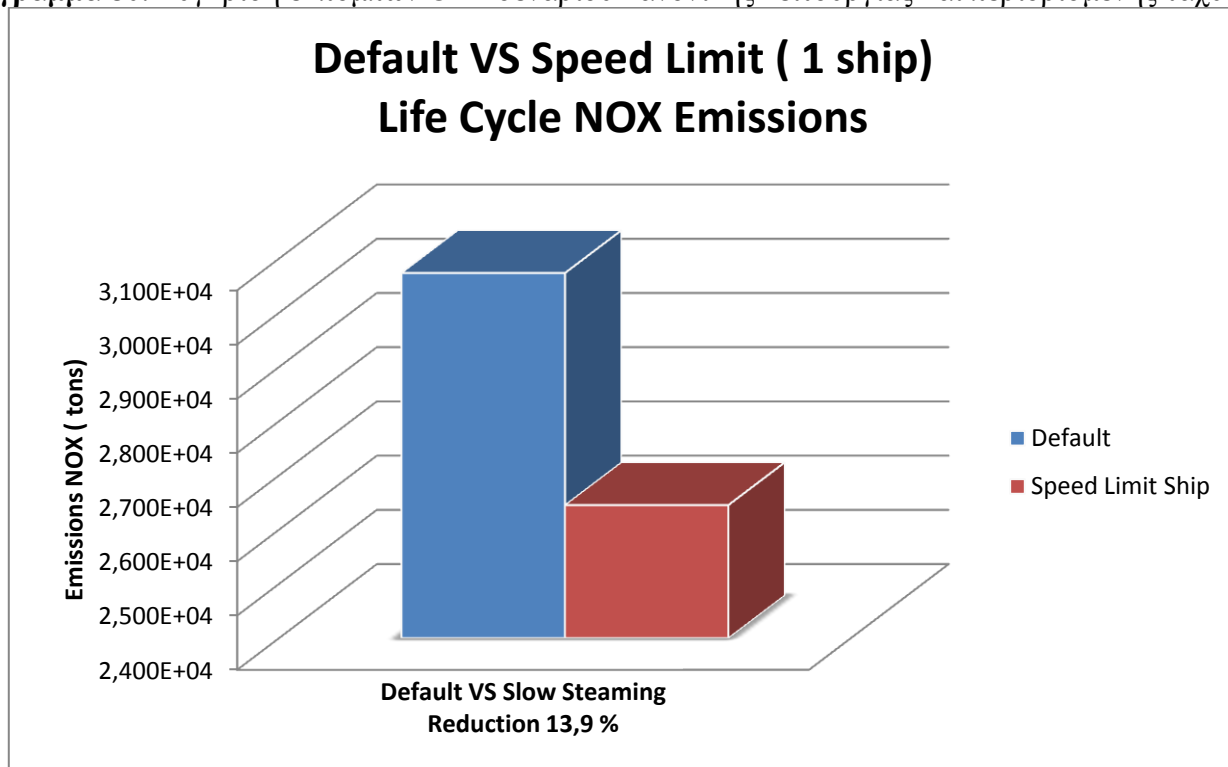
Διάγραμμα 78. Σύγκριση εκπομπών CO₂ σεναρίου κανονικής λειτουργίας και περιορισμένης ταχύτητας



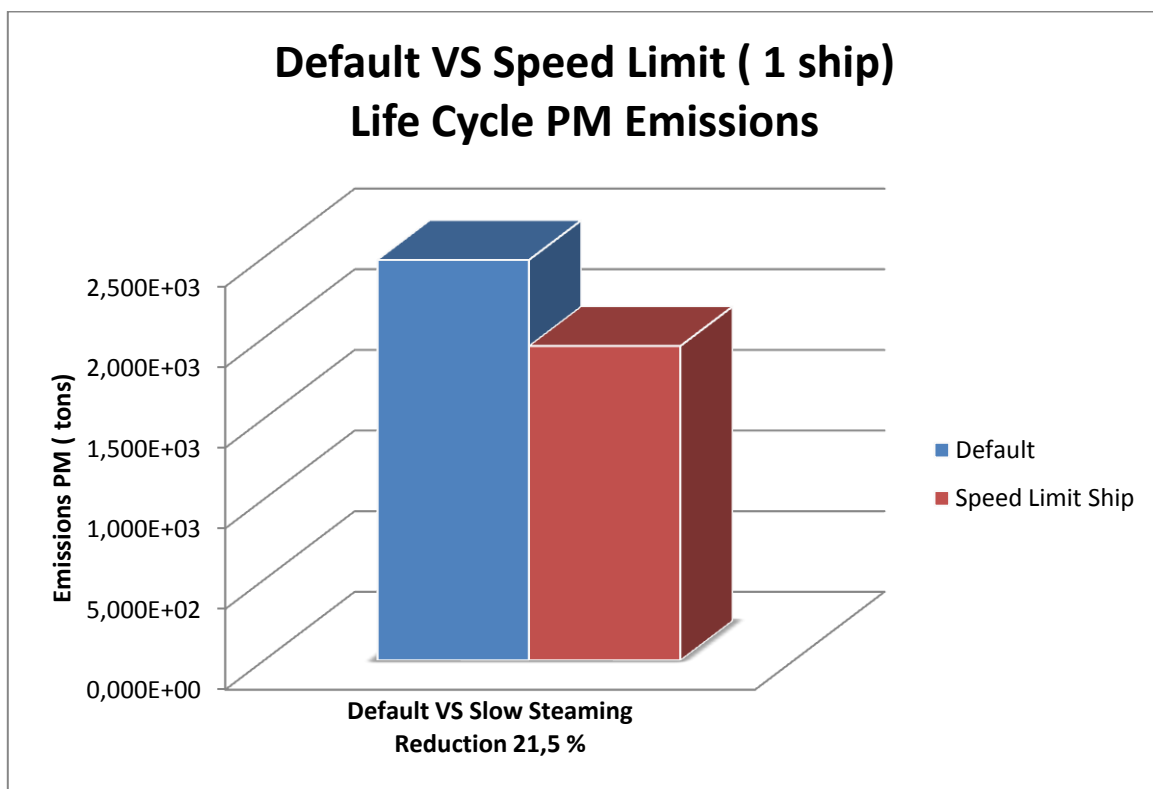
Διάγραμμα 79. Σύγκριση εκπομπών CO σεναρίου κανονικής λειτουργίας και περιορισμένης ταχύτητας



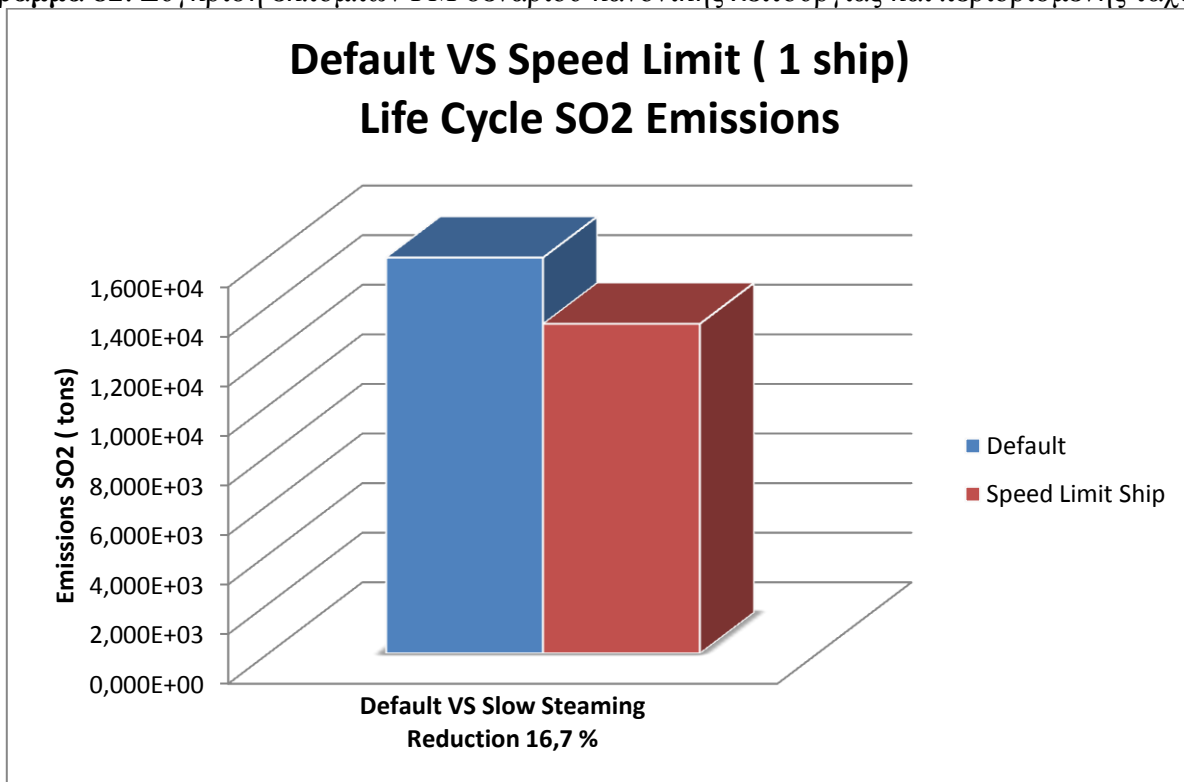
Διάγραμμα 80. Σύγκριση εκπομπών CH4 σεναρίου κανονικής λειτουργίας και περιορισμένης ταχύτητας



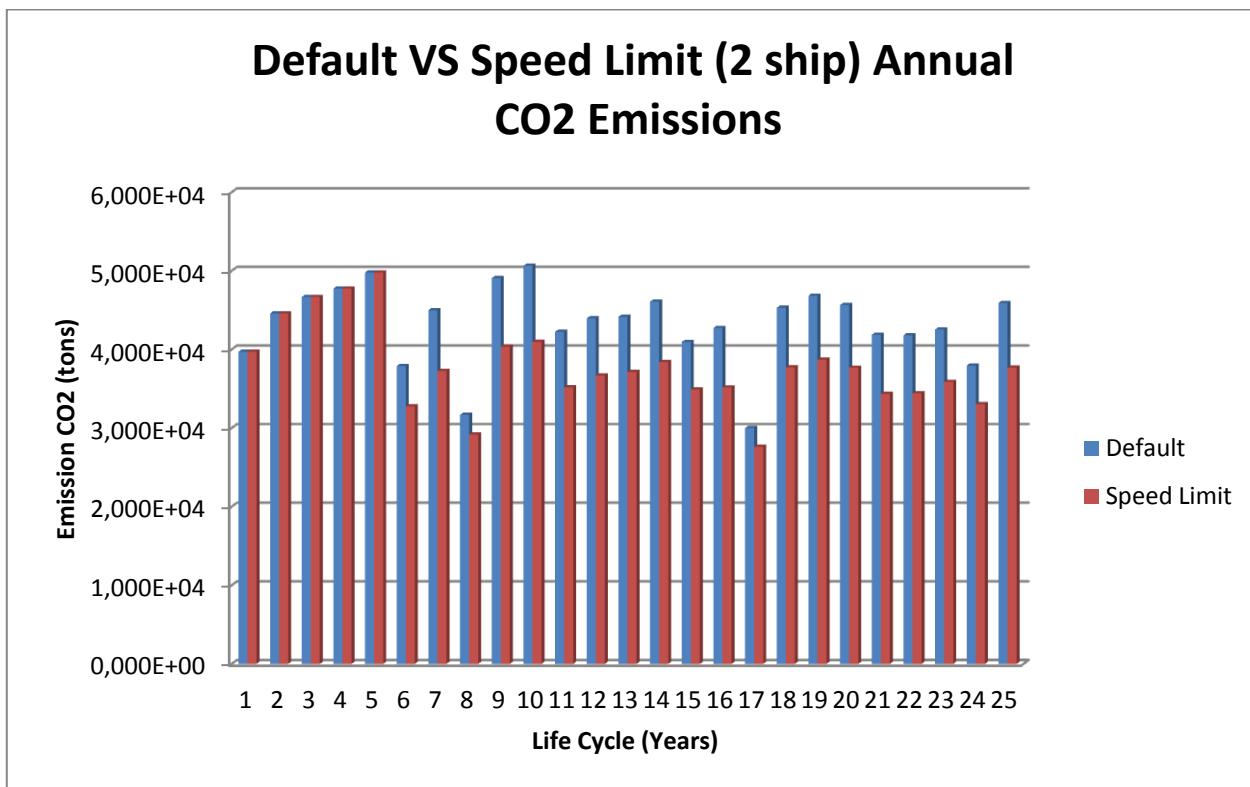
Διάγραμμα 81. Σύγκριση εκπομπών NOX σεναρίου κανονικής λειτουργίας και περιορισμένης ταχύτητας



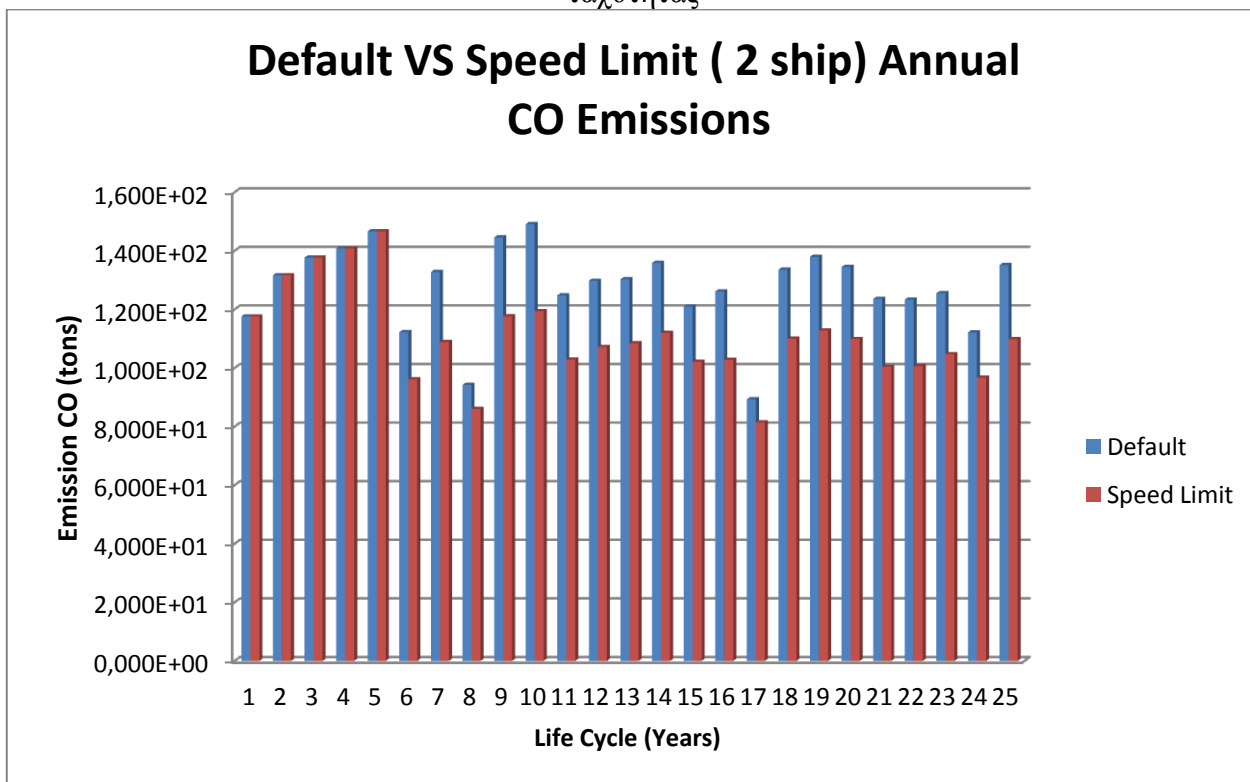
Διάγραμμα 82. Σύγκριση εκπομπών PM σεναρίου κανονικής λειτουργίας και περιορισμένης ταχύτητας



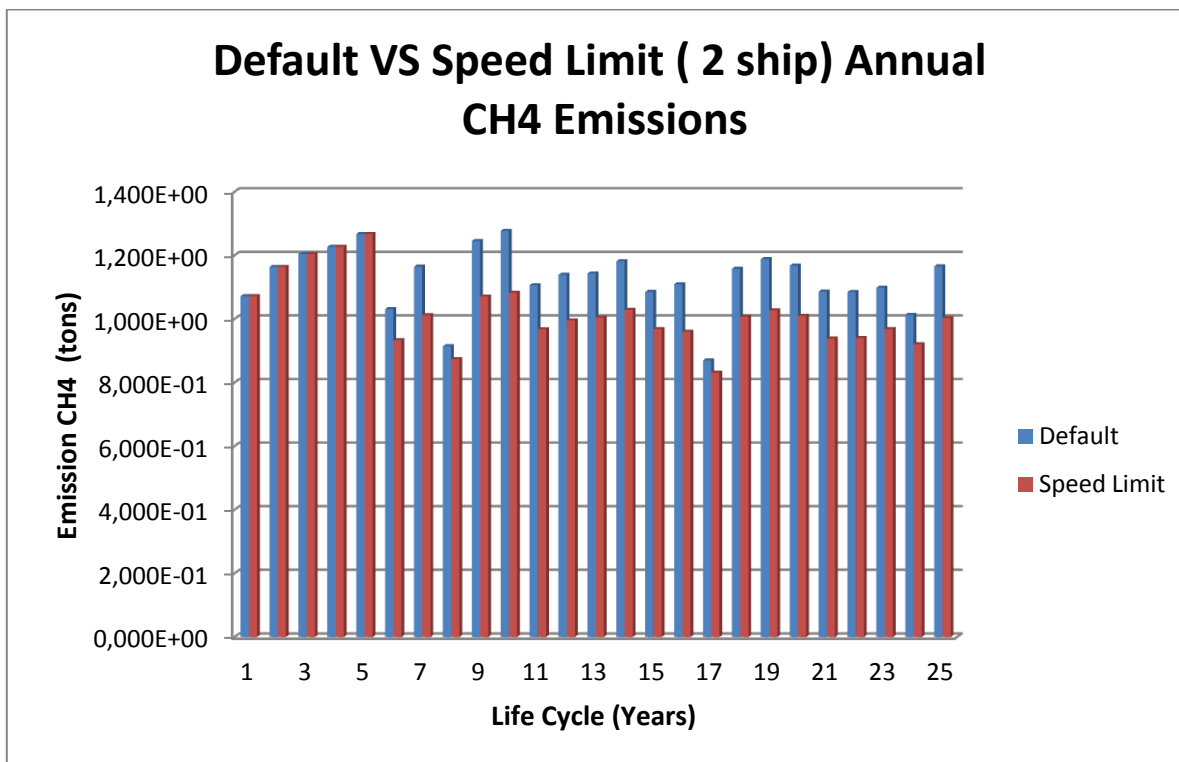
Διάγραμμα 83. Σύγκριση εκπομπών SO2 σεναρίου κανονικής λειτουργίας και περιορισμένης ταχύτητας



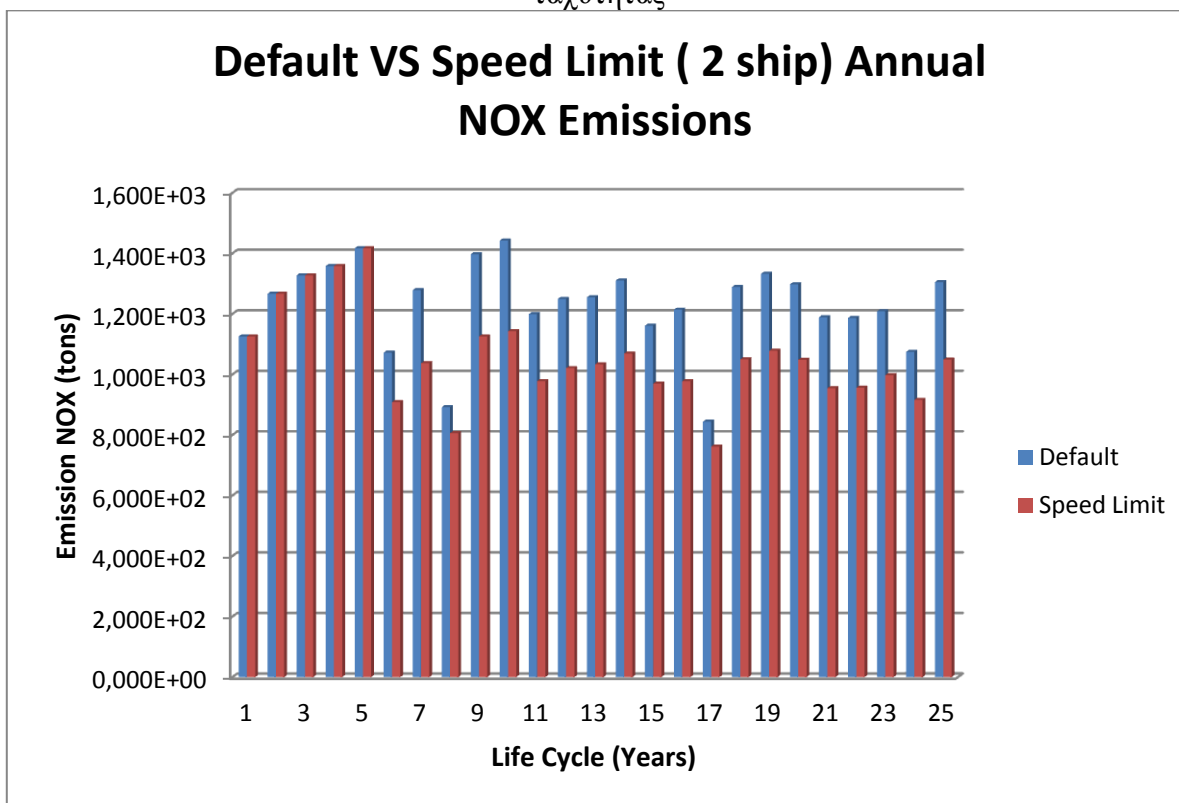
Διάγραμμα 84. Ετήσια σύγκριση εκπομπών CO2 σεναρίου κανονικής λειτουργίας και περιορισμένης ταχύτητας



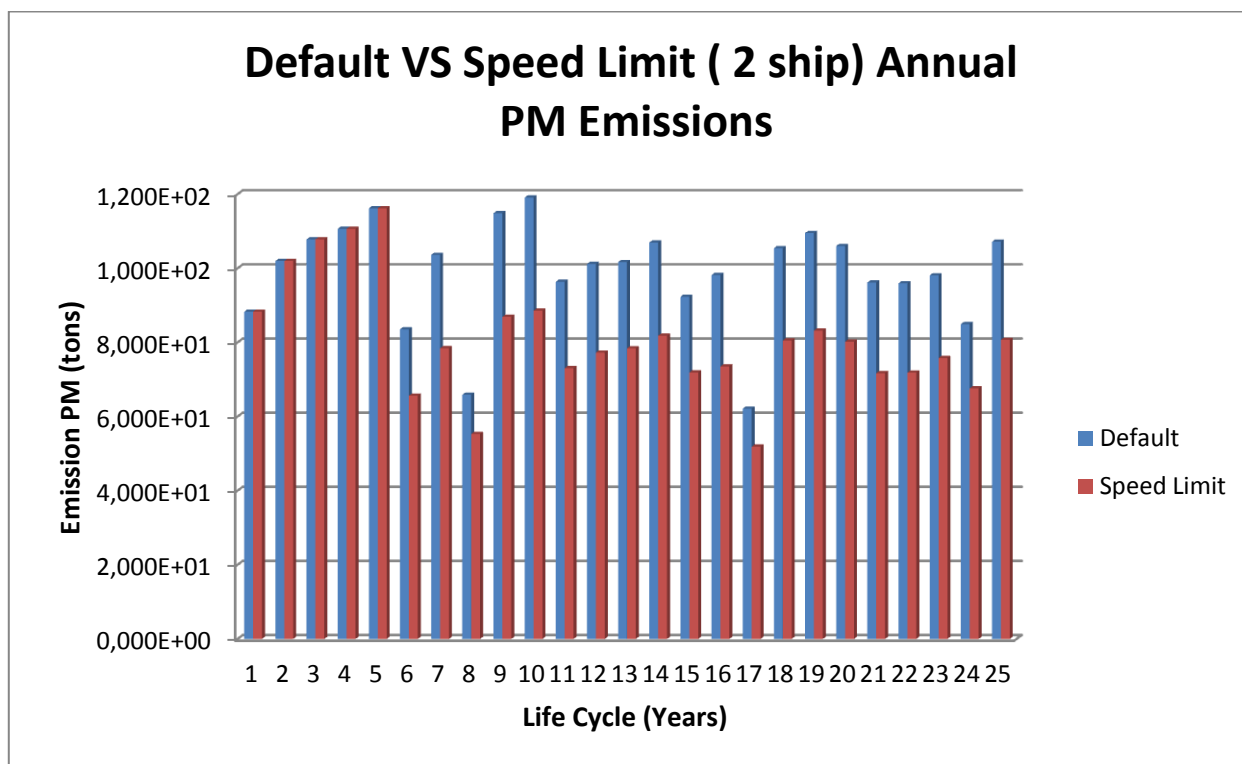
Διάγραμμα 85. Ετήσια σύγκριση εκπομπών CO σεναρίου κανονικής λειτουργίας και περιορισμένης ταχύτητας



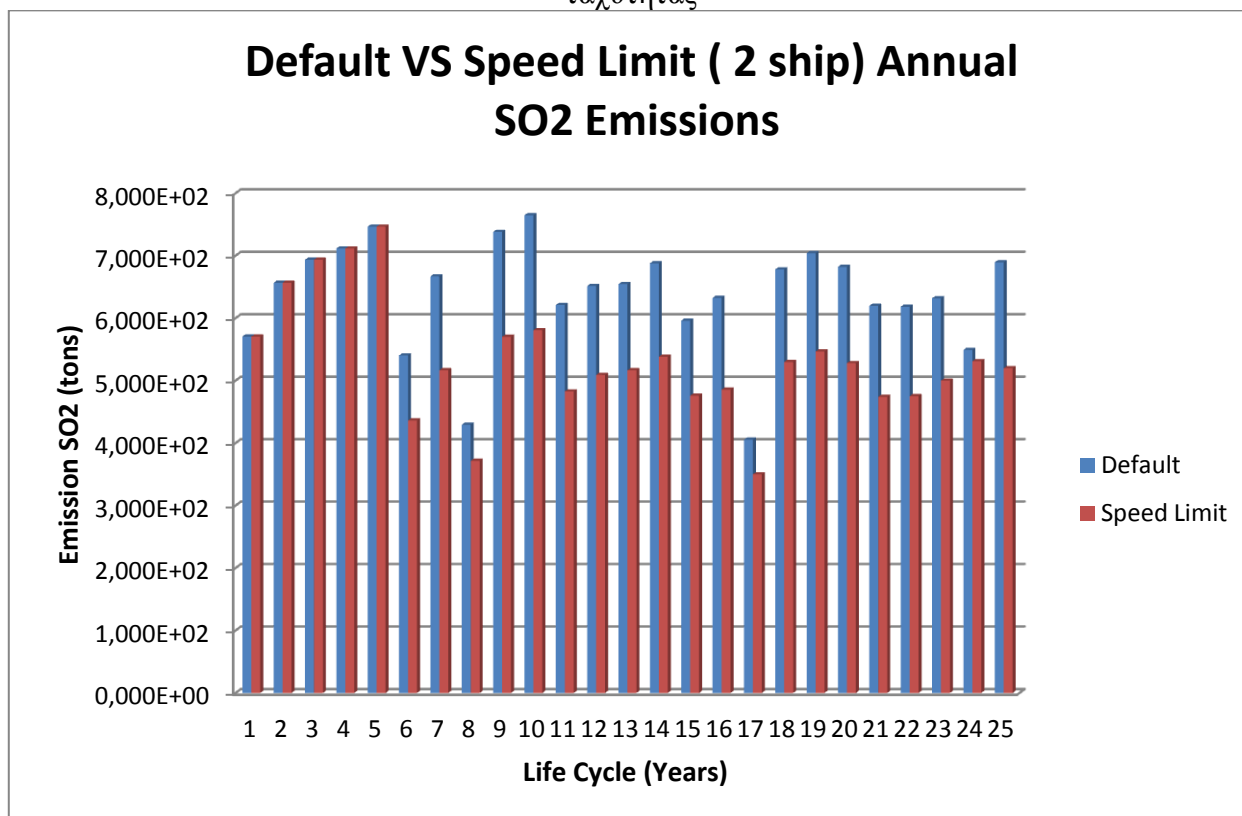
Διάγραμμα 86. Ετήσια σύγκριση εκπομπών CH4 σεναρίου κανονικής λειτουργίας και περιορισμένης ταχύτητας



Διάγραμμα 87. Ετήσια σύγκριση εκπομπών NOX σεναρίου κανονικής λειτουργίας και περιορισμένης ταχύτητας

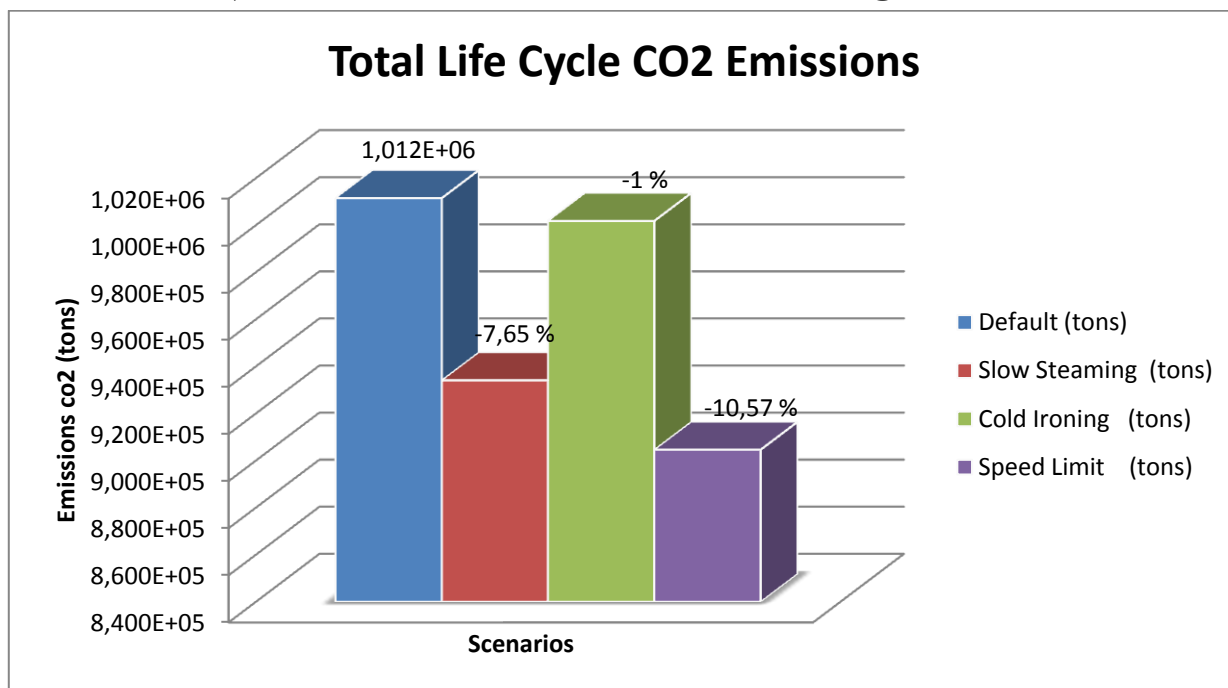


Διάγραμμα 88. Ετήσια σύγκριση εκπομπών PM σεναρίου κανονικής λειτουργίας και περιορισμένης ταχύτητας

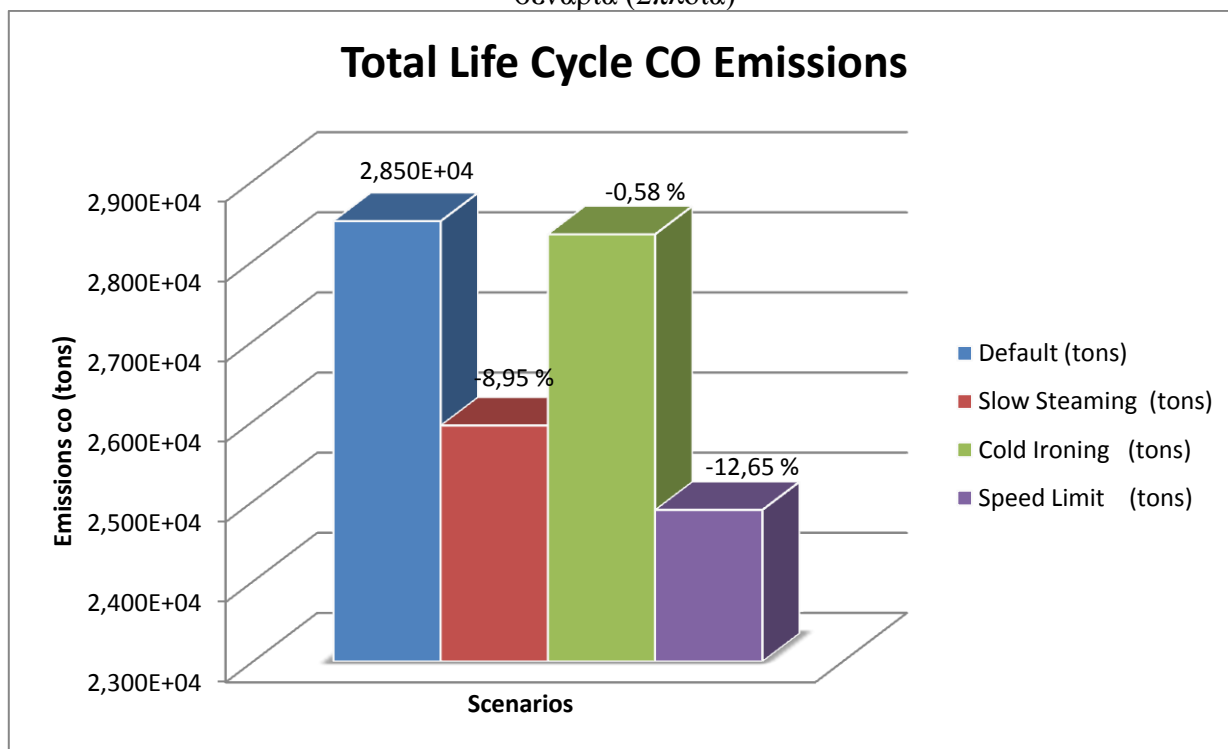


Διάγραμμα 89. Ετήσια σύγκριση εκπομπών SO σεναρίου κανονικής λειτουργίας και περιορισμένης ταχύτητας

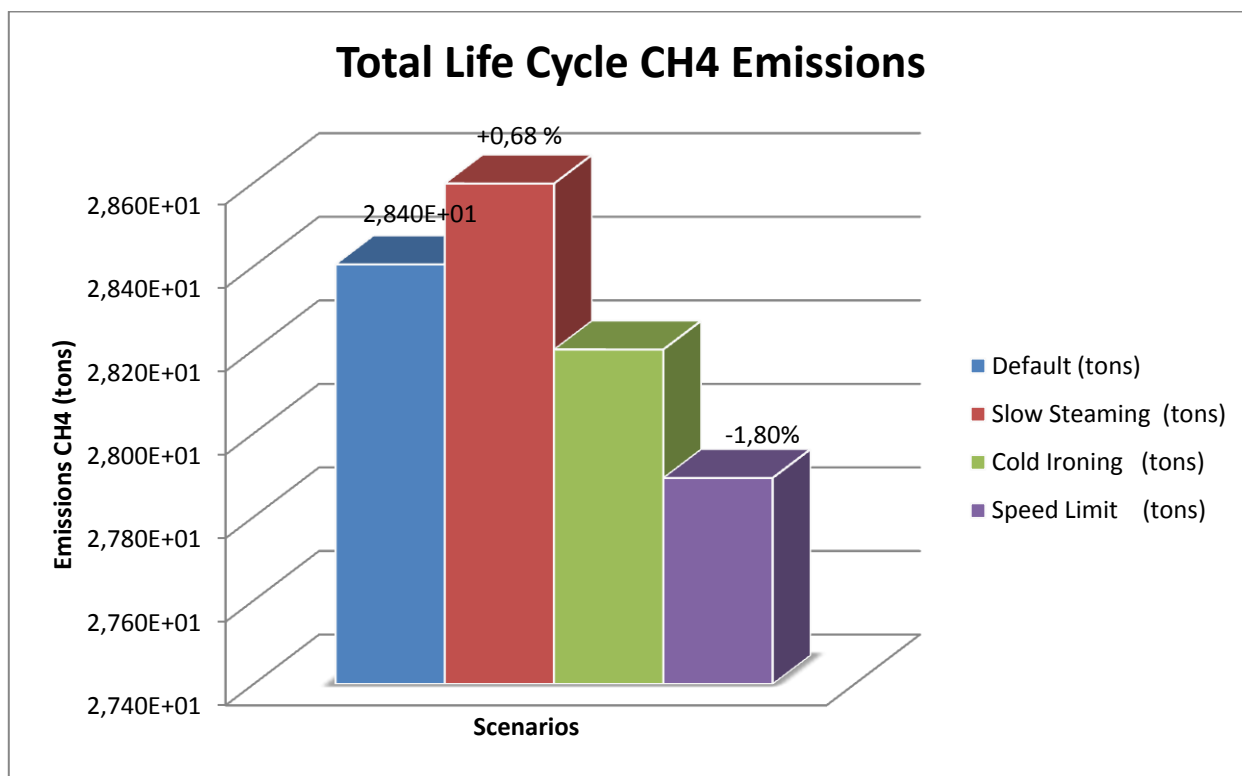
ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΑ ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ



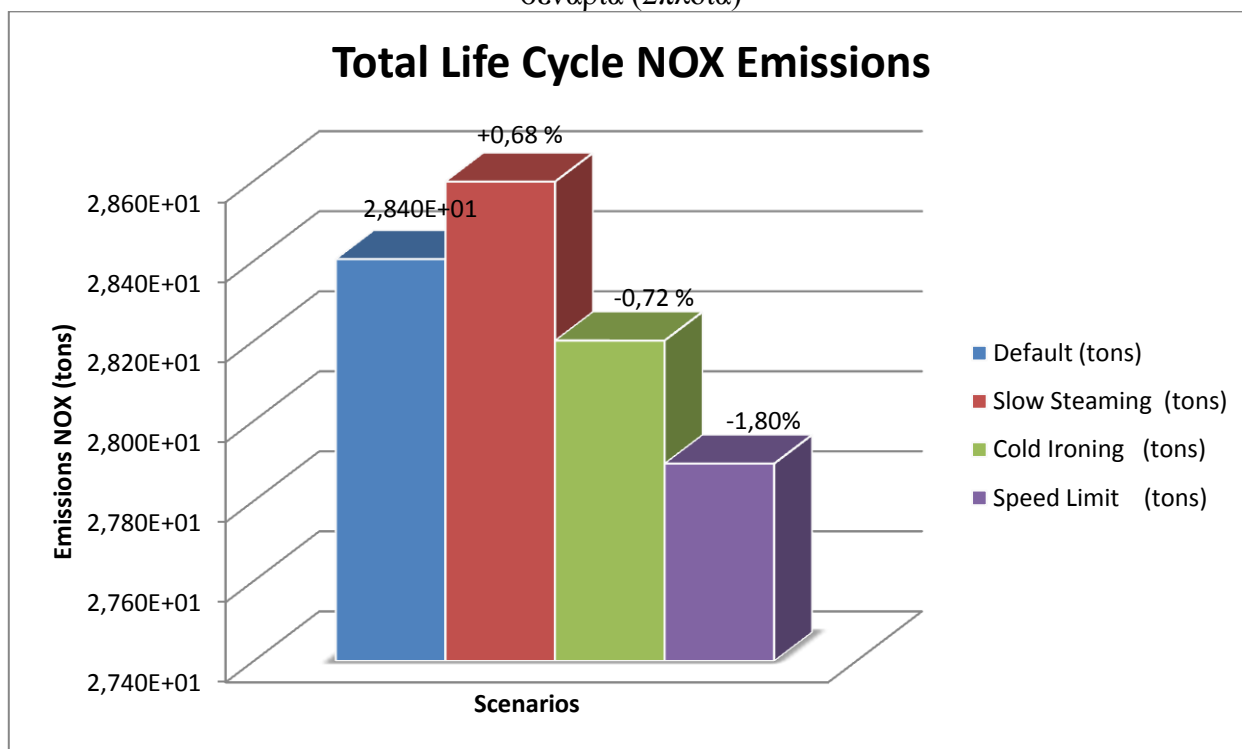
Διάγραμμα 90. Συνολικές εκπομπές CO₂ για όλο τον κύκλο ζωής του πλοίου για όλα τα εξεταζόμενα σενάρια (2πλοία)



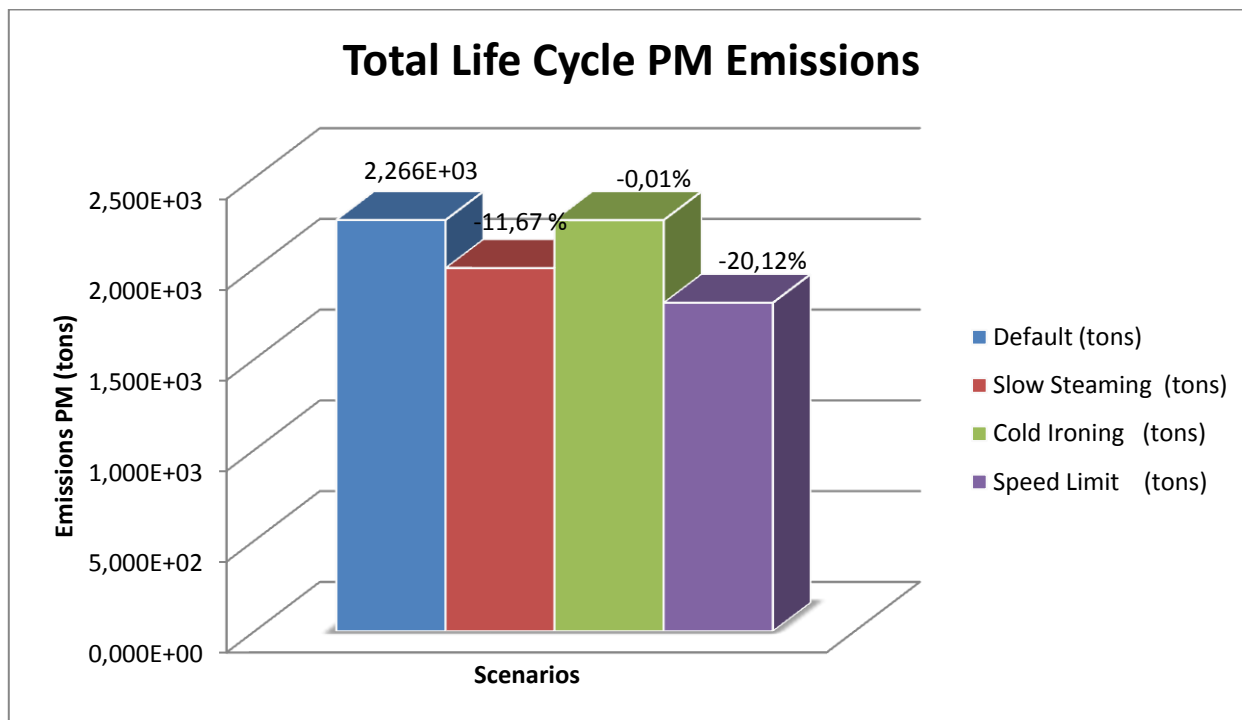
Διάγραμμα 91. Συνολικές εκπομπές CO για όλο τον κύκλο ζωής του πλοίου για όλα τα εξεταζόμενα σενάρια (2πλοία)



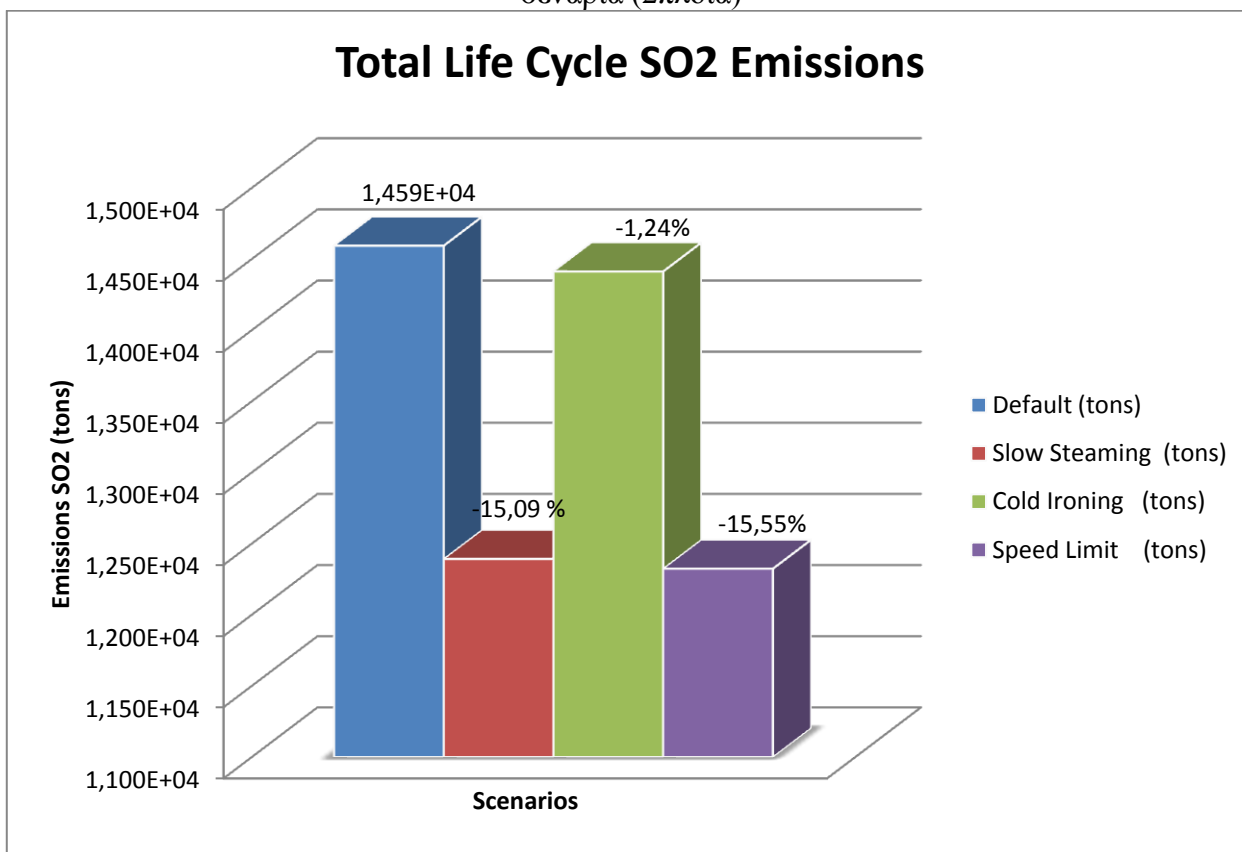
Διάγραμμα 92. Συνολικές εκπομπές CH₄ για όλο τον κύκλο ζωής του πλοίου για όλα τα εξεταζόμενα σενάρια (2πλοία)



Διάγραμμα 93. Συνολικές εκπομπές NO_X για όλο τον κύκλο ζωής του πλοίου για όλα τα εξεταζόμενα σενάρια (2πλοία)



Διάγραμμα 94. Συνολικές εκπομπές PM για όλο τον κύκλο ζωής του πλοίου για όλα τα εξεταζόμενα σενάρια (2πλοία)



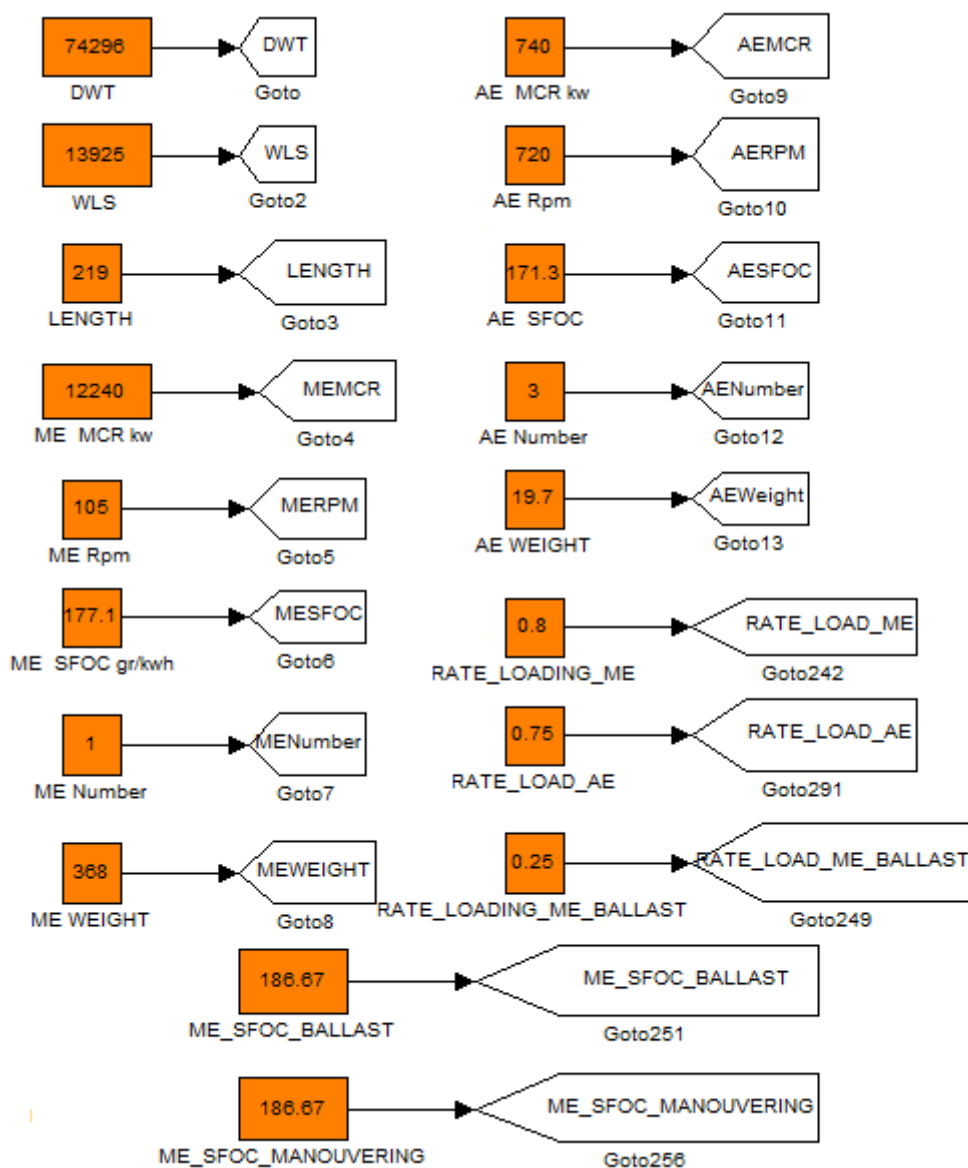
Διάγραμμα 95. Συνολικές εκπομπές SO2 για όλο τον κύκλο ζωής του πλοίου για όλα τα εξεταζόμενα σενάρια (2πλοία)

10. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 2 (MATLAB SIMULINK)

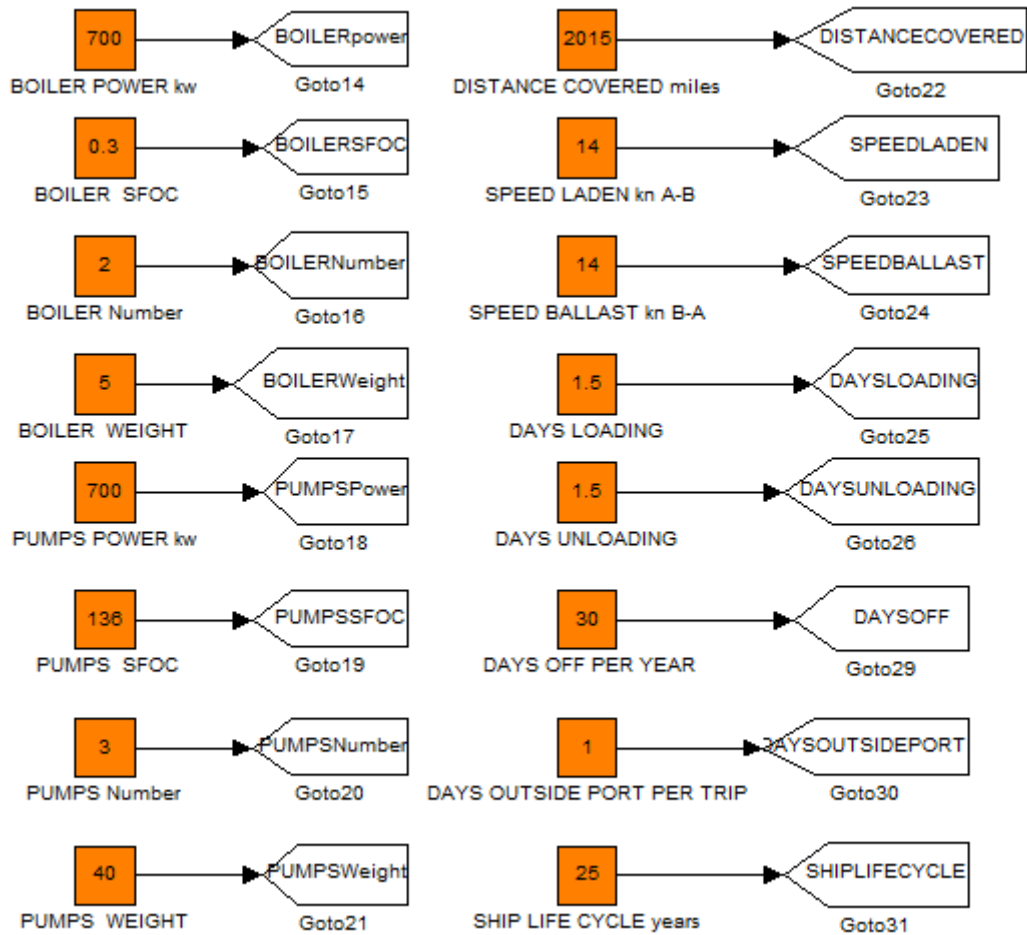
Σε αυτό το Παράρτημα παρατίθενται όλα τα διαγράμματα υπολογισμών που πραγματοποιήθηκαν στο Matlab-Simulink καθώς λόγω χωροταξικών περιορισμών δεν ήταν δυνατό να ενσωματωθούν μέσα στο κυρίως κομμάτι της διπλωματικής εργασίας. Με αυτήν την απεικόνιση δίνεται μία ξεκάθαρη εικόνα του μεγέθους και της πολυπλοκότητας των υπολογισμών που περιλαμβάνει το υπολογιστικό μοντέλο μας. Στην συνέχεια παρατίθεται ένα υπόμνημα έτσι ώστε να είναι κατανοητή η ιδιότητα κάθε κουτιού που περιέχεται στην περιγραφή.

	INPUT
	FINAL RESULTS
	RESULTS STAGES

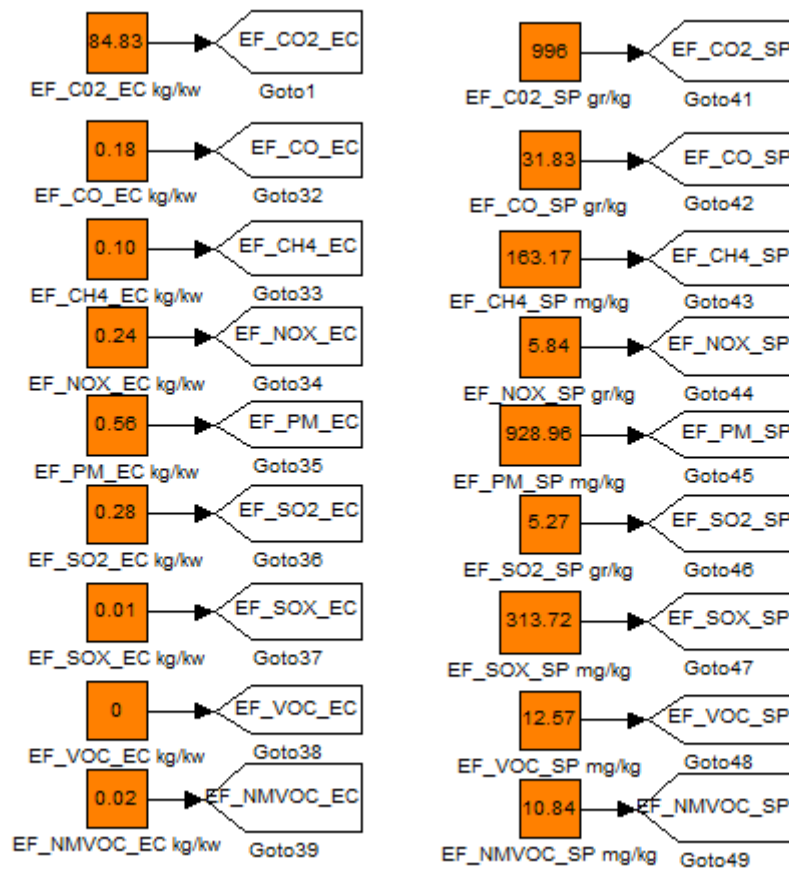
Πίνακας 1. Πίνακας υπομνήματος



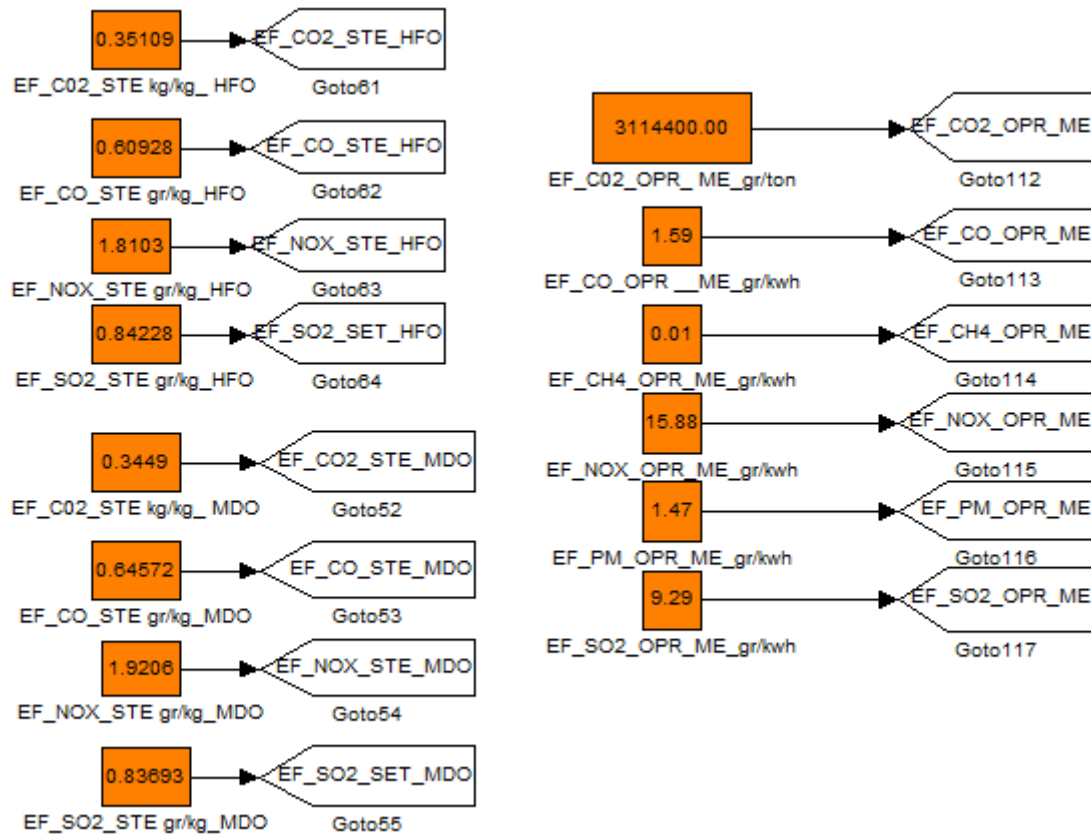
Διάγραμμα 2. Εισαγωγή δεδομένων



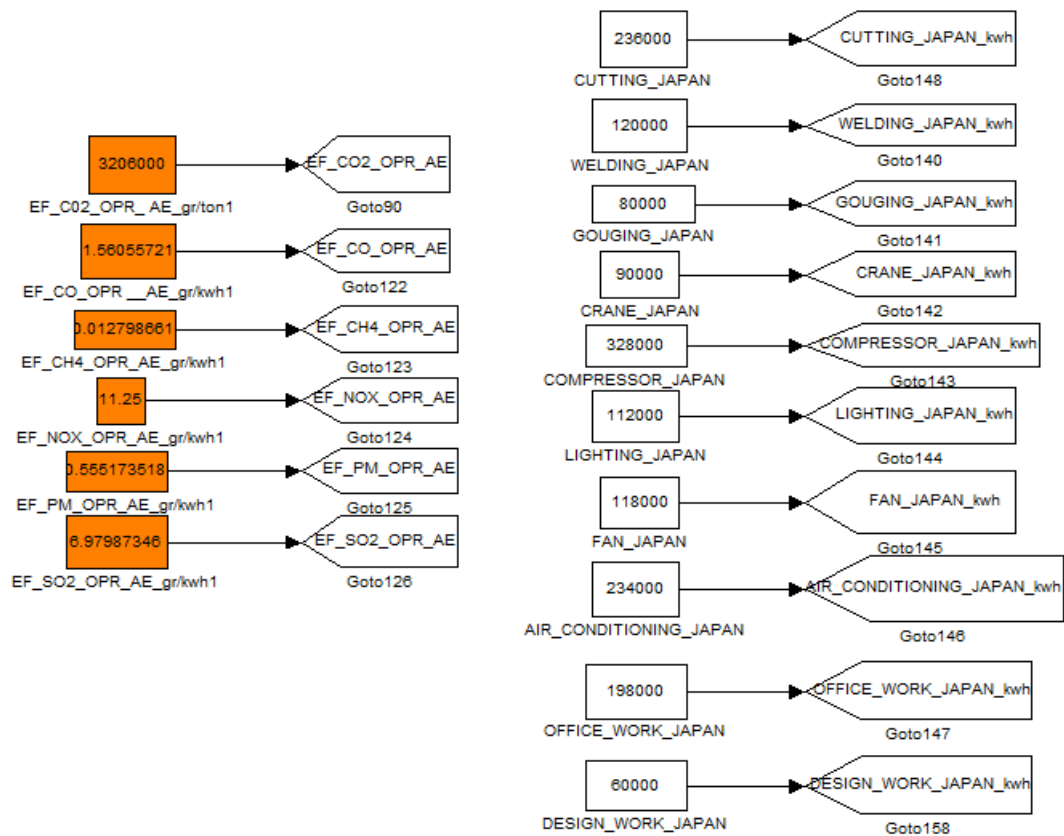
Διάγραμμα 3. Εισαγωγή δεδομένων



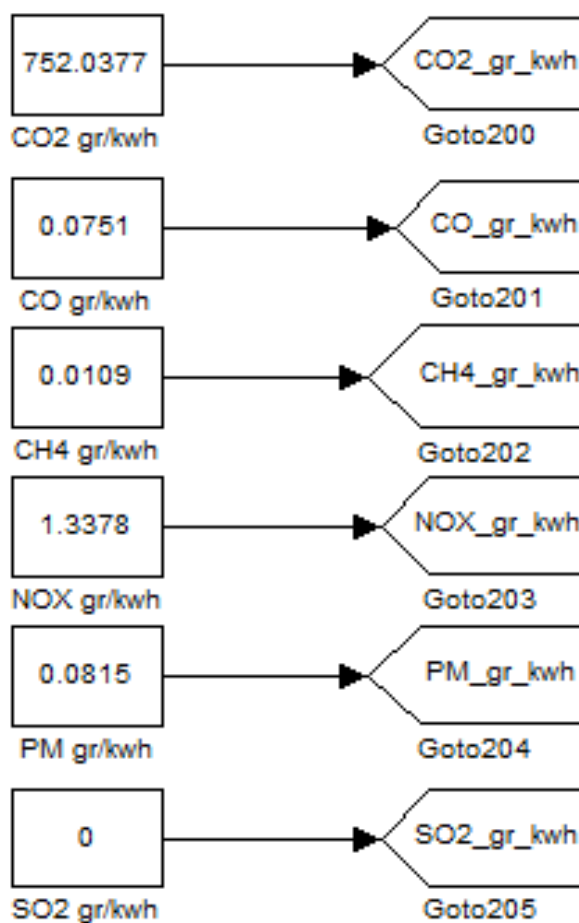
Διάγραμμα 4. Εισαγωγή συντελεστών εκπομπών ρύπων για κατασκευή μηχανής και παραγωγή χάλυβα



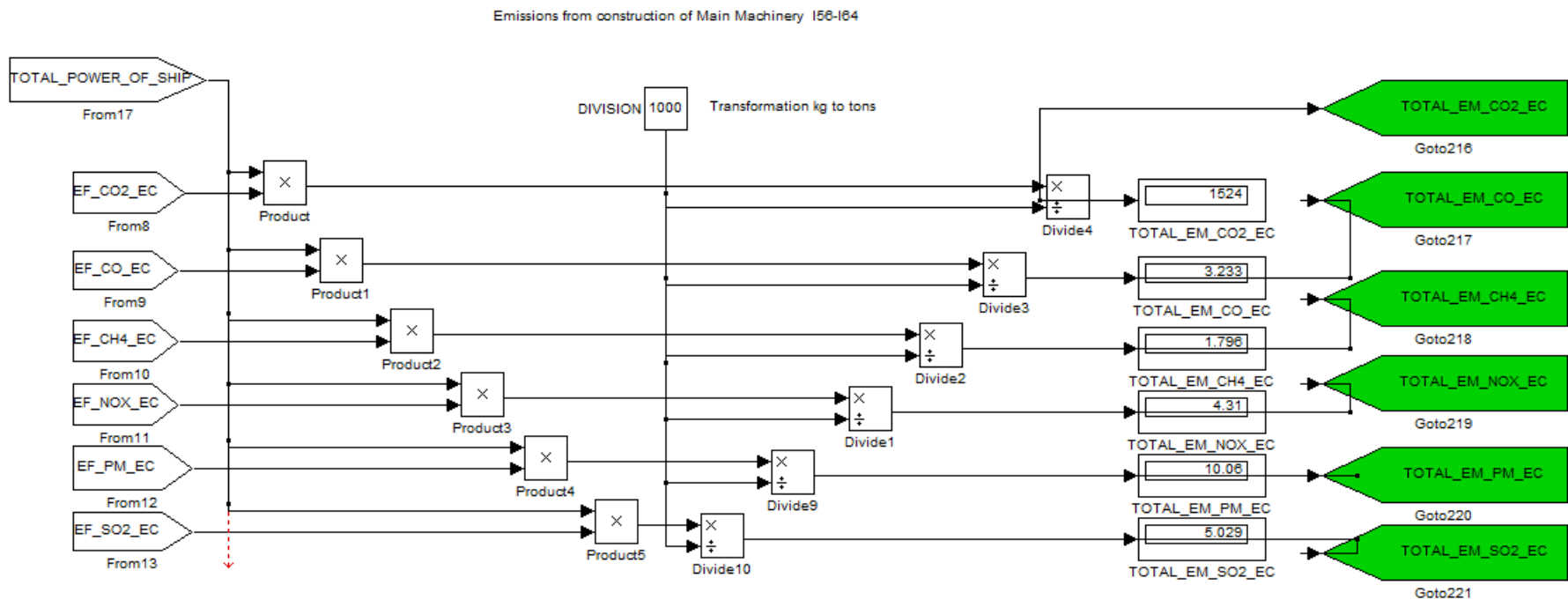
Διάγραμμα 5. Εισαγωγή συντελεστών εκπομπής ρύπων για την παραγωγή του καυσίμου, ελαίων και λειτουργίας της κύριας μηχανής.



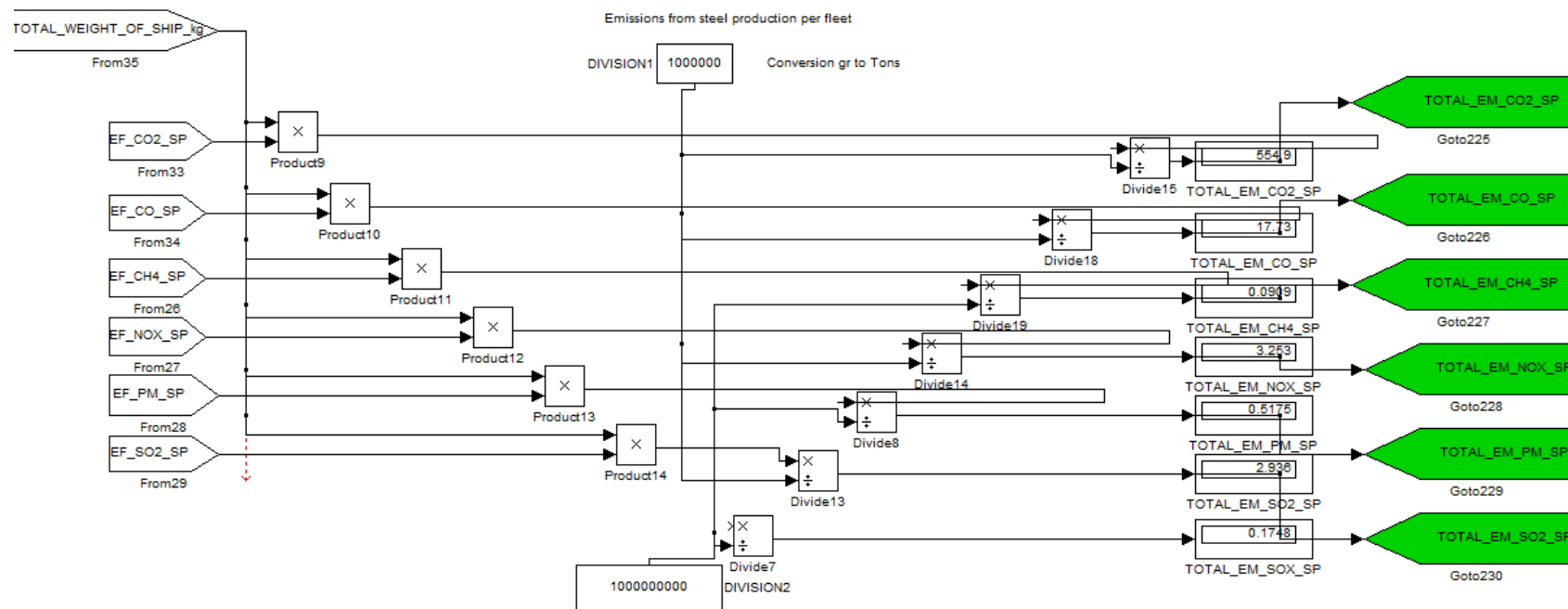
Διάγραμμα 6. Εισαγωγή συντελεστών εκπομπής ρύπων από την λειτουργία των βοηθητικών μηχανών και στοιχεία κατασκευής του πλοίου αναφοράς που έγιναν αναγωγή από μελέτη (**KAMEYAMA et al. 2004**)



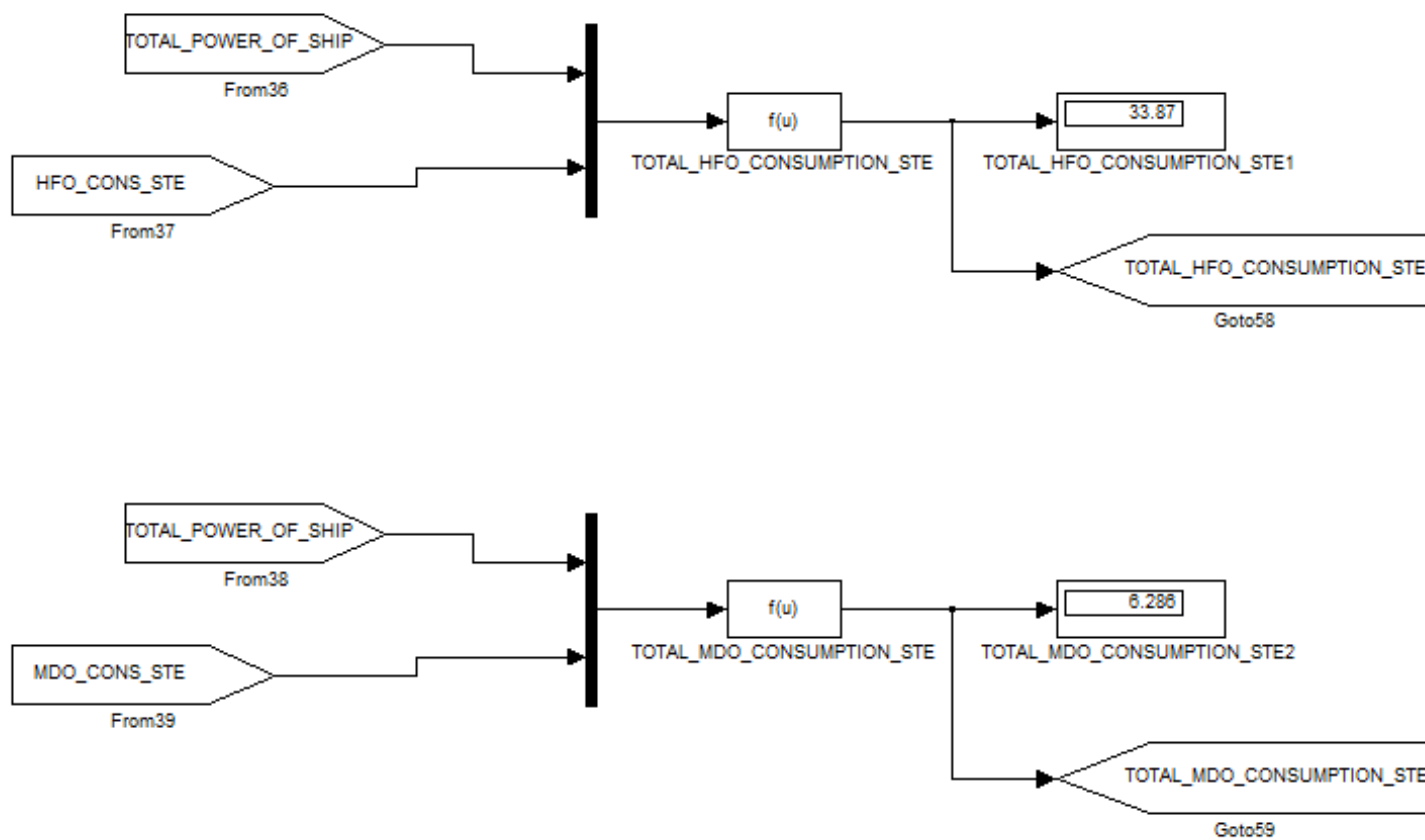
Διάγραμμα 7. Συντελεστές εκπομπής ρύπων από την κατανάλωση ενέργειας



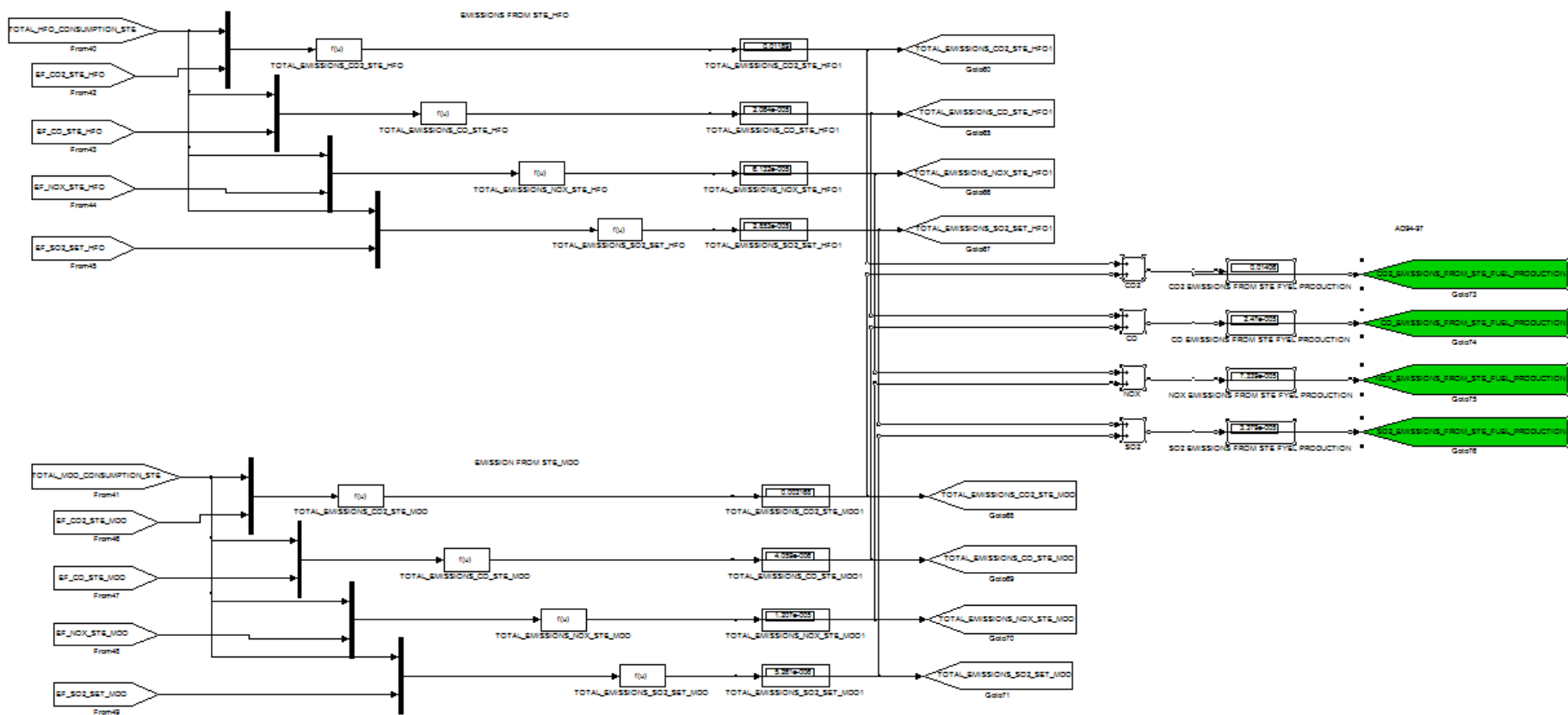
Διάγραμμα 9. Υπολογισμός συνολικών εκπομπών από την κατασκευή της μηχανολογική εγκατάστασης



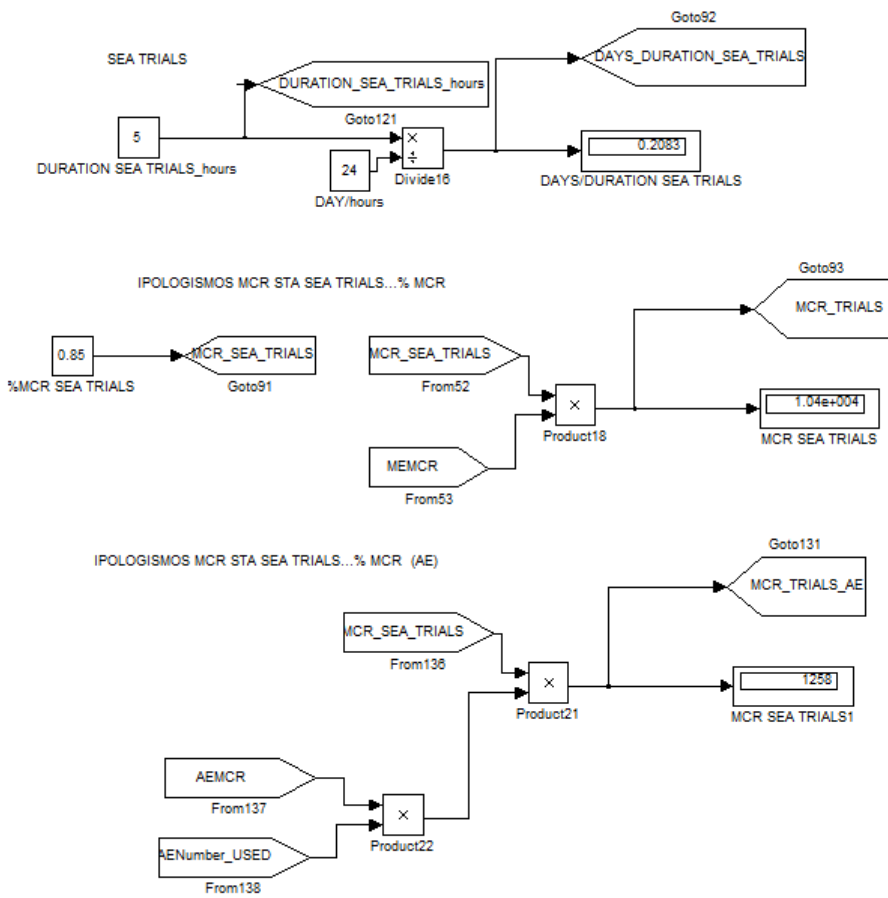
Διάγραμμα 10. Υπολογισμός συνολικών εκπομπών από την παραγωγή του απαιτούμενου χάλυβα για την κατασκευή της μηχανολογικής εγκατάστασης



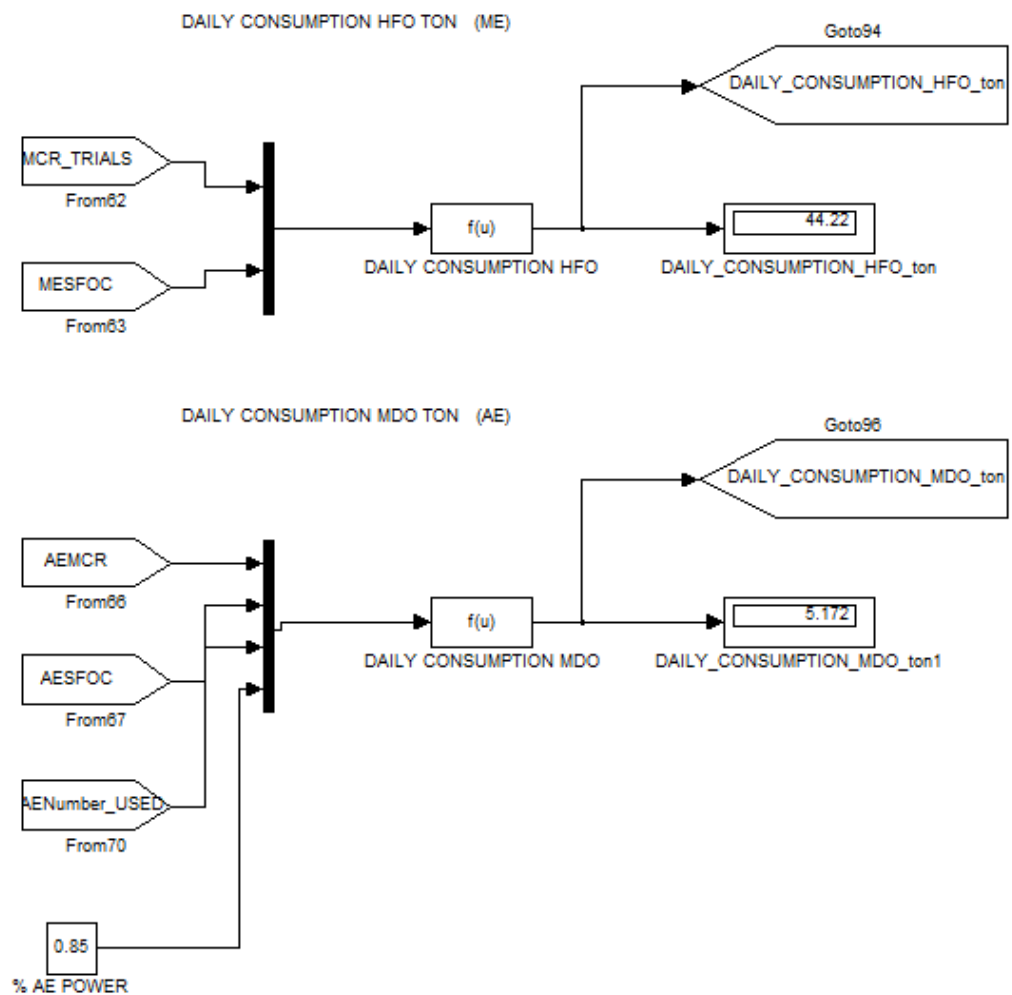
Διάγραμμα 11. Υπολογισμός συνολικών καταναλώσεων καυσίμων



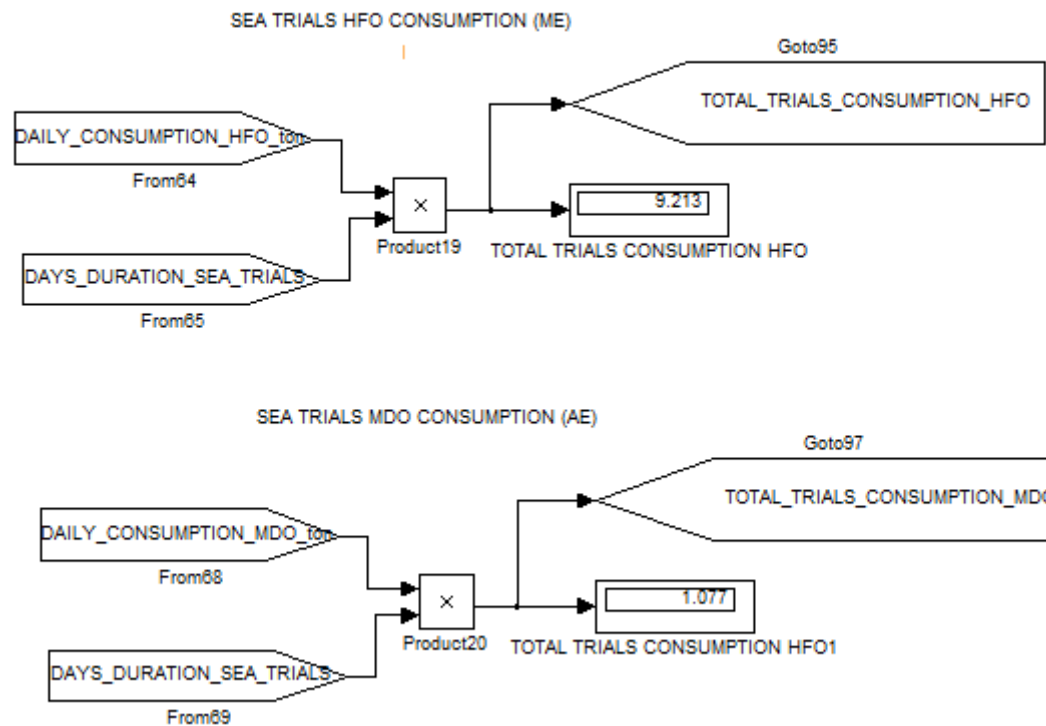
Διάγραμμα 12. Υπολογισμός συνολικών εκπομπών από την παραγωγή των καταναλισκόμενων καυσίμων



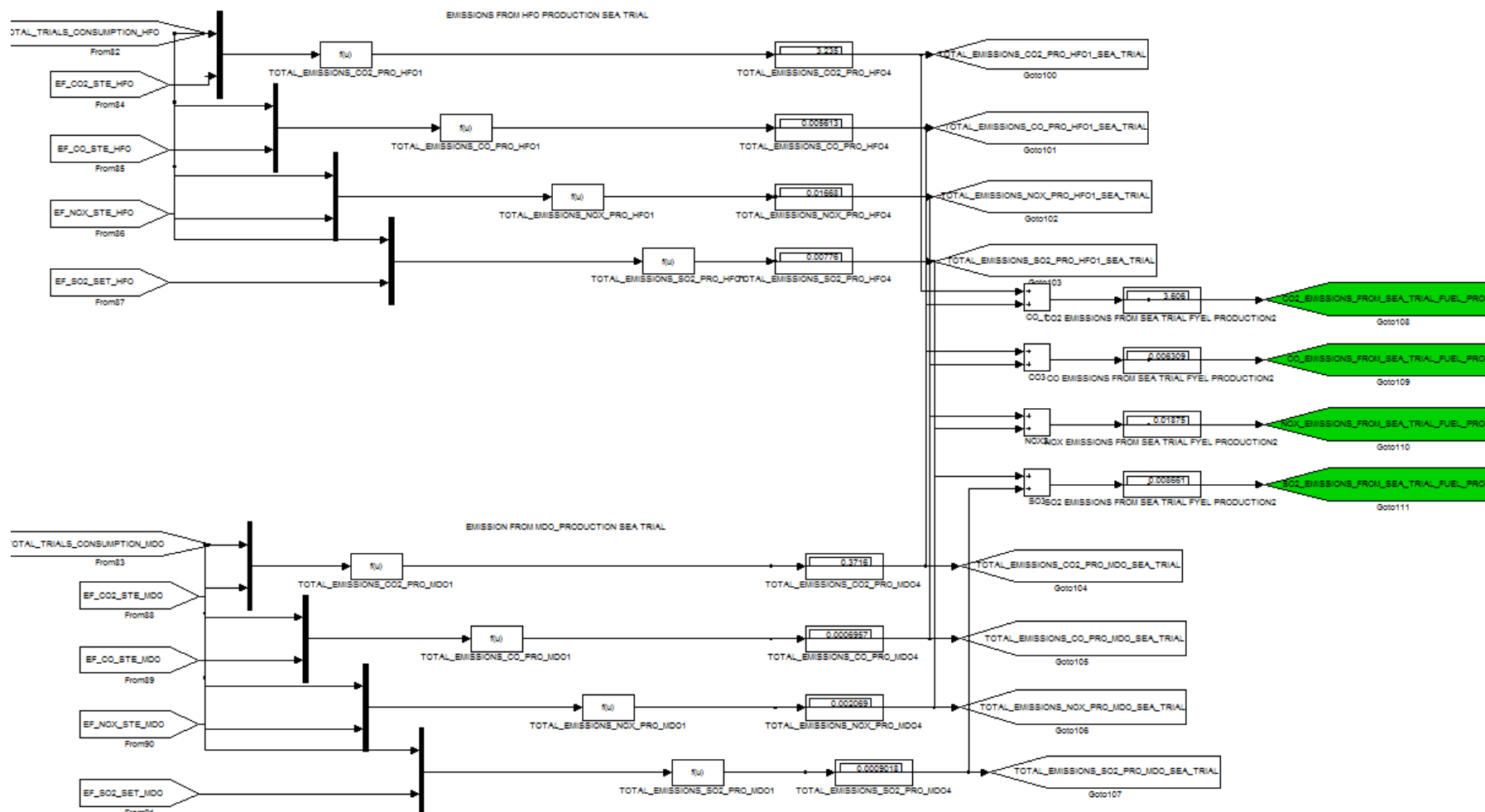
Διάγραμμα 12. Υπολογισμός διάρκειας δοκιμών θαλάσσης, απαιτούμενης ισχύος για τις δοκιμές της κύριας μηχανής και των βοηθητικών μηχανών



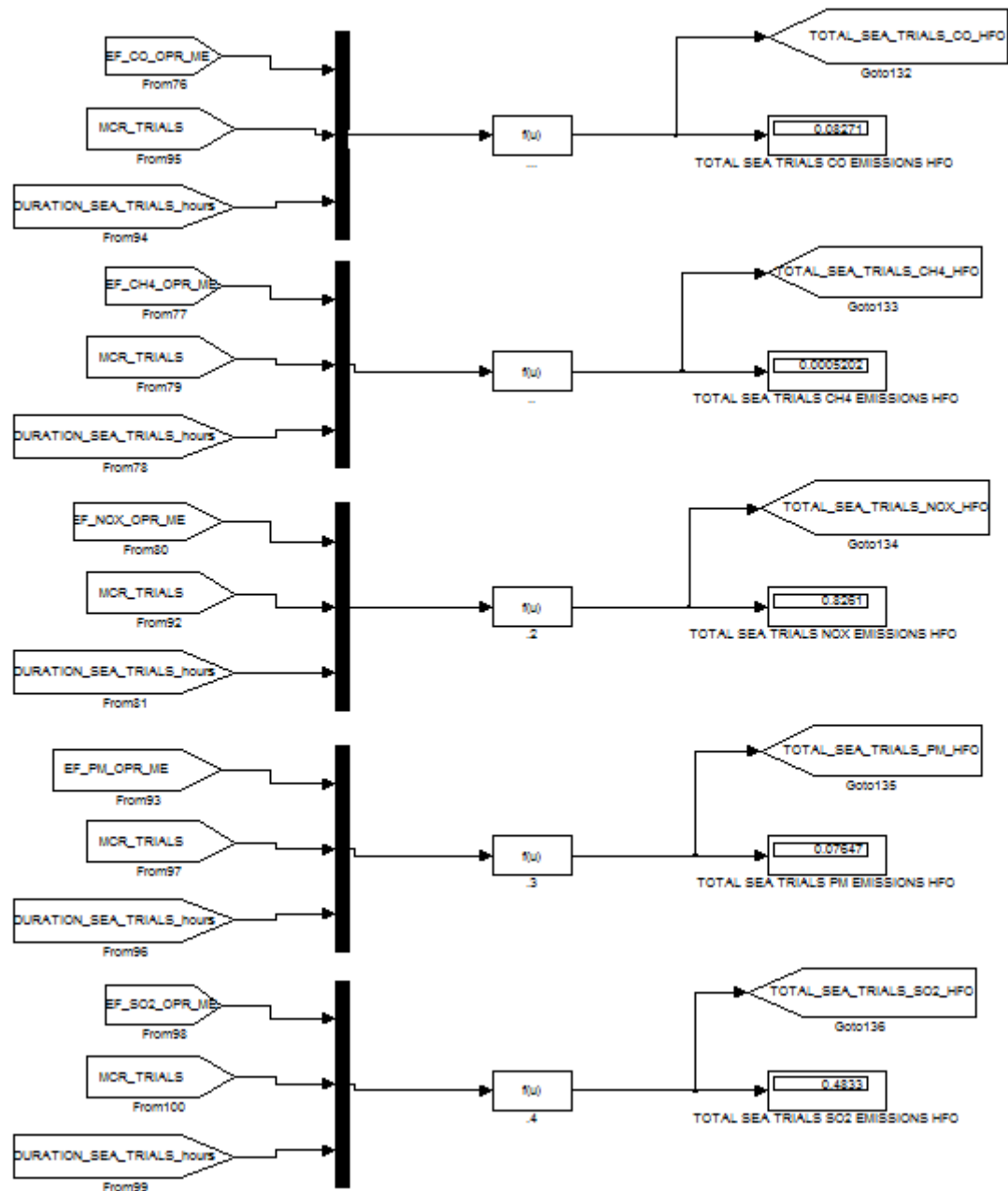
Διάγραμμα 13. Υπολογισμός ημερήσιας κατανάλωσης καυσίμων



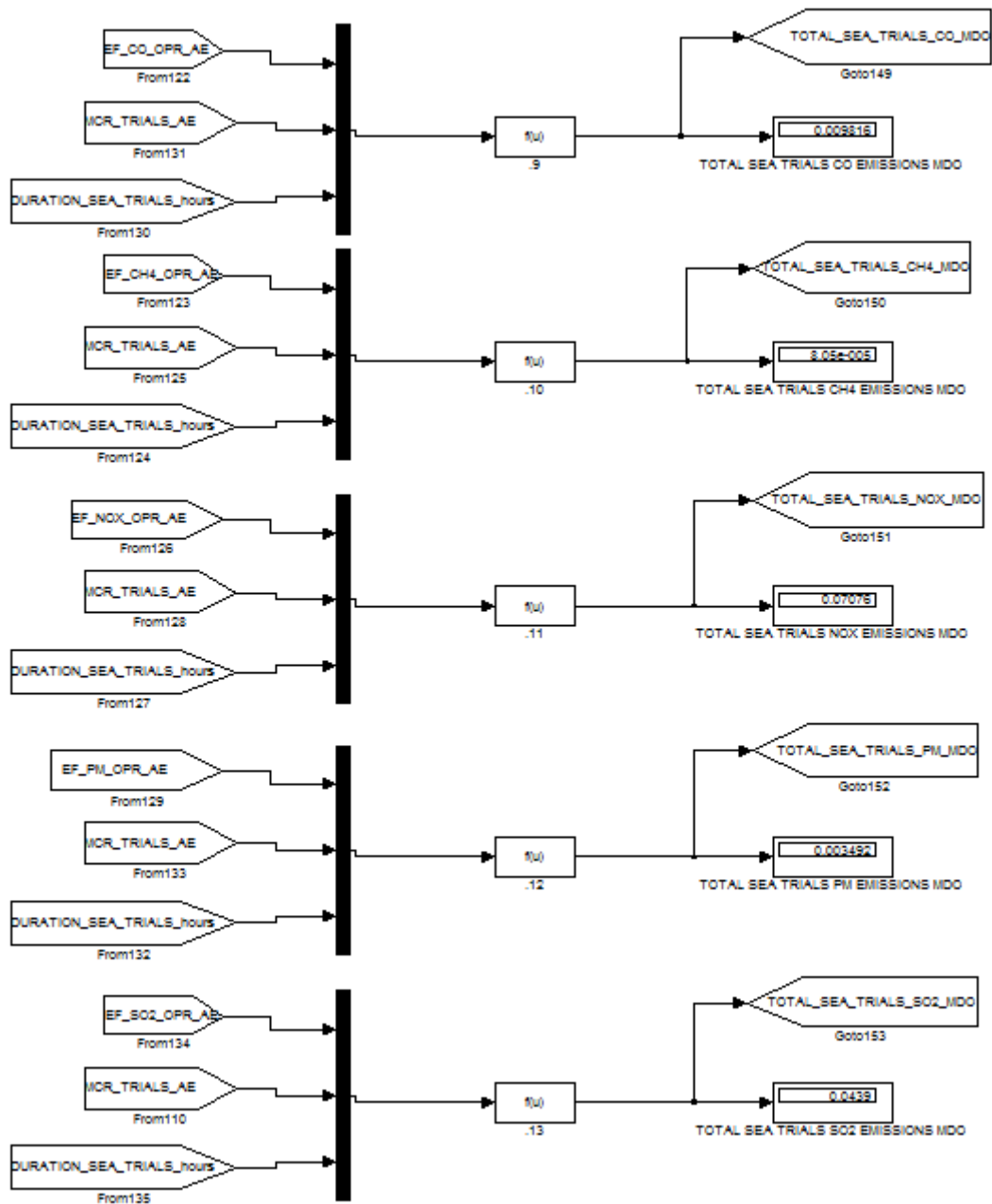
Διάγραμμα 14. Υπολογισμός κατανάλωσης καυσίμων κατά την διάρκεια των δοκιμών



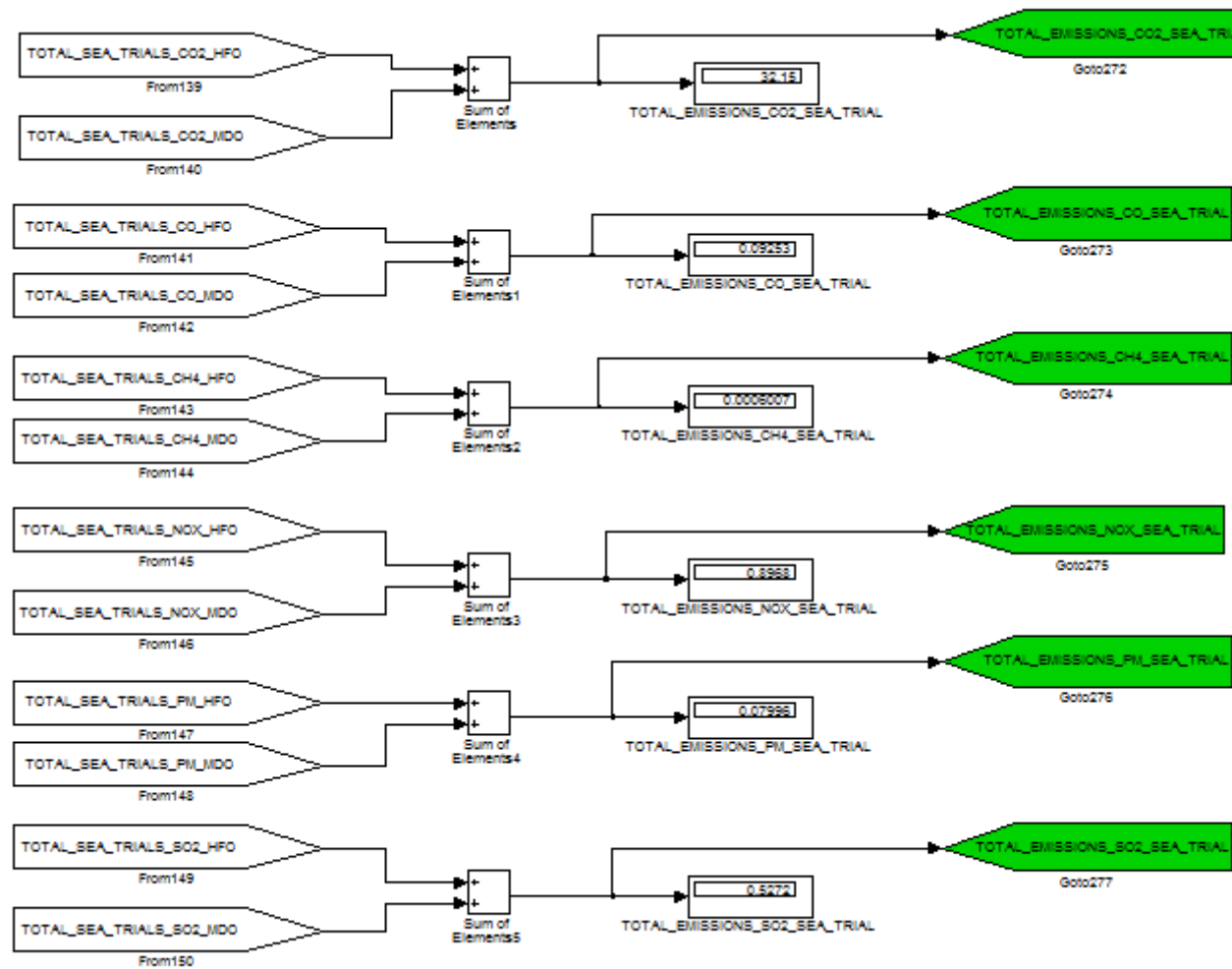
Διάγραμμα 15. Υπολογισμών εκπεμπόμενων ρύπων από την παραγωγή των καυσίμων που καταναλώθηκαν στις δοκιμές θαλάσσης



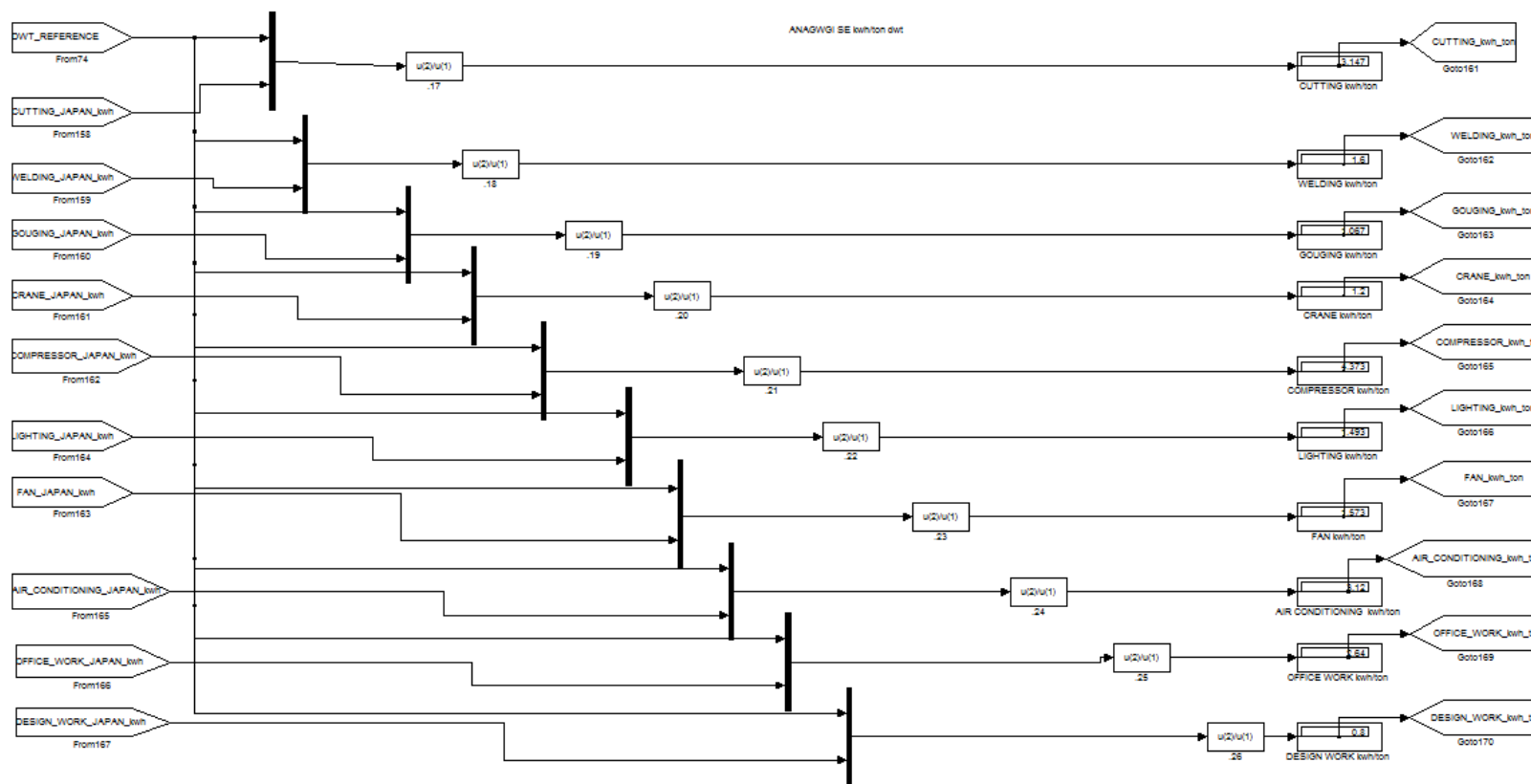
Διάγραμμα 16. Υπολογισμός συνολικών εκπομπών αέριων ρύπων από την διαδικασία των δοκιμών της κύριας μηχανής



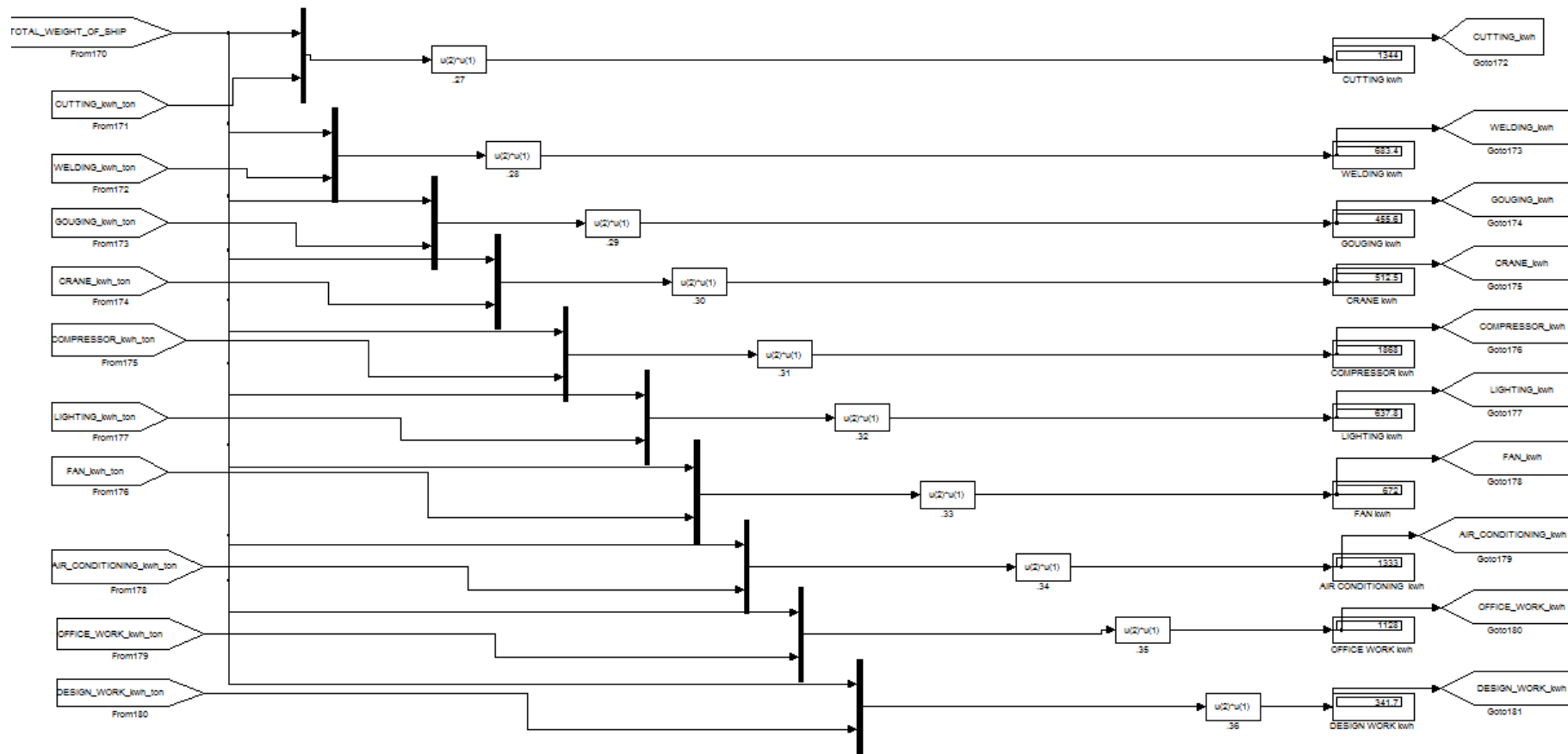
Διάγραμμα 17. Υπολογισμός συνολικών εκπομπών αέριων ρύπων από την διαδικασία των δοκιμών των βοηθητικών μηχανών



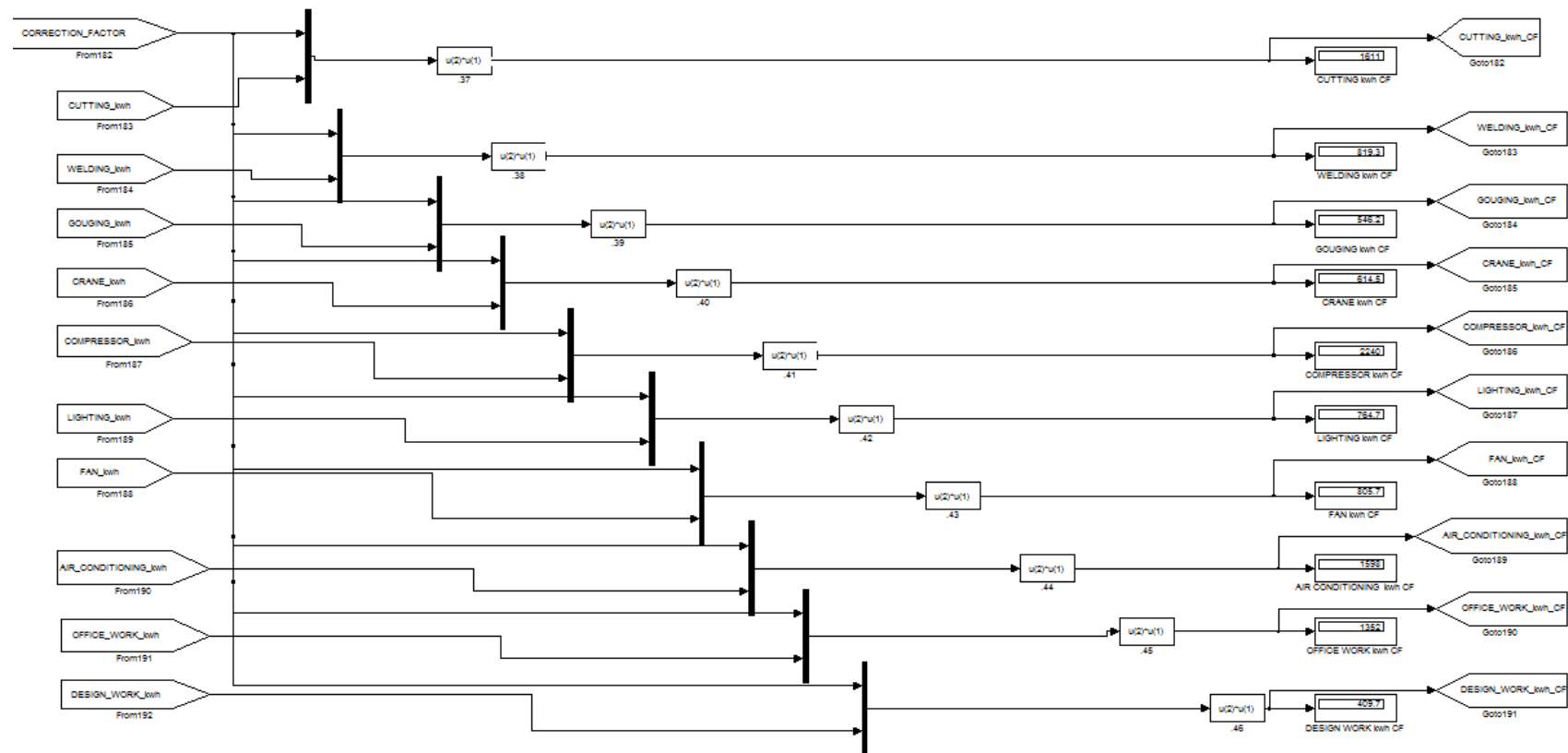
Διάγραμμα 18. Υπολογισμός συνολικών εκπομπών αέριων ρύπων από την διαδικασία των δοκιμών για όλη την μηχανολογική εγκατάσταση



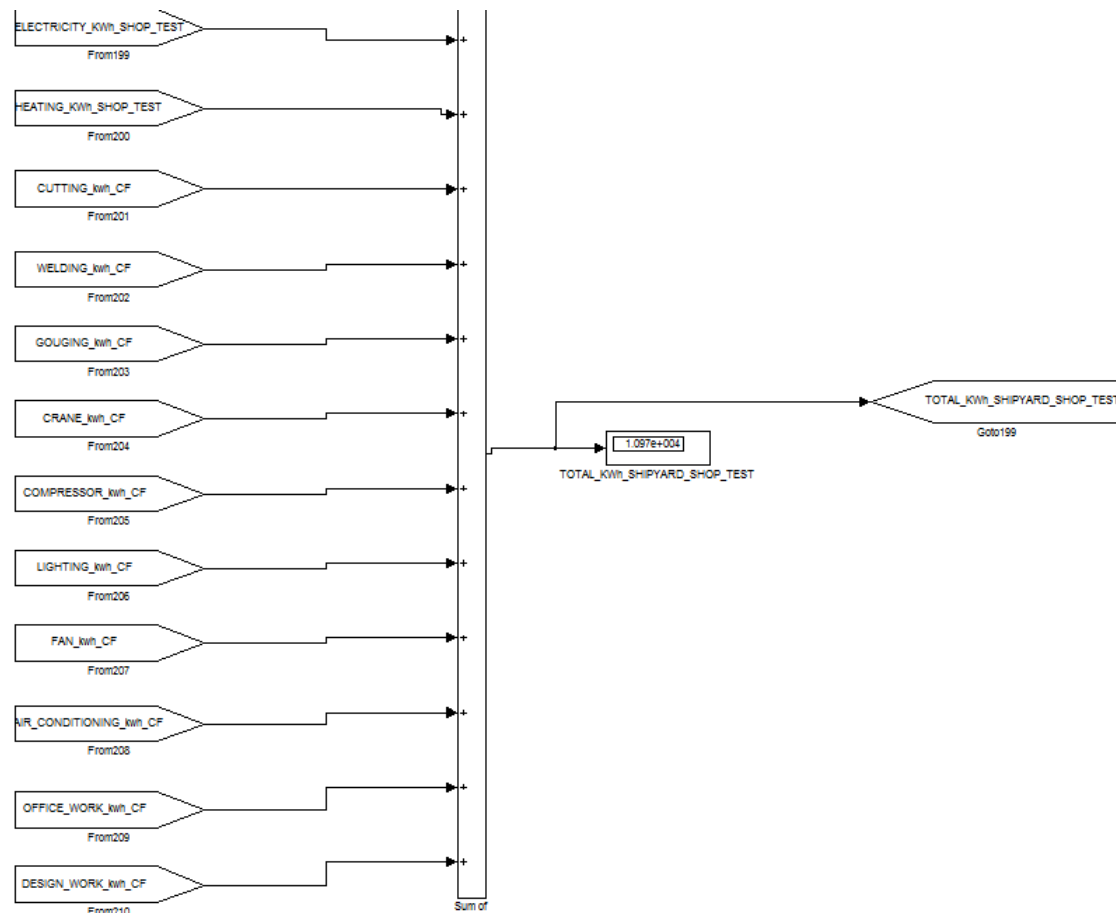
Διάγραμμα 19. Αδιαστατοποίηση των τιμών που προέρχονται από άλλη μελέτη (KAMEYAMA et al. 2004)



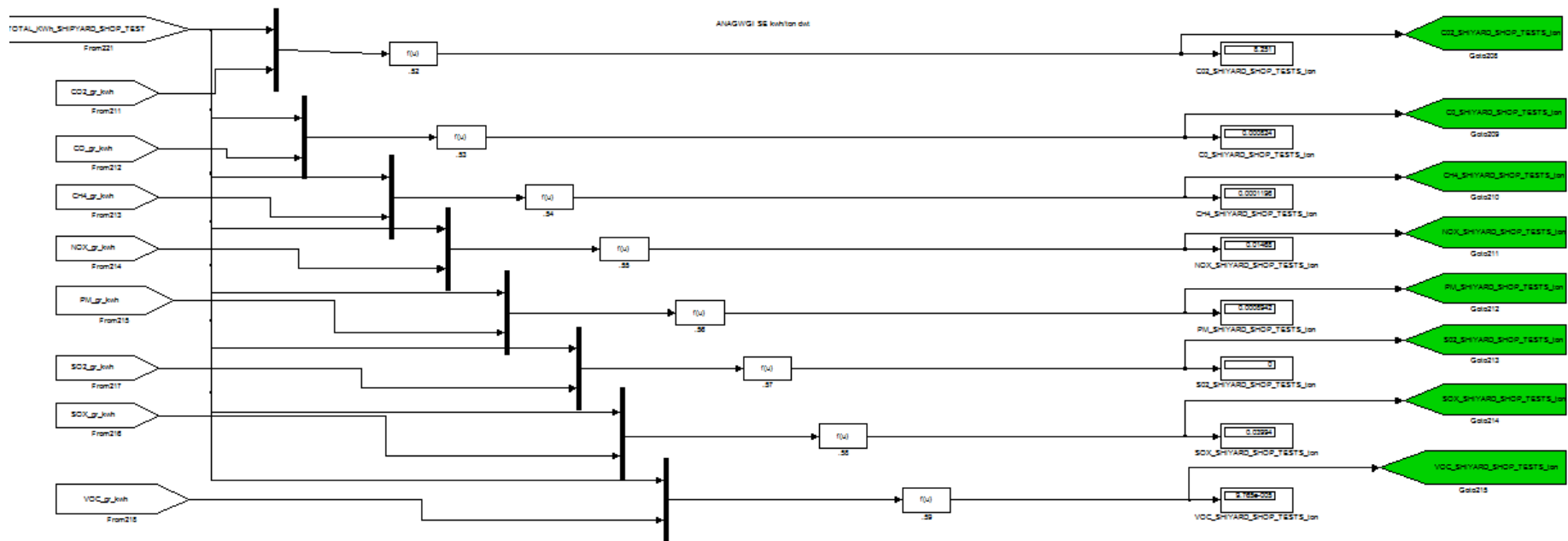
Διάγραμμα 20. Υπολογισμός συνολικής δαπανώμενης ενέργειας για τις εργασίες που πραγματοποιούνται στο ναυπηγείο και είναι σχετικές με την μηχανολογική εγκατάσταση ενός πλοίου μεταφοράς χύδην φορτίου (KAMEYAMA et al. 2004)



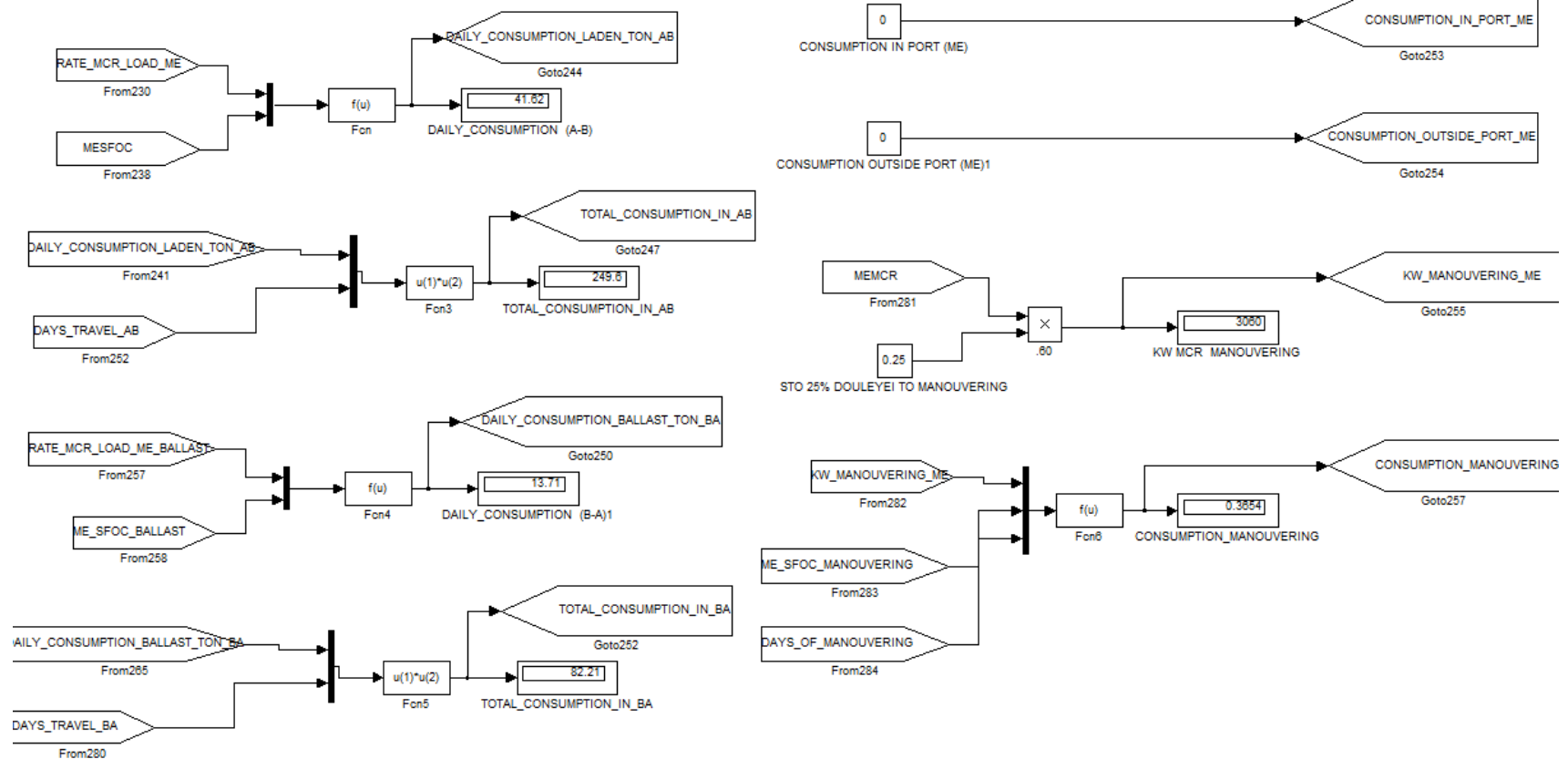
Διάγραμμα 21. Υπολογισμός συνολικής δαπανώμενης ενέργειας για τις εργασίες που πραγματοποιούνται στο ναυπηγείο και είναι σχετικές με την μηχανολογική εγκατάσταση ενός δεξαμενοπλοίου



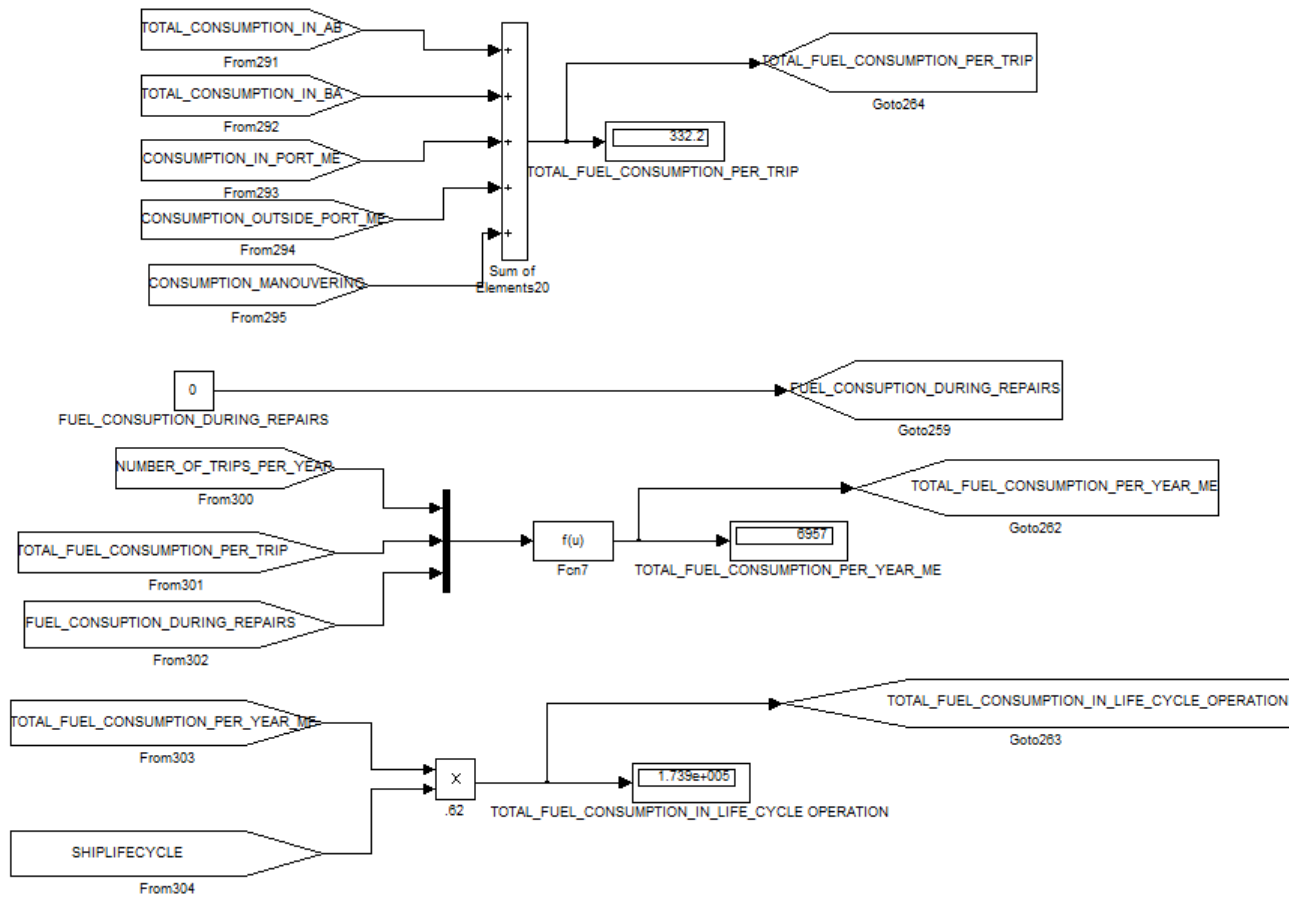
Διάγραμμα 22. Υπολογισμός συνολικής δαπανώμενης ενέργειας για τις εργασίες στο ναυπηγείο και κατά την διάρκεια των δοκιμών αγοράς της μηχανολογικής εγκατάστασης



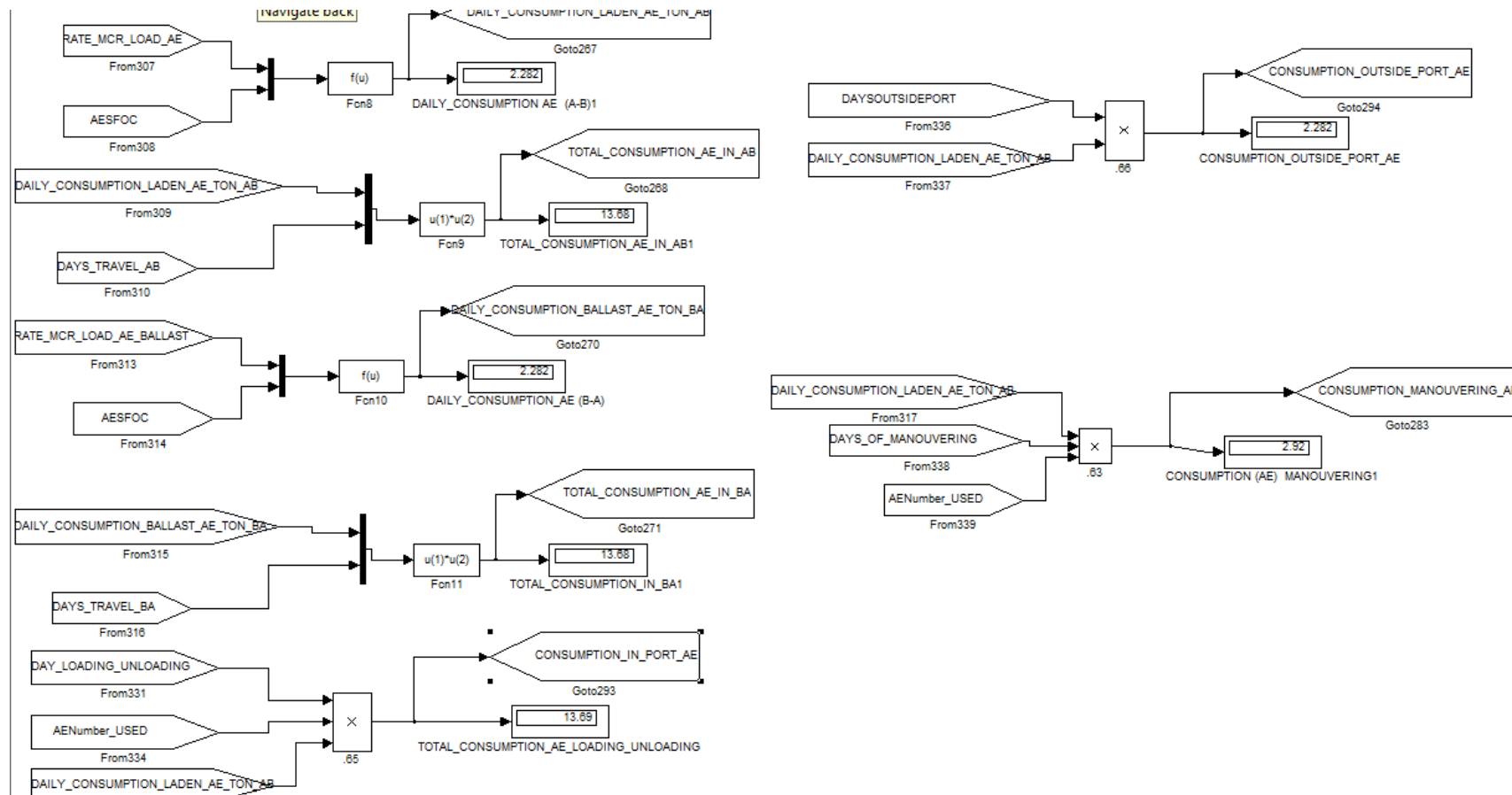
Διάγραμμα 23. Υπολογισμός εκπομπών αέριων ρύπων από τις εργασίες στο ναυπηγείο και τις δοκιμές αγοράς της μηχανολογικής εγκατάστασης



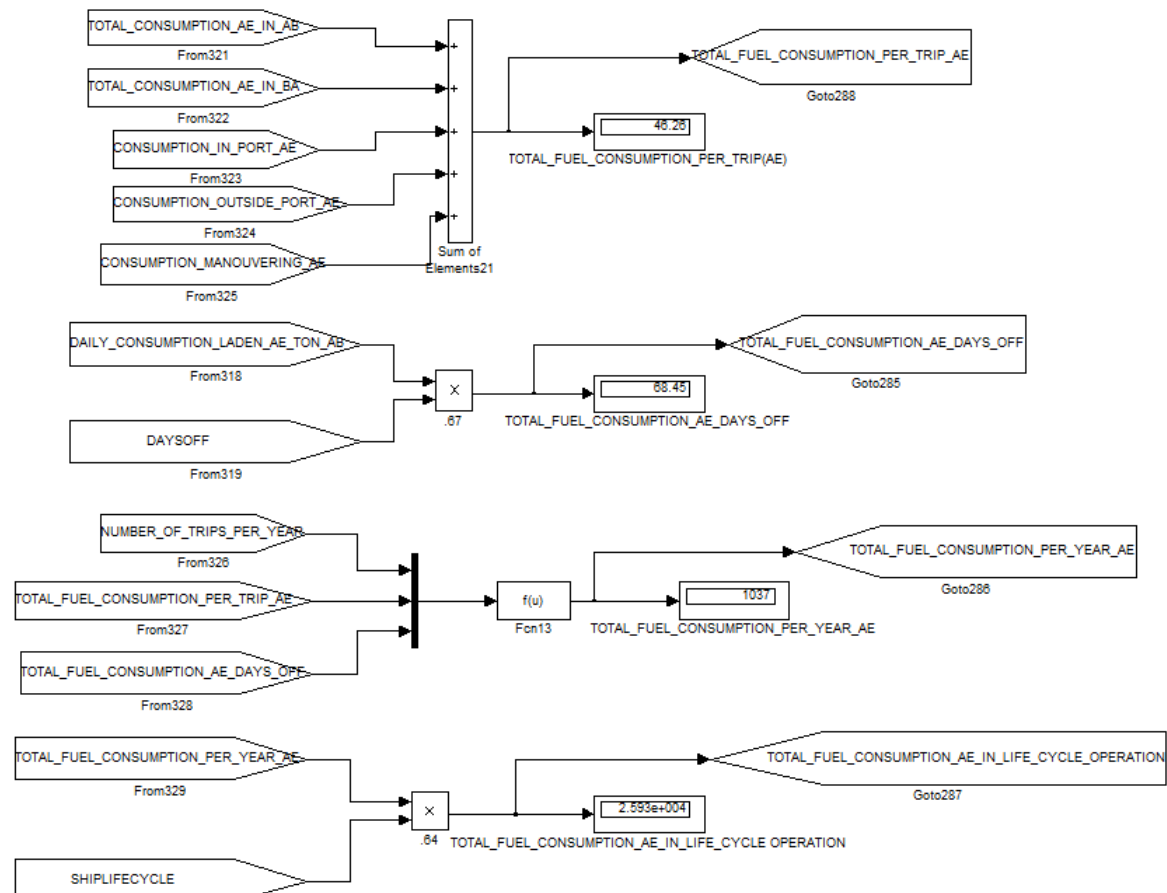
Διάγραμμα 24. Υπολογισμός κατανάλωσης καυσίμου κύριας μηχανής κατά την διάρκεια λειτουργίας του πλοίου (Part 1)



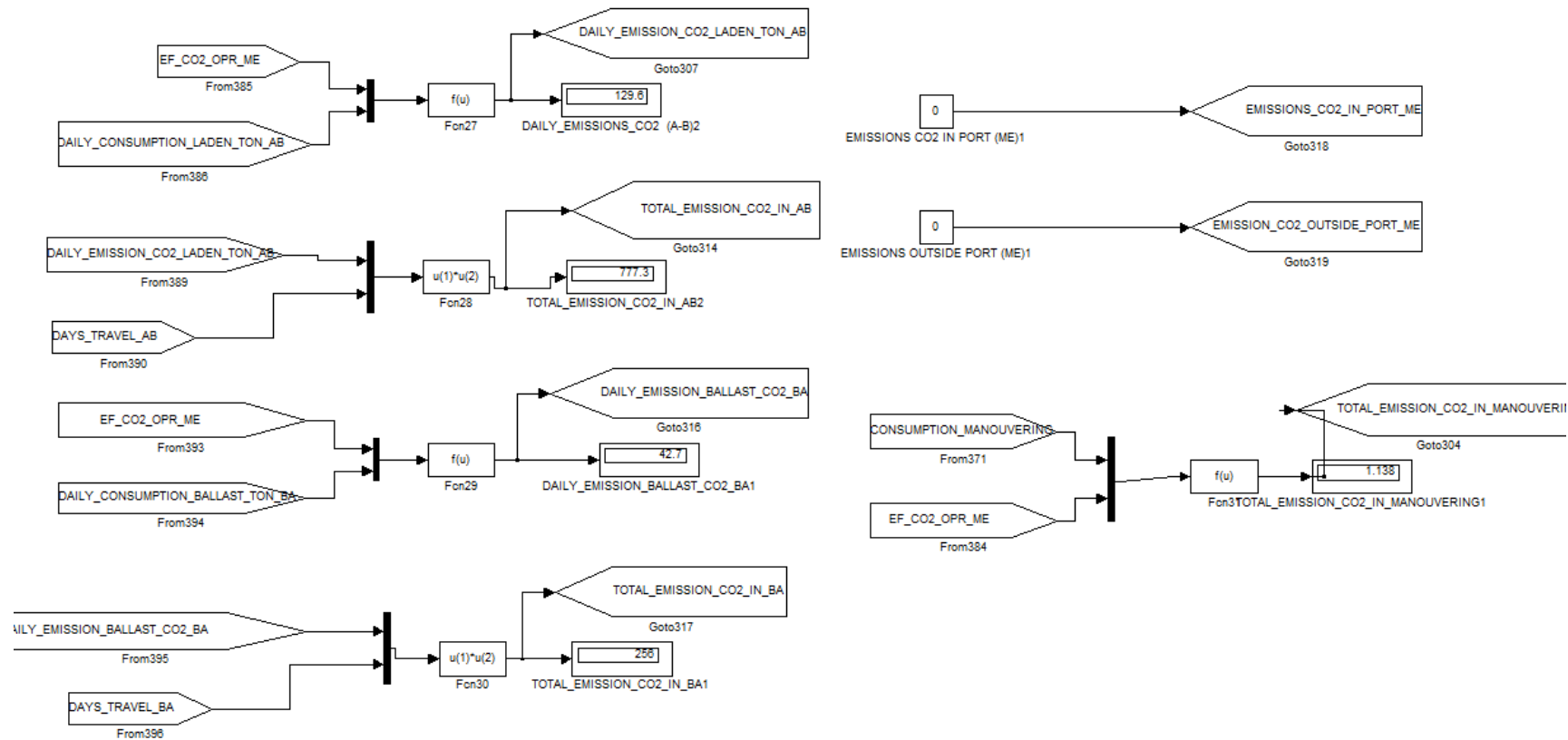
Διάγραμμα 25. Υπολογισμός κατανάλωσης καυσίμου κύριας μηχανής κατά την διάρκεια λειτουργίας του πλοίου (Part 2)



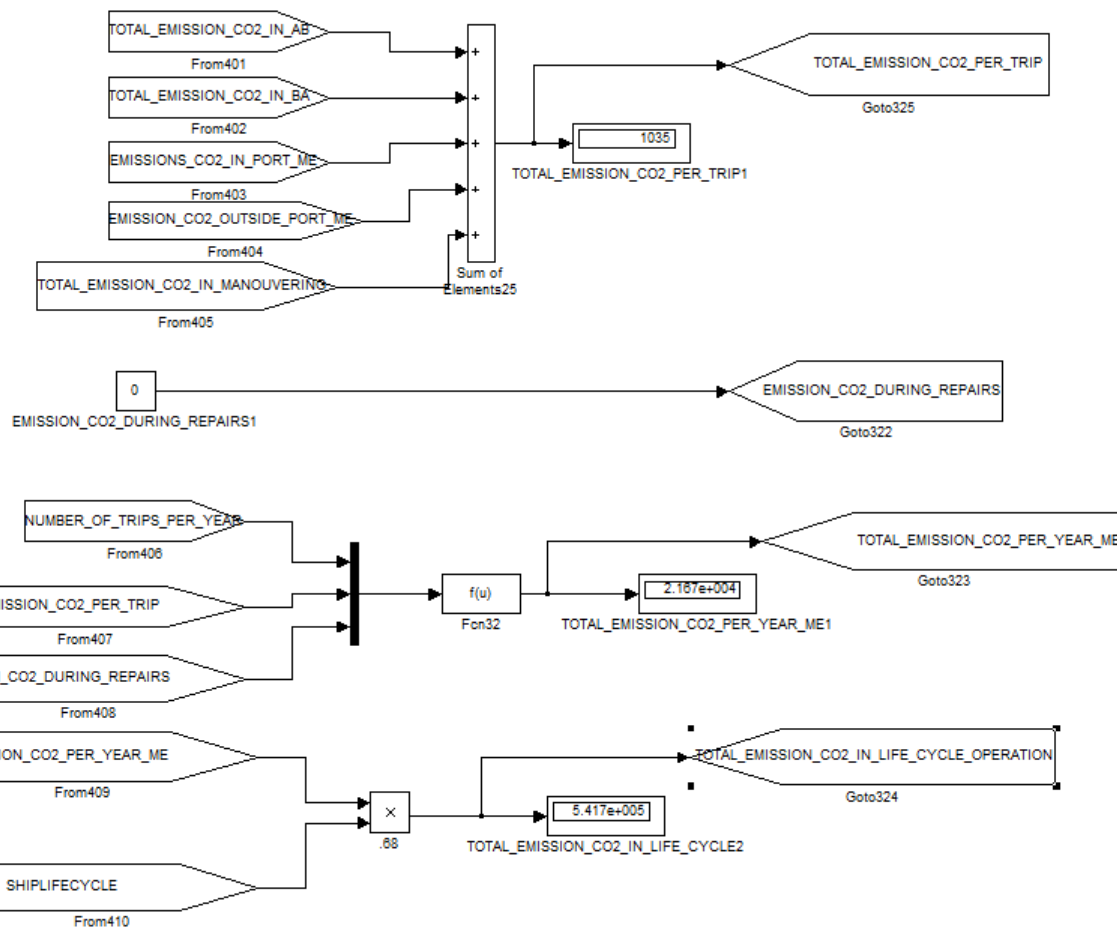
Διάγραμμα 26. Υπολογισμός κατανάλωσης καυσίμου βοηθητικών μηχανών κατά την διάρκεια λειτουργίας του πλοίου (Part 1)



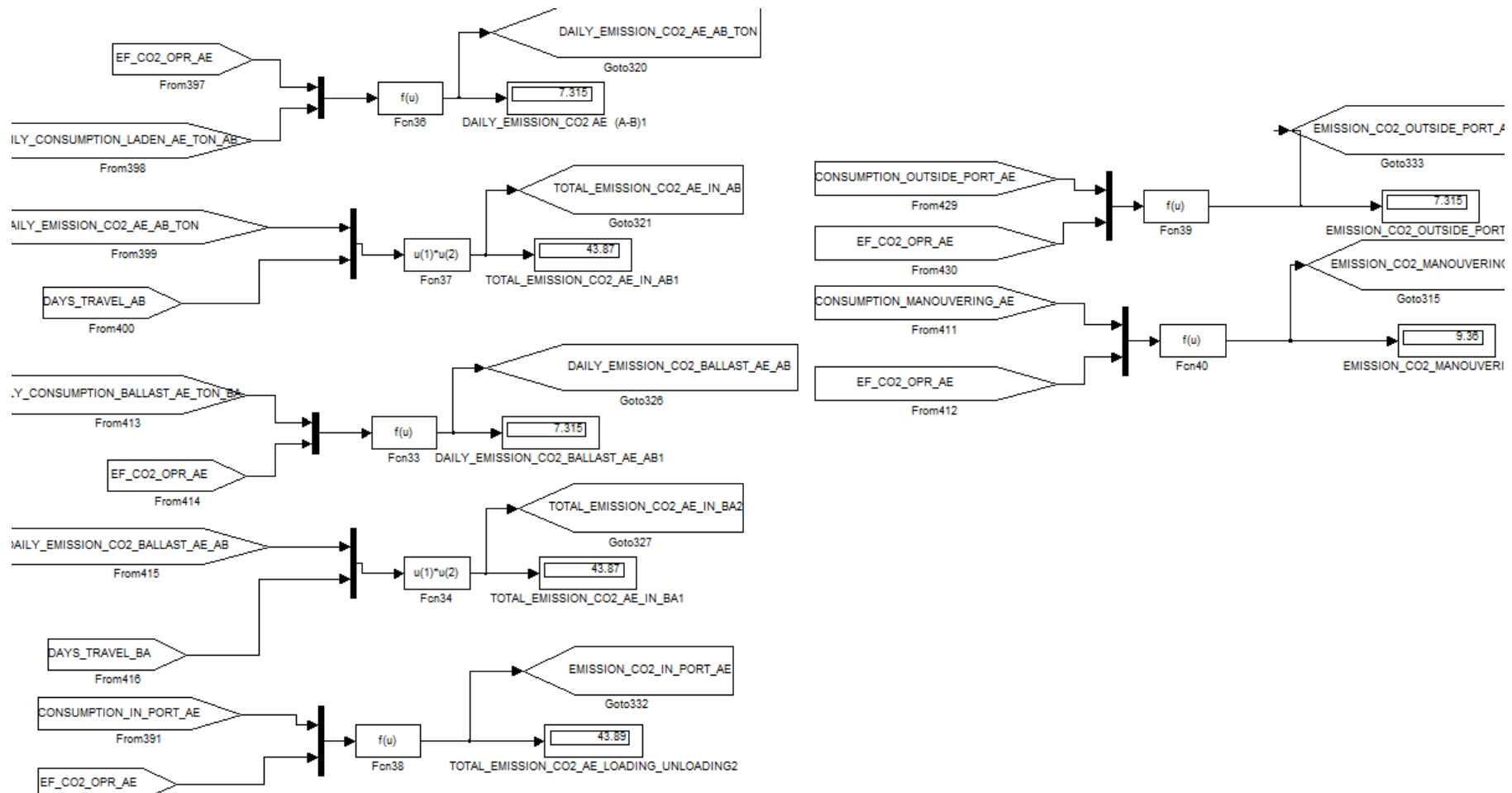
Διάγραμμα 27. Υπολογισμός κατανάλωσης καυσίμου βοηθητικών μηχανών κατά την διάρκεια λειτουργίας του πλοίου (Part 2)



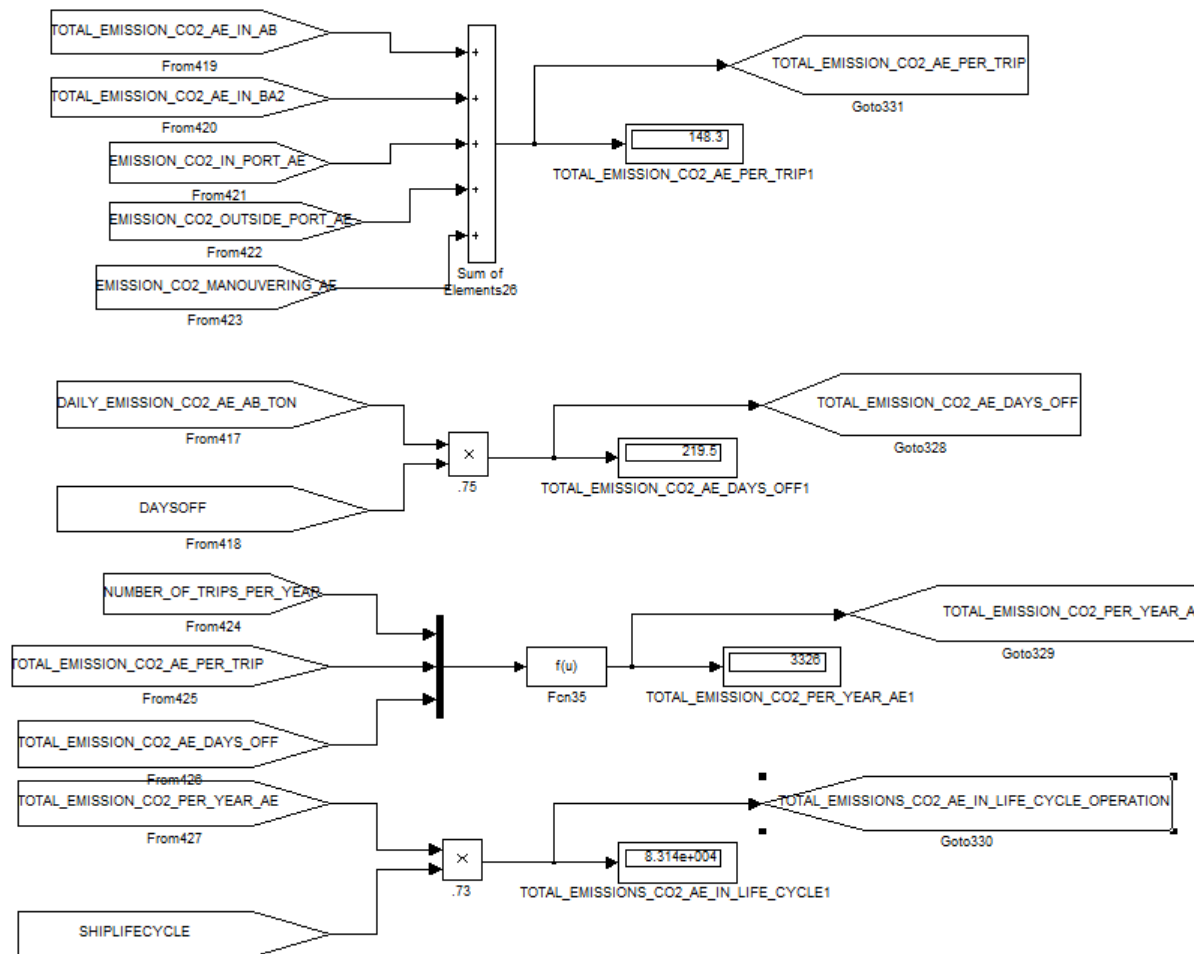
Διάγραμμα 28. Υπολογισμός συνολικών εκπομπών CO2 της κύριας μηχανής κατά την διάρκεια λειτουργίας (Part 1)



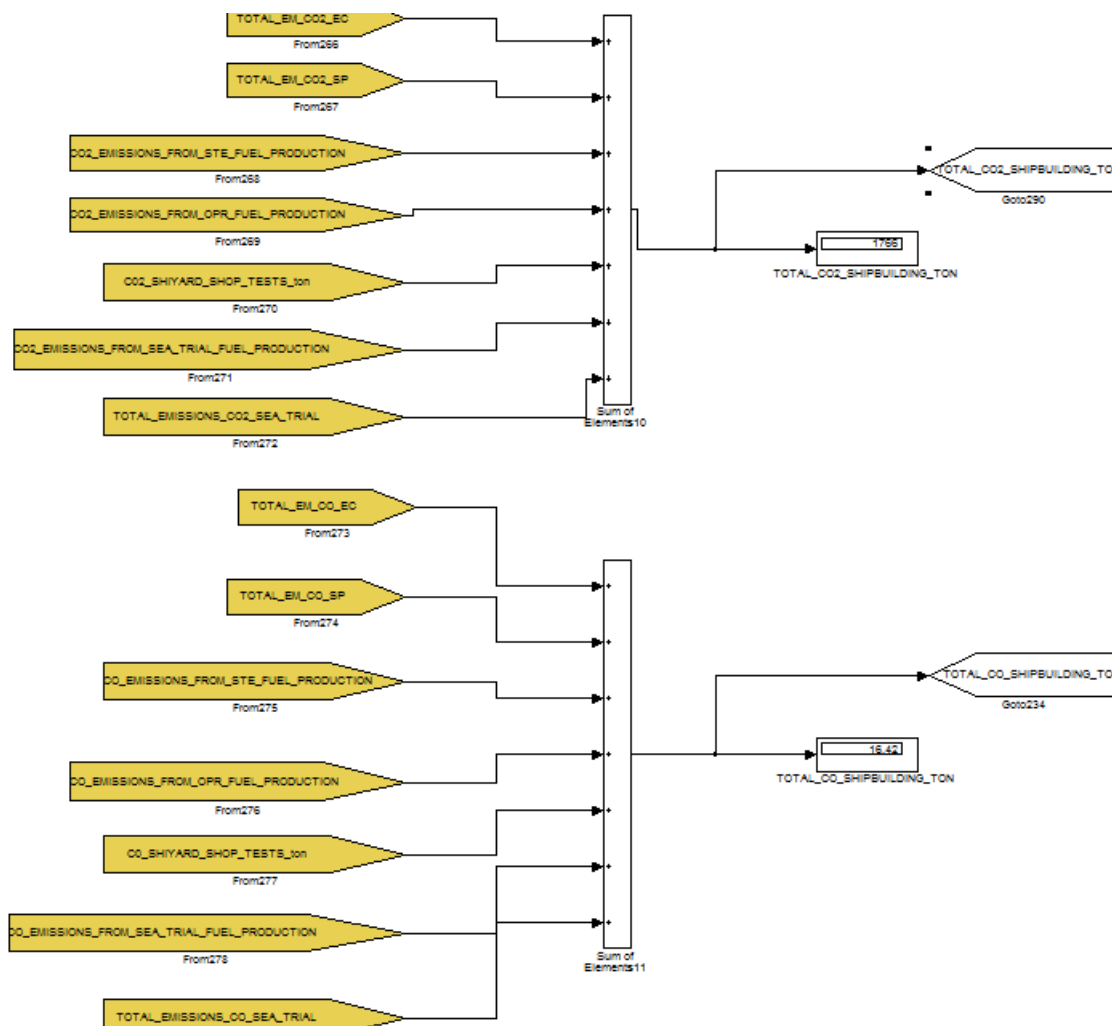
Διάγραμμα 29. Υπολογισμός συνολικών εκπομπών CO2 της κύριας μηχανής κατά την διάρκεια λειτουργίας (Part 2)



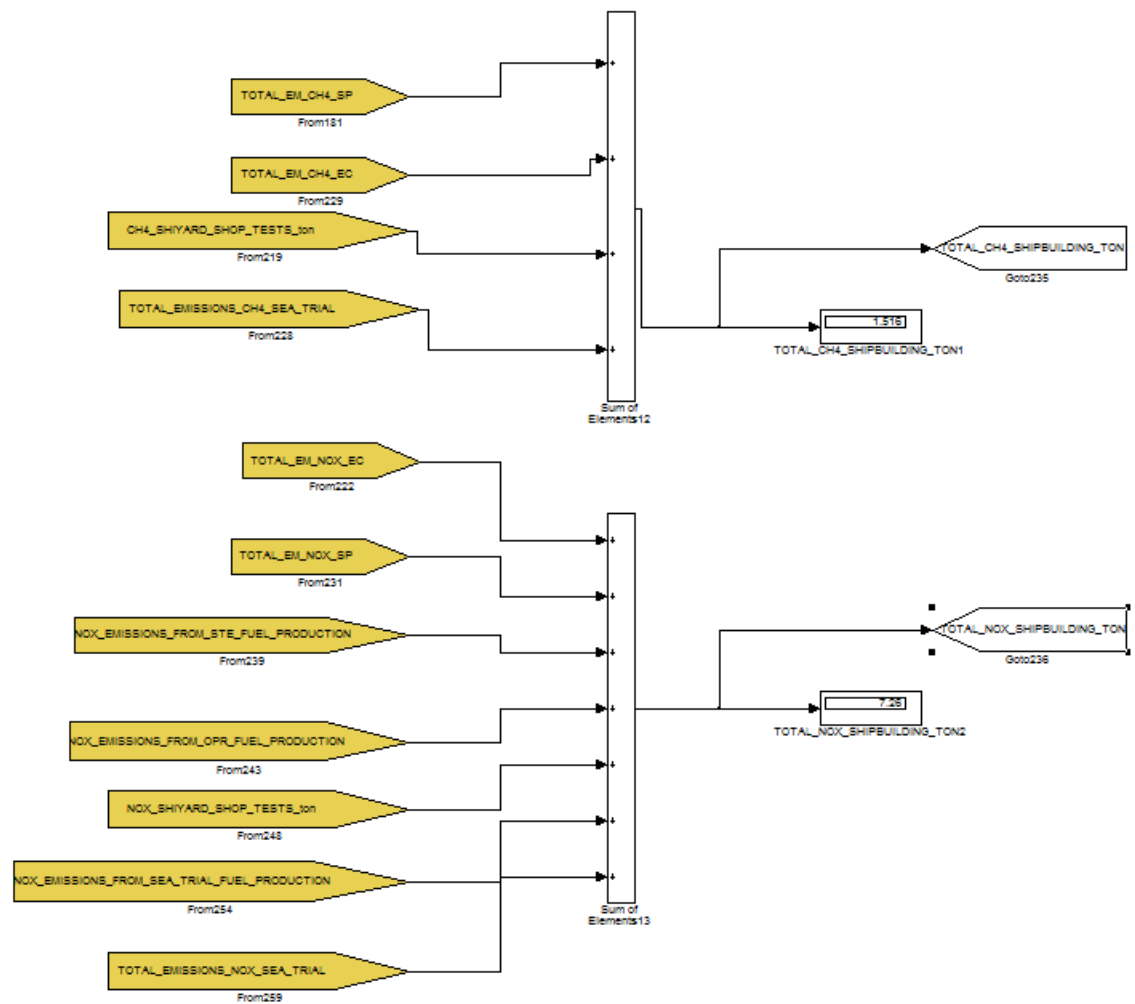
Διάγραμμα 30. Υπολογισμός συνολικών εκπομπών CO2 των βοηθητικών μηχανών κατά την διάρκεια λειτουργίας (Part 1)



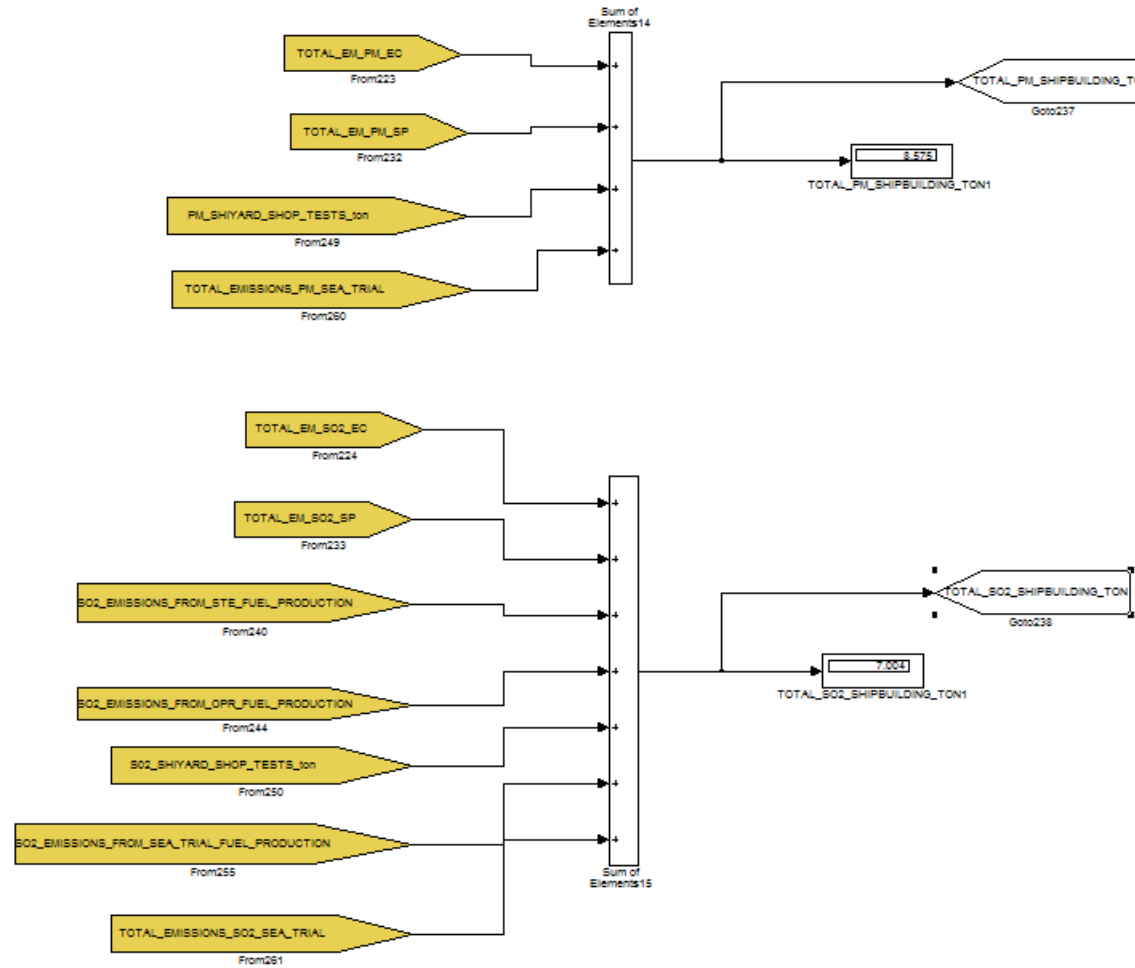
Διάγραμμα 31. Υπολογισμός συνολικών εκπομπών CO2 των βοηθητικών μηχανών κατά την διάρκεια λειτουργίας (Part 2)



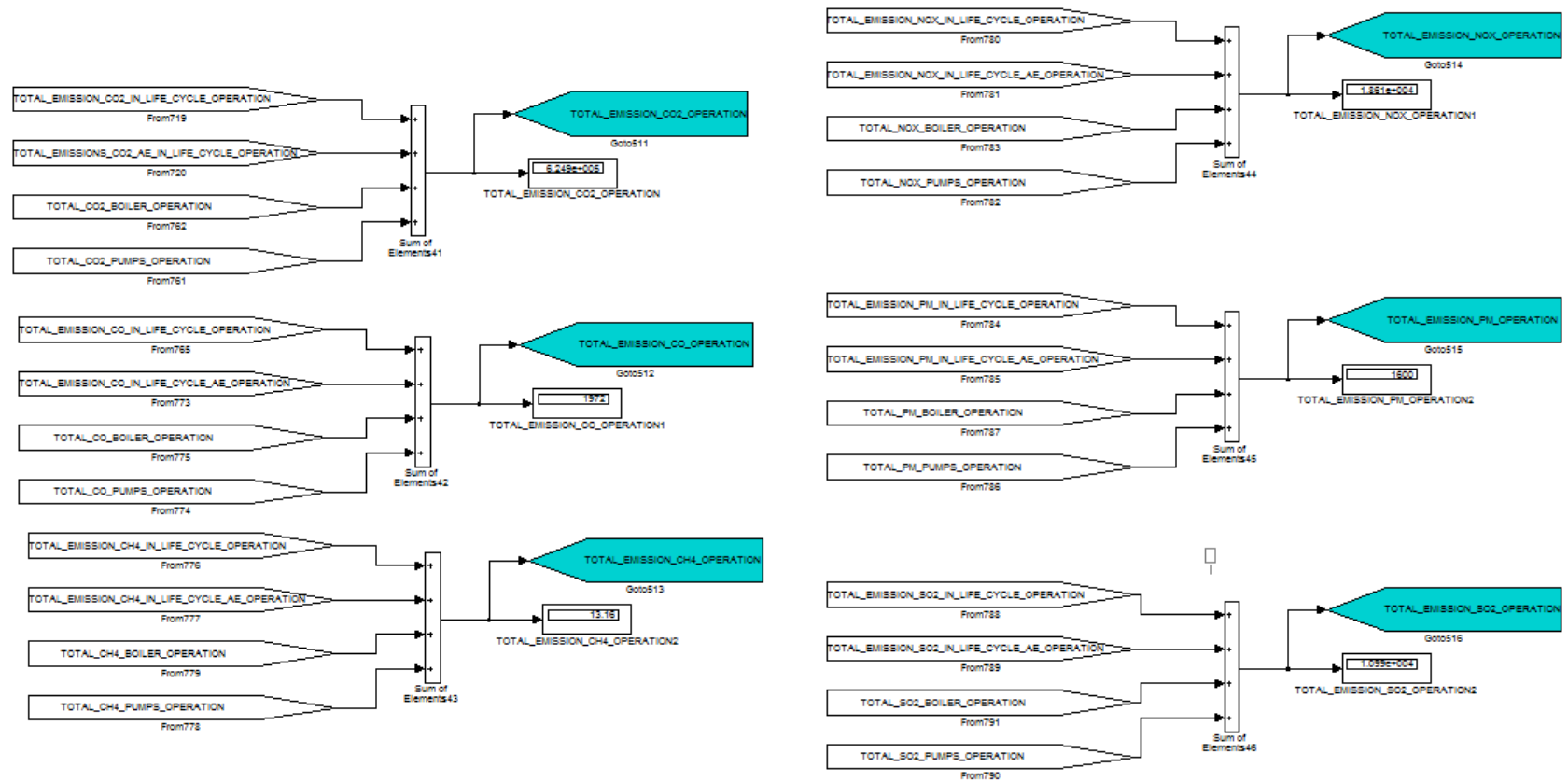
Διάγραμμα 32. Υπολογισμός συνολικών εκπομπών CO2 και CO από το στάδιο της κατασκευής της μηχανολογικής εγκατάστασης



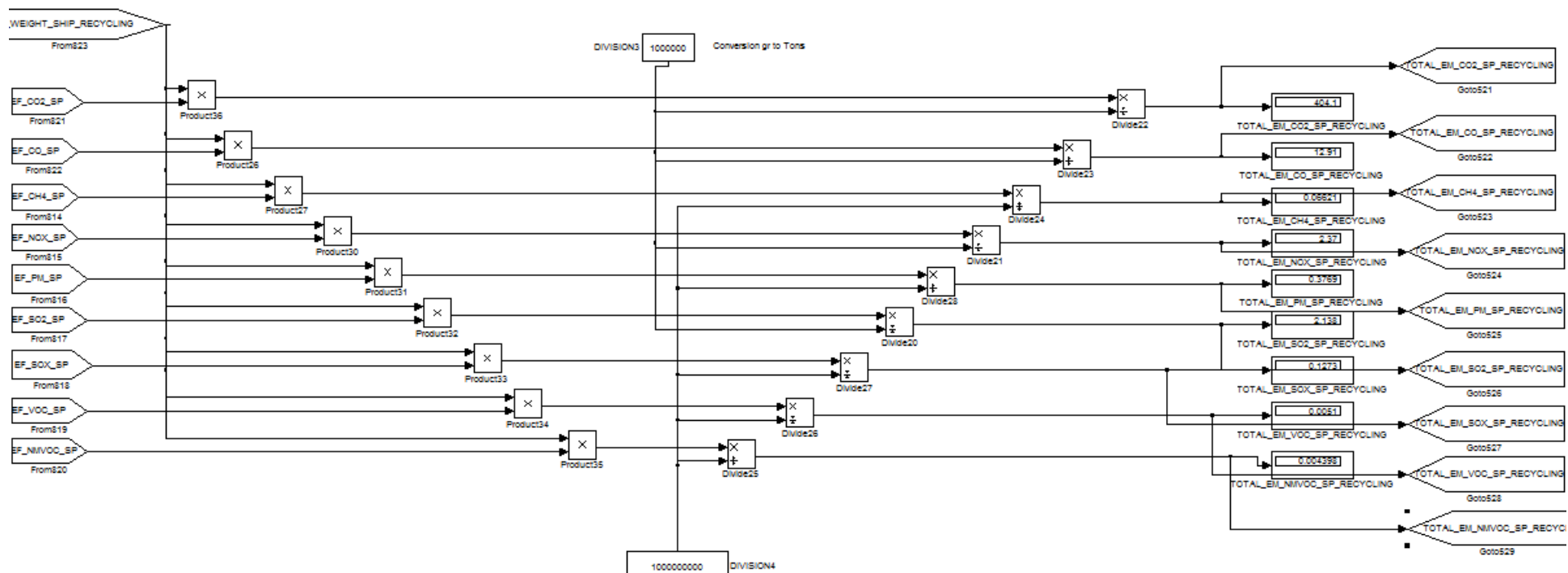
Διάγραμμα 33. Υπολογισμός συνολικών εκπομπών CH4 και NOX από το στάδιο της κατασκευής της μηχανολογικής εγκατάστασης



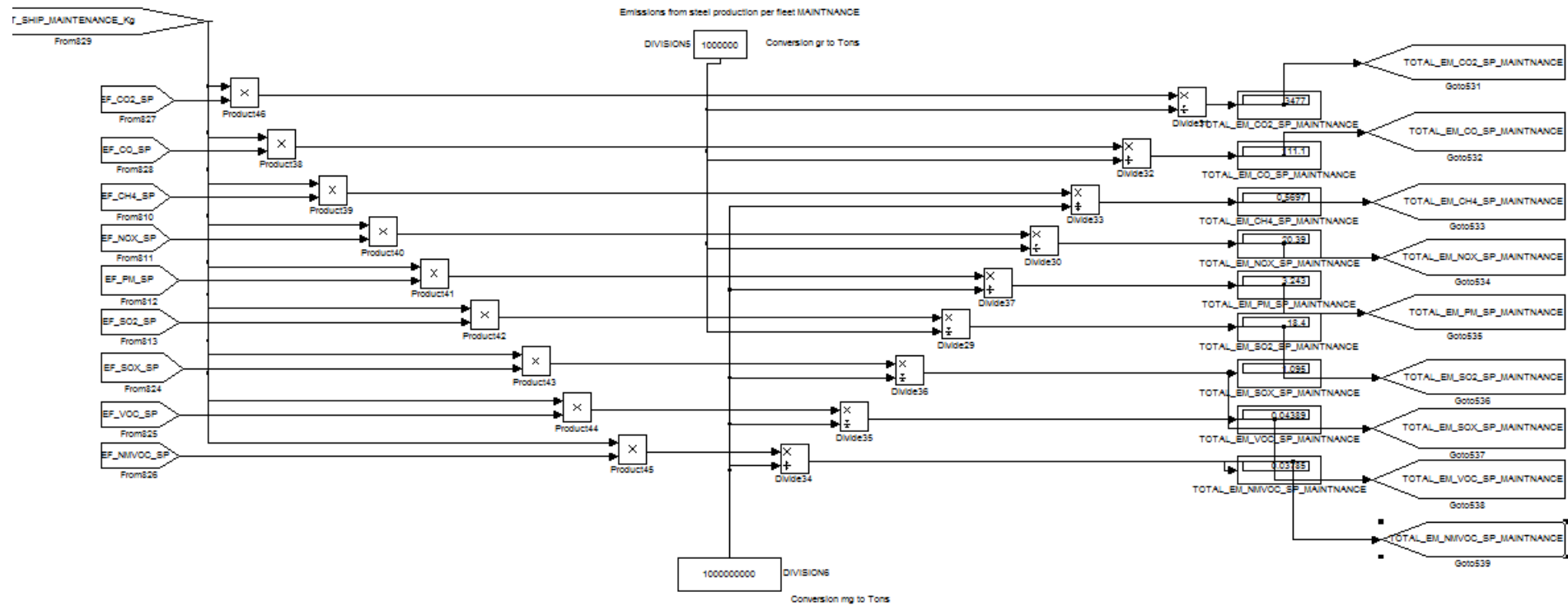
Διάγραμμα 34. Υπολογισμός συνολικών εκπομπών PM και SO2 από το στάδιο της κατασκευής της μηχανολογικής εγκατάστασης



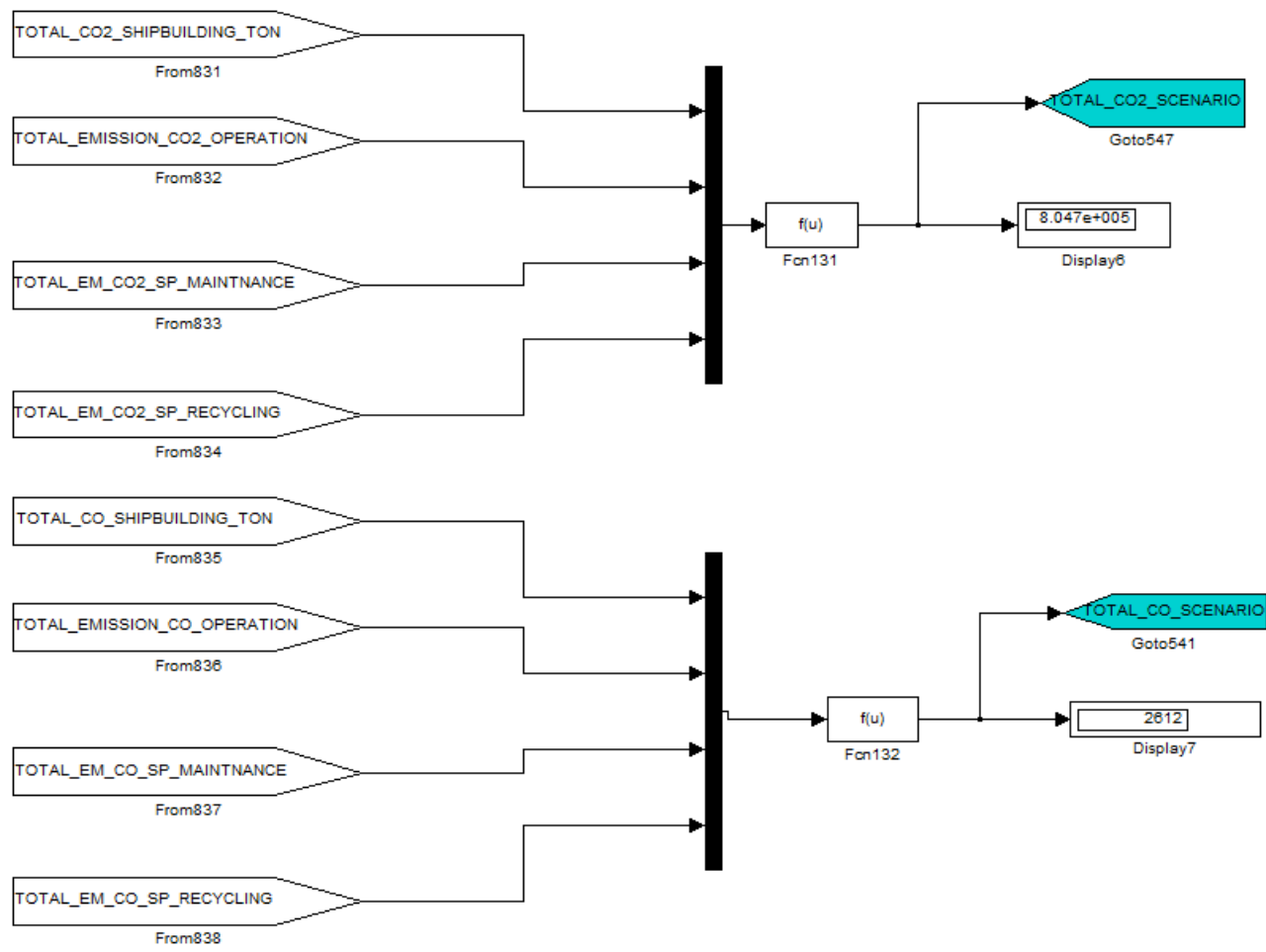
Διάγραμμα 35. Υπολογισμός συνολικών εκπομπών από το στάδιο λειτουργίας της μηχανολογικής εγκατάστασης



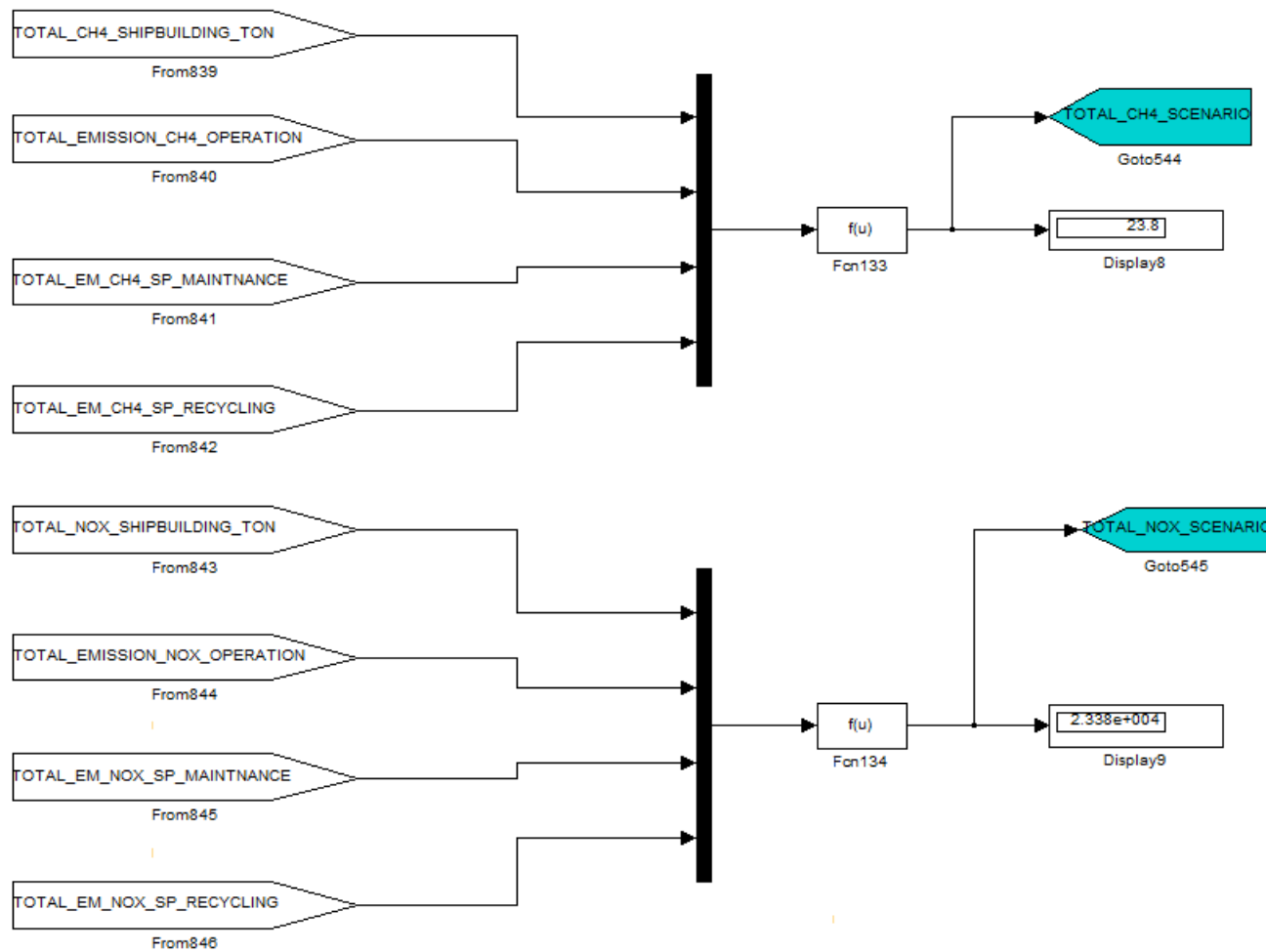
Διάγραμμα 36. Υπολογισμός συνολικών εκπομπών από το στάδιο ανακύκλωσης της μηχανολογικής εγκατάστασης



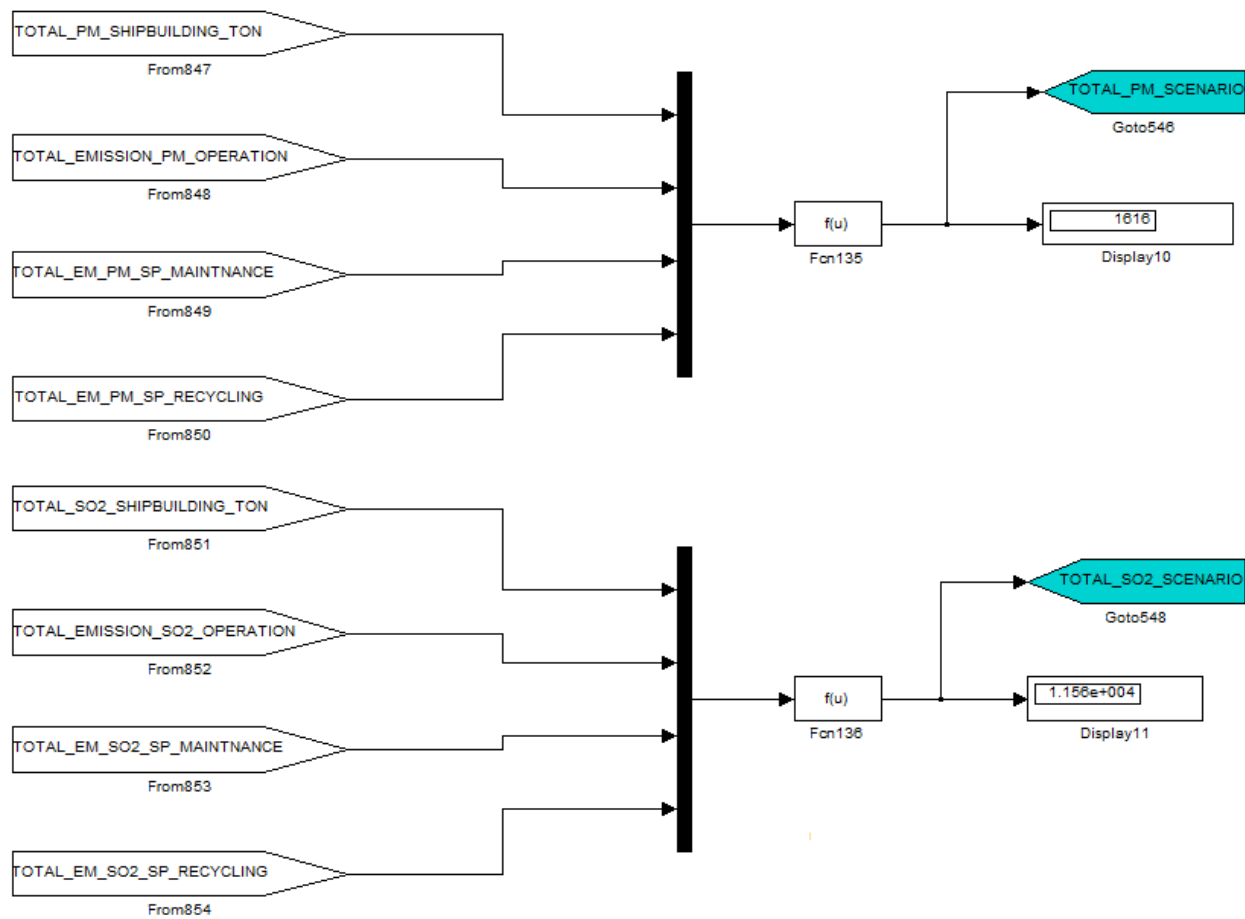
Διάγραμμα 37. Υπολογισμός συνολικών εκπομπών από το στάδιο της συντήρησης της μηχανολογικής εγκατάστασης



Διάγραμμα 38. Υπολογισμός συνολικών εκπομπών CO₂ και CO από όλα τα στάδια του κύκλου ζωής του πλοίου



Διάγραμμα 39. Υπολογισμός συνολικών εκπομπών CH4 και NOX από όλα τα στάδια του κύκλου ζωής του πλοίου



Διάγραμμα 40. Υπολογισμός συνολικών εκπομπών PM και SO2 από όλα τα στάδια του κύκλου ζωής του πλοίου

