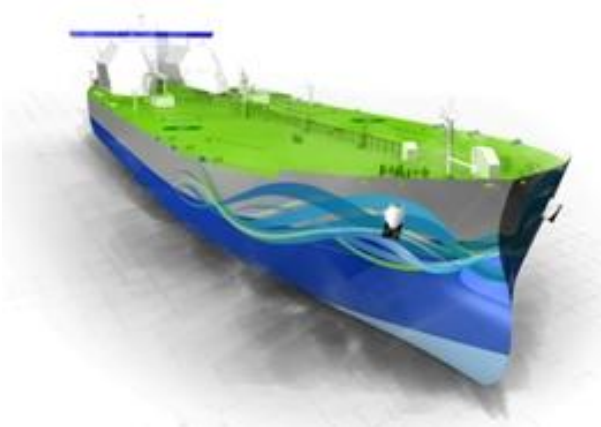
`

ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΝΑΥΠΗΓΩΝ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΛΕΤΗΣ ΠΛΟΙΟΥ ΚΑΙ ΘΑΛΑΣΣΙΩΝ ΜΕΤΑΦΟΡΩΝ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΜΕΛΕΤΗΣ ΠΛΟΙΟΥ



ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΥΚΛΟΥ ΖΩΗΣ ΤΩΝ ΝΑΥΤΙΛΙΑΚΩΝ ΚΑΥΣΙΜΩΝ LOW SULPHUR FO ΚΑΙ LNG

ΔΙΑΜΑΝΤΑΚΗΣ ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ

Ηρώων Πολυτεχνείου
15780 ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟΥΠΟΛΗ, ΖΩΓΡΑΦΟΥ
Τηλ. 210-772.3563

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ
Ν. ΒΕΝΤΙΚΟΣ

ΑΘΗΝΑ , ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ 2014

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Διαμαντάκης Δ. (2014). Συγκριτική Ανάλυση Κύκλου Ζωής των Ναυτιλιακών Καυσίμων Low Sulphur FO και LNG.
Διπλωματική Εργασία, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Ναυπηγών Μηχανολόγων Μηχανικών, Τομέας Μελέτης Πλοίου και Θαλασσίων Μεταφορών,

condia@otenet.gr

Η μελέτη παρουσιάζει την εφαρμογή της μεθοδολογίας της Ανάλυσης του Κύκλου Ζωής των ναυτιλιακών καυσίμων LNG και Low Sulphur FO. Η προσδιοριστική ανάλυση των εκπομπών αερίων ανά στάδιο που δρουν στον περιβάλλον με την επιδείνωση του φαινομένου του θερμοκηπίου και την όξινη βροχή καθώς και στον άνθρωπο είναι καθοριστική για τη λήψη αποφάσεων ελέγχου και τη θέσπιση πολιτικών περιορισμού τους. Οι γεωγραφικές οριακές συνθήκες στον άξονα Κύπρος – Ελλάδα την κάνουν μοναδική αλλά συνάμα και επίκαιρη χρονικά. Τα εργαλεία της συγκριτικής ανάλυσης και της ανάλυσης ευαισθησίας αναγνωρίζουν τις διαφορές των δύο καυσίμων, εντοπίζουν όμως και ομοιότητες που τα καθιστούν τελικώς ως μεταβατικά καύσιμα ωσότου η αγορά και η ακαδημία επιτύχουν τη χρήση καυσίμων καθόλα φιλικά στο περιβάλλον και στον άνθρωπο.

ABSTRACT

Diamantakis, D. (2014). Life Cycle Comparative Analysis of Low Sulphur FO and LNG marine fuels.
Diploma Thesis, National Technical University of Athens, School of Naval Architecture and Marine Engineering, Division of Ship Design & Maritime Transport

http://www.naval.ntua.gr

This study presents the Life Cycle Assessment methodology implementation on marine fuels LNG and Low Sulphur FO. The deterministic analysis of air emissions per stage that act as driving forces on the environment by deteriorating the greenhouse effect and the acid rain as well as on human is of paramount importance for decision making management and for constrain policy issuing. The spatial boundary conditions defined by Cyprus and Greece are a unique initiative and provide an up to date projection. Comparative and sensitivity analysis tools identify the differences of the two fuels, however they pinpoint similarities that emerge the transitional character of the two fuels till academy and markets enable the use of fuels really friendly to environment and human.

ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ:

Ανάλυση Κύκλου Ζωής, LNG, Low Sulphur FO, εκπομπές αερίων, CO2 ,CH4 , NOx , SOx , PM, θεσμικό πλαίσιο, βάσεις δεδομένων, προσομοίωση, αβεβαιότητα, διάγραμμα ροής, οριακές συνθήκες, συγκριτική ανάλυση, ισοδύναμες ποσότητες, ανάλυση ευαισθησίας,

KEY WORDS

Life Cycle Analysis, LNG, Low Sulphur FO, air emissions, CO2 ,CH4 , NOx , SOx , PM, institutional framework, databases, simulation, uncertainty, flow chart, boundary conditions, comparative analysis, equivalent quantities, sensitivity analysis

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Παρατίθενται οι συντελεστές στην εργασία που συνέφεραν στην ολοκλήρωση της και η συμβολή τους είναι καθοριστική : Θα ήθελα να ευχαριστήσω:

Καθ. Νικόλαος Βεντίκος, επιβλέπων, για την ολοκληρωτική και συνεχή καθοδήγηση και υποστήριξη

Υ/Δ Στέφανο Χατζηνικολάου για την υποστήριξη του στη βιβλιογραφία και στην μόρφωση των προσομοιώσεων

Κλυταιμνήστρα Σπηλιωτοπούλου για την υποστήριξη στη συγγραφή της εργασίας

Εμμανουήλ Διαμαντάκη για την υποστήριξη στη θεωρία συστημάτων

Περικλή Ζόλκου για την υποστήριξη στη θεωρία των περιβαλλοντικών διαδικασιών

Την οικογένεια μου , τους φίλους μου που υποστηρίζουν τις θέσεις και τις απόψεις μου

AKNOWLEDGEMENT

The following people essentially contributed in the termination of the thesis and their acknowledgement is obvious: I would like to thank:

Prof Nikolaos Ventikos, supervisor of this thesis, for providing me with a full and a continuous guidance and support

Candidate Dr. Stefanos Chatzinikolaou, for his support on literature and formulating simulations

Ms Klytaimnistra Spiliotopoulou, for her support on formulating this thesis;

Mr. Emmanouil Diamantakis, for his support on systems theory

Mr. Periklis Zolkou, for his support on environmental procedures

My family, my friends who continuously support my decisions and actions.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

0 Εισαγωγή 10

0.1 Αντικείμενο 10

0.2 Κίνητρο 11

0.3 Δομή 12

1 Εκπομπές Αερίων Ναυτιλίας 14

1.1 Εκπομπές Αερίων 15

1.1.1 Διοξείδιο του Άνθρακα (CO2) 15
1.1.2 Οξείδια του Αζώτου (NOx) 15
1.1.3 Οξείδια του Θείου (SOx) 16
1.1.4 Υδρογονάνθρακες – Μεθάνιο (CH4) 16
1.1.5 Μικροσωματίδια (PM) 17

1.2 Θεσμικό Πλαίσιο - ECA 17

1.3 Συμμόρφωση στους Κανονισμούς 20

2 Μεθοδολογία LCI 23

2.1 Περιγραφή - Δομή 23

2.2 Προκλήσεις και Προσεγγισεις 25

2.2.1 Η Αβεβαιότητα των Δεδομένων Εισόδου 26
2.2.2 Απλουστεύσεις 26
2.2.3 Προβλήματα Κατανομής 27

3 LNG – Διάγραμμα Ροής 28

3.1 Χαρακτηριστικά 28

3.2 Παραγωγή - Εξόρυξη 29

3.3 Σύστημα Αγωγών 30

3.4 Καθαρισμός - Υγροποίηση - Εγκαταστάσεις 31

3.5 Μεταφορά – LNG Carrier 32

3.6 Εγκαταστάσεις Αποθήκευσης - Πετρέλευση 34

3.7 Εν Πλω – Το LNG ως Καύσιμο σε Ε/Γ 35

4 FO – Διαγραμμα Ροης 39

4.1 Χαρακτηριστικά 39

4.2 Εξόρυξη 40

4.3 Παραγωγή FO - Εγκαταστάσεις 41

4.4 Μεταφορά με Τάνκερ - Εγκαταστάσεις Αποθήκευσης - Πετρέλευση 42

4.5 Εν Πλω – Το FO ως Καύσιμο σε Ε/Γ 44

5 Προσομοίωση LCI 45

5.1 Βάσεις Δεδομένων - Προκλήσεις 45

5.2 Οριακές Συνθήκες 45

5.2.1 Σενάριο LNG 45

5.2.2 Σενάριο FO 49

5.3 Σενάρια Προσομοίωσης – Εκτέλεση - LNG 49

5.3.1 Κατασκευή Εγκαταστάσεων και Λειτουργία Εξόρυξης Φυσικού Αερίου offshore - Κατασκευή Αγωγών Μεταφοράς Φυσικού Αερίου ως το Σταθμό Υγροποίησης 50

5.3.2 Σταθμός Υγροποίησης Αερίου 51

5.3.3 Μεταφορά LNG με LNG Carrier 52

5.3.4 Λειτουργία Επιβατηγού 56

5.4 Σενάρια Προσομοίωσης – Εκτέλεση - FO 58

5.4.1 Κατασκευή Εγκαταστάσεων και Λειτουργία Εξόρυξης Πετρελαίου Offshore 58

5.4.2 Μεταφορά FO στον Ασπρόπυργο 59

5.4.3 Επιβατηγό ΑΡΙΑΔΝΗ 62

6 Αποτελέσματα Προσομοίωσης 64

6.1 Αποτελέσματα LCI για LNG Ναυτιλία 64

6.2 Αποτελέσματα LCI για FO Ναυτιλία 69

7 Ισοζύγια – Συγκριτική Ανάλυση 76

7.1 Συγκριτκή Ανάλυση Εκπομπών 76

7.2 Ισοδύναμες Ποσότητες Εκπομπών 79

8 Ανάλυση Ευαισθησίας 83

8.1 Σενάριο Βελτίωσης Απόδοσης Μηχανής LNG 83

8.2 Σενάριο Αλλαγής Θεσης Παραγωγής από την Κυπρο στο Καταρ 85

9 Συμπεράσματα 87

9.1 Προηγούμενες Μελέτες 87

9.2 Συμπεράσματα και Υιοθέτηση Σχεδίου Δράσης 87

10 Περαιτέρω Ερευνα 91

10.1 Προτάσεις 91

10.2 Καινοτόμες Προσεγγίσεις 92

11 Αναφορές 94

ΛΙΣΤΑ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1 Κατανομή της ναυτιλιακής κυκλοφορίας βάσει της ICOADS data *14*
Εικόνα 2 Εκπομπές CO2 από τη ναυτιλία συγκρινόμενες με τις παγκόσμιες συνολικές εκπομπές *15*
Εικόνα 3 Το φαινόμενο της όξινης βροχής *16*
Εικόνα 4 Η αιθαλομίχλη στο λεκανοπέδιο της Αττικής *17*
Εικόνα 5 Οι παρούσες και οι πιθανές μελλοντικές ECA *18*
Εικόνα 6 Αρχή λειτουργίας scrubber *21*
Εικόνα 7 Τα βασικά επίπεδα του κύκλου ζωής ενός συστήματος *23*
Εικόνα 8 Οι τέσσερις φάσεις μιας LCA *24*
Εικόνα 9 Διάγραμμα Ροής Κύκλου Ζωής LNG *28*
Εικόνα 10 Ερευνητικές εργασίες εντοπισμού κοιτασμάτων *29*
Εικόνα 11Κατασκευαστικές παραλλαγές εξόρυξης *30*
Εικόνα 12 Διάγραμμα Ροής Διαδικασίων Καθαρισμού και Υγροποίησης του Φυσικού Αερίου *31*
Εικόνα 13 Εργοστάσιο υγροποίησης Φυσικού Αερίου *32*
Εικόνα 14 LNG Carrier με δεξαμενές μεμβράνης *33*
Εικόνα 15 LNG Carrier με δεξαμενές τύπου Moss *33*
Εικόνα 16 Δεξαμενή αποθήκευσης LNG *35*
Εικόνα 17 Μηχανολογική διάταξη LNG πλοίου *36*
Εικόνα 18 Dual fuel λειτουργία *37*
Εικόνα 19 Διάγραμμα ροής κύκλου ζωής Low Sulphur FO *39*
Εικόνα 20 Αύξηση πίεσης στο κοίτασμα *41*
Εικόνα 21 Υψηλή τιμή ιξώδους στο FO *41*
Εικόνα 22 Διάγραμμα ροής διαδικασιών διυλιστηρίου *42*
Εικόνα 23 Πετρέλευση απο εγκαταστάσεις ξηράς *43*
Εικόνα 24 Θέση γεώτρησης στο οικόπεδο 12 της ΑΟΖ Κύπρου *45*
Εικόνα 25 Η γεωγραφική θέση του Βασιλικού στην Κύπρο *46*
Εικόνα 26 Η μελλοντική σύνδεση της γεώτρησης με το Βασιλικο με αγωγούς μεταφοράς *47*
Εικόνα 27 Χωροθέτηση εγκαταστάσεων υγροποίησης στο Βασιλικό *47*
Εικόνα 28 Οι εγκαταστάσεις της Ρεβυθούσας *48*
Εικόνα 29 Το LNG Carrier Sestao Knutsen *53*
Εικόνα 30 Το Ε/Γ ΑΡΙΑΔΝΗ *56*
Εικόνα 31Το tanker KING EDWARD *59*

ΛΙΣΤΑ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1 Όρια συγκέντρωσης NOx σύμφωνα με την MARPOL *19*
Πίνακας 2 Εκπομπές αερίων από τη φάση της εξόρυξης - παραγωγής φυσικού αερίου *51*
Πίνακας 3 Εκπομπές αερίων από τη φάση υγροποίησης του φυσικού αερίου *52*
Πίνακας 4 Προσομοίωση εκπομπών αερίων από τη μεταφορά του LNG με LNG Carrier *55*
Πίνακας 5 Προσομοίωση εκπομπών αερίων από τη λειτουργία του Ro-Ro με LNG *58*
Πίνακας 6 Εκπομπές αερίων για τη φάση εξόρυξης και την παραγωγή FO *59*
Πίνακας 7 Προσομοίωση εκπομπών αερίων για τη μεταφορά του FO με τανκερ *61*
Πίνακας 8 Προσομοίωση εκπομπών αερίων από το Ε/Γ αριάδνη με χρήση FO *63*
Πίνακας 9 Συγκεντρωτικές Εκπομπές αερίων από το LCI του LNG *64*
Πίνακας 10 Συγκεντρωτικές εκπομπές αεριων από την LCI του FO *70*
Πίνακας 11Συγκεντρωτικές ισοδύναμες εκπομπές από την LCI του LNG *80*
Πίνακας 12 Συγκεντρωτικές ισοδύναμες εκπομπές αερίων από την LCI της FO *80*
Πίνακας 13 Συγκεντρωτικές εκπομπές αερίων με απόδοση μηχανής 46% από την LCI του LNG *83*
Πίνακας 14 Συγκεντρωτικές ισοδύναμες εκπομπές αερίων από την LCI του LNG για απόδοση μηχανής 41% και 46% *83*

Πίνακας 15 Συγκεντρωτικές ποσότητες εκπομπών από την LCI του LNG στο σενάριο μεταφοράς LNG από το Κατάρ 85
Πίνακας 16 Συγκριση ισοδύναμων εκπομπών αερίων από την LCI του LNG στα σενάρια μεταφοράς LNG από Κύπρο και Κατάρ 86

ΛΙΣΤΑ ΓΡΑΦΗΜΑΤΩΝ

Γράφημα 1 Όρια συγκέντρωσης SOx σύμφωνα με την MARPOL....19
Γράφημα 2 Επιτρεπόμενες συγκεντρώσεις NOx συναρτήσει των στροφών λειτουργίας της μηχανής....20
Γράφημα 3Εκπομπές CO2 - LCI LNG 65
Γράφημα 4 Ποσοστιαίες εκπομπές CO2 - LCI LNG 65
Γράφημα 5 Εκπομπές CH4 - LCI LNG 66
Γράφημα 6 Ποσοστιαίες εκπομπές CH4 - LCI LNG 66
Γράφημα 7 Εκπομπές NOx - LCI LNG 67
Γράφημα 8 Ποσοστιαίες Εκπομπές NOx - LCI LNG....67
Γράφημα 9 Εκπομπές SOx - LCI LNG 68
Γράφημα 10 Ποσοστιαίες εκπομπές SOx - LCI LNG 68
Γράφημα 11Εκπομπές PM - LCI LNG 69
Γράφημα 12 Ποσοστιαίες εκπομπές PM - LCI LNG 69
Γράφημα 13 Εκπομπές CO2 - LCI FO....70
Γράφημα 14 Ποσοστιαίες εκπομπές CO2 - LCI FO....71
Γράφημα 15 Εκπομπές CH4- LCI FO....71
Γράφημα 16 Ποσοστιαίες εκπομπές CH4 - LCI FO....72
Γράφημα 17 Εκπομπές NOx - LCI FO....72
Γράφημα 18 Ποσοστιαίες εκπομπές NOx - LCI FO 73
Γράφημα 19 Εκπομπές SOx - LCI FO....73
Γράφημα 20 Ποσοστιαίες εκπομπές SOx - LCI FO....74
Γράφημα 21Εκπομπές PM - LCI FO 74
Γράφημα 22 Ποσοστιαίες εκπομπές PM - LCI FO....75
Γράφημα 23 Συγκριτική ανάλυση εκπομπών CO2 από LCI FO - LNG....76
Γράφημα 24Συγκριτική ανάλυση εκπομπών CH4 από LCI FO - LNG....77
Γράφημα 25 Συγκριτική ανάλυση εκπομπών NOx από LCI FO - LNG 77
Γράφημα 26 Συγκριτική ανάλυση εκπομπών SOx από LCI FO - LNG....78
Γράφημα 27 Συγκριτική Ανάλυση εκπομπών PM από LCI FO - LNG 79
Γράφημα 28 Συγκριτική ανάλυση ισοδύναμων ποσοτήτων CO2 από LCI LNG - FO....81
Γράφημα 29 Συγκριτική ανάλυση ισοδύναμων ποσοτήτων SO2 από LCI LNG - FO 81
Γράφημα 30 Συγκριτική ανάλυση ισοδύναμων ποσοτήτων PM από LCI LNG - FO 82
Γράφημα 31Συγκριτική ανάλυση ισοδύναμων ποσοτήτων CO2 με απόδοση μηχανής 41% και 46% από την LCI του LNG....84
Γράφημα 32 Συγκριτική ανάλυση ισοδύναμων ποσοτήτων SO2 με απόδοση μηχανής 41% και 46% από την LCI του LNG....84
Γράφημα 33 Συγκριτική ανάλυση ισοδύναμων ποσοτήτων PM με απόδοση μηχανής 41% και 46% από την LCI του LNG....85

ΣΥΝΤΜΗΣΕΙΣ

LNG – Liquefied Natural Gas

FO – Low Sulphur Fuel Oil

MGO – Marine Gas Oil

LCI – Life Cycle Inventory analysis

LCA – Life Cycle Assessment

LCIA - Life Cycle Impact Assessment

CO2 – Carbon Dioxide

CH4 – Methane

NOx – Oxides Nitrogen

SOx – Oxides Sulphur

PM – Particulate Matters

IMO – International Maritime Organization

MEPC - Marine Environmental Protection Committee

ECA – Emission Control Areas

SECA – Sulphur Emission Control Areas

EEDI - Energy Efficiency Design Index

SEEMP - Ship Energy Efficiency Management Plan

EEOI - Efficiency Operational Indicator

SCR – Selective Catalytic Reduction

ISO – International Standard Organisation

BOG - Boil – Off – Gas

LBGFE -Lean Burn Gas Fuelled Engines

NETL - National Energy Technology Laboratory

ELCD - European reference Life Cycle Database

EPER - European Pollutant Emission Register

0 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η προώθηση μιας προσδιοριστικής και αναλυτικής μελέτης για την ανάλυση του κύκλου ζωής μέσω συγκριτικής μεθοδολογίας δύο σύγχρονων ναυτιλιακών καυσίμων , του LNG (Liquefied Natural Gas) και του Low Sulphur FO (Fuel Oil) είναι μεγάλης σημασίας για τους εμπλεκόμενους φορείς της αγοράς αλλά και των θεσμικών οργάνων. Απαιτείται η αναγνώριση των φάσεων του κύκλου ζωής του κάθε καυσίμου και η ποσοτικοποίηση των εκπομπών αερίων που προέρχονται από την παραγωγή ως και την καύση. Γίνεται πλέον γνωστή η πραγματική επιβάρυνση του περιβάλλοντος αλλά και της ανθρώπινης υγείας. Το κεφάλαιο αυτό περιγράφει το αντικείμενο της μελέτης, παρακινεί τον αναγνώστη και προβάλλει τη δομή της μελέτης

0.1 ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ

Η ανάλυση του κύκλου ζωής ενός ναυτιλιακού καυσίμου απαιτεί τη συνεργασία διαφορετικών επιστημονικών πεδίων , όπως χαρακτηριστικά της μηχανολογίας, της ναυπηγικής , της χημείας , της περιβαλλοντικής μηχανικής. Αυτό συνιστά μία πρόκληση που πραγματώνεται με την προσομοίωση του κύκλου ζωής του καυσίμου και τη χρήση αναγνωρισμένων βάσεων δεδομένων. Η εργασία αυτή θα:

1) περιγράψει τις κύριες εκπομπές αερίων που παράγονται κατά το κύκλο ζωής των ναυτιλιακών καυσίμων LNG και του Low Sulphur FO, τα χαρακτηριστικά τους και τις κύριες επιπτώσεις σε περιβάλλον και υγεία καθώς και θα παρουσιάσει τις τεχνικές που χρησιμοποιούνται για τη μείωση των εκπομπών στη ναυτιλία

2) εισάγει τον αναγνώστη στο θεσμικό πλαίσιο που εφαρμόζεται στη ναυτιλία σχετικά με τον έλεγχο εκπομπών αερίων και θα παρουσιάσει τις έως τώρα πολιτικές που έχουν οδηγήσει στη θέσπιση ορίων εκπομπών είτε σε παγκόσμια κλίμακα είτε σε περιοχές ειδικού καθεστώτος ελέγχου.

3) χρησιμοποιήσει το εργαλείο της ανάλυσης κύκλου ζωής προτυποποιημένο κατά ISO για την ποσοτικοποίηση των εκπομπών αερίων και θα αναδείξει τις δυσκολίες της εφαρμογής του εργαλείου λόγω των αλληλοεπικαλύψεων πεδίων αλλά και της δυσκολίας κατανομής των εκπομπών ανά υποσύστημα

4) περιγράψει τις φάσεις του κύκλου ζωής του κάθε καυσίμου από την παραγωγή (γέννηση) έως και την καύση του (θάνατος) ώστε να αποσαφηνίζεται το διάγραμμα ροών από την έρευνα και την εξόρυξη έως και την υγροποίηση ή διύλιση και από τη μεταφορά με LNG carrier ή tanker έως και την καύση τους

5) ορίσει ακριβείς οριακές συνθήκες χρονικά και χωρικά με την εξόρυξη των καυσίμων ανοικτά της Κύπρου και την καύση σε RO –RO από επιβατηγό στο Αιγαίο.

6) αναδείξει τις βάσεις δεδομένων που ως κύρια χαρακτηριστικά έχουν την αβεβαιότητα και την ανεπάρκεια που χρησιμοποιήθηκαν ως είσοδο στο σύστημα της προσομοίωσης αλλά και θα ορίσει τη κοινή μονάδα μέτρησης των εκπομπών αερίων ανά φάση.

7) μετρήσει τις ισοδύναμες ποσότητες αερίων που συμβάλλουν στην αύξηση της θερμοκρασίας μέσω του φαινομένου του θερμοκηπίου, στην εμφάνιση της όξινης βροχής αλλά και των συνεπειών στον ανθρώπινο παράγοντα.

8) ερευνήσει τη δυνατότητα βελτίωσης των εκπομπών με το εργαλείο της ανάλυσης της ευαισθησίας

9) ερευνήσει τις δυνατότητες της ανάλυσης του κύκλου ζωής των καυσίμων στη εξέλιξη των πολιτικών από λήπτες απόφασης σεβόμενοι την προσαρμοστικότητα των αγορών και του περιβάλλοντος

0.2 ΚΙΝΗΤΡΟ

Η ακαδημαϊκή κοινότητα παρουσιάζει μία ενδελεχής σειρά από μελέτες ανάλυσης κύκλου ζωής διαφόρων συστημάτων ή φάσεων αυτών στοχεύοντας στον αναλυτικό και ντετερμινιστικό προσδιορισμό σε καθεστώς προτυποποίησης των επιπτώσεων στο περιβάλλον και στον άνθρωπο. Η ποσοτικοποίηση των εκπομπών από το κύκλο ζωής καυσίμων έχει αναφορά στην ξηρά και στη θάλασσα και παρουσιάζει υψηλό βαθμό ολοκλήρωσης. Η μελέτη αυτή βασίζεται στις ίδιες αρχές όμως τη διαχωρίζει στο γεγονός ότι έχει τη δική της γεωγραφική και χρονική αναφορά με εγκαταστάσεις που ακόμα δεν έχουν κατασκευαστεί και δρομολόγια πλοίων που δεν έχουν πραγματοποιηθεί. Ειδικότερα, ερευνάται το πεδίο εξορύξεων στο οικόπεδο 12 ανοικτά της Κύπρου, τις εγκαταστάσεις του Βασιλικού της Κύπρου που θα επεξεργαστεί τα καύσιμα, το δρομολόγιο μεταφοράς καυσίμων από την Κύπρο στην Ελλάδα και τέλος η χρήση καυσίμων στο Αιγαίο που ακόμα δεν έχουν χρησιμοποιηθεί, του LNG και του Low Sulphur FO. Επιπλέον παρέχει την πληροφορία στο λήπτη αποφάσεων σχετικά με την αποτελεσματικότητα του κάθε καυσίμου και αν αυτό μπορεί να ικανοποιήσει μελλοντικούς αυστηρότερους θεσμικούς περιορισμούς εκπομπών και ιδιαίτερα του διοξειδίου του άνθρακα.

0.3 ΔΟΜΗ

Η μελέτη αποτελείται από δώδεκα κεφάλαια και από τα υποκεφάλαια τους. Κύριος στόχος είναι να πετύχει μία συνεκτική δομή που αναδεικνύει τον ορθολογισμό και να παρακινεί τον αναγνώστη.

Στο πρώτο κεφάλαιο παρουσιάζονται η εισαγωγή , το κίνητρο για τον αναγνώστη, το αντικείμενο της μελέτης και η δομή της. Ο αναγνώστης εισάγεται στη μελέτη παρακινούμενος από τις προκλήσεις της ίδιας της μελέτης.

Στο δεύτερο κεφάλαιο περιγράφονται οι εκπομπές των αερίων που ενδιαφέρουν τη μελέτη από τη καύση των δύο ναυτιλιακών καυσίμων και σχολιάζονται το θεσμικό πλαίσιο ελέγχου των εκπομπών στη ναυτιλία καθώς και η συμμόρφωση με τους κανονισμούς.

Στο τρίτο κεφάλαιο παρουσιάζεται η μεθοδολογία του LCI ως προτυποιημένο εργαλείο και τις προκλήσεις που θα αντιμετωπίσει ο χρήστης, κυρίως της αβεβαιότητας και των απλουστεύσεων.

Στο τέταρτο κεφάλαιο αποσαφηνίζεται και περιγράφεται όλο το διάγραμμα ροής του κύκλου Ζώης για το LNG στη ναυτιλία. Ο αναγνώστης γίνεται κοινωνός των διαδικασιών και των μηχανισμών.

Στο πέμπτο κεφάλαιο αποσαφηνίζεται και περιγράφεται όλο το διάγραμμα ροής του κύκλου Ζώης για το Low Sulphur FO στη ναυτιλία. Ο αναγνώστης γίνεται κοινωνός των διαδικασιών και των μηχανισμών.

Στο έκτο κεφάλαιο αναγνωρίζονται οι προκλήσεις που θέτουν οι χρησιμοποιούμενες βάσεις δεδομένων, προσδιορίζονται οι οριακές συνθήκες και περιγράφονται τα σενάρια προσομοίωσης του κύκλου ζωής των δύο ναυτιλιακών καυσίμων

Στο έβδομο κεφάλαιο παρουσιάζονται σε μορφή πινάκων και γραφημάτων τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων. Επίσης ο συνδυασμός των αποτελεσμάτων επιτρέπει τη συγκεντρωτισμό τους με σκοπό τη σύγκριση

Στο όγδοο κεφάλαιο πραγματοποιείται η συγκριτική ανάλυση του κύκλου ζωής των δύο καυσίμων μέσω ισοδύναμων εκπομπών αερίων ώστε να είναι εποπτικότερες οι συνέπειες στο περιβάλλον και στον άνθρωπο.

Στο ένατο κεφάλαιο αναδεικνύεται με το εργαλείο της ανάλυσης ευαισθησίας μεταβλητές που μπορούν να επηρεάσουν εμφανώς τον κύκλο ζωής και να υποστηρίξουν τα βέλτιστη λήψη αποφάσεων

Στο δέκατο κεφάλαιο αναδεικνύονται προτάσεις και συμπεράσματα από την προσομοίωση και ολοκληρώνουν την αναλυτική περιγραφή του κύκλου ζωής

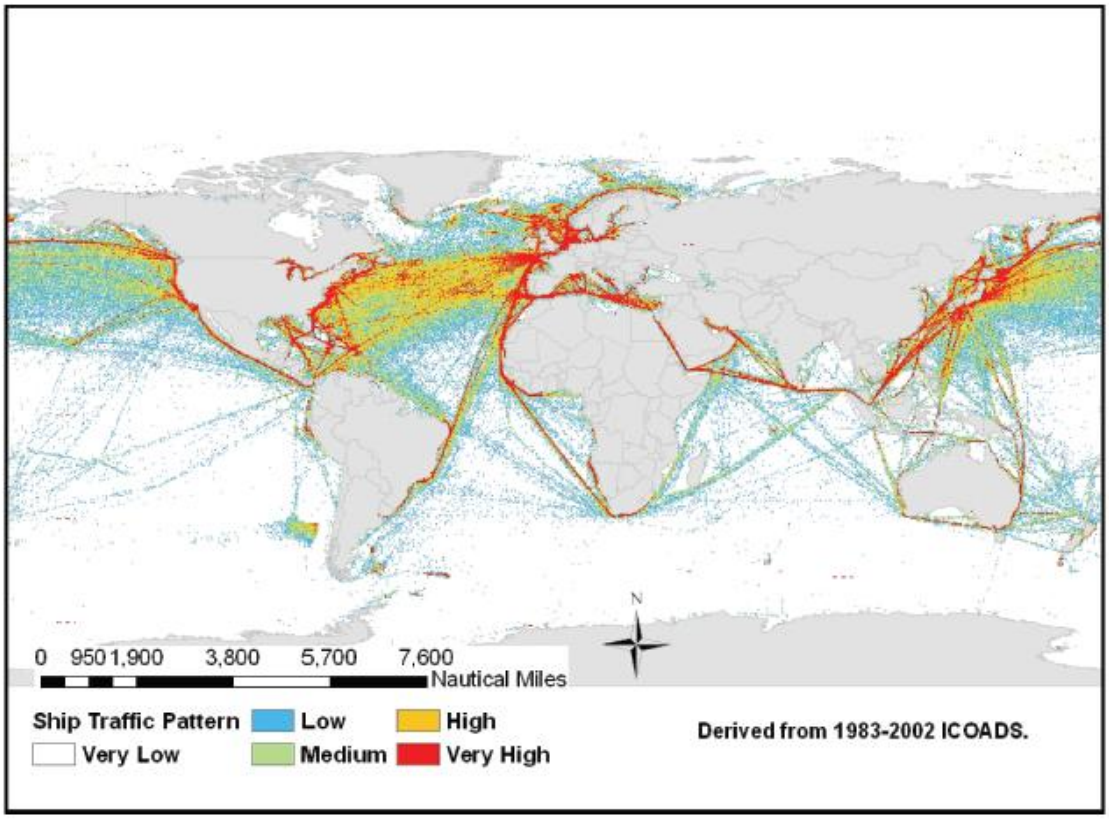
Στο ενδέκατο κεφάλαιο προτείνονται πεδία για περεταίρω έρευνα σε συνδυασμό με νέες μεθοδολογίες και εργαλεία

Στο δωδέκατο κεφάλαιο παρουσιάζεται η βιβλιογραφία και μια σειρά πηγών για τη σύνταξη της παρούσας μελέτης.

1 ΕΚΠΟΜΠΕΣ ΑΕΡΙΩΝ ΝΑΥΤΙΛΙΑΣ

Ο παγκόσμιος στόλος θα συνεχίζει να υποστηρίζει την παγκόσμια ανάπτυξη και ευημερία. Το 2020 αναμένεται 100.000 πλοία να ικανοποιούν τις απαιτήσεις της οικονομίας των θαλάσσιων μεταφορών. Η λειτουργία των πλοίων όμως συμβάλλει στη μόλυνση του περιβάλλοντος κυρίως μέσω των αερίων του θερμοκηπίου (κυρίως CO2 και CH4) καθώς και αερίων που συμβάλλουν στον ευτροφισμό (NOx) και στην όξινη βροχή (SOx) καθώς και στην ανθρώπινη υγεία (PM) .

Κύριο χαρακτηριστικό της χωρικής ανάπτυξης της ναυτιλίας είναι ότι εμφανίζεται παράκτια και γραμμικά σε βέλτιστα δρομολόγια που συνδέουν τα λιμάνια. Εξαιτίας αυτής της συμπεριφοράς σε πρώτο βαθμό συγκεκριμένες περιοχές της γης δέχονται εντονότερες περιβαλλοντικές επιπτώσεις.



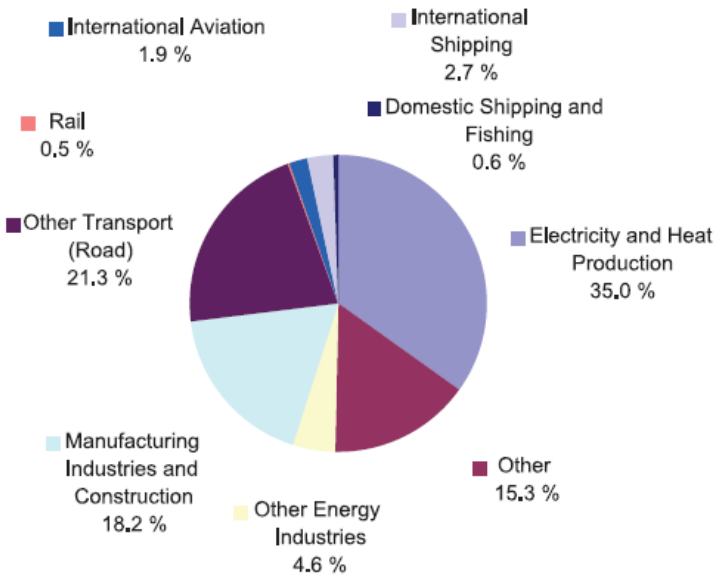
Εικόνα 1 Κατανομή της ναυτιλιακής κυκλοφορίας βάσει της ICOADS data

1.1 ΕΚΠΟΜΠΕΣ ΑΕΡΙΩΝ

Τα προϊόντα της καύσης συμβάλλουν καθοριστικά στην ποιότητα του περιβάλλοντος καθότι επιτείνουν φαινόμενα που το υποβαθμίζουν.

1.1.1 Διοξείδιο του Άνθρακα (CO2)

Το διοξείδιο του άνθρακα είναι αέριο το οποίο παράγεται από την καύση των ορυκτών καυσίμων. Οι εκπομπές του διοξειδίου του άνθρακα στη ναυτιλία εξαρτώνται από το είδος του καυσίμου και την κατανάλωση του καυσίμου στις μηχανές. Είναι αέριο το οποίο συμβάλλει στο φαινόμενο του θερμοκηπίου και συνεπώς στην άνοδο της θερμοκρασίας του πλανήτη και την κλιματική αλλαγή. Ποσοτικά η IMO για το 2007 προσδιόρισε τις εκπομπές CO2 από τη ναυτιλία σε 870 εκατομμύρια τόνους , που αντιστοιχούν στο 2,7% των εκπομπών CO2 από όλες τις πηγές. Το 2014 η IMO προσδιόρισε τις εκπομπές CO2 από τη ναυτιλία σε 796 εκατομμύρια τόνους , που αντιστοιχούν στο 2,2% των εκπομπών CO2 από όλες τις πηγές



Εικόνα 2 Εκπομπές CO2 από τη ναυτιλία συγκρινόμενες με τις παγκόσμιες συνολικές εκπομπές

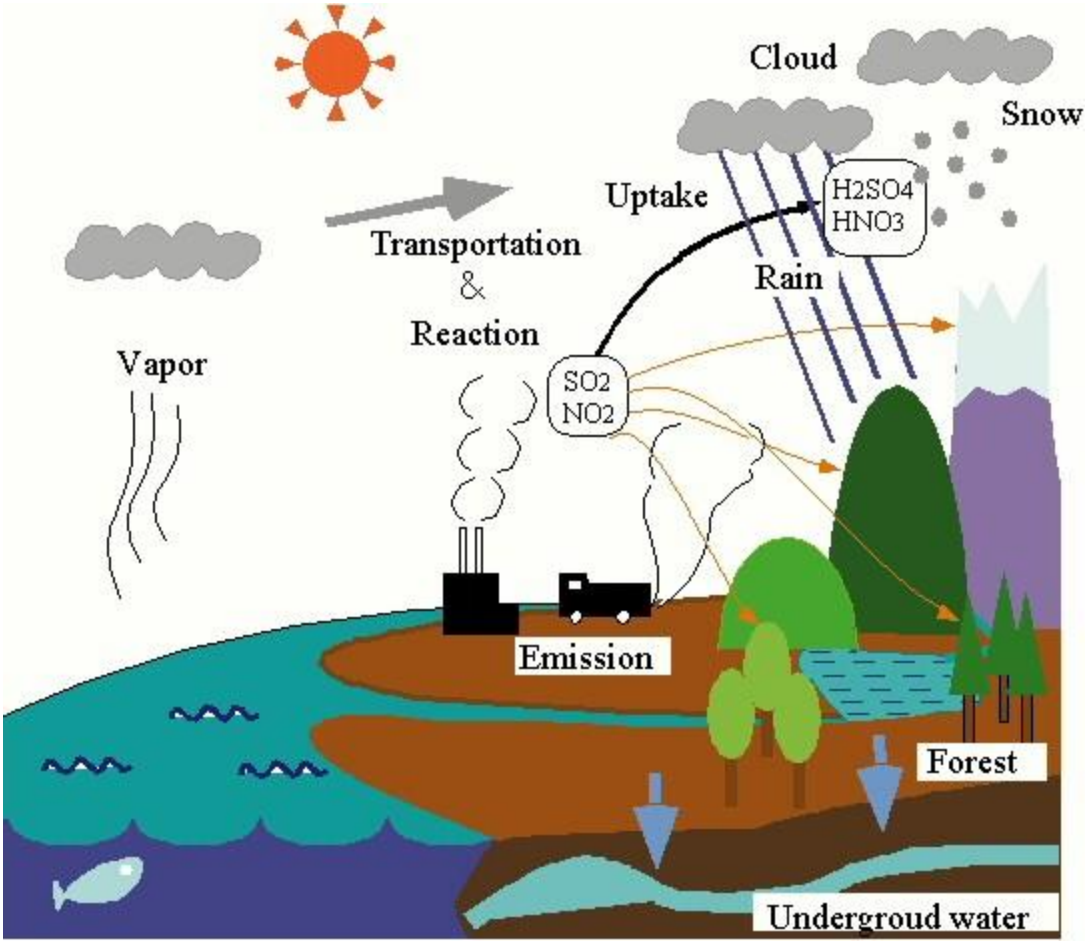
1.1.2 Οξείδια του Αζώτου (NOx)

Τα οξείδια του αζώτου παράγονται κατά την καύση σε υψηλές θερμοκρασίες. Ως αέριες εκπομπές συντελούν στην εμφάνιση του ευτροφισμού, του όζοντος και του νέφους. Διάδοχες συνέπειες είναι η εμφάνιση τοξινών κυρίως σε υδάτινα οικοσυστήματα καθώς και ο σχηματισμός όξινης βροχής που καταστρέφει δάση και διαβρώνει αστικά

μαρμάρινα μνημεία. Αποτελεί αρνητική συνιστώσα για την ανθρώπινη υγεία καθότι αποδίδεται η εμφάνιση άσθματος και εμφάνισης βλαβών στους πνεύμονες.

1.1.3 Οξείδια του Θείου (SOx)

Τα οξείδια του θείου σχηματίζονται με την καύση ορυκτών καυσίμων τα οποία περιέχουν θείο. Τα ναυτιλιακά καύσιμα είναι καύσιμα τα οποία περιέχουν συγκεντρώσεις θείου υψηλότερες από τα καύσιμα που χρησιμοποιούνται στη στεριά. Η όξινιση στα οικοσυστήματα καθώς και η όξινη βροχή οφείλονται στις συγκεντρώσεις οξειδίων του θείου. Οι επιπτώσεις στην υγεία κυρίως εντοπίζονται σε πνευμονολογικά προβλήματα.



Εικόνα 3 Το φαινόμενο της όξινης βροχής

1.1.4 Υδρογονάνθρακες – Μεθάνιο (CH4)

Οι εκπομπές των υδρογονανθράκων οφείλονται κυρίως στην ατελή καύση των ορυκτών καυσίμων κυρίως για το βενζόλιο και τους αρωματικούς υδρογονάνθρακες που είναι ιδιαίτερα τοξικοί για την υγεία καθώς και λόγω της εμπλοκής στο κύκλο της ναυτιλίας

του LNG οπότε και παράγεται μεθάνιο, ένα αέριο με υψηλή συμμετοχή στο φαινόμενο του θερμοκηπίου.

1.1.5 Μικροσωματίδια (PM)

Τα μικροσωματίδια (περιλαμβάνονται τόσο τα PM10 όσο και τα PM2.5) τα οποία αιωρούνται στην ατμόσφαιρα είναι στερεάς ή υγρής φύσης και παράγονται από την καύση των καυσίμων. Ο συνδυασμός του με τον ατμοσφαιρικό αέρα συνεπάγεται τη δημιουργία αεροζόλ το οποίο είναι ικανό να εισέρχεται βαθιά στα πνευμόνια προκαλώντας αναπνευστικά προβλήματα, μεταλλάξεις και καρκίνο. Τα PM σαν μείγμα πολλών ενώσεων (οξείδια, στερεά υπολείμματα, μικροσωματίδια άνθρακα) αποτελούν αιτία δημιουργίας του νέφους και της χαμηλής ορατότητας

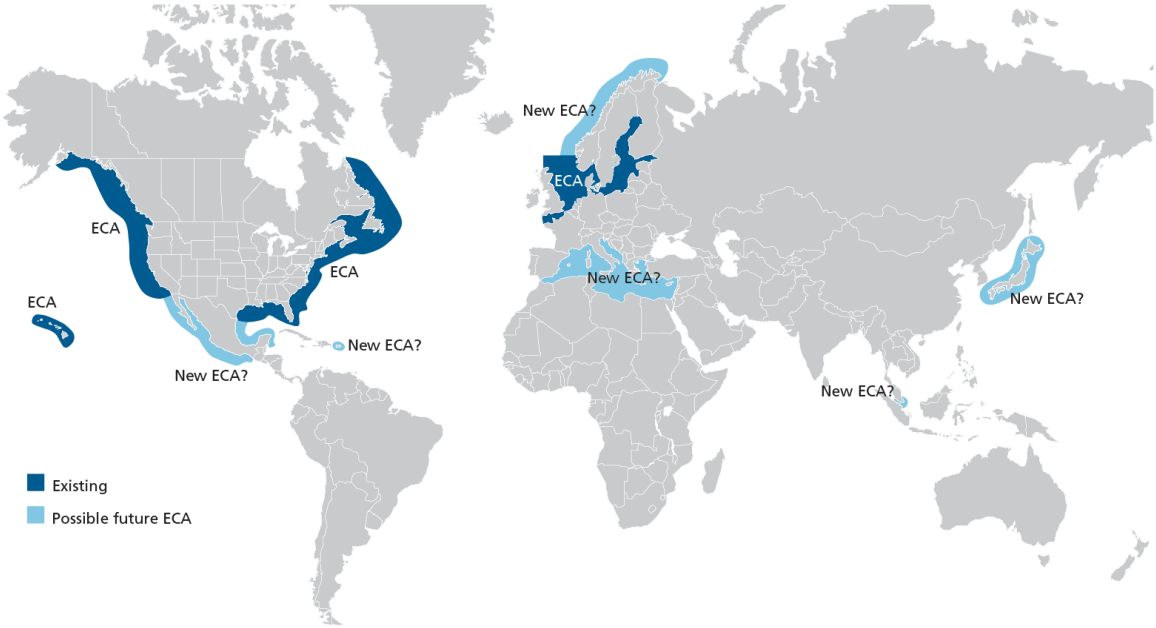
Εικόνα 4 Η αιθαλομίχλη στο λεκανοπέδιο της Αττικής

1.2 ΘΕΣΜΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ - ECA

Η ναυτιλία είναι ένας οικονομικός τομέας που ως χωρική αναφορά έχει την παγκόσμια κλίμακα. Συνεπώς το θεσμικό πλαίσιο δεν μπορεί να περιοριστεί σε εθνικό επίπεδο. Για το λόγο αυτό ο IMO (International Maritime Organization) καλείται να εισάγει και να προσαρμόζει πολιτικές με άξονα το παγκόσμιο χαρακτήρα της ναυτιλίας. Χαρακτηριστικά, οι δεσμεύσεις που εξάγονται από τη συνθήκη του Κιότο σε περιβαλλοντικό επίπεδο δεν μπορούν να εφαρμοστούν στη ναυτιλία. Η ανεξαρτητοποίηση του θεσμικού πλαισίου πραγματώνεται μέσα από μια σειρά κανονισμών που κύριο στόχο έχουν τον περιορισμό και τον έλεγχο των συνεπειών της ναυτιλίας στο περιβάλλον και τον άνθρωπο.

Ο έλεγχος της μόλυνσης του αέρα συζητήθηκε στο πλαίσιο της 1973 MARPOL όμως δεν καθιερώθηκε κανονισμός εξαιτίας μη ώριμων συνθηκών. Η ακαδημαϊκή κοινότητα από το 1980 ανέδειξε το θέμα της τρύπας του όζοντας και του φαινομένου του θερμοκηπίου εισάγοντας στην κοινωνία τη σημασία του ελέγχου των αερίων εκπομπών. Ακολούθως και η IMO διαμέσου της επιτροπής MEPC (Marine Environmental Protection Committee) κατέληξε στη σύνταξη του παραρτήματος VI στην MARPOL 73/78 "Regulations for the Prevention of Air Pollution from Ships" το 1997 με έναρξη εφαρμογής το 2005.

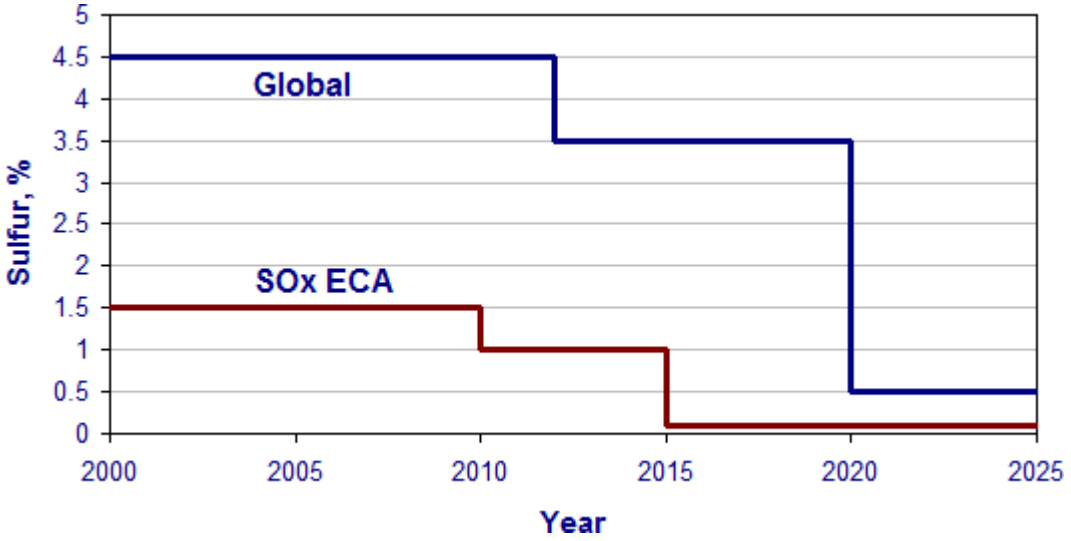
Η εξέλιξη του θεσμικού πλαισίου είναι συνεχής καθιερώνοντας όλο και αυστηρότερα όρια στις συγκεντρώσεις αερίων ρύπων. Η χωρική εφαρμογή του πλαισίου πραγματώνεται αρχικά σε θαλάσσιες περιοχές κρατών που η περιβαλλοντική συνείδηση αλλά και το επίπεδο ανάπτυξης τους επιτρέπει οικονομικούς περιορισμούς προς όφελος του περιβάλλοντος. Η εισαγωγή των Περιοχών Ελέγχου Εκπομπών (ECA – Emission Control Areas) επιτρέπει την σταδιακή επέκταση εφαρμογής των κανονισμών στο θαλάσσιο χώρο. Ανάλογα τον αναφερόμενο ρύπο, υφίστανται οι SECA και NOxECA για τα οξείδια του θείου και του αζώτου αντίστοιχα.



Εικόνα 5 Οι παρούσες και οι πιθανές μελλοντικές ECA

Στις SECA επιτρέπεται η χρήση καυσίμων με περιεκτικότητα σε θείο <1%. Το όριο αυτό θα μειωθεί στο 0,1% το 2015. Αντίστοιχοι περιορισμοί θα επικρατήσουν και παγκοσμίως ώστε η περιεκτικότητα σε θείο να περιοριστεί στο 0,5%. Με την εισαγωγή των SECA ουσιαστικά εισάγεται ένας έλεγχος και στην εκπομπή των PM αφού αυτά

είναι σε άμεση συνάρτηση με την παρουσία των οξειδίων του θείου. Πάντως μέχρι στιγμής δεν έχουν θεσπιστεί συγκεκριμένα όρια εκπομπών στα PM αλλά η IMO εστιάζει πρώτα και στην ακαδημαϊκή καταγραφή τους ώστε αργότερα να οριστούν συγκεκριμένα όρια.



Γράφημα 1 Όρια συγκέντρωσης SOx σύμφωνα με την MARPOL

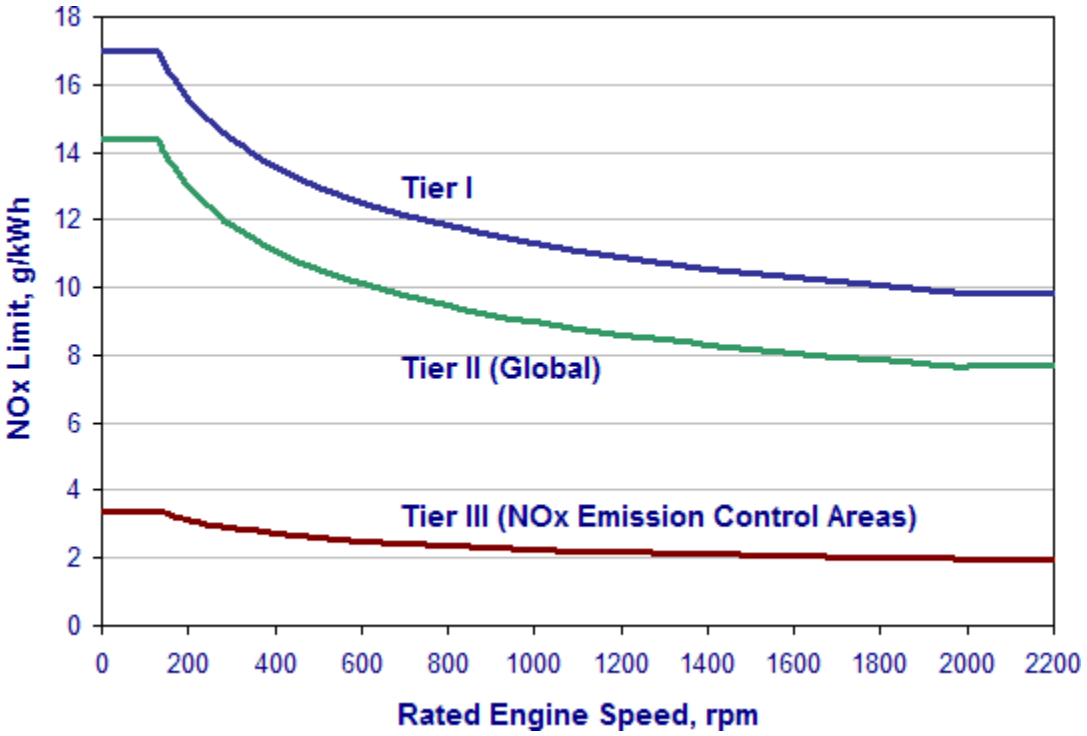
Οι εκπομπές των οξειδίων του αζώτου ρυθμίζονται βάσει των στροφών λειτουργίας των μηχανών του πλοίου. Τα όρια εφαρμόζονται για μηχανές άνω των 130 KW. Επιπρόσθετα καθιερώνεται ένα τριβάθμιο επίπεδο ελέγχου (Tier I, II,III) το οποίο περιορίζει επιπρόσθετα τις εκπομπές NOx ανάλογα την ημερομηνία κατασκευής της μηχανής, ενώ το αυστηρότερο επίπεδο (Tier III) καθιερώνει από το 2016 στις NOxECA ιδιαίτερα χαμηλά όρια εκπομπών. (3,4 gr/KWh).

Table 1. MARPOL Annex VI NOx Emission Limits

Tier	Date	NOx Limit, g/kWh		
		n < 130	**130 ≤ n < 2000**	**n ≥ 2000**
Tier I	2000	17.0	$45 \cdot n^{-0.2}$	9.8
Tier II	2011	14.4	$44 \cdot n^{-0.23}$	7.7
Tier III	2016†	3.4	$9 \cdot n^{-0.2}$	1.96

† In NOx Emission Control Areas (Tier II standards apply outside ECAs).

Πίνακας 1 Όρια συγκέντρωσης NOx σύμφωνα με την MARPOL



Γράφημα 2 Επιτρεπόμενες συγκεντρώσεις NOx συναρτήσει των στροφών λειτουργίας της μηχανής

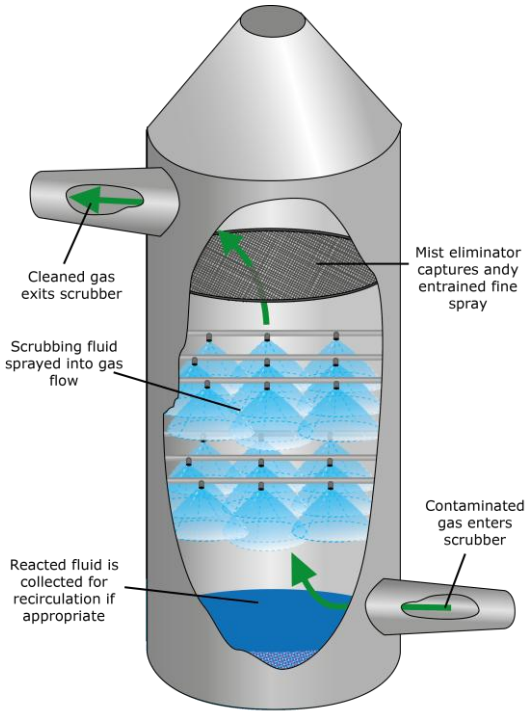
Πρόσφατα, σχηματοποιείται το θεσμικό πλαίσιο ελέγχου των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και ιδιαίτερα του CO2 και κατά συνέπεια εισάγεται η έννοια του ελέγχου των αερίων θερμοκηπίου όπως το μεθάνιο. Από τις εργασίες της MEPC εισήχθη το κεφάλαιο 4 στο παράρτημα VI όπου και εισάγονται δύο μεγέθη που θα χαρακτηρίζουν την ενεργειακή συμπεριφορά των πλοίων με έναρξη εφαρμογής από το 2013. Το πρώτο μέγεθος είναι ο Σχεδιαστικός Δείκτης Ενεργειακής Επίδοσης (EEDI) για νέα πλοία όπου απαιτείται ένα ελάχιστο επίπεδο ενεργειακής επίδοσης ανά τοννομίλι για διάφορα πλοία. Η αυστηροποίηση του πλαισίου θα τονώνει την τεχνολογική ανάπτυξη εφαρμογών που θα εξασφαλίζουν τα όρια. Καθότι η βέλτιστη θέσπιση κανόνων είναι άμεσης προτεραιότητας για τον IMO έχει καθιερωθεί η χρήση του Λειτουργικού Δείκτη Ενεργειακής επίδοσης (EEOI) σε όλα τα πλοία με σκοπό την ορθή συλλογή δεδομένων ώστε μέσω του σχεδίου Διαχείρισης της Ενεργειακής Επίδοσης πλοίου (SEEMP) να διασφαλίζεται η βιωσιμότητα των μέτρων περιορισμού αερίων εκπομπών θερμοκηπίου κυριότερα για το CO2 και δευτερευόντως για το μεθάνιο.

1.3 ΣΥΜΜΟΡΦΩΣΗ ΣΤΟΥΣ ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΥΣ

Το θεσμικό πλαίσιο που εισάγεται στη ναυτιλία για το περιορισμό των εκπομπών αερίων έχει συγκεκριμένο χρονικό και χωρικό ορίζοντα. Κύριο μέλημα του είναι η τόνωση της τεχνολογικής ανάπτυξη μεθόδων και μηχανισμών που θα επιτρέψουν την ικανοποίηση

των στόχων καθώς και της εισαγωγής νέων πρακτικών λειτουργικής διαχείρισης των στόλων.

Η εισαγωγή τεχνολογικών μέτρων είτε στοχεύει στη μείωση της απαίτησης ενέργειας από το πλοίο ή στη βελτίωση της απόδοσης του καυσίμου. Τα μέτρα αυτά σχετίζονται με τη ναυπηγική του ίδιου του πλοίου και απαιτούν πρωτοπόρα σχεδίαση με δέσμευση ισχυρών οικονομικών πόρων. Προσπάθειες γίνονται και στην ανασκευή πλοίων όμως τίθενται και ισχυροί περιορισμοί. Χαρακτηριστικότερες εφαρμογές είναι οι αποδοτικότερες μηχανές που δύνανται να χρησιμοποιούν και συνδυασμό καυσίμων (dual fuel engines) και οι τεχνολογίες κατακράτησης ρύπων (scrubbers). Ειδικότερα οι τεχνολογίες κατακράτησης ρύπων έχουν ευρεία εφαρμογή στα υφιστάμενα πλοία. Τα παραγόμενα καυσαέρια αποπλένονται με τη βοήθεια είτε θαλασσινού είτε γλυκού νερού οπότε και δεσμεύονται ειδικότερα μεγάλα ποσοστά αέριων ρύπων. Άλλος τρόπος είναι η κατακράτηση ρύπων μέσω καταλυτών (SCR)



Εικόνα 6 Αρχή λειτουργίας scrubber

Η χρήση καυσίμων φιλικότερων προς το περιβάλλον διασφαλίζει μικρότερες επιβλαβείς εκπομπές, όμως θα πρέπει η βιομηχανία να τα παράγει σε κλίμακα ικανή να ικανοποιήσει τη ζήτηση από τη ναυτιλία. Συνεπώς απαιτούνται νέες υποδομές και μεγάλα κεφάλαια. Μία εναλλακτική είναι η χρήση του MGO (Marine Gas Oil) που αποτελεί ένα κλάσμα του συνήθους καυσίμου της ναυτιλίας του FO (Fuel Oil) με συγκέντρωση θείου κάτω από 0,1%. Μεγάλη συζήτηση γίνεται γύρω από το υγροποιημένο φυσικό αέριο με τιμή

ανταγωνιστική (LNG) το οποίο ανάγεται σε ισχυρό παίκτη εντός της ναυτιλίας . Το LNG είναι καύσιμο απαλλαγμένο από το θείο ενώ διασφαλίζει μειωμένες εκπομπές NOx πετυχαίνοντας τα κριτήρια των SECA , της Tier III. Σημειώνεται όμως πως το LNG εκπέμπει και μεθάνιο, ένα αέριο του θερμοκηπίου με ισχυρότερη δράση από το CO2. Για το λόγο αυτό το LNG θεωρείται το μεταβατικό καύσιμο ωσότου η τεχνολογία παρέχει τις δυνατότητες αξιοποίησης του υδρογόνου και του βιοαερίου ειδικότερα του υγροποιημένου. Η επέκταση εφαρμογής του LNG απαιτεί την κατασκευή υποδομών για την υγροποίηση του καθώς και σταθμών φόρτωσης με LNG πλοίων ανά την υφήλιο. Επιπλέον η μεταφορά του εντός του πλοίου απαιτεί ειδικής σχεδίασης δεξαμενές μεταφοράς που μειώνει τη μεταφορική ικανότητα του πλοίου. Στατιστικά περίπου τρεις φορές περισσότερος χώρος δεσμεύεται από τη χρήση του LNG σε σχέση με το FO.

Η αγορά της ναυτιλίας αναγνωρίζει τις τεχνολογικές προκλήσεις και προσαρμόζεται στις νέες συνθήκες μέσω λειτουργικών μέτρων. Τα λειτουργικά μέτρα αλλάζουν το επιχειρησιακό σχεδιασμό ενός πλοίο καθώς και τη συντήρηση του. Έτσι η επιλογή διαδρομών που δεν επηρεάζονται από καιρικά φαινόμενα, ο βέλτιστος προγραμματισμός, ο καθαρισμός της προπέλας και του κύτους και ακόμα και η μείωση της ταχύτητας είναι μερικά μέτρα που άμεσα βελτιώνουν την ενεργειακή συμπεριφορά του πλοίου. Τέλος νέα επιχειρησιακά μοντέλα αρχίζουν να εφαρμόζονται στα λιμάνια με σκοπό την εν παραλλήλω εξυπηρέτηση των πλοίων.

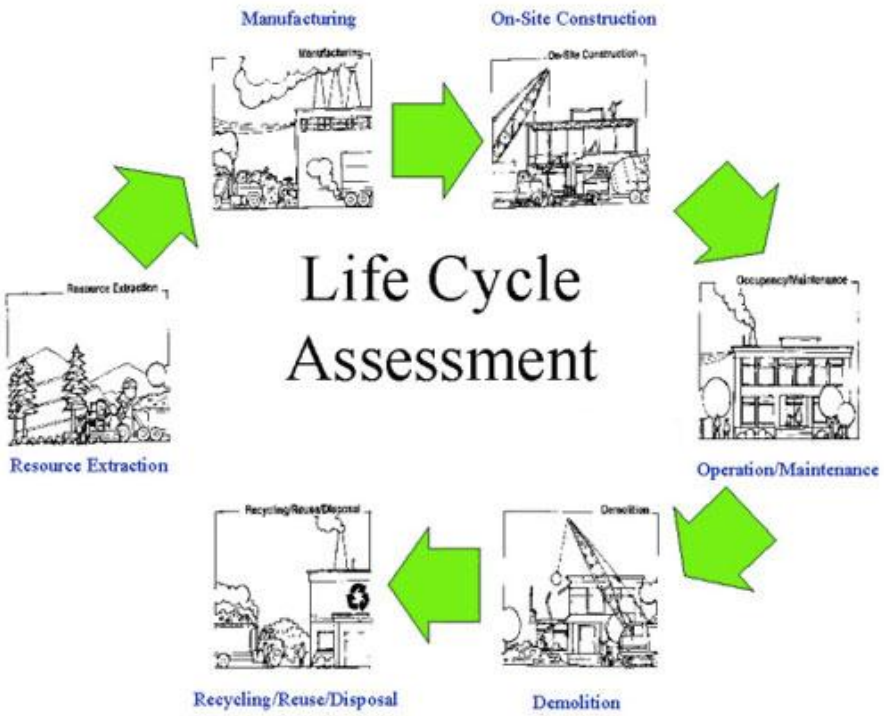
.

2 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ LCI

2.1 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ - ΔΟΜΗ

Ένα προϊόν ή μία υπηρεσία μπορεί να περιγραφεί ως ένα σύστημα που αποτελείται από συστατικά και δομείται από συνδέσεις μεταξύ αυτών. Στοιχεία και συνδέσεις συνιστούν μία ολότητα, το σύστημα. Ως διακριτή οντότητα διαφοροποιείται από το περιβάλλον του με το οποίο συναλλάσσεται με ροές όπως ενέργειας ή μάζας διαμέσου συγκεκριμένων ορίων χωρικών ή χρονικών. Η ποιοτική και ποσοτική περιγραφή και ανάλυση ενός συστήματος απαιτεί την εισαγωγή απλουστεύσεων οι οποίες θα είναι δυνατό αφενός να προσομοιάζουν αυτό, αφετέρου να πετυχαίνουν μία ικανοποιητική αναπαράσταση του πραγματικού συστήματος μέσω ενός μοντέλου.

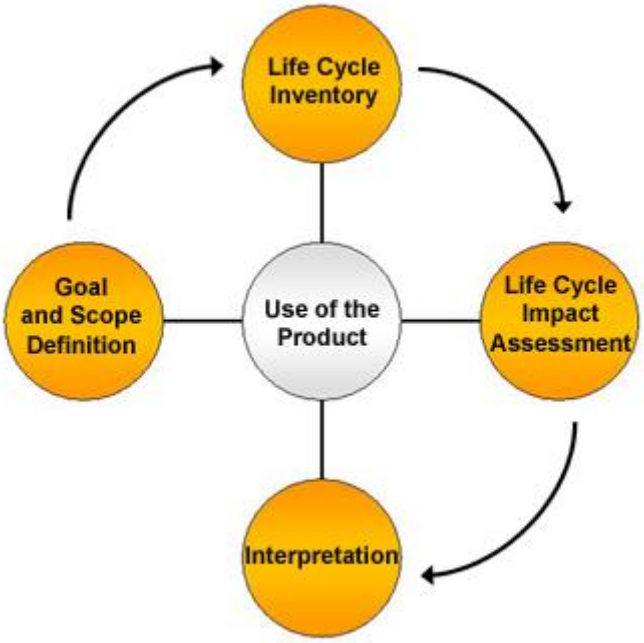
Η «Αξιολόγηση του Κύκλου Ζωής» (LCA – Life Cycle Assessment) αποτελεί ένα εργαλείο και μία μεθοδολογία η οποία προσδιορίζει και ποσοτικοποιεί τις συνέπειες από τη δημιουργία, τη λειτουργία ως και τη φάσης της ανακύκλωσης ή λήξης ύπαρξης ενός προϊόντος ή μίας υπηρεσίας ως ένα σύστημα στο περιβάλλον.



Εικόνα 7 Τα βασικά επίπεδα του κύκλου ζωής ενός συστήματος

Δύο πρότυπα ISO (ISO 14040 και ISO 14044) παρέχουν οδηγίες για την ανάπτυξη μιας LCA σε ένα σύστημα. Όμως το σχετικό εύρος αναφοράς μιας LCA επιτρέπει την προσαρμογή της ανάλογα με κριτήρια τα οποία ορίζονται για κάθε μελέτη. Στο πρότυπο ISO 14040 ορίζονται τέσσερις φάσεις μίας LCA

- Στόχος και Σκοπός – Goal and scope definition
- Ανάλυση Καταγραφής – Inventory Analysis (LCI)
- Εκτίμηση Συνεπειών – Impact Assessment (LCIA)
- Ερμηνεία – Interpretation



Εικόνα 8 Οι τέσσερις φάσεις μιας LCA

Ο προσδιορισμός του στόχου και του σκοπού μιας LCA περιγράφει το αναφερόμενο σύστημα και το λόγο σύνταξης της. Αποτελεί το βήμα για τον ακριβή προσδιορισμό παραμέτρων της LCA ώστε να γίνονται αντιληπτά τα χαρακτηριστικά της. Μια LCA στοχεύει στην ποσοτικοποίηση των συνεπειών ενός συστήματος στο περιβάλλον και αποτελεί ένα συγκριτικό εργαλείο λήψης απόφασης για την ανάπτυξη ή μη ενός προϊόντος ή μίας υπηρεσίας, ή για τον τρόπο βελτίωσης του.

Αναλυτικότερα, μέσω του στόχου και τους σκοπού προσδιορίζονται το είδος και η ακρίβεια της πληροφορίας που θα απαιτηθεί ως βάση δεδομένων. Παράλληλα, ορίζονται τα χρονικά και χωρικά όρια αναφοράς του υπό μελέτη συστήματος καθώς και η βασική

μονάδα μέτρησης (functional unit) ώστε να πετυχαίνεται η ομαλή ερμηνεία των αποτελεσμάτων μέσω της κανονικοποίησης ή άλλων στατιστικών εργαλείων.

Η Life Cycle Inventory Analysis (LCI) είναι η διαδικασία ποσοτικοποίησης των μεταβλητών ως μεγέθη που παράγονται κατά τη διάρκεια του κύκλου ζωής ενός συστήματος. Τέτοια μεγέθη όπως οι εκπομπές αερίων ή τα στερεά απόβλητα αποτελούν το αίτιο για την διαδραστικότητα του συστήματος με το περιβάλλον. Αποτελείται από τρία κύρια μέρη, την κατασκευή του διαγράμματος ροής του κύκλου ζωής του συστήματος εντός ορίων, τη συλλογή δεδομένων και τον υπολογισμό των δεδομένων εξόδου, όπως οι εκπομπές στη βασική μονάδα μέτρησης. Ειδικότερα προσδιορίζεται επακριβώς το διάγραμμα ροής των διαδικασιών που θα αξιολογηθούν σύμφωνα με τις απαιτήσεις της LCA και τον επιδιωκόμενο βαθμό πολυπλοκότητας περιγραφής. Η πολυπλοκότητα είναι ανάλογη της ακρίβειας αλλά αντιστρόφως ανάλογη του χρόνου διεκπεραίωσης μιας LCA. Το διάγραμμα ροής διακρίνει τα υποσυστήματα της LCA ώστε να προσδιορίζονται εμφανώς και το είδος και η πηγή της συλλεγόμενης πληροφορίας που θα αποτελεί είσοδο στο σύστημα. Η εξαγωγή των αποτελεσμάτων από τη φάση της LCI θα απαιτήσει υποθέσεις και απλουστεύσεις κυρίως στον αλγόριθμο υπολογισμού των δεδομένων εξόδου.

Η Life Cycle Impact Assessment είναι η διαδικασία όπου υπολογίζονται οι συνέπειες που προκαλούνται στο περιβάλλον και στον άνθρωπο λόγω των ροών (εκπομπές αερίων, απόβλητα) που προκύπτουν από το κύκλο ζωής ενός συστήματος. Στη φάση αυτή οι ροές αυτές αθροίζονται μετά την μετατροπή τους σε ισοδύναμα μεγέθη , κανονικοποιούνται και συνδυάζονται ώστε να γίνεται γνωστή η ακριβής επίδραση που έχουν σε καίριους τομείς κατηγορίες όπως είναι η παγκόσμια θέρμανση, ο ευτροφισμός, η ανθρώπινη υγεία το φωτοχημικό νέφος.

Το τελευταίο στάδιο της LCA είναι η ερμηνεία των αποτελεσμάτων (interpretation) μέσω μιας περιεκτικής και συμπυκνωμένης παρουσίασης. Τα αποτελέσματα αναλύονται , κρίνονται και ζυμώνονται υπό το πρίσμα της χάραξης πολιτικής με σκοπό την εξαγωγή συμπερασμάτων και την εκπόνηση προτάσεων

2.2 ΠΡΟΚΛΗΣΕΙΣ ΚΑΙ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΕΙΣ

Η LCA απαιτεί συμβάσεις τις οποίες πρέπει επακριβώς να κατανοήσει ο μελετητής και ο αναγνώστης καθότι προσομοιάζει την πραγματικότητα. Σε κάθε προσομοίωση εισάγονται απλουστεύσεις λόγω των περιορισμών που επιβάλλονται στο μελετητή κατά την εκπόνηση μιας LCA. Οι συμβάσεις αυτές έχουν καταλυτικό ρόλο στην ορθή ανάπτυξη μιας LCA

2.2.1 Η Αβεβαιότητα των Δεδομένων Εισόδου

Οι κυριότερες πηγές δεδομένων προέρχονται από βάσεις, η σύνταξη των οποίων απαιτεί χρόνο , έρευνα και πολλές ανθρωποώρες επιστημονικού προσωπικού. Το σημαντικότερο θέμα το οποίο ο μελετητής θα πρέπει από τα πρώτα βήματα της LCA να αναγνωρίζει, να κατανοήσει, να αναλύσει και να σεβαστεί είναι η αβεβαιότητα η οποία χαρακτηρίζει όλα τα βήματα μίας ανάλυσης. Η LCA είναι ένα μοντέλο που προσομοιάζει και προβλέπει τη συμπεριφορά του συστήματος εντός ορίων. Η πρόβλεψη από μόνη της περικλείει την αβεβαιότητα. Οι κυριότερες πηγές αβεβαιότητας είναι:

1. Η επάρκεια , η αξιοπιστία, η συνέπεια και η ακρίβεια των δεδομένων εισόδου.

2. Η Προκαταρκτική επιλογή και διαλογή των δεδομένων εισόδου που είτε προέρχονται από βάσεις δεδομένων, είτε παράγονται από αυτές.

3. Η ποσότητα των παραμέτρων ενός συστήματος LCA που θα αμεληθούν ως ήσσονος σημασίας

4. Οι χρονικοί και χωρικοί περιορισμοί των βάσεων δεδομένων

5. Η μη επακριβής περιγραφή και απλούστευση των διαδικασιών του συστήματος λόγω άγνοιας των φαινομένων και των διαδικασιών

6. Μία LCA πραγματεύεται συνήθως ένα τεράστιο φάσμα επιστημονικών πεδίων. Η τάση αυτή σε συνδυασμό με την περιπλοκότητα και την αλληλοεπικάλυψη των υποσυστημάτων δημιουργεί υψηλή αβεβαιότητα

7. Η LCA είναι προσδιοριστική και αναλυτική μεθοδολογία. Βασίζεται όμως πολλές φορές σε δεδομένα εισόδου από στοχαστικές διαδικασίες. Ως αποτέλεσμα αβεβαιότητα εμπερικλείεται εντός των δεδομένων χωρίς να γίνεται καν αντιληπτή.

2.2.2 Απλουστεύσεις

Τα συστήματα στην πραγματικότητα είναι πολύπλοκα και αλληλεπικαλυπτόμενα. Η προσομοίωση των συστημάτων απαιτεί την εισαγωγή απλουστεύσεων που αποτελούν εμπόδιο για την καθολική ανάπτυξη μιας LCA και επιβάλλεται από την αβεβαιότητα, την ανακρίβεια, τις εκτιμήσεις και τους περιορισμούς της LCA. Μια τέλεια LCA είναι ανέφικτη και μέσα από αυτό το πρίσμα πρέπει να αξιολογούνται τα αποτελέσματα για τη λήψη αποφάσεων ειδικότερα στις

περιπτώσεις συγκριτικών αναλύσεων. Συνεπώς κάθε LCA είναι εξατομικευμένη και διαλλακτική ως προς τις απαιτήσεις που θέτουν τα πρότυπα.

Οι απλουστεύσεις εφαρμόζονται με δύο τρόπους: είτε με τον περιορισμό του σκοπού μίας μελέτης περιορίζοντας ενδεικτικά τα χωρικά ή χρονικά όρια αναφοράς της LCA είτε με το συμβιβασμό στην ποιότητα των δεδομένων εισόδου, ενδεικτικά με τη χρήση μιας βάσης δεδομένων. Συνακόλουθα η LCA θα στοχεύει στα σημαντικότερα τμήματα ενός κύκλου ζωής συμβιβάζοντας την ποιότητα των δεδομένων αλλά και το χρόνο. Η εστίαση αυτή διευκολύνει και το λήπτη αποφάσεων αφού ο συγκεντρωτισμός των αποτελεσμάτων μπορεί να ικανοποιήσει τα κριτήρια επιλογής χάραξης πολιτικής και στρατηγικής.

2.2.3 Προβλήματα Κατανομής

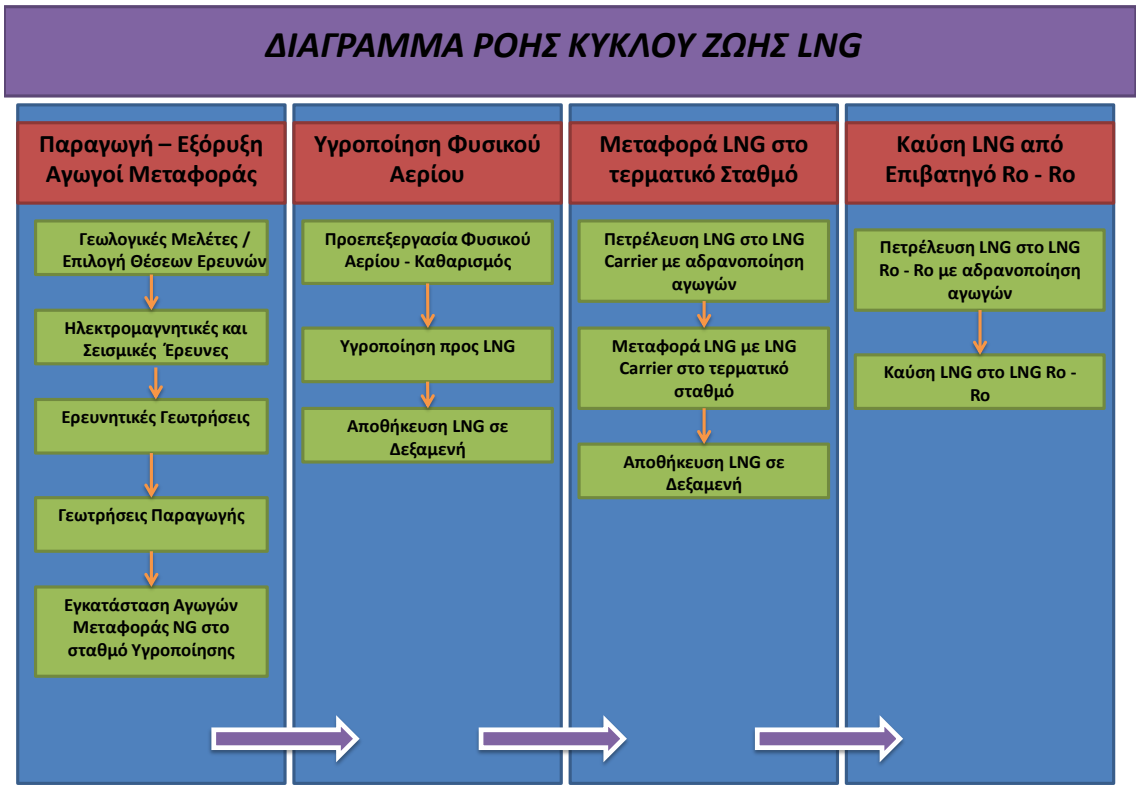
Η κατανομή (allocation) είναι άλλη μία πρόκληση για την LCA. Προβλήματα κατανομής παρουσιάζονται όταν μία διαδικασία (π.χ. η διύλιση) εξάγει πολλά παράγωγα (ενδεικτικά κηροζίνη, άσφαλτος, βενζίνη) με συνολική παραγωγή εκπομπών αερίων που δεν ενδιαφέρουν το κύκλο ζωής ενός συστήματος (για παράδειγμα η παραγωγή κηροζίνης) αφού αυτή η LCA θα επιζητούσε τον προσδιορισμό των εκπομπών αερίων εκπομπών κατά τη φάση της διύλισης μόνο της κηροζίνης. Αντίστοιχο πρόβλημα κατανομής μπορεί να προκύψει και από δεδομένο εισόδου το οποίο περιγράφει περισσότερα υποσυστήματα και όχι ειδικά το σύστημα αναφοράς.

3 LNG – ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΡΟΗΣ

3.1 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ

Το φυσικό αέριο είναι ένα καύσιμο μείγμα από αέριους υδρογονάνθρακες με κύριο εκπρόσωπο το μεθάνιο. Περιλαμβάνονται όμως και το αιθάνιο, το προπάνιο, το βουτάνιο και το πεντάνιο. Το φυσικό αέριο θεωρείται περιβαλλοντικά φιλικό λόγω της μικρής σχετικής περιεκτικότητας του σε άνθρακα. Σήμερα ικανοποιεί το 25% των αναγκών σε ενέργεια παγκοσμίως και χρησιμοποιείται για θέρμανση αλλά και για τις μετακινήσεις στη ξηρά. Η τάση αυτή μεταδίδεται και στις θαλάσσιες μεταφορές.

Η επιστήμη της κρυογονικής επιτρέπει την μετατροπή του φυσικού αερίου σε υγροποιημένο φυσικό αέριο (LNG). Το LNG υγροποιείται σε θερμοκρασία -162°C και συμπεριφέρεται σαν κρυογονικό ρευστό. Όντας ρευστό καταλαμβάνει όγκο που αντιστοιχεί στο 1/600 του αντίστοιχου σε αέρια μορφή ενώ καθίσταται εργάσιμο στη μεταφορά στην αποθήκευση και στην τελική χρήση.

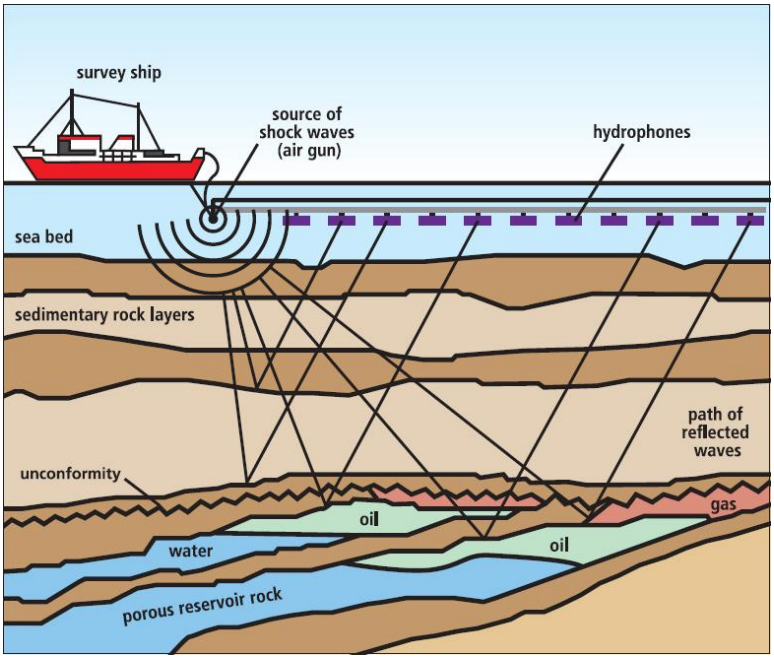


Εικόνα 9 Διάγραμμα Ροής Κύκλου Ζωής LNG

3.2 ΠΑΡΑΓΩΓΗ - ΕΞΟΡΥΞΗ

Η παραγωγή του φυσικού αερίου έπεται της έρευνας στους πιθανούς ταμιευτήρες κοιτασμάτων. Οι έρευνες πραγματοποιούνται με ηλεκτρομαγνητικές και σεισμικές μελέτες ενώ έπονται οι ερευνητικές γεωτρήσεις. Αν το μέγεθος του ταμιευτήρα και η ποιότητα του αερίου κριθούν ικανοποιητικά και οικονομικά αξιοποιήσιμα πραγματοποιούνται οι γεωτρήσεις παραγωγής. Γεωτρήσεις πραγματοποιούνται και για υποθαλάσσιους ταμιευτήρες ακόμα και σε περιοχές υπερπόντιες (off-shore). Σε αυτές τις περιπτώσεις ειδικές κατασκευές από σκυρόδεμα και ατσάλι θα διασφαλίσουν την εξόρυξη του αερίου.

Αρχικά, πριν την εξόρυξη του αερίου απαιτείται η έρευνα με σεισμικές μεθόδους για τον προσδιορισμό και αναπαράσταση της γεωλογίας. Στο θαλάσσιο περιβάλλον, ειδικής κατασκευής πλοία εκτελούν γεωφυσικές διασκοπήσεις . Όλη αυτή η διαδικασία τελεσφορεί με τη συγκέντρωση δεδομένων τα οποία αξιολογεί ο γεωφυσικός με σκοπό τη διερεύνηση για το αν απαντώνται στρώματα με συγκεκριμένη διάταξη ώστε να ευνοείται ο σχηματισμός ταμιευτήρα με παρουσία αερίου . Με την ανάλυση των δεδομένων επιλέγονται θέσεις οπού θα πραγματοποιηθούν ερευνητικές γεωτρήσεις.

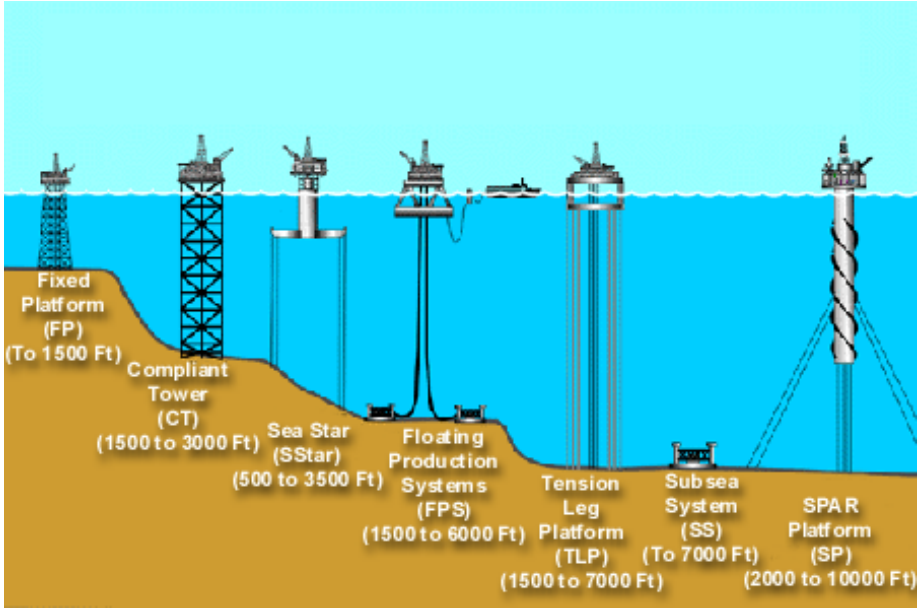


Εικόνα 10 Ερευνητικές εργασίες εντοπισμού κοιτασμάτων

Μέχρι την πραγματοποίηση των ερευνητικών γεωτρήσεων καμία οριστική απόφαση δε μπορεί να ληφθεί σχετικά με την αξιοποίηση του κοιτάσματος. Ανάλογα τη θέση και το βάθος της εξόρυξης επιλέγονται διαφορετικές μεθοδολογίες γεώτρησης. Στο φρέαρ της

γεώτρησης τοποθετούνται ειδικά μηχανήματα που επιτρέπουν με ακουστικές και ηλεκτρομαγνητικές μεθόδους να προσδιορίσουν τη πίεση , τη θερμοκρασία , το πορώδες , τη περιεκτικότητα σε νερό και τη διαστρωμάτωση των γεωλογικών διατάξεων. Επιπλέον συλλέγονται δείγματα εδάφους ή βράχου για περεταίρω έρευνα. Η επεξεργασία των δεδομένων αυτών θα καθορίσει αν το υπό έρευνα κοίτασμα είναι και εμπορικά αξιοποιήσιμο.

Η επιτυχής ολοκλήρωση των ερευνητικών εργασιών επιτρέπει την κατασκευή γεώτρησης για την εξόρυξη αερίου. Η συγκεκριμένη γεώτρηση απαιτεί μία μόνιμη κατασκευή από ατσάλι η οποία αποτελεί την είσοδο των εξορυκτικών μηχανισμών. Έτσι το ατσαλένιο περίβλημα προστατεύει και από τις ωθήσεις γαιών. Μεταξύ του ατσαλένιου περιβλήματος και της γης παρεμβάλλεται εγχεόμενο μπετόν ώστε να αποτελέσουν ένα σώμα. Το φυσικό αέριο λόγω της πίεσης βρίσκει διέξοδο και οδηγείται στην επιφάνεια της πλατφόρμας ή σε άλλο αγωγό με σκοπό να οδηγηθεί στο σταθμό υγροποίησης.



Εικόνα 11Κατασκευαστικές παραλλαγές εξόρυξης

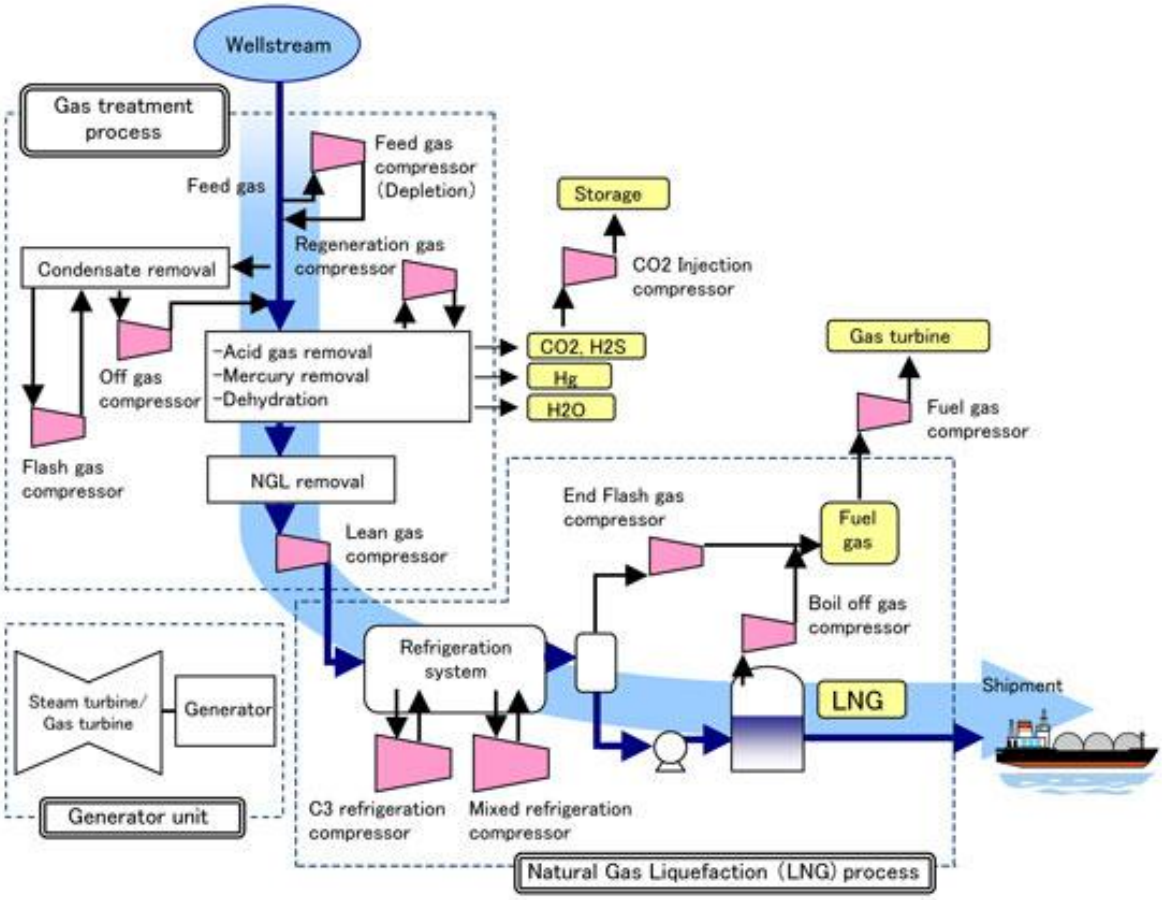
3.3 ΣΥΣΤΗΜΑ ΑΓΩΓΩΝ

Στη θέση εξόρυξης του φυσικού αερίου εγκαθίσταται αγωγός μεταφοράς αυτού στην εγκατάσταση προεπεξεργασίας καθαρισμού και πιθανώς υγροποίησης του. Ο αγωγός μεταφοράς είναι από χάλυβα υψηλών αντοχών, απαιτεί πολλές φορές διακρατικές συμφωνίες , ένταση κεφαλαίου και είναι αντικείμενο γεωπολιτικών συσχετισμών, Το αέριο μεταφέρεται με την επίτευξη διαφοράς πίεσης στην αρχή και στο τέλος ενώ κατά

μήκος των αγωγών υπάρχουν βαλβίδες και αντλίες που διασφαλίζουν την διαφορά πίεσης καθότι αυτή μειώνεται λόγω τριβών.

3.4 ΚΑΘΑΡΙΣΜΟΣ - ΥΓΡΟΠΟΙΗΣΗ - ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ

Σε ένα σταθμό υγροποίησης λαμβάνουν χώρα δύο κύριες εργασίες. Η πρώτη εργασία είναι του καθαρισμού του φυσικού αερίου από όξινα αέρια τα οποία θα μπορούσαν να υγροποιηθούν κατά τη ψύξη του αερίου και να αποκτήσουν διαβρωτικό ρόλο στους εναλλάκτες σε συνδυασμό με ίχνη υδραργύρου. Επίσης το αέριο απαλλάσσεται από το νερό, το άζωτο. Για την αφυδάτωση χρησιμοποιείται μεθανόλη ενώ για την αποθείωση ενεργός άνθρακας και γλυκόλη .



Εικόνα 12 Διάγραμμα Ροής Διαδικασίων Καθαρισμού και Υγροποίησης του Φυσικού Αερίου

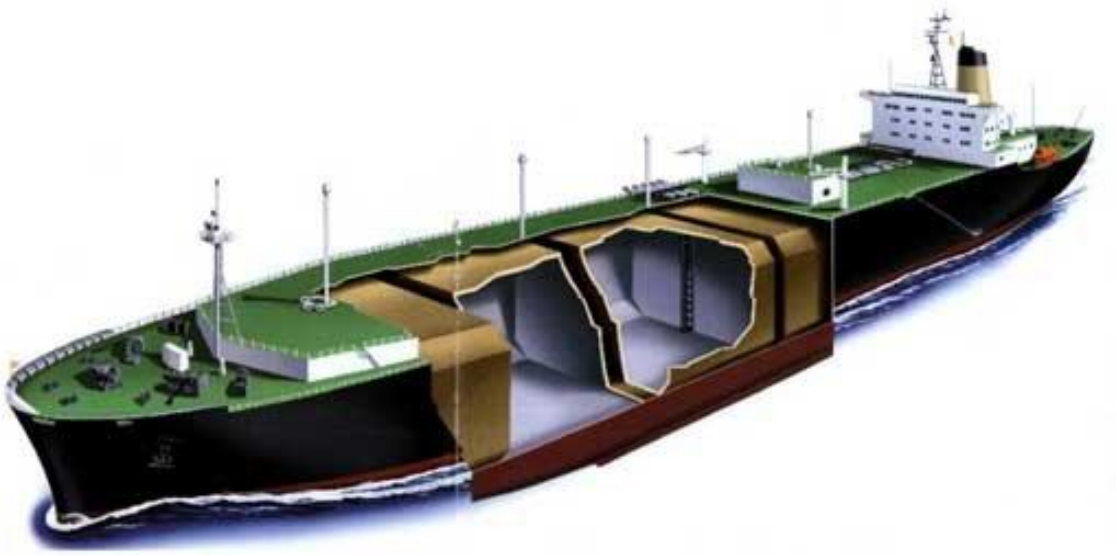
Ακολουθεί η διαδικασία της υγροποίησης όπου με συνεχή ψύξη απαλλάσσεται το φυσικό αέριο από βαρείς υδρογονάνθρακες και μετατρέπεται σε LNG σε θερμοκρασία -162oC έτοιμο για τη μεταφορά του από LNG Carriers.

Εικόνα 13 Εργοστάσιο υγροποίησης Φυσικού Αερίου

3.5 ΜΕΤΑΦΟΡΑ – LNG CARRIER

Το LNG μεταφέρεται με LNG carriers , πλοία ειδικής σχεδίασης, σε δεξαμενές με τοιχώματα μονωμένα όπου το LNG διατηρείται σε υγρή μορφή αυτοψυχόμενο. Αυτό πετυχαίνεται με το Boil – Off – Gas (BOG). Η μόνωση των τοιχωμάτων δεν είναι απόλυτα επιτυχής και έτσι LNG αεριοποιείται μέσω βράσης με την ψύξη της θερμοκρασίας. Η αεριοποίηση , δηλαδή η αλλαγή της φάσης διασφαλίζει την αυτοψύξη του LNG και τη διατήρηση θερμοκρασίας βρασμού. Το BOG είναι αέριο που μολύνει την ατμόσφαιρα για αυτό και αναπτύσσονται τεχνολογίες ανάκτησης του ή εκμετάλλευσης του για την πρόωση του πλοίου ή την παράγωγη ηλεκτρισμού.

Οι κρυογονικές δεξαμενές εντός του πλοίου σχεδιάζονται για να αντέχουν τόσο την χαμηλή θερμοκρασία αλλά και τις πιέσεις. Υπάρχουν δύο είδη δεξαμενών: Μεμβράνης και Αυτό- υποστηριζόμενες της Moss Maritime. Οι δεξαμενές μεμβράνης είναι πρισματικής σχεδίασης και εντάσσονται μέσα στο κύτος του πλοίου.



Εικόνα 14 LNG Carrier με δεξαμενές μεμβράνης

Οι δεξαμενές Moss είναι σφαιρικές και θεωρούνται ως οι ασφαλέστερες και πιο αξιόπιστες στην αγορά της ναυτιλίας. Οι Moss δεξαμενές δεν αποτελούν στοιχείο του κύτους και έτσι ανεξαρτητοποιούνται σε περίπτωση αστοχίας στο κύτος του πλοίου. Με αυτό τον τρόπο δεν απαιτείται η κατασκευή ασφαλιστικών διατάξεων μεταξύ κύτους και δεξαμενής όπως συμβαίνει στις δεξαμενές μεμβράνης. Οι δεξαμενές Moss διακρίνονται στο LNG carrier αφού εκτείνονται άνωθεν αυτού. Τα περισσότερα LNG carriers έχουν τέσσερις με έξι δεξαμενές κατά μήκος του πλοίου κατασκευάζονται συνήθως είτε από αλουμίνιο είτε από ανοξείδωτο χάλυβα με όγκους που κυμαίνονται από 150000 ως 280000 μ3. Το σύνηθες βάρος είναι στους 800 τόνους ενώ το μονωτικό υλικό είναι πολυουρεθάνη.

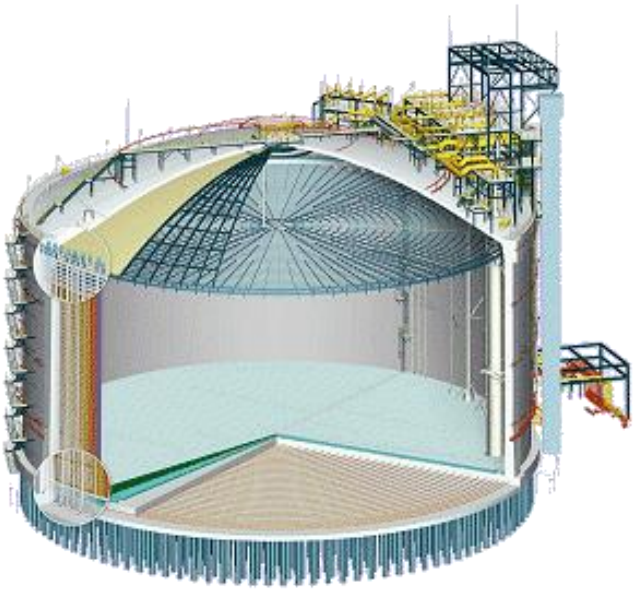
Εικόνα 15 LNG Carrier με δεξαμενές τύπου Moss

Η φόρτωση του LNG στα LNG carriers πραγματοποιείται αρχικά με την αδρανοποίηση της δεξαμενής με άζωτο ή διοξείδιο του άνθρακα ώστε να απομακρυνθεί το οξυγόνο. Η διαδικασία αυτή διασφαλίζει τη μη δημιουργία συνθηκών έκρηξης εντός της δεξαμενής. Το αδρανές αέριο θα πρέπει έπειτα να απομακρυνθεί ώστε να μη δημιουργηθούν συμπυκνώματα με την έγχυση μικρής ποσότητας LNG στις δεξαμενές που οδηγεί το αδρανές αέριο σε συλλέκτες. Εκεί το μείγμα καίγεται για να μην αφεθεί ως ρύπος στην ατμόσφαιρα. Οι δεξαμενές έπειτα ψύχονται ώστε να υποδεχτούν το LNG σε κρυογονικές συνθήκες. Η ψύξη γίνεται με την έγχυση μικρών ποσοτήτων LNG που με την εξάτμιση του σιγά σιγά ψύχει τη δεξαμενή. Η πρόψυξη πετυχαίνεται σε περίπου 36 ώρες οπότε και η δεξαμενή έχει θερμοκρασία -140 ^{o}C και μπορεί να υποδεχτεί το LNG. Υπερβάλλων LNG το οποίο αεριοποιήθηκε είτε καίγεται είτε υγροποιείται μέσω συμπιεστών.

Το LNG Carrier μεταφέρει στο LNG terminal (εγκαταστάσεις αποθήκευσης) το LNG όπου αγωγός αδρανοποιημένος και προψυχμένος παραλαμβάνει από το πλοίο το φορτίο του.

3.6 ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ - ΠΕΤΡΕΛΕΥΣΗ

Στους σταθμούς LNG, το LNG αποθηκεύεται σε μεγάλες κρυογονικές δεξαμενές κάτω από αυστηρούς κανόνες και υπό συνεχή επιτήρηση και συντήρηση. Οι δεξαμενές είναι άριστα μονωμένες ώστε να διατηρήσουν το LNG στην επιθυμητή θερμοκρασία εντούτοις boil – off gas εμφανίζεται. Επιβάλλεται η σωστή διαχείριση του boil off gas ώστε να μην καίγεται ή να διατίθεται ανεξέλεγκτο στο περιβάλλον. Μέτρα ορθής ανάκτησης είναι η υγροποίηση του και εναπόθεση ξανά εντός δεξαμενής και η παραγωγή ηλεκτρισμού. Μικρές ποσότητες όμως δε δικαιολογούν τα υψηλά κόστη επανάχρησης του.



Εικόνα 16 Δεξαμενή αποθήκευσης LNG

Ο εφοδιασμός ενός πλοίου που χρησιμοποιεί LNG γίνεται με αδρανοποιημένους και προψυγμένους αγωγούς μεταφοράς. Η διαδικασία γίνεται με τρείς μεθόδους. Οι δύο είναι οι πλέον συνηθισμένες : 1) Η δεξαμενή –πλοίο 2) Η φορτηγό – πλοίο για μικρά πλοία κυρίως.. Η τρίτη είναι η μέθοδος πλοίο –πλοίο όπου πλοίο LNG μεταφέρει απευθείας σε συμβατικό πλοίο LNG. Συνοπτικά η διαδικασία περιλαμβάνει την πρόψυξη των αγωγών μεταφοράς, την πρόψυξη των αντλιών της, σύνδεση των αγωγών, την αδρανοποίηση με άζωτο για αποφυγή εκρηκτικών συνθηκών, τον καθαρισμό με φυσικό αέριο, το άνοιγμα των βαλβίδων, τη μετάγγιση του αερίου και τέλος τον καθαρισμό των αγωγών με αδρανοποίηση με άζωτο.

3.7 ΕΝ ΠΛΩ – ΤΟ LNG ΩΣ ΚΑΥΣΙΜΟ ΣΕ Ε/Γ

Το τελικό στάδιο του κύκλου του LNG είναι η εν πλω αποθήκευση και η καύση του στη μηχανή. Μόλις το LNG βρεθεί στη δεξαμενή καυσίμων και στο μηχανοστάσιο, ηλεκτρονικά συστήματα εποπτεύουν και διασφαλίζουν ότι το LNG δε θα διαρρεύσει. Οι σωλήνες δεν είναι διπλού τοιχώματος λόγω της υψηλής αυτοματοποιημένης παρακολούθησης. Από τη μονωμένη με πολυουρεθάνη δεξαμενή το LNG αποστέλλεται σε εξατμιστή όπου και προθερμαίνεται. Δεν απαιτούνται αντλίες αφού η κίνηση πετυχαίνεται λόγω διαφορικών πιέσεων ενώ τυχόν BOG αποστέλλεται στη μηχανή. Οι εκπομπές που προκαλούνται από τη χρήση του LNG εξαρτώνται ισχυρά από τον τύπο της μηχανής, το πλοίο και το λειτουργικό σχεδιασμό.

Δύο LNG συστήματα καυσίμου εντός πλοίου απαντώνται:

1) Σύστημα με μόνωση δεξαμενής με κενό και εξατμιστές όπου η μεν πίεση του LNG στη δεξαμενή πετυχαίνεται με τον Εξατμιστή Δεξαμενής ο οποίος στέλνει συνεχώς αέριο στη Δεξαμενή LNG ενώ ο LNG εξατμιστής μετατρέπει το LNG σε αέριο που αποστέλλεται στο θερμαστή για να αποκτήσει την επιθυμητή θερμοκρασία και πίεση αερίου που απαιτεί η μηχανή. Όλη κίνηση διασφαλίζεται μέσω διαφορικής πίεσης.

2) Σύστημα με συμπιεστή όπου η δεξαμενή είναι μονωμένη με πολυουρεθάνη και έτσι παράγεται και BOG. Το BOG μπορεί να αποσταλεί στην μηχανή ενώ μέσω αυτής της διαδικασίας επιτυγχάνονται και οι θεμιτές συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίας εντός δεξαμενής. Η επιθυμητή όμως πίεση αερίου στη μηχανή επιτυγχάνεται με συμπιεστή.

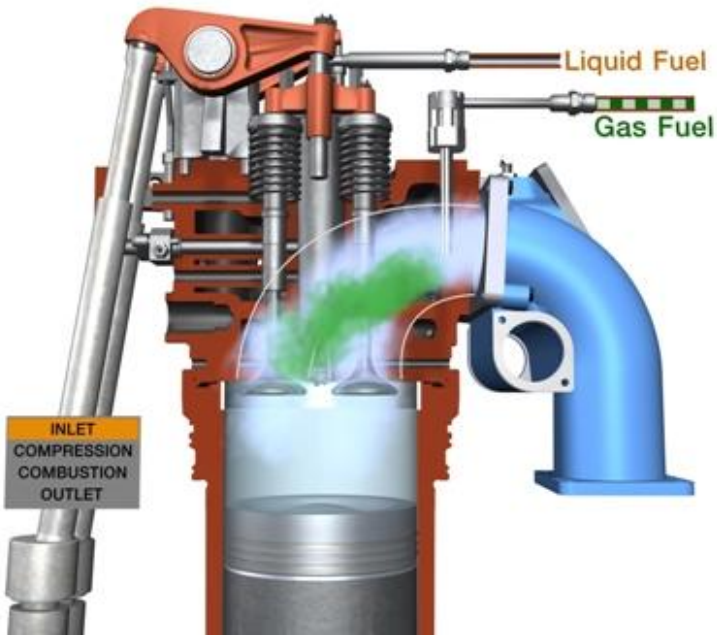
Συνήθως δύο δεξαμενές LNG τροφοδοτούν τις δύο μηχανές ενός πλοίου. Επιπλέον πολλά πλοία είναι εξοπλισμένα και με μηχανές Diesel ώστε σε περίπτωση έλλειψης LNG λόγω λίγων τερματικών εφοδιασμού το πλοίο να μπορεί να κάνει χρήση Diesel. Επίσης συναντάται και η χρήση των Dual fuel μηχανών. Οι μηχανές αυτές χρησιμοποιούν τόσο MDO όσο και LNG. Θεωρείται όμως πως παρατηρείται διαρροή μεθανίου που συνιστά αξιόλογο ρύπο του θερμοκηπίου.

Εικόνα 17 Μηχανολογική διάταξη LNG πλοίου

Αναλυτικότερα, τα πλοία που κινούνται με LNG μπορούν κινηθούν είτε με μηχανές που καίνε LNG ή με Dual fuel μηχανές. Μηχανές που καίνε μόνο LNG (lean burn gas-fuelled engines – LBGFE) προμηθεύονται από την Rolls Royce ενώ dual fuel από την Wärtsilä και την MAN. Στα LNG carriers χρησιμοποιούνται και λέβητες σε συνδυασμό με ατμοστρόβιλους για την πρόωση. Εντούτοις οι ατμοστρόβιλοι έχουν χαμηλή αποδοτικότητα και η αγορά πλέον στρέφεται σε μηχανές diesel ή και dual fuel και στα LNG carriers.

Οι LBGFE δουλεύουν μόνο με αέριο και συνεπώς οι θερμοκρασίες καύσης είναι χαμηλές άρα ευνοείται η μη δημιουργία νιτρικών. Η μηχανή δουλεύει σύμφωνα με το κύκλο του Otto. Το αέριο εκχύνεται σε χαμηλή πίεση. Στιες μηχανές αυτές απαντάται ένας προθάλαμος όπου το αέριο αναφλέγεται εύκολα και διευκολύνει την καύση του κυρίως μείγματος στον κύλινδρο.

Οι Dual-fuel μηχανές δουλεύουν επίσης σύμφωνα με το κύκλο Otto αλλά η έναυση επιτυγχάνεται με την έκχυση ποσότητας Diesel στο θάλαμο καύσης για να διευκολυνθεί η καύση. Η ποσότητα diesel είναι σε ποσότητα κάτω του 1%. Όταν η μηχανή δουλεύει σε diesel mode βρίσκεται σε συμβατική λειτουργία,. Οι μηχανές δουλεύουν σε κύκλο diesel με το καύσιμο να εκχύνεται σε υψηλή πίεση μέσω των ψεκαστήρων. Η MAN έχει αναπτύξει 2-χρονη dual fuel μηχανή. Χρησιμοποιείται κυρίως στα LNG carriers αλλά μπορεί να χρησιμοποιηθεί και σε Ro-Ro. Σε αυτή τη μηχανή η καύση πραγματοποιείται με αέριο σε υψηλή πίεση που αγγίζει τα 250bar. Η τεχνολογία σύντομα θα παράγει μηχανές που θα ικανοποιούν τα κριτήρια Tier III.



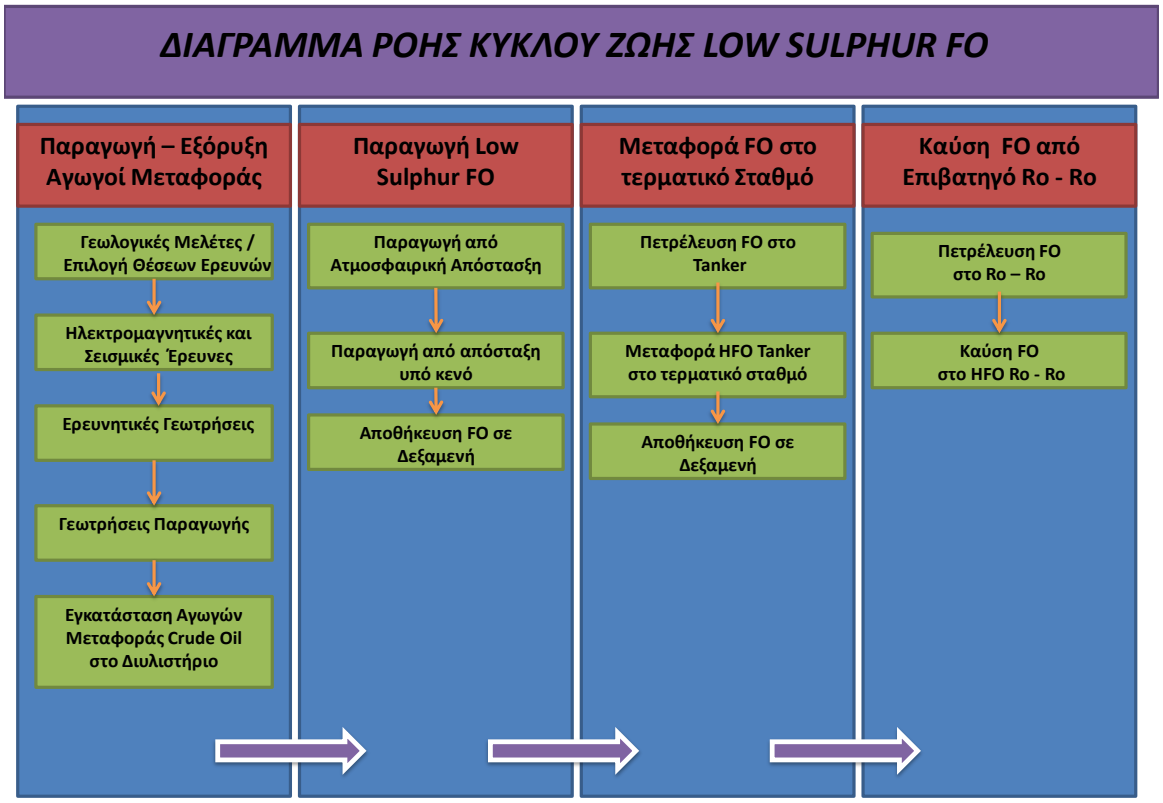
Εικόνα 18 Dual fuel λειτουργία

Ενδιαφέρον παρουσιάζει η δυνατότητα μετατροπών υφισταμένων μηχανών να δουλεύουν και με φυσικό αέριο με μικρές μετατροπές. Κύριο χαρακτηριστικό είναι ότι οι εκπομπές NOX είναι υψηλότερες σε σχέση με τις LBGFE ή τις dual fuel μηχανές και δεν ικανοποιούν όμως τα κριτήρια Tier III.

4 FO – ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΡΟΗΣ

4.1 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ

Το Low Sulphur Fuel Oil (FO) είναι υπόλοιπο της διαδικασίας της πετρελαϊκής απόσταξης καύσιμο υψηλού ιξώδους και πυκνότητας. Θεωρείται ως καύσιμο το πλέον ρυπογόνο το οποίο παράγεται σε ένα διυλιστήριο αλλά και το φτηνότερο. Η περιεκτικότητα του σε θείο είναι ένα από τα χαρακτηριστικά το οποίο έχει μεγάλη σημασία τα τελευταία χρόνια καθότι θεωρείται αιτία για όξινη βροχή και αναπνευστικά προβλήματα. Με την δημιουργία των SECA και σε συνδυασμό με τη συνεχή αυστηροποίηση των κανονισμών έναντι των εκπομπών που προέρχονται από τη χρήση του FO η περιεκτικότατα του σε θείο μπορεί να μειωθεί σε κάτω από 1%. Το FO είναι το κατεξοχήν καύσιμο της ναυτιλίας με κατανάλωση που υπερβαίνει τα 280 εκατομμύρια τόνους ετησίως και ειδικότερα το FO με συγκέντρωση S κάτω από 1% θα επεκταθεί και για το λόγο η LCA του αποτελεί το αντικείμενο της εργασίας.



Εικόνα 19 Διάγραμμα ροής κύκλου ζωής Low Sulphur FO

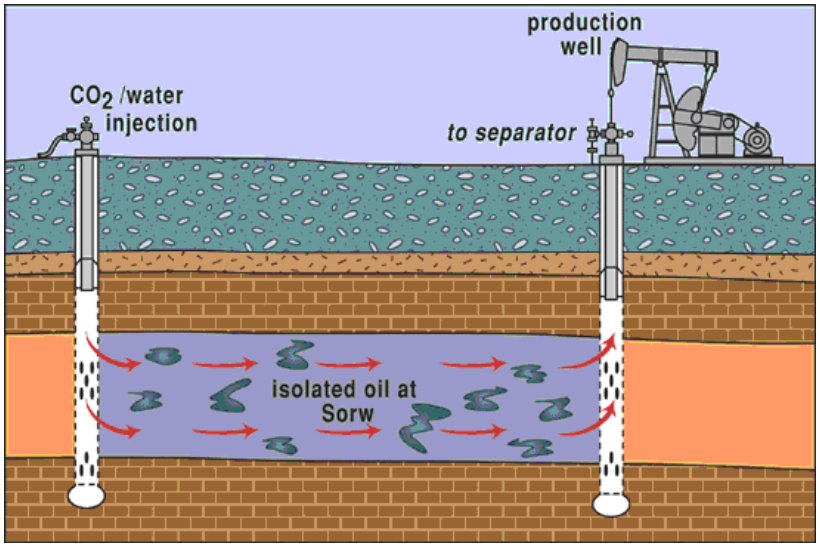
4.2 ΕΞΟΡΥΞΗ

Όμοια με την εξόρυξη του φυσικού αερίου πριν την εγκατάσταση μόνιμης πλατφόρμας για την περίπτωση της θάλασσας εξόρυξης πετρελαίου προηγούνται σεισμικές και ακουστικές έρευνες ώστε να διαπιστωθεί η ύπαρξη ή μη συγκεκριμένων γεωλογικών μορφών και διατάξεων. Μητρικά πετρώματα όπου μπορεί να σχηματιστεί το πετρέλαιο είναι τα αργιλώδη ιζήματα και οι ασβεστόλιθοι. Οι θερμοκρασιακές μεταβολές οι κινήσεις του υπεδάφους και η διαφορά πυκνότητας μεταξύ πετρελαίου και αλμυρού νερού προκάλεσαν τη μετανάστευση και συσσώρευση πετρελαίου σε κατάλληλους γεωλογικούς σχηματισμούς. Κυριότεροι σχηματισμοί είναι τα αντίκλινα, τα αντίκλινα σε θόλο άλατος (ουσιαστικά θόλοι - αποταμιευτήρες όπου απαντώνται στην κορυφή το αέριο , έπεται το πετρέλαιο και τέλος το αλμυρό νερό) και τα ρήγματα. Συνήθη αποταμιευτήρια πετρώματα είναι ο άμμος και ο ψαμμίτης. Η απόδοση ενός κοιτάσματος εξαρτάται από το ενεργό πορώδες, τη διαπερατότητα, το ιξώδες και την πίεση. Με το πέρας των πετροφυσικών ερευνών εντοπίζονται και τα κατάλληλα σημεία για τη διάνοιξη γεωτρήσεων ανάκτησης.

Στις κυριότερες τεχνικές ανάκτησης περιλαμβάνονται
1) πρωτογενής ανάκτηση όπου η υφιστάμενη πίεση του κοιτάσματος ωθεί το πετρέλαιο στην επιφάνεια. Έτσι μπορεί να ανακτηθεί ως και το 15% του κοιτάσματος.

2) δευτερογενής ανάκτηση, όπου η ανάκτηση επιτυγχάνεται με την τεχνητή αύξηση της πίεσης με την εισροή αέρα και νερού.

3) βελτιωμένη ανάκτηση που περιλαμβάνει μεθόδους μείωσης του ιξώδους και ελάττωση της διεπιφανειακής τάσης ρευστού και πετρελαίου για την ευκολότερη ανάκτηση.



Εικόνα 20 Αύξηση πίεσης στο κοίτασμα

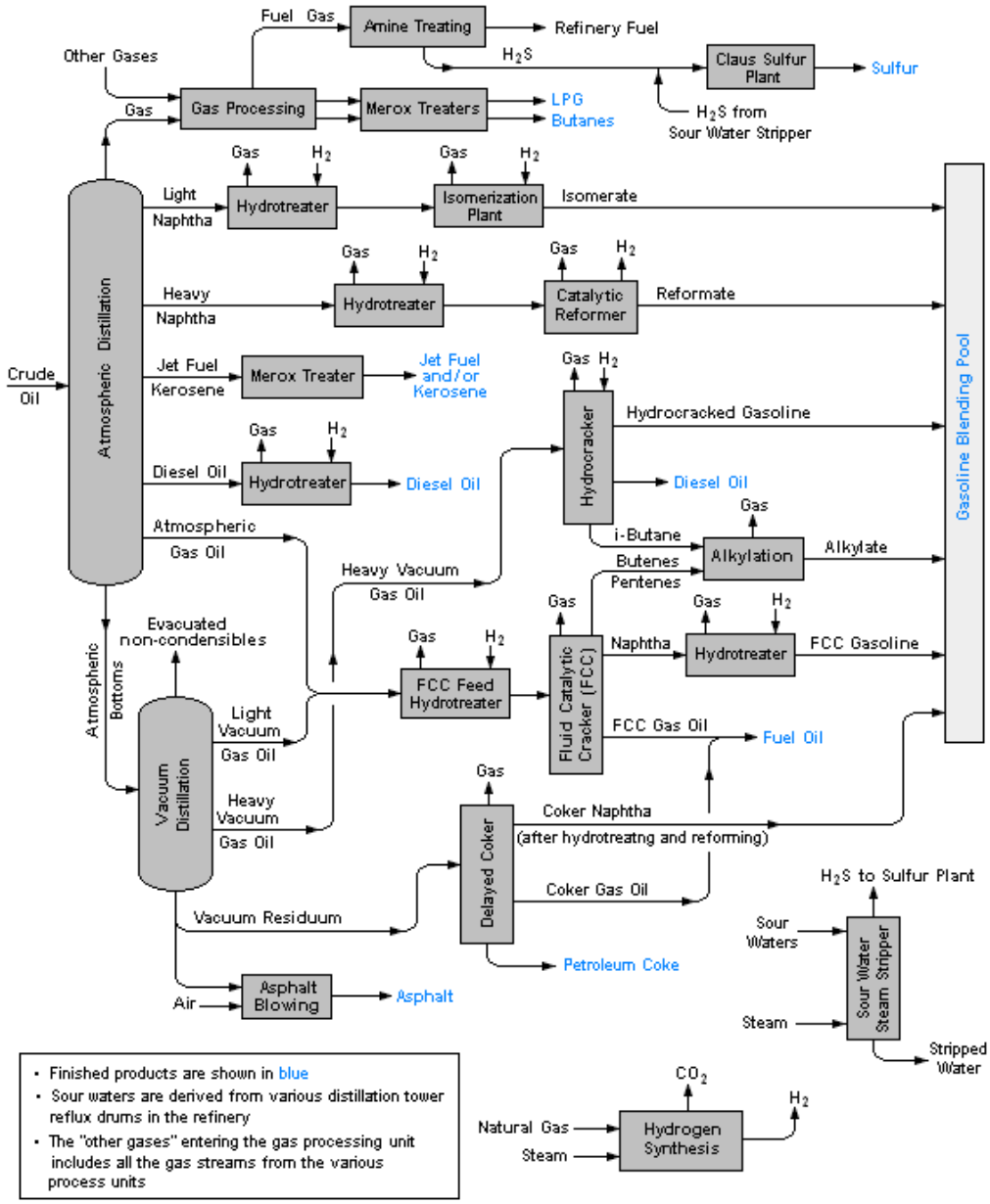
4.3 ΠΑΡΑΓΩΓΗ FO - ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ

Την εξόρυξη του πετρελαίου ακολουθεί η μεταφορά στο διυλιστήριο όπου θα παραχθούν προϊόντα μέσω χημικών διεργασιών. Το FO είναι το υπόλοιπο από το διαχωρισμό των υδρογονανθράκων με ατμοσφαιρική απόσταξη που στηρίζεται στη διαφορά των σημείων ζέσεων των υδρογονανθράκων. Στην αρχή παράγεται το βαρύ gasoil το οποίο με την πυρόλυση ως υπόλειμμα έχει το FO.

Εικόνα 21 Υψηλή τιμή ιξώδους στο FO

Μέρος του FO παράγεται από το υπόλειμμα της απόσταξης υπο κενό του gasoil. Πολλές φορές για να επιτευχθούν οι προδιαγραφές της αγοράς γίνεται ανάμειξη με ελαφρότερες

αποστάξεις του πετρελαίου. Η επίτευξη χαμηλής συγκέντρωσης γίνεται με τη χρήση αργου πετρελαίου χαμηλού θείου.



Εικόνα 22 Διάγραμμα ροής διαδικασιών διυλιστηρίου

4.4 ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΜΕ ΤΑΝΚΕΡ - ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ - ΠΕΤΡΕΛΕΥΣΗ

Το FO μετά την παραγωγή του μπορεί είτε να αποθηκεύεται σε ειδικές δεξαμενές ή να μεταφέρεται σε κάποιο άλλο τερματικό σταθμό όπου εκεί ξεκινάει η διαδικασία της πετρελευσης πλοίων.

Η πετρέλευση αυτή απαιτεί ιδιαίτερη προσοχή και απαραίτητη λήψη ειδικών μέτρων ασφαλείας που ορίζονται από διεθνείς ναυτικούς κανονισμούς καθώς και από επιπρόσθετα μέτρα των εγκαταστάσεων που παρέχουν πετρέλευση.

Η πετρέλευση των εμπορικών πλοίων γίνεται συνήθως εντός λιμένων ή όρμων καταφυγής, απαραίτητα όμως, κατόπιν αδείας της οικείας Λιμενικής Αρχής. Αυτή μπορεί να γίνει είτε από μόνιμη εγκατάσταση ξηράς, όπως συμβαίνει και σε οργανωμένες μαρίνες, είτε από ειδικά σκάφη, μικρά πετρελαιοφόρα, που πλαγιοδετούν στα υπό ανεφοδιασμό πλοία. Επειδή το πετρέλαιο και γενικά τα καύσιμα είναι υποκείμενα του τελωνειακού ελέγχου, η πετρέλευση σε ανοιχτή θάλασσα απαγορεύεται ρητά, θεωρούμενη ως λαθρεμπορική δραστηριότητα.

Εικόνα 23 Πετρέλευση απο εγκαταστάσεις ξηράς

Αντίθετα από τα εμπορικά πλοία τα πολεμικά πλοία λόγω της φύσεώς τους, μπορούν να προβαίνουν και σε "πετρέλευση εν πλω". Στην προκειμένη περίπτωση απαιτείται λήψη πρόσθετων μέτρων ασφαλείας και εξειδικευμένων γνώσεων και εκπαίδευσης του απασχολούμενου προσωπικού. Η "πετρέλευση εν πλω" επιτυγχάνεται με προσέγγιση των πλοίων σε απόσταση ασφαλείας, μείωση ταχύτητας και συντονισμό ίδιας πορείας και ταχύτητας. Όταν επιτευχθούν αυτά επιχειρείται η δημιουργία αερογέφυρας πρώτα με σχοινιά και στη συνέχεια με συρματόσχοινο, από το οποίο και κρεμάται ο σωλήνας ανεφοδιασμού. Όταν και αυτή η φάση ολοκληρωθεί και ελεγχθεί η ετοιμότητα του δικτύου και η τήρηση των μέτρων ασφαλείας, τότε δίνεται η εντολή έναρξης της πετρέλευσης.

.

4.5 ΕΝ ΠΛΩ – ΤΟ FO ΩΣ ΚΑΥΣΙΜΟ ΣΕ Ε/Γ

Οι αργόστροφες μηχανές diesel είναι δίχρονες με ισχύ στον άξονα που κυμαίνεται από 1500 έως 150000 KW και λειτουργούν στις 50 έως 250 στροφές ανά λεπτό. Μια δίχρονη μηχανή μπορεί να έχει θερμική απόδοση έως 65% ενώ η θερμοκρασία των καυσαερίων κυμαίνεται από 325-375°C. Οι τετράχρονες μηχανές έχουν ισχύ από 500 έως 30000KW και λειτουργία στις 400 έως 1000 στροφές ανά λεπτό. Η θερμική απόδοση μίας τετράχρονης μηχανής κυμαίνεται από 25 έως 55% ενώ η θερμοκρασία καυσαερίων από 400-500°C. Οι εκπομπές καυσαερίων επηρεάζονται από το καύσιμο και τις παραμέτρους καύσης, ήτοι θερμοκρασία, συγκέντρωση οξυγόνου. Εξαιτίας των ανωτέρω χαρακτηριστικών στα πλοία χρησιμοποιούνται κυρίως οι δίχρονες αφού αυτές μπορούν αφενός να καίνε χαμηλής ποιότητας καύσιμα και αφετέρου η απόδοση τους είναι σαφώς ανώτερη.

Οι ναυτικές μηχανές χρησιμοποιούν ως καύσιμο FO ή άλλα κλάσματα απόσταξης ως και συνθετικό diesel. Το συνθετικό diesel δε χρησιμοποιείται σε μεγάλες δίχρονες μηχανές μολονότι θεωρείται ότι επιτυγχάνει μειώσεις στις εκπομπές καυσαερίων ιδίως στα μικροσώματα στα νιτρικά και στο CO.

5 ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ LCI

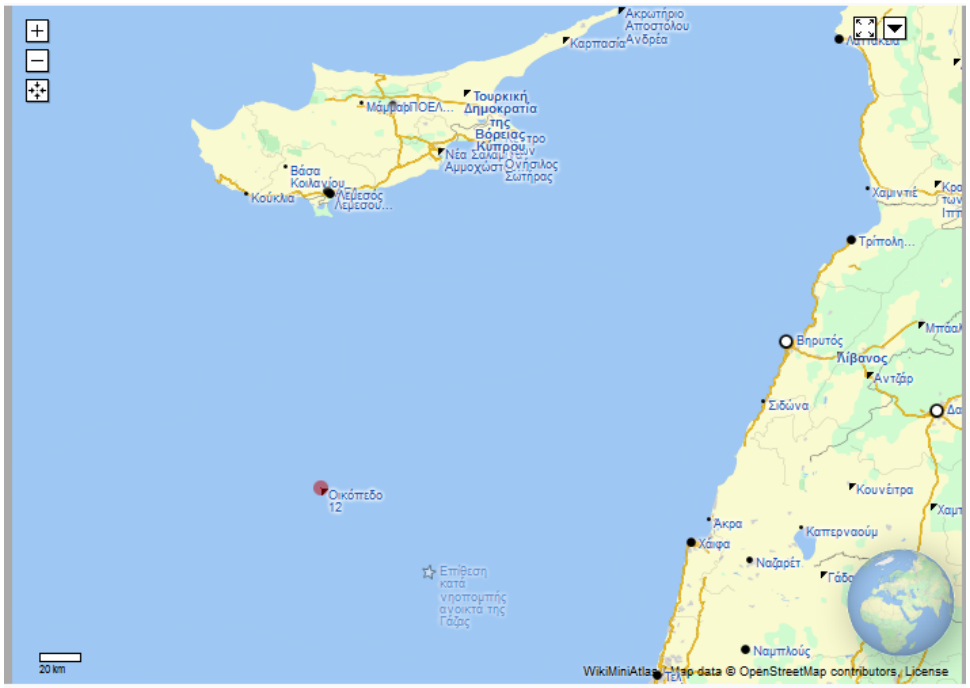
5.1 ΒΑΣΕΙΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ - ΠΡΟΚΛΗΣΕΙΣ

Η ανάλυση δεδομένων για τον προσδιορισμό των εκπομπών αερίων περιλαμβάνει την εύρεση βάσεων δεδομένων οι οποίες δύνανται να ικανοποιούν τις τοπικές συνθήκες έρευνας (χρόνος, γεωγραφικός χώρος μέθοδος). Είναι προφανές πως στην περίπτωση προσομοιώσεων που δεν υφίστανται στην πραγματικότητα θα πρέπει η άντληση των δεδομένων να γίνεται από βάσεις δεδομένων οι οποίες να περιγράφουν κατά το δυνατόν καλύτερα τις τοπικές συνθήκες.

5.2 ΟΡΙΑΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ

5.2.1 Σενάριο LNG

Η κατασκευή εγκαταστάσεων και η λειτουργία εξόρυξης του φυσικού αερίου θεωρείται πως γίνεται τόσο για την περίπτωση του φυσικού αερίου όσο και για την εξόρυξη του πετρελαίου στην ΑΟΖ Κύπρου και ιδιαίτερα στο επονομαζόμενο οικόπεδο 12 . Στο οικόπεδο 12 ή αλλιώς οικόπεδο Αφροδίτη έχει πραγματοποιηθεί διερευνητική γεώτρηση και γειτνιάζει με το μεγάλο κοίτασμα φυσικού αερίου Λεβιάθαν.
Οι συντεταγμένες της γεώτρησης είναι 33°5′40″N 32°59′0″E. Η αμερικανική εταιρεία Noble Ενεργειακή έχει πραγματοποιήσει τις διερευνητικές εργασίες.



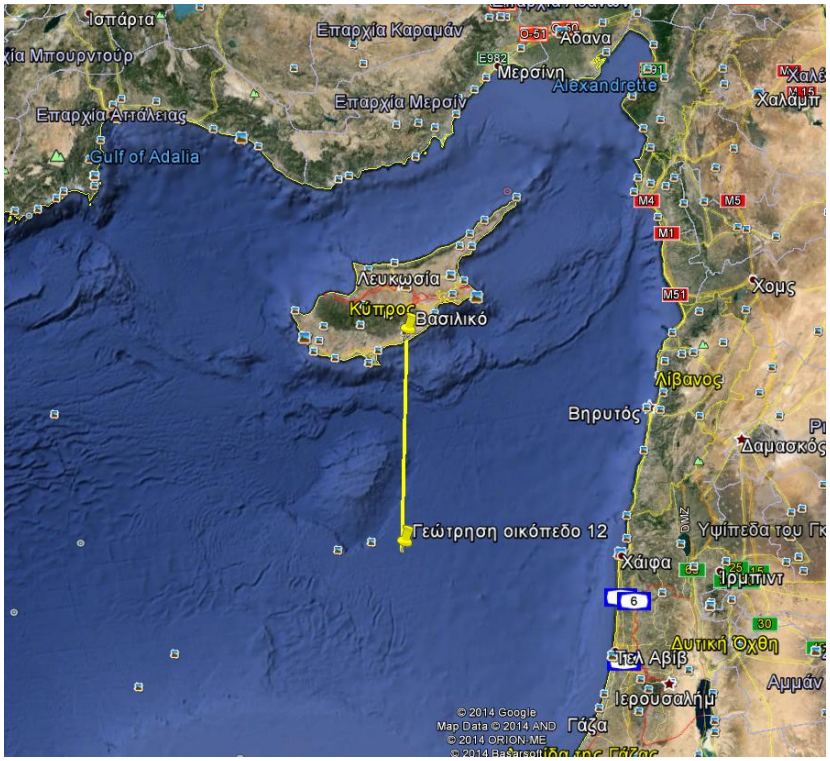
Εικόνα 24 Θέση γεώτρησης στο οικόπεδο 12 της ΑΟΖ Κύπρου

Η μεταφορά του αερίου θα γίνεται μέσω υποθαλάσσιων αγωγών με τη βοήθεια συμπιεστών και θα οδηγείται στο νέο σταθμό υγροποίησης στο Βασιλικό της Κύπρου.

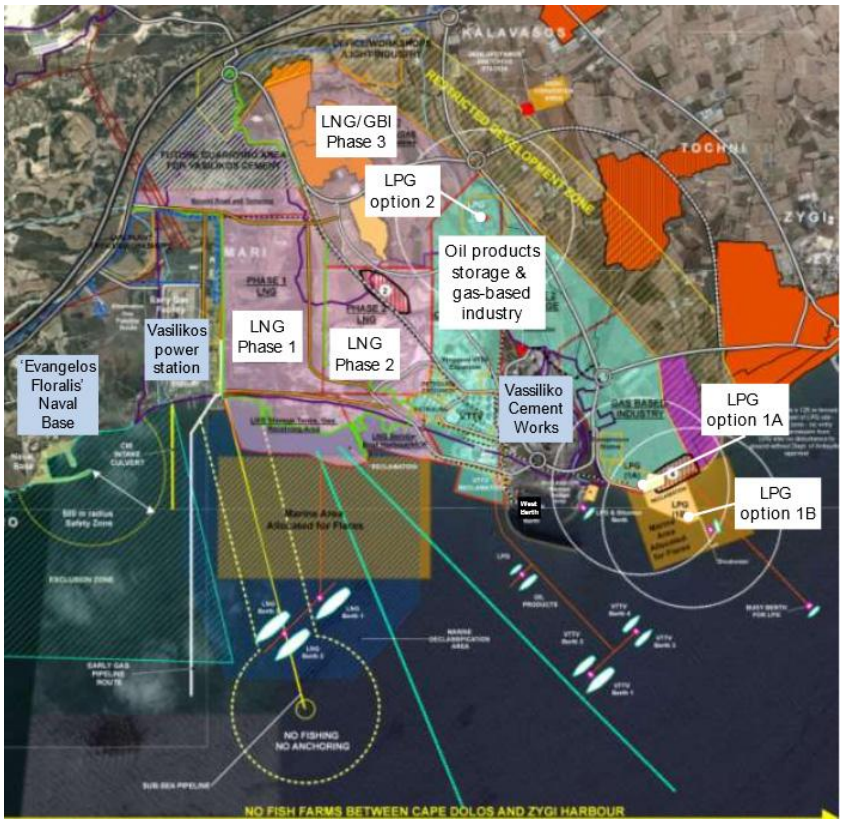
Εικόνα 25 Η γεωγραφική θέση του Βασιλικού στην Κύπρο

Η κυπριακή κυβέρνηση από το 2012 έχει αποφασίσει την εκκίνηση των διαδικασιών για τη χωροθέτηση μονάδας υγροποίησης φυσικού Αερίου που περιλαμβάνει επιπλέον και δυνατότητες αποθήκευσης καθώς και φόρτωσης LNG σε LNG Carriers για μεταφορά στις διεθνείς αγορές.

Η Μονάδα αυτή θα έχει αρχική δυναμικότητα εξαγωγής 5 εκ. τόνων LNG ετησίως (μία συστοιχία υγροποίησης), που θα μπορεί να επεκταθεί σε 15 εκ. τόνους LNG ετησίως (τρεις συστοιχίες υγροποίησης).



Εικόνα 26 Η μελλοντική σύνδεση της γεώτρησης με το Βασιλικο με αγωγούς μεταφοράς



Εικόνα 27 Χωροθέτηση εγκαταστάσεων υγροποίησης στο Βασιλικό

Η μεταφορά του LNG στην Ελλάδα γίνεται με LNG Carrier το οποίο μεταφέρει το LNG στις εγκαταστάσεις της Ρεβυθούσας, Η Ρεβυθούσα είναι μικρό νησί του Σαρωνικού κόλπου, μη κατοικημένο με έκταση 1,8 τετραγωνικά χιλιόμετρα. Βρίσκεται 500 μέτρα νότια της ακτής Αγίας Τριάδας, του κόλπου της Πάχης Μεγάρων και 900 μέτρα δυτικά της Σαλαμίνας. Από το 1999 λειτουργεί στη Ρεβυθούσα Τερματικός Σταθμός Υγροποιημένου Φυσικού Αερίου που αποτελεί μία από τις σημαντικότερες εθνικές υποδομές της Ελλάδας. Είναι μία από τις τρεις πηγές τροφοδοσίας του Εθνικού Συστήματος Μεταφοράς Φυσικού Αερίου και συγκαταλέγεται στους δέκα αντίστοιχους σταθμούς υγροποιημένου φυσικού αερίου, που λειτουργούν σήμερα σε όλο το χώρο της Μεσογείου και της Ευρώπης. Εκεί εκφορτώνονται και παραλαμβάνονται φορτία φυσικού αερίου, που φθάνουν με δεξαμενόπλοια σε υγρή μορφή. Το υγροποιημένο φυσικό αέριο αποθηκεύεται σε δύο δεξαμενές, συνολικής χωρητικότητας 130.000 κ.μ. Στη συνέχεια, στις ειδικές εγκαταστάσεις της μονάδας, μετατρέπεται σε αέριο και τροφοδοτεί το Εθνικό Σύστημα Φυσικού Αερίου.

Εικόνα 28 Οι εγκαταστάσεις της Ρεβυθούσας

Τον Οκτώβριο του 2007, ο ΔΕΣΦΑ ολοκλήρωσε τις εργασίες αναβάθμισης του Τερματικού Σταθμού Υγροποιημένου Φυσικού Αερίου Ρεβυθούσας, πραγματοποιώντας μια από τις σημαντικότερες επενδύσεις για την ενεργειακή υποδομή της χώρας μας. Με την αναβάθμιση, ο Σταθμός θα μπορεί πλέον να παραλαμβάνει και να επεξεργάζεται τριπλάσιες ποσότητες φυσικού αερίου.

Τελικώς ο κύκλος ζωής του LNG κλείνει με την καύση του για την κίνηση του επιβατηγού πλοίου συνήθεις συνθήκες λειτουργίας εντός του Αιγαίου.

5.2.2 Σενάριο FO

Σχετικά με την εξόρυξη πετρελαίου θεωρείται πως το οικόπεδο 12 παρέχει τις δυνατότητες παραγωγής πετρελαίου με την εγκατάσταση πλατφόρμας. Η μεταφορά γίνεται με αγωγό στο Βασιλικό όπου εκεί οι εγκαταστάσεις προβαίνουν στη διύλιση του διατηρώντας με τον τρόπο αυτό το ίδιο δρομολόγιο που ακολουθεί το φυσικό αέριο.

Μετά τη διύλιση tanker μεταφέρει σε απόσταση 530 μιλίων στις εγκαταστάσεις του Ασπρόπυργου από όπου τροφοδοτούνται με πετρέλαιο τα επιβατηγά πλοία. Στον Ασπρόπυργο υπάρχουν και οι εγκαταστάσεις διύλισης Το διυλιστήριο διαθέτει σημαντικό αριθμό κυρίων μονάδων απόσταξης και μεταγενέστερων μονάδων μετατροπής

Το διυλιστήριο είναι πλήρως εναρμονισμένο με τις τελευταίες περιβαλλοντικές ρυθμίσεις και τις απαιτήσεις ασφαλείας και παράγει προϊόντα πετρελαίου σύμφωνα με τις αυστηρότερες προδιαγραφές της Ευρωπαϊκής Ένωσης.

Διαθέτει σημαντική ευελιξία ως προς την παραγωγή, την αποθήκευση και τη διανομή των προϊόντων, κατά συνέπεια η παραγωγή βενζίνης ή ντίζελ μπορεί να μεγιστοποιηθεί ανάλογα με τις τάσεις της αγοράς. Το διυλιστήριο περιλαμβάνει μεγάλο ιδιωτικό λιμάνι και δίκτυο αγωγών αργού που το συνδέει με την εγκατάσταση εκφόρτωσης και αποθήκευσης αργού στην Πάχη Μεγάρων, καθώς και αγωγό για τελικά και ημιτελή προϊόντα, που συνδέεται με το διυλιστήριο της Ελευσίνας.

Τελικώς ο κύκλος ζωής του FO κλείνει με την καύση του για την κίνηση του επιβατηγού πλοίου ΑΡΙΑΔΝΗ σε συνήθεις συνθήκες λειτουργίας στο Αιγαίο.

5.3 ΣΕΝΑΡΙΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ – ΕΚΤΕΛΕΣΗ - LNG

Η προσομοίωση του LCI εξάγει εκπομπές αερίων από κάθε φάση της ζωής των καυσίμων μετρούμενες με κοινή μονάδα μέτρησης (functional unit) η οποία είναι γραμμάρια αεριών ανά τόνο μεταφερόμενου φορτίου από το πλοίο που θα κάψει το καύσιμο ανά χιλιόμετρο. Συνεπώς αν οι εκπομπές οι προερχόμενες από την καύση στο πλοίο είναι α1 , οι εκπομπές αερίων προερχόμενες και από την φάση της εξόρυξης είναι α2 τότε οι συνολικές εκπομπές είναι α1+α2. Παράλληλα πρέπει οι εκπομπές από τη φάση της εξόρυξης επειδή είναι σε μονάδες γραμμάρια εκπομπών αερίου προς γραμμάριο παραγόμενο καύσιμο να μετατραπούν στην functional unit. Η μετατροπή γίνεται μέσω συντελεστών που μας καθορίζουν την ποσότητα καυσίμων που καταναλίσκεται ανά μεταφερόμενο φορτίο σε μονάδες γραμμάρια καυσίμου ανά τόνο μεταφερόμενο τόνο φορτίου.

5.3.1 Κατασκευή Εγκαταστάσεων και Λειτουργία Εξόρυξης Φυσικού Αερίου offshore - Κατασκευή Αγωγών Μεταφοράς Φυσικού Αερίου ως το Σταθμό Υγροποίησης

Τα κύρια κριτήρια εύρεσης βάσης δεδομένων έγκειται στο είδος της γεωγραφικής θέσης του οικοπέδου 12 ήτοι offshore και του γεγονότος ότι η αμερικάνικη εταιρεία Noble έχει αναλάβει τις διαδικασίες εξόρυξης. Συνεπώς πραγματοποιήθηκε έρευνα στην αμερικάνικη τεχνογνωσία. Η National Energy Technology Laboratory (NETL), τμήμα του υπουργείου Ενέργειας των ΗΠΑ έχει αναπτύξει βάση δεδομένων προσδιορισμού εκπομπών αερίων για την εξόρυξη offshore φυσικού αερίου καθώς και τη λειτουργία της γεώτρησης.

Η βάσης δεδομένων περιλαμβάνει τα εξής στάδια κατασκευής της γεώτρησης: τη γεώτρηση του φρέατος και την εγκατάσταση του προστατευτικού περιβλήματος
Η συμβατική μέθοδος γεώτρησης είναι η κάθετη. Το περίβλημα νοείται από ατσάλι υψηλής αντοχής με υψηλή συγκέντρωση άνθρακα για να αντέχει τις πιέσεις των γαιών και συγκεκριμένα θεωρείται διαμέτρου 20 εκατοστών. Λαμβάνεται υπόψη και η ποσότητα σκυροδέματος γύρω από το περίβλημα. Τέλος η εξόρυξη φυσικού αερίου περιλαμβάνει και πλατφόρμα όπου εγκαθίσταται ο εξοπλισμός. Ο πλατφόρμες αυτές ασφαλίζονται με καλώδια στον πυθμένα.

Στη βάση δεδομένων νοείται πως περιλαμβάνονται οι ακόλουθες εργασίες.

- Η συμπίεση του φυσικού αερίου για να οδηγηθεί στις σωλήνες διανομής. Η συμπίεση πραγματοποιείται με φυγοκεντρικούς συμπιεστές οι οποίοι με τη πάροδο του χρόνου χρησιμοποιούνται όλο και περισσότερο αφού η εσωτερική πίεση του κοιτάσματος όλο και πέφτει
- Η αφυδάτωση όπου το απομακρύνεται το νερό με τη βοήθεια διαλύματος γλυκόλης
- Η αποθείωση όπου πετυχαίνεται η απομάκρυνση του τοξικού αερίου
- Η καύση του φυσικού αερίου όταν δεν είναι δυνατή εξολοκλήρου μεταφορά της παραγωγής αερίου ή άλλων λειτουργικών συνθηκών. Η ποσότητα του καιόμενου φυσικού αεριού είναι περίπου στο 0,35%.
- Ο διαχωρισμός πετρελαίου και αερίου όπως θεωρείται στο οικόπεδο 12.

Η βάση δεδομένων της NETL περιλαμβάνει και άλλα αέρια όμως η παρούσα εργασία εστιάζει στο CO2, NOx, SOx και στο CH4.

Από τον πίνακα της ποσοστιαίας συμμετοχής γίνεται εμφανές πως η κύρια αιτία δημιουργίας αερίων του θερμοκηπίου και νιτρικών οφείλεται στην λειτουργία της γεώτρησης κατά τη διάρκεια της ζωής της. Ο χρόνος είναι καθοριστική παράμετρος σε

συνδυασμό με το ότι οι λειτουργίες της γεώτρησης διασφαλίζονται από την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από τη καύση φυσικού αερίου. Διαφοροποίηση υπάρχει στα θειικά τα οποία δημιουργούνται κατά κύριο λόγο από την καύση diesel για τη μεταφορά των υλικών κατασκευής της γεώτρησης. Συνεπώς αναδεικνύεται πως η καύση φυσικού αερίου έχει πολύ μικρές συγκεντρώσεις θείου..

Επειδή το οικόπεδο 12 βρίσκεται στο θαλάσσιο χώρο για την εγκατάσταση των αγωγών χρησιμοποιείται πλοίο του οποίου οι εκπομπές από την καύση των αερίων παίζουν κομβικό ρόλο στην παραγωγή των ρύπων. Στους υποθαλάσσιους αγωγούς δεν περιλαμβάνεται η φάση της απεγκατάστασης αφού θεωρείται ότι παραμένουν μόνιμα στο βυθό της θάλασσας. Οι κύριες εκπομπές αερίων κατά τη λειτουργία οφείλονται στη λειτουργία των συμπιεστών.

Ρύποι	Τιμή	Συντελεστής	Τιμή
Αέρια Θερμοκηπίου (g/kg NG)		g LNG/ton km	Αέρια (g/ ton km)
CO2	**107,42298**	**39,46**	**4,23855**
CH4	**1,14212**	**39,46**	**0,04506**
Λοιπά Αέρια (g/kg NG)			
NOx	**0,41733**	**39,46**	**0,0164665**
SOx	**0,01158**	**39,46**	**0,0004569**
PM	**0,00778**	**39,46**	**0,0003071**

Πίνακας 2 Εκπομπές αερίων από τη φάση της εξόρυξης - παραγωγής φυσικού αερίου

Ο συντελεστής g LNG/ton km = 39,46 υπολογίζεται παρακάτω εκτενώς

Όπως και στη γεώτρηση οι αγωγοί μεταφοράς παράγουν κατά τον κύκλο ζωής τους περισσότερους ρύπους κατά τη λειτουργία καθότι οι συμπιεστές λειτουργούν με ρεύμα που παράγεται από τη καύση φυσικού αερίου. Αντιθέτως όμως τα θειικά παράγονται κατά τη λειτουργία του πλοίου που ποντίζει τους αγωγούς και από τη κατασκευή τους.

5.3.2 Σταθμός Υγροποίησης Αερίου

Στη φάση της υγροποίησης του αερίου περιλαμβάνονται οι εκπομπές που οφείλονται από την κατασκευή του σταθμού , τις εγκαταστάσεις, την μετέπειτα αποσυναρμολόγηση του καθώς και τη λειτουργία. Η λειτουργία του σταθμού είναι η κυριότερη πηγή αερίων ρύπων και σε αυτήν οφείλονται οι ρύποι θερμοκηπίου από την καύση του φυσικού αερίου. Η βάση δεδομένων προέρχεται από τις CONCAWE, EUCAR,JCR και είναι αντιπροσωπευτική για τον ευρωπαϊκό χώρο. Χαρακτηριστικό είναι επίσης πως η βάση δεδομένων θεωρεί πως η λειτουργία της μονάδας υγροποίησης γίνεται με καύση φυσικού αερίου.

Ρύποι	Τιμή	Συντελεστής	Τιμή
Αέρια Θερμοκηπίου (g/kg LNG)		g LNG/ton km	Αέρια (g/ ton km)
CO2	**227,90**	**36,37**	**8,289**
CH4	**1,94**	**36,37**	**0,071**
Λοιπά Αέρια (g/kg NG)			
NOx	**0,18660**	**36,37**	**0,00679**
SOx	**0,00127**	**36,37**	**0,000046**
PM	**0,00124**	**36,37**	**0,000045**

Πίνακας 3 Εκπομπές αερίων από τη φάση υγροποίησης του φυσικού αερίου

$$gCO2\,pertonkm(gCO2/km \cdot tonc\arg oload) =$$
$$LNGpertonC\arg oLoadCarrierRoRo(gLNG/km \cdot tonc\arg oload) \cdot$$
$$gCO2\,perkgLNGLiqueified(kgCO2/kgLNGliquified)$$

Η ποσότητα $LNGpertonC\arg oLoadCarrierRoRo(gLNG/km \cdot tonc\arg oload)$ υπολογίζεται παρακάτω εκτενώς

Σύμφωνα με τη βάση JEC για την παραγωγή 1 τόννου LNG απαιτείται 1,08486684 τόννοι NG. Υπολογίζεται συνεπώς c= 1,08486684 * 36.37 = 39.4566 g NG/ ton km

5.3.3 Μεταφορά LNG με LNG Carrier

Σύμφωνα με το σενάριο, LNG μεταφέρεται στο σταθμό αποθήκευσης της Ρεβυθούσας από το Βασιλικό της Κύπρου και από εκεί θα μπορεί να τροφοδοτεί συνεχώς πλοία που κινούνται με LNG. Η συνολική απόσταση είναι 530 ναυτικά μίλια. Το πλοίο το οποίο επιλέχτηκε είναι το Sestao Knutsen κατασκευής του 2007 που χρησιμοποιεί ατμοστρόβιλο ισχύος 28000 KW ενώ η ταχύτητα σχεδίασης επιλέχτηκε 19,5 knots.

Εικόνα 29 Το LNG Carrier Sestao Knutsen

Το σενάριο απαιτεί μία σειρά από υποθέσεις όπως

- Η τροφοδοσία του ατμοστρόβιλου γίνεται με BOG. Η απόδοση του ατμοστρόβιλου λογίζεται 30%
- Κατά την καύση του LNG 99,5% του LNG μεταφέρεται στο καυσαέριο CO2
- Το LNG είναι ελεύθερο SOx
- Η πυκνότητα του LNG λαμβάνεται 440kg/m3

$$EnergyConsumption(KWh/km) = \frac{EngineLoad(\%) \cdot EnginePow(KW)}{Speed(km/h)}$$

$$TransLNG(ton) = Volume(m3) \cdot Density(ton/m3) \cdot LoadFactor(\%)$$

$$SpecialFuelConsumption(kgLNG/KWh) = \frac{1}{\Theta\varepsilon\rho\mu.\Delta\upsilon\nu\alpha\mu\eta(MJ/kgLNG)/3.6} / SteamTurbineEff(\%)$$

$$LNGpertonTransLNG(gLNG/tonTransLNG) = Dis\tan ce(km) \cdot$$
$$SpecialFuelConsumption(kgLNG/KWh) \cdot$$
$$EnergyConsumption(KWh/km)/TransLNG(ton)$$

$$LNGpertonC\arg oLoadCarrier(gLNG/km\cdot tonc\arg oload)=LNGpertonTransLNG(gLNG/tonTransLNG)$$
$$LNGpertonC\arg okmRoRo(gLNG/km\cdot tonc\arg oload)$$

$$LNGpertonC\arg oLoadCarrierRoRo(gLNG/km\cdot tonc\arg oload)=$$
$$LNGpertonC\arg oLoadCarrier(gLNG/km\cdot tonc\arg oload)+$$
$$LNGpertonC\arg okmRoRo(gLNG/km\cdot tonc\arg oload)$$

Η ποσότητα $LNGpertonC\arg okmRoRo(gLNG/km\cdot tonc\arg oload)$ υπολογίζεται παρακάτω εκτενώς

$$gCO2\,pertonTransLNG(gCO2/tonTransLNG)=$$
$$LNGpertonTransLNG(gLNG/tonTransLNG)\cdot EmmisionFactCO2(gCO2/gLNG)$$

$$gCO2\,pertonkm(gCO2/km\cdot tonc\arg oload)=$$
$$gCO2\,pertonTransLNG(gCO2/tonTransLNG)\cdot$$
$$LNGpertonC\arg okmRoRo(gLNG/km\cdot tonc\arg oload)$$

Όμοια οι υπολογισμοί για τις λοιπές εκπομπές

Στοιχεία Πλοίου	
Ονομα	Sestao Knutsen
Κατηγορία Πλοίου	LNG Carrier
Καύσιμο	LNG
Υπολογισμός Μεταφερόμενου φορτίου	
Χωρητικότητα (m3)	**138000**
Πυκνότητα LNG (kg/m3)	**440**
Load Factor	**0,55**
Μεταφερόμενο LNG (tn)	**33396**
Απόσταση Βασιλικό Ρεβυθούσα (knots)	**530**
Ταχύτητα Σχεδίασης (knots)	**19,5**
Ώρες ταξιδιού (ωρες)	**27**
Παραγόμενο BOG (% ανά ώρα)	**0,00625**
Παραγόμενο BOG tns	**56,35575**
Heel (%)	**1**
Heel (tn)	**333,96**
Θερμογόνος Δύναμη LNG (MJ/kg)	**48**
Απόδοση Ατμοστρόβιλου	**0,3**
Ειδική κατανάλωση καυσίμου kg LNG/KWh	**0,25**

Καθαρά μεταφερόμενο LNG	**33005,68**
Ισχύς Μηχανής	**28000**
% Λειτουργίας Μηχανής	**85**
Ενεργειακή Κατανάλωση ανά χιλιόμετρο (KWh/km)	**659,02**
Κατανάλωση LNG (kg/ tn μεταφερόμενου LNG)	**4,90**
g LNG / tonne km (ro-ro)	**36,196**
g LNG / ton lng trans	**4,900**
g LNG / tonne km (lng carrier)	**0,177**
g LNG / tonne km (ro-ro + lng carrier)	**36,373**
Υπολογισμός Εκπομπών	
Συντελεστής Εκπομπών g CO2 / g LNG	**2,74**
Εκπομπές CO2 kg/ ton μεταφερόμενου LNG	**13,407**
g LNG / tonne km	**36,196**
g CO2/ ton km	**0,48527**
Συντελεστής Εκπομπών g CH4 / 10^6 Btu Λέβητα	**1,10**
Εκπομπές g CH4 / kg LNG	**0,05**
Εκπομπές CH4 g/ tn μεταφερόμενου LNG	**0,245**
g LNG / tonne km	**36,196**
g CH4/ ton km	**0,00001**
Συντελεστής Εκπομπών g NOx / 10^6 Btu Λέβητα	**39,10**
Εκπομπές g NOx / kg LNG	**1,78**
Εκπομπές NOx kg/ tn μεταφερόμενου LNG	**8,716**
g LNG / tonne km	**36,196**
g NOx/ ton km	**0,00032**
Συντελεστής Εκπομπών g PM / 10^6 Btu Λέβητα	**3,70**
Εκπομπές g PM / kg LNG	**0,17**
Εκπομπές PM kg/ tn μεταφερόμενου LNG	**0,825**
g PM / tonne km	**36,196**
g PM/ ton km	**0,00003**

Πίνακας 4 Προσομοίωση εκπομπών αερίων από τη μεταφορά του LNG με LNG Carrier

Ο υπολογισμός των εκπομπών αερίων ρύπων στηρίζεται αφενός στην στοιχειομετρική εξίσωση καύσης του LNG και για τις εκπομπές CH4 και SOx στη βάση δεδομένων του GREET – Model

5.3.4 Λειτουργία Επιβατηγού

Επιλέγεται το ΑΡΙΑΔΝΗ το οποίο θα είναι μετασκευασμένο. Οι κύριες υποθέσεις εστιάζονται στην αποδοτικότητα της LNG lean burn μηχανής που ορίζεται στο 41% αντιπροσωπευτική για αυτόν τύπο μηχανών και συμφωνεί η βιβλιογραφία. Επίσης θεωρείται ότι το Payload φτάνει στο 70% και το Load Factor 90% που έχει να κάνει με την πληρότητα αλλά και τον χαρακτήρα των Ro- Ro. Παράλληλα η καύση του LNG θεωρείται σχεδόν τέλεια (99,5%). Οι βάσεις δεδομένων για τους συντελεστές εκπομπών προέρχεται από τους Hattar (2010)

Εικόνα 30 Το Ε/Γ ΑΡΙΑΔΝΗ

$$EnergyConsumption(KWh/km) = \frac{EngineLoad(\%) \cdot EnginePow(KW)}{Speed(km/h)}$$

$$C\arg oLoad(ton) = DWT(ton) \cdot Payload(\%) \cdot LoadFactor(\%)$$

$$EnergyConsumption(KWh/km \cdot tonc\arg oload) = \frac{EnergyConsumption(KWh/km)}{C\arg oLoad(ton)}$$

$$SpecialFuelConsumption(kgLNG/KWh) = \frac{1}{\Theta\varepsilon\rho\mu.\Delta\upsilon\nu\alpha\mu\eta(MJ/kgLNG)/3.6} / SteamTurbineEff(\%)$$

$$LNGpertonC\arg okmRoRo(gLNG/km\cdot tonc\arg oload)=SpecialFuelConsumption(kgLNG/KWh)\cdot EnergyConsumption(KWh/km\cdot tonc\arg oload)$$

$$gCO2\,pertonkm(gCO2/km\cdot tonc\arg oload)=LNGpertonC\arg okmRoRo(gLNG/km\cdot tonc\arg oload)\cdot EmmisionFactCO2(gCO2/gLNG)$$

Όμοια οι υπολογισμοί για τις λοιπές εκπομπές

Στοιχεία Πλοίου	
Ονομα	ARIADNE
Κατηγορία Πλοίου	Ro-Ro
Καύσιμο	LNG
DWT	**6174**
Pay Load	**0,7**
Load Factor	**0,9**
Cargo Loaded	**3889,62**
Ταχύτητα Σχεδίασης (knots)	**20,5**
Ισχύς Μηχανής	**34377**
% Λειτουργίας Μηχανής	**0,85**
EnergyConsumption (KWh/ km)	**769,6478428**
EnergyConsumptiong (KWH / tonne km)	**0,197872245**
Θερμογόνος Δύναμη LNG (MJ/kg)	**48**
Απόδοση	**0,41**
Ειδική κατανάλωση καυσίμου kg LNG/KWh	**0,182926829**
g LNG / tonne km	**36,19614243**
Υπολογισμός Εκπομπών	
Συντελεστής Εκπομπών g CO2 / g LNG	**2,736**
Εκπομπές CO2 g/ ton km	**99,042**
Εκπομπές CO2 g/ MJ Fuel	**57,005**
Εκπομπές CO2 g/ KWh	**425,000**
Εκπομπές CO2 g/ MJ Fuel from engine	**118,056**
Efficiency	**0,483**
Εκπομπές gCH4/ KWh	**2,100**
Emission factor per fuel input (CH4)	**0,014**
Εκπομπές CH4 g/ ton km	**0,489**

Εκπομπές gNOx/ KWh	**1,300**
Emission factor per fuel input (NOx)	**0,008**
Εκπομπές NOx g/ ton km	**0,303**
Εκπομπές gPM/ KWh	**0,070**
Emission factor per fuel input (PM)	**0,0005**
Εκπομπές PM g/ ton km	**0,016**

Πίνακας 5 Προσομοίωση εκπομπών αερίων από τη λειτουργία του Ro-Ro με LNG

5.4 ΣΕΝΑΡΙΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ – ΕΚΤΕΛΕΣΗ - FO

5.4.1 Κατασκευή Εγκαταστάσεων και Λειτουργία Εξόρυξης Πετρελαίου Offshore

Η βάση δεδομένων για το FO με περιεκτικότητα θείου ίση με 1% προέρχεται από την European Commission Joint Research Centre on life cycle assessment και έχει την κωδική ονομασία European reference Life Cycle Database 3.0 (ELCD). Η βάση καλύπτει όλα τα στάδια της αλυσίδας παραγωγής FO. Τα δεδομένα τα σχετικά με το πετρέλαιο βασίζονται σε πραγματικά στατιστικά δεδομένα ενώ η φάση της διύλισης βασίζεται στην έρευνα από το European Pollutant Emission Register (EPER). Η βάση περιγράφει όλα τα βήματα και ως ροή αναφοράς έχει το 1 kg FO.

Η γεωγραφική βάση αναφοράς είναι ο μέσος όρος για τις χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης.

Είναι σημαντικό πως ο πάροχος της βάσης δεδομένων έχει επιδιώξει τη κατανομή των αερίων από ένα διυλιστήριο προερχόμενο από το FO και από τα άλλα παράγωγα. Συνεπώς ο πάροχος έχει μοντελοποιήσει όλα τα στάδια των παραγώγων διύλισης ξεχωριστά. Συνεπώς δύο κανόνες έχουν εφαρμοστεί. Η κατανάλωση του πετρελαίου για την παραγωγή κάθε ενός προϊόντος κατανέμεται ανάλογα την ενέργεια. Έτσι προϊόντα όπως η γκασολίνη ή τα αέρια τα οποία χαρακτηρίζονται από υψηλές τιμές θερμίδων θεωρείται ότι καταναλώνουν μεγαλύτερες ποσότητες πρώτων υλών σε σχέση με την άσφαλτο. Επίσης η κατανομή γίνεται ανάλογα και την παραγόμενη μάζα αλλά και την περιπλοκότητα παραγωγής.

Εκπομπές αερίων από την εξόρυξη και διυλιση πετρελαίου προς παραγωγή FO με 1% S			
Ρύποι	**Τιμή**	**Συντελεστής**	**Τιμή**
Αέρια Θερμοκηπίου (kg/kg FO)		g FO /ton km	Αέρια (g/ ton km)
CO2	**2,69E-01**	**39,46**	**10,626578**
CH4	**2,99E-03**	**39,46**	**0,11814324**
Λοιπά Αέρια (kg/kg FO)			
NOx	**6,22E-06**	**39,46**	**0,00024556**
SOx	**1,56E-03**	**39,46**	**0,0615576**
PM	**1,80E-05**	**39,46**	**0,000709491**

Πίνακας 6 Εκπομπές αερίων για τη φάση εξόρυξης και την παραγωγή FO

$$gCO2\,pertonkm(gCO2/km\cdot tonc\arg oload)=$$
$$FOpertonC\arg oLoadTan\ker RoRo(gFO/km\cdot tonc\arg oload)\cdot$$
$$kgCO2\,pertonFO\Pr oduced(kgCO2/kgFOproduced)$$

Η ποσότητα $HFOpertonC\arg oLoadTan\ker+RoRo(gHFO/km\cdot tonc\arg oload)$ υπολογίζεται παρακάτω εκτενώς

5.4.2 Μεταφορά FO στον Ασπρόπυργο

Μετά τη διύλιση το FO μεταφέρεται στον Ασπρόπυργο. Η Βάση δεδομένων προέρχεται από την NTM 2008. Environmental data for international cargo and passenger sea transport και προσδιορίζουν εκπομπές αερίων μέσω της κατανάλωσης καυσίμου σε g/KWh. Το πλοίο το οποίο επιλέχτηκε είναι το King Edward και με την επεξεργασία των στοιχείων του λαμβάνουμε τα εξής αποτελέσματα.

Εικόνα 31Το tanker KING EDWARD

$$EnergyConsumption(KWh/km) = \frac{EngineLoad(\%) \cdot EnginePow(KW)}{Speed(km/h)}$$

$$TransFO(ton) = DWT(ton) \cdot Payload(\%) \cdot LoadFactor(\%)$$

$$EnergyConsumption(KWh/km \cdot tonTransFO) = \frac{EnergyConsumption(KWh/km)}{TransFO(ton)}$$

$$FOpertonFO(gFO/tonTranFO) = SpecialFuelConsumption(gFO/KWh) \cdot EnergyConsumption(KWh/km \cdot tonTransFO) \cdot Dis\tan ce(km)$$

$$FOpertonC\arg oLoadTan\ker(gFO/km \cdot tonc\arg oload) = FOpertonFO(gFO/tonTranFO) \cdot FOpertonkm(gFO/km \cdot tonc\arg oload)$$

$$FOpertonC\arg oLoadTan\ker RoRo(gFO/km \cdot tonc\arg oload) = FOpertonC\arg oLoadTan\ker(gFO/km \cdot tonc\arg oload) + FOpertonC\arg oLoadRoRo(gFO/km \cdot tonc\arg oload)$$

Η ποσότητα $FOpertonC\arg oLoadRoRo(gFO/km \cdot tonc\arg oload)$ υπολογίζεται παρακάτω εκτενώς

$$gCO2pertonTransFO(gCO2/tonTransFO) = EnergyConsumption(KWh/km \cdot tonTransFO) \cdot EmmisionFactCO2(gCO2/KWh) \cdot Dis\tan ce(km)$$

$$gCO2pertonkm(gCO2/km \cdot tonc\arg oload) = gCO2pertonTransFO(gCO2/tonTransFO) \cdot FOpertonC\arg oLoadRoRo(gFO/km \cdot tonc\arg oload)$$

Όμοια οι υπολογισμοί για τις λοιπές εκπομπές

Στοιχεία Πλοίου		
Ονομα	KING EDWARD	
Κατηγορία Πλοίου	TANKER	
Καύσιμο	FO	
Μέγεθος	Τιμή	Μονάδα

Speed	14,45	κόμβοι
Speed	26,76	km/hr
Engine	9466	KW
Engine Load	85%	% MCR
DWT	37384	ton
Revithousa - Aspropirfgos	530	nm
Duration	36,68	hr
Load Factor	0,55	
Pay Load	0,95	
Κατανάλωση Ενέργειας		
Energy consumption	300,68	kWH/km
Cargo Loaded	19533,14	ton
Special Fuel Consumption	0,213	kg FO/KWh
Energy consumption	0,015	KWh/ trans ton FOkm
FO per ton FO	**3218,279**	g FO/ trans ton FO
FO per ton cargo km (ro - ro)	**39,333**	g FO/ trans cargo ton km
FO per ton cargo km (tanker)	**0,127**	g FO/ trans cargo ton km
FO per ton cargo km (ro - ro + tanker)	**39,460**	g FO/ trans cargo ton km
Εκπομπές Αερίων		
Emissions CO2	677	g CO2/KWh
Co2 / ton FO	10228,99	g CO2/tonne FO
CO2/ tans cargo ton km	**0,402337**	g CO2/ trans cargo ton km
Emissions Nox	14	g NOx/KWh
NOx / ton FO	211,5301	g NOx/tonne FO
NOx/ tans cargo ton km	0,00832	g NOx/ trans cargo ton km
Emissions CH4	0,004	g CH4/KWh
CH4 / ton FO	0,060437	g CH4/tonne FO
CH4/ tans cargo ton km	2,38E-06	g CH4/ trans cargo ton km
Emissions SOx	4,5	g SOx/KWh
SOx / ton FO	67,99181	g SOx/tonne FO
SOx/ tans cargo ton km	0,002674	g SOx/ trans cargo ton km
Emissions PM	0,8	g PM/KWh
PM / ton FO	12,08743	g PM/tonne FO
PM/ tans cargo ton km	0,000475	g PM/ trans cargo ton km

Πίνακας 7 Προσομοίωση εκπομπών αερίων για τη μεταφορά του FO με τανκερ

5.4.3 Επιβατηγό ΑΡΙΑΔΝΗ

Το Ε/Γ ΑΡΙΑΔΝΗ εκτελεί δρομολόγια στο Αιγαίο και στην προσομοίωση θεωρείται πως κινείται σε κανονικές συνθήκες. Οι μηχανές του πλοίου είναι ζεύγος N.K.K-Pielstick 14PC4-2V συνολικής ισχύος 34377 KW. Τα υπόλοιπα δεδομένα προέρχονται από τη βάση NTM και από τους Cooper Gustafson. Το FO είναι περιεκτικότητας σε θείο 1%.

$$EnergyConsumption(KWh/km) = \frac{EngineLoad(\%) \cdot EnginePow(KW)}{Speed(km/h)}$$

$$C\arg oLoad(ton) = DWT(ton) \cdot Payload(\%) \cdot LoadFactor(\%)$$

$$EnergyConsumption(KWh/km \cdot tonc\arg oload) = \frac{EnergyConsumption(KWh/km)}{C\arg oLoad(ton)}$$

$$FOpertonC\arg okmRoRo(gFO/km \cdot tonc\arg oload) = \frac{SpecialFuelConsumption(gFO/KWh)}{EnergyConsumption(KWh/km \cdot tonc\arg oload)}$$

$$gCO2\,pertonkm(gCO2/km \cdot tonc\arg oload) =$$
$$EnergyConsumption(KWh/km \cdot tonc\arg oload) \cdot EmmisionFactCO2(gCO2/KWh)$$

Όμοια οι υπολογισμοί για τις λοιπές εκπομπές

Στοιχεία Πλοίου		
Ονομα	ARIADNE	
Κατηγορία Πλοίου	Ro-Ro	
Καύσιμο	FO	
Μέγεθος	Τιμή	Μονάδα
Speed	20,5	κόμβοι
Speed	37,97	km/hr
Engine	34377	KW
Engine Load	85%	% MCR
DWT	6174	ton
Pireaus - Mitilini	206	nm
Duration	10,05	hr
Load Factor	0,9	
Pay Load	0,75	
Κατανάλωση Ενέργειας		
Energy consumption	769,57	kWH/km

Cargo Loaded	4167,45	ton
Special Fuel Consumption	0,213	kg FO/KWh
Energy consumption	0,185	KWh/ trans cargo ton km
FO per ton km	**39,333**	g FO/ trans cargo ton km
Εκπομπές Αερίων		
Emissions CO2	677	g CO2/KWh
CO2 per ton km	**125,02**	**g CO2/ ton km**
Emissions Nox	12	g NOx/KWh
NOx per ton km	**2,216**	**g NOx/ ton km**
Emissions SOx	4,5	g SOx/KWh
SOx per ton km	**0,831**	**g SOx/ ton km**
Emissions CH4	0,004	g CH4/KWh
CH4 per ton km	**0,000739**	**g CH4/ ton km**
Emissions PM	0,8	g PM/KWh
PM per ton km	**0,14773**	**g PM/tonne FO**

Πίνακας 8 Προσομοίωση εκπομπών αερίων από το Ε/Γ αριάδνη με χρήση FO

6 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ

Η προσομοίωση των κύκλων ζωής των καυσίμων δίνει πολλαπλές ευκαιρίες για εξαγωγή αποτελεσμάτων ικανών να δώσουν ποσοτικοποιημένες πληροφορίες σχετικά με τη χρήση των καυσίμων αυτών

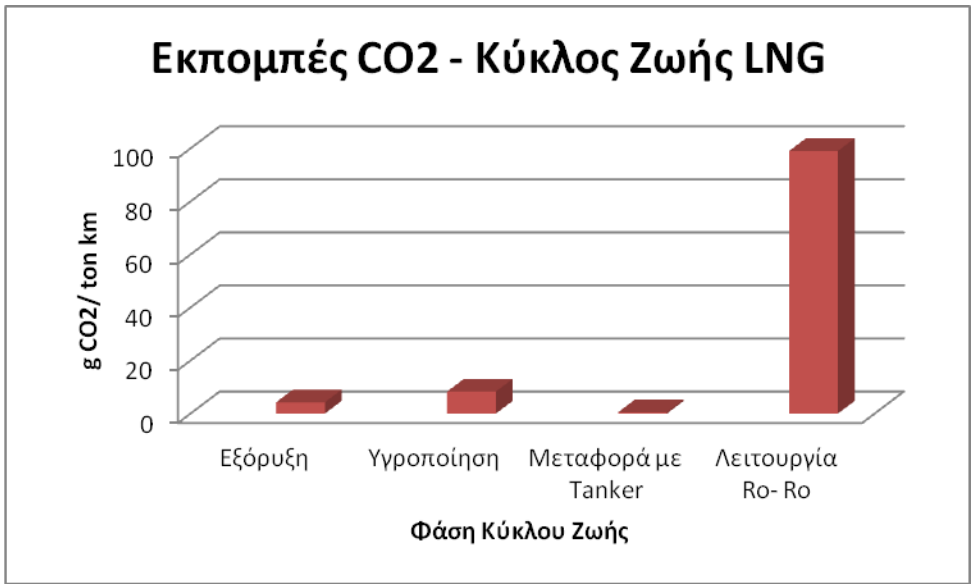
6.1 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ LCI ΓΙΑ LNG ΝΑΥΤΙΛΙΑ

Εποπτικά και σε μορφή πίνακα παρατίθενται τα αποτελέσματα από τον κύκλο ζωής του LNG. Οι εκπομπές αερίων έχουν διαφοροποιηθεί σε 2 ομάδες . Η πρώτη ομάδα σχετίζεται με τα αέρια του θερμοκηπίου αποτελούμενη από CO2 και CH4 και από τα λοιπά αέρια που περιλαμβάνουν τις ομάδες των νιτρικών, των θειικών και των PM. Η δεύτερη ομάδα χαρακτηρίζει την όξινη βροχή και την υγεία των ανθρώπων

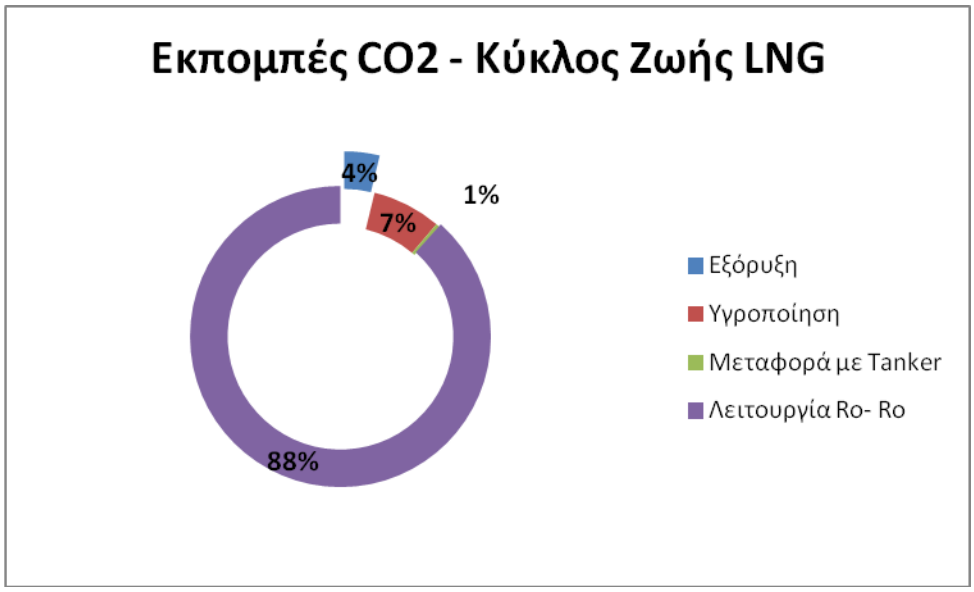
Εκπομπές αερίων από την LCI του LNG				
Ρύποι	**Εξόρυξη**	**Υγροποίηση**	**Μεταφορά με Tanker**	**Λειτουργία Ro- Ro**
Αέρια Θερμοκηπίου (g/ ton km)				
CO2	**4,2385**	**8,2894**	**0,4853**	**99,0417**
CH4	**0,0451**	**0,0705**	**0,000009**	**0,4894**
Λοιπά Αέρια (g/ ton km)				
NOx	**0,0165**	**0,0068**	**0,0003**	**0,3030**
SOx	**0,0005**	**0,0000**	**0,0000**	**0,0000**
PM	**0,000307**	**0,000045**	**0,000030**	**0,016313**

Πίνακας 9 Συγκεντρωτικές Εκπομπές αερίων από το LCI του LNG

Στα επόμενα γραφήματα φαίνονται οι εκπομπές CO2 ανά φάση κύκλου Ζωής του LNG. Παράλληλα παρουσιάζεται και η ποσοστιαία συμμετοχή της κάθε μίας φάσης στο κύκλο ζωής. Το CO2 προέρχεται κυρίως από την καύση του LNG κατά ποσοστό 88%. Γενικά στα ναυτιλιακά καύσιμα η συμμετοχή του παραγόμενου CO2 μέχρι πριν τη καύση του είναι το 1/10. Οι παραγόμενες ποσότητες δεν είναι αμελητέες ενώ δικαιολογούν το χαρακτήρα του LNG ως ορυκτό καύσιμο που συμβάλλει στο φαινόμενο του θερμοκηπίου.

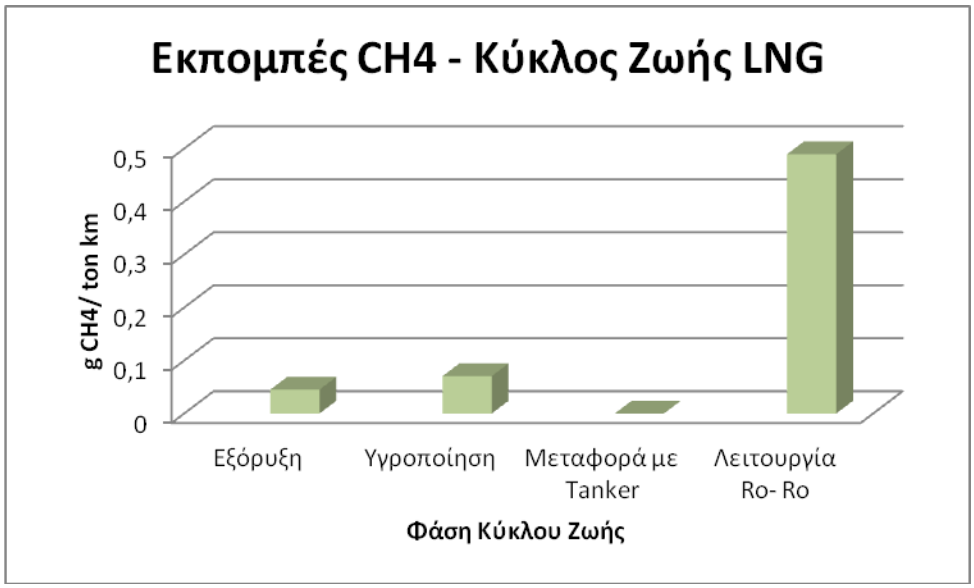


Γράφημα 3Εκπομπές CO2 - LCI LNG

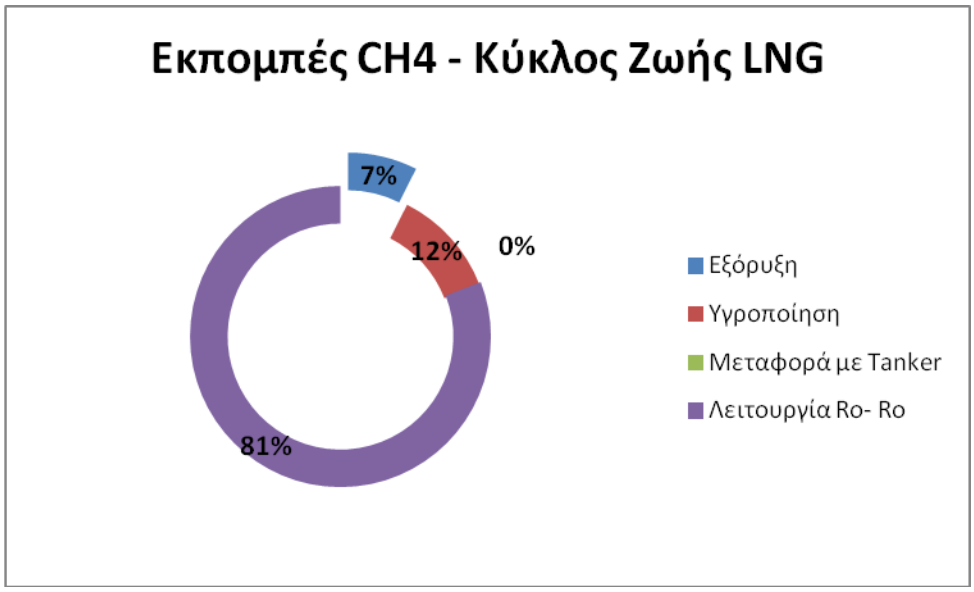


Γράφημα 4 Ποσοστιαίες εκπομπές CO2 - LCI LNG

Το LNG είναι καύσιμο το οποίο χαρακτηρίζεται από τις πρόσθετες εκπομπές μεθανίου κατά την καύση του σε αντίθεση με άλλα ορυκτά καύσιμα. Η παραγωγή του CH4 η οποία είναι αποτέλεσμα είτε διαφυγών από το σύστημα του κύκλου ζωής είτε λόγω ατελούς καύσης δεν είναι αμελητέα και συνεισφέρει στο φαινόμενο του θερμοκηπίου. Το μεθάνιο παράγεται σε όλες τις φάσεις - κυρίως όμως κατά την καύση του όπου ανέλεγκτα διαφεύγει. Στην υγροποίηση μολονότι παράγεται αρκετό εντούτοις στις εγκαταστάσεις παρέχεται η δυνατότητα της επαναψύξης του. Στην εξόρυξη κυρίως διαφεύγει, στην υγροποίηση παράγεται από το BOG.



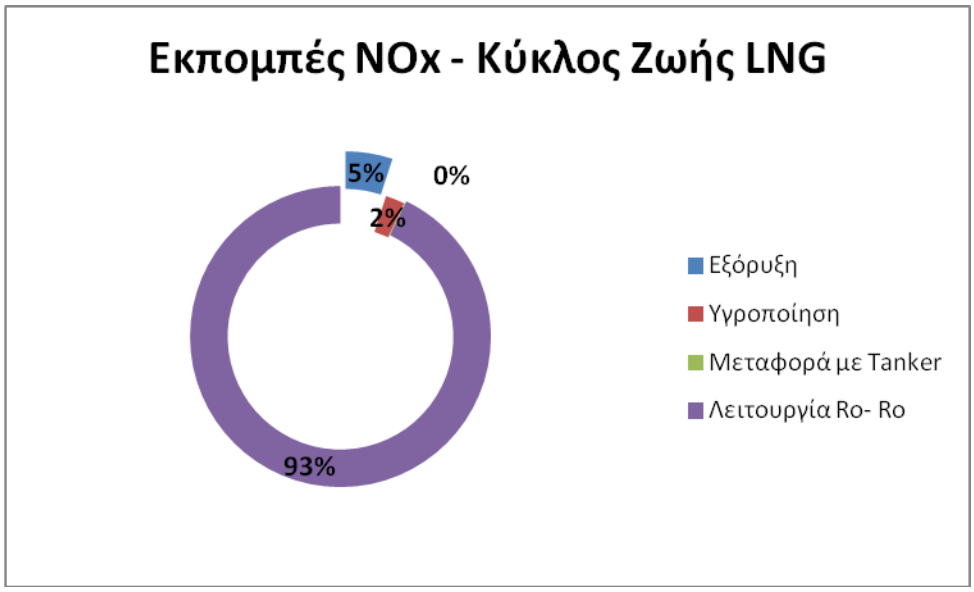
Γράφημα 5 Εκπομπές CH4 - LCI LNG



Γράφημα 6 Ποσοστιαίες εκπομπές CH4 - LCI LNG

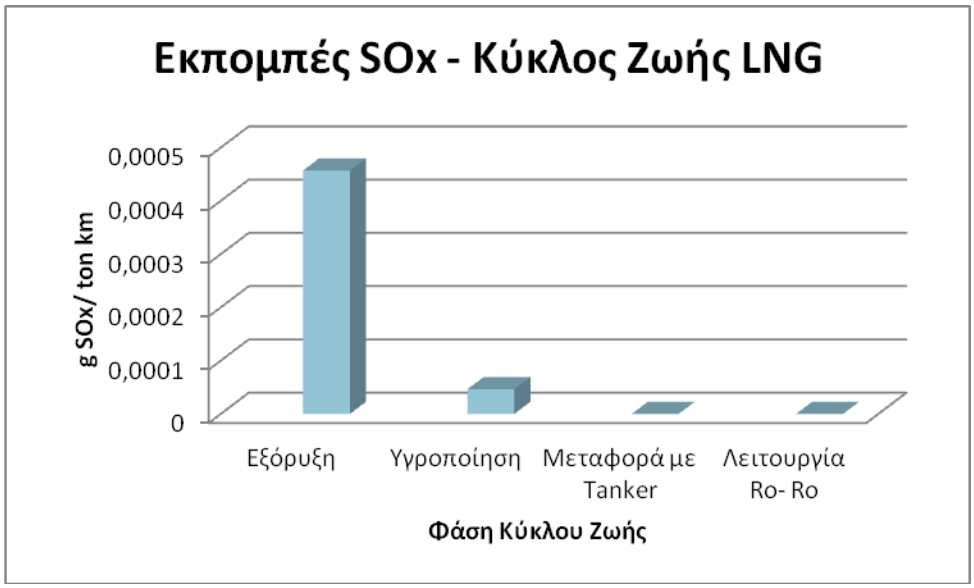
Το LNG ως καύσιμο καίγεται παρουσία ατμοσφαιρικού αέρα και για το λόγο αυτό παράγονται τα νιτρικά. Η συμμετοχή στην παραγωγή νιτρικών είναι συντριπτική κατά τη φάση της καύσης. Παράγεται όμως και στη φάση της εξόρυξης αφού λογίζονται όλα τα καύσιμα που καίγονται για τις εγκαταστάσεις αλλά και στη φάση των ερευνών.

Γράφημα 7 Εκπομπές NOx - LCI LNG

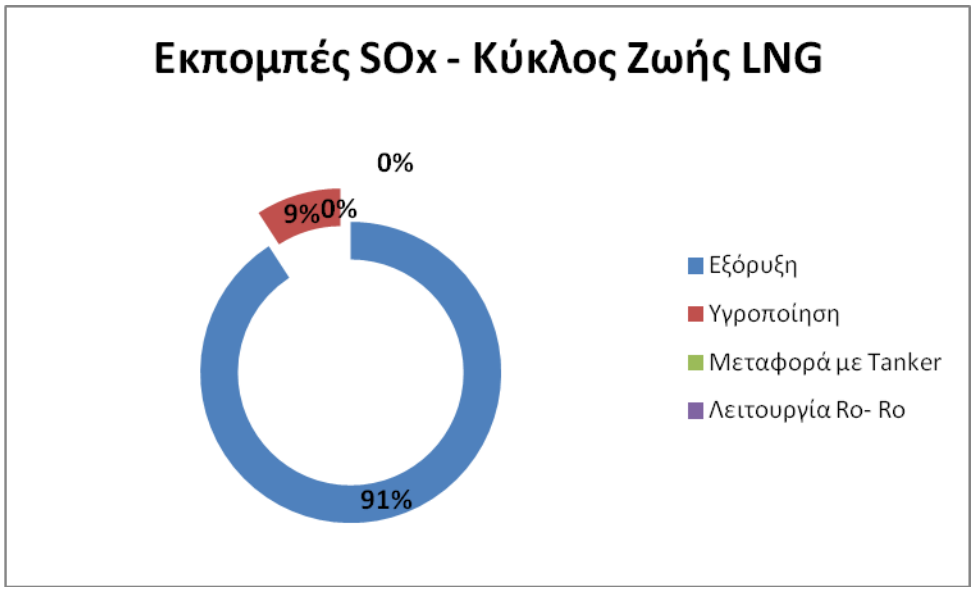


Γράφημα 8 Ποσοστιαίες Εκπομπές NOx - LCI LNG

Στο επόμενα γράφημα παρουσιάζεται η περιβαλλοντικά φιλική μορφή του LNG καθότι κατά την καύση δεν παράγονται θειικά. Οι όποιες πολύ μικρές εκπομπές θειικών οφείλονται από την παραγωγή αφού θεωρείται ότι diesel έχει χρησιμοποιηθεί είτε για την κατασκευή των εγκαταστάσεων είτε για την κίνηση των πλοίων που σχετίζονται με τις εργασίες αυτές.



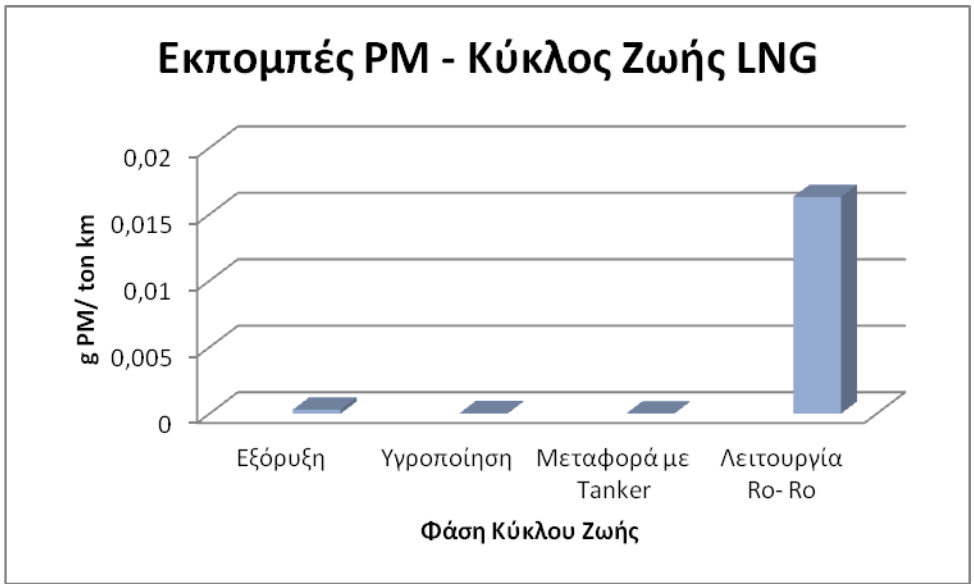
Γράφημα 9 Εκπομπές SOx - LCI LNG



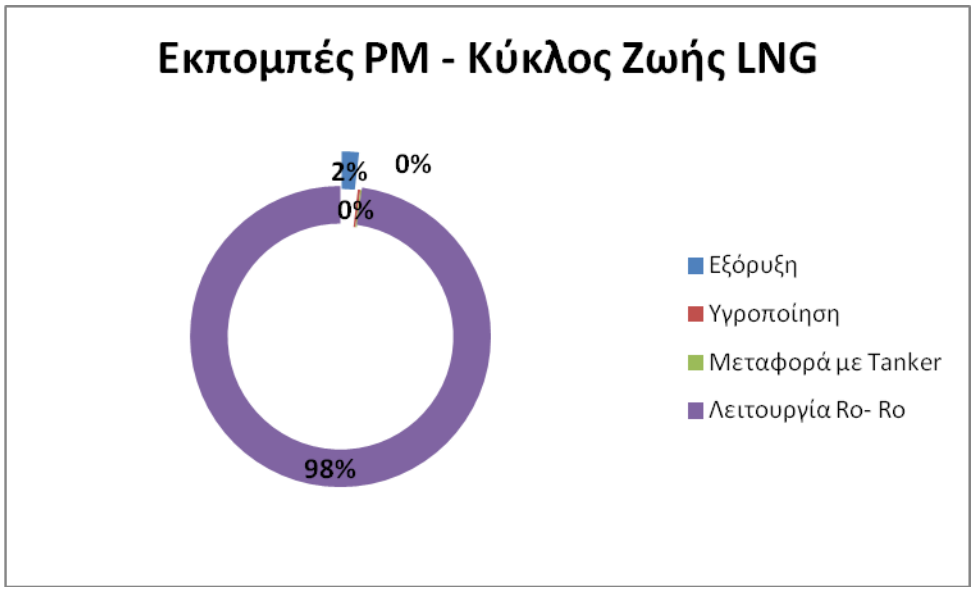
Γράφημα 10 Ποσοστιαίες εκπομπές SOx - LCI LNG

Η παραγωγή των PM οφείλεται εξολοκλήρου από την καύση του LNG και λόγω της ποαρουσίας άνθρακα σε αυτό. Σημαντική παρατήρηση σε όλο τον κύκλο ζωής είναι η μικρή συμβολή σε όλες τις φάσεις από τη μεταφορά του LNG από το σημείο παραγωγής του έως το σημείο καύσης . Η μικρή συμβολη πάντως οφείλεται στο γεγονός ότι έχουν επιλεγεί πλοία μεγάλης χωρητικότητας όποτε η εκπεμπόμενη ανά μεταφερόμενο τόνο LNG είναι μικρή και από το γεγονός ότι η απόσταση μεταξύ Ρεβυθούσας και Βασιλικού είναι σχετικά μικρή. Είναι χαρακτηριστικό πως οι εκπεμπόνες ποσότητες θα πενταπλασιάζονταν αν τα καύσιαμα ερχόντουσαν από τη Σαουδική Αραβία

Ολοκληρώνοντας, οι εκπομπές οφείλονται λόγω της καύσης του, επηρεάζουν όμως η παραγωγή και η υγροποίηση του.



Γράφημα 11Εκπομπές PM - LCI LNG



Γράφημα 12 Ποσοστιαίες εκπομπές PM - LCI LNG

6.2 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ LCI ΓΙΑ FO ΝΑΥΤΙΛΙΑ

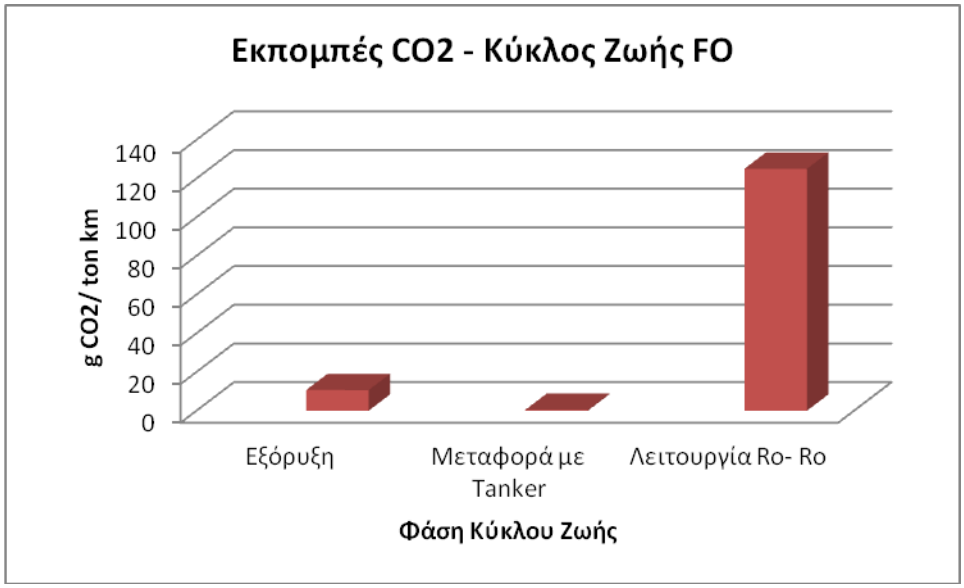
Εποπτικά και σε μορφή πίνακα παρατίθενται τα αποτελέσματα από τον κύκλο ζωής του FO. Οι εκπομπές αερίων έχουν διαφοροποιηθεί σε 2 ομάδες . Η πρώτη ομάδα σχετίζεται

με τα αέρια του θερμοκηπίου αποτελούμενη από CO2 και CH4 και από τα λοιπά αέρια που περιλαμβάνουν τις ομάδες των νιτρικών, των θειικών και των PM. Η δεύτερη ομάδα χαρακτηρίζει την όξινη βροχή και την υγεία των ανθρώπων.

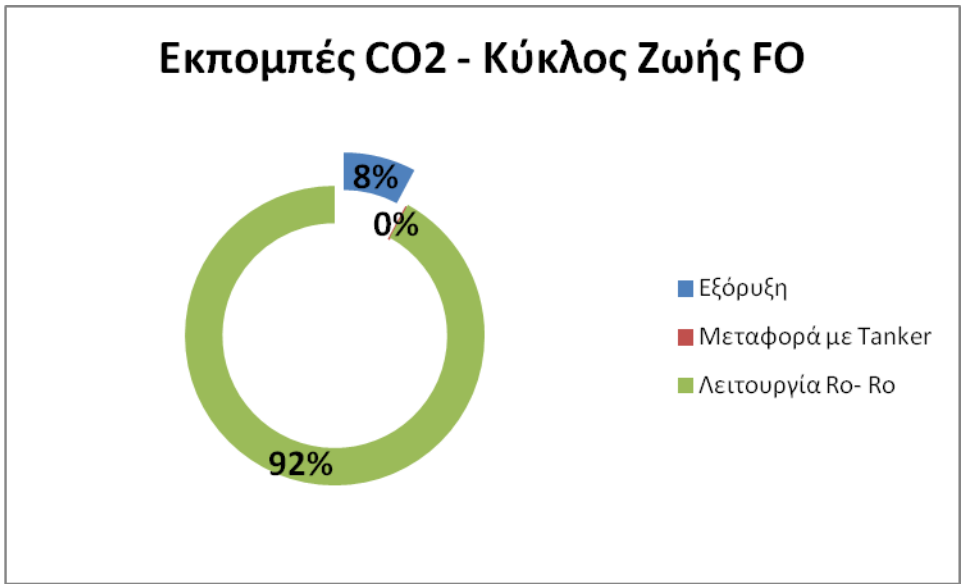
Εκπομπές αερίων από την LCI του FO με 1% S			
Ρύποι	**Εξόρυξη**	**Μεταφορά με Tanker**	**Λειτουργία Ro- Ro**
Αέρια Θερμοκηπίου (g/ ton km)			
CO2	**10,6266**	**0,4023**	**125,0162**
CH4	**0,1181**	**0,000002**	**0,0007**
Λοιπά Αέρια (g/ ton km)			
NOx	**0,0002**	**0,0083**	**2,2159**
SOx	**0,0007**	**0,0027**	**0,8310**
PM	**0,0007**	**0,0005**	**0,1477**

Πίνακας 10 Συγκεντρωτικές εκπομπές αεριων από την LCI του FO

Τα γραφήματα των εκπομπών του CO2 από τον κύκλο ζωής δείχνουν πως η πλειονότητα των εκπομπών προέρχεται από την καύση του καυσίμου. Είναι χαρακτηριστικό πως το 92% των εκπομπών προέρχεται από τη λειτουργία του επιβατηγού Ro-Ro σε αντίθεση με την ισχνή συνεισφορά από τη μεταφορά με τάνκερ καθιστώντας τη λύση αυτή ως περιβαλλοντικά θεμιτή. Το tanker λόγω της χαμηλής ταχύτητας έχει και χαμηλότερη κατανάλωση αλλά μεταφέρει τεράστιες ποσότητες καυσίμων σε σχέση με αυτές που καίγονται. Από την άλλη η φάση της εξόρυξης, των εγκαταστάσεων αυτής, της παραγωγής FO από το διυλιστήριο είναι και λόγω της συνεχούς λειτουργίας συμβάλλουν κατά σχεδόν 8%.

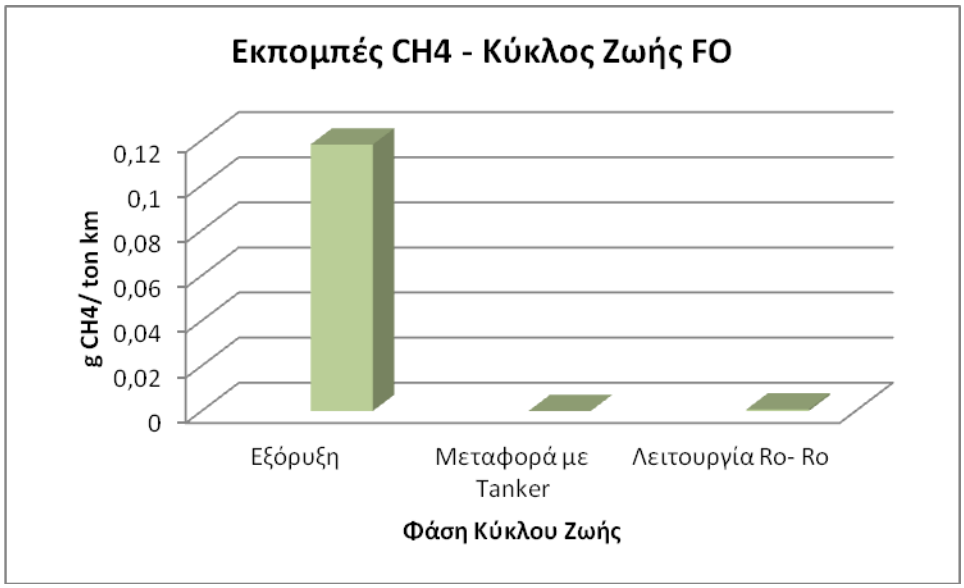


Γράφημα 13 Εκπομπές CO2 - LCI FO

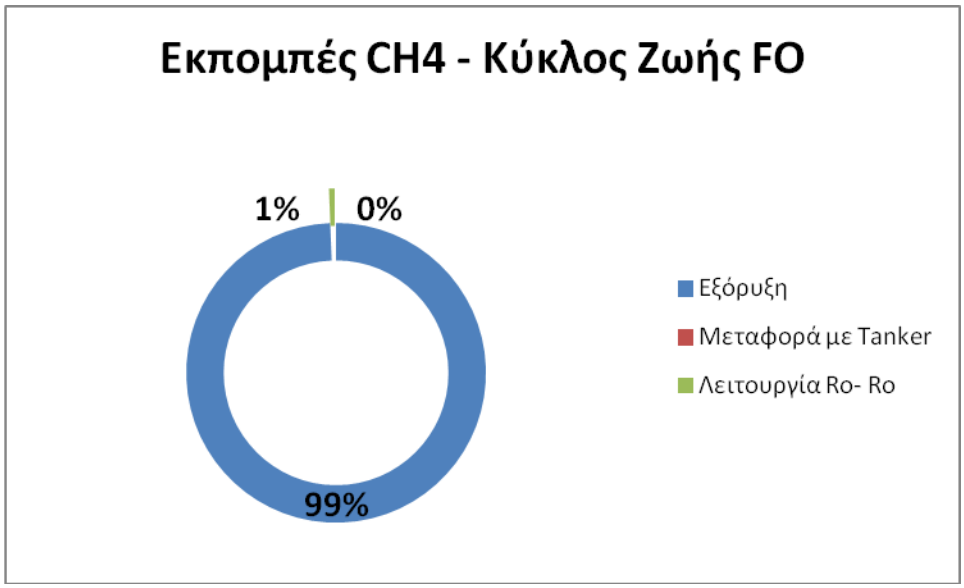


Γράφημα 14 Ποσοστιαίες εκπομπές CO2 - LCI FO

Τα γραφήματα των εκπομπών του CO2 από τον κύκλο ζωής δείχνουν πως η πλειονότητα των εκπομπών προέρχεται από την καύση του καυσίμου. Είναι χαρακτηριστικό πως το 92% των εκπομπών προέρχεται από τη λειτουργία του επιβατηγού Ro-Ro σε αντίθεση με την ισχνή συνεισφορά από τη μεταφορά με τάνκερ καθιστώντας τη λύση αυτή ως περιβαλλοντικά θεμιτή. Το tanker λόγω της χαμηλής ταχύτητας έχει και χαμηλότερη κατανάλωση αλλά μεταφέρει τεράστιες ποσότητες καυσίμων σε σχέση με αυτές που καίγονται. Από την άλλη η φάση της εξόρυξης, των εγκαταστάσεων αυτής, της παραγωγής FO από το διυλιστήριο είναι και λόγω της συνεχούς λειτουργίας συμβάλλουν κατά σχεδόν 8%.



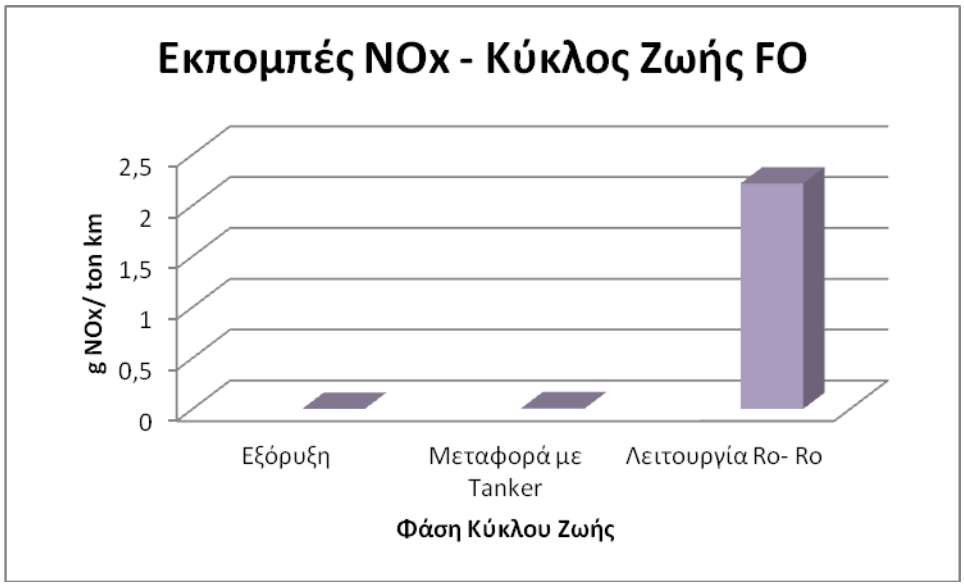
Γράφημα 15 Εκπομπές CH4- LCI FO



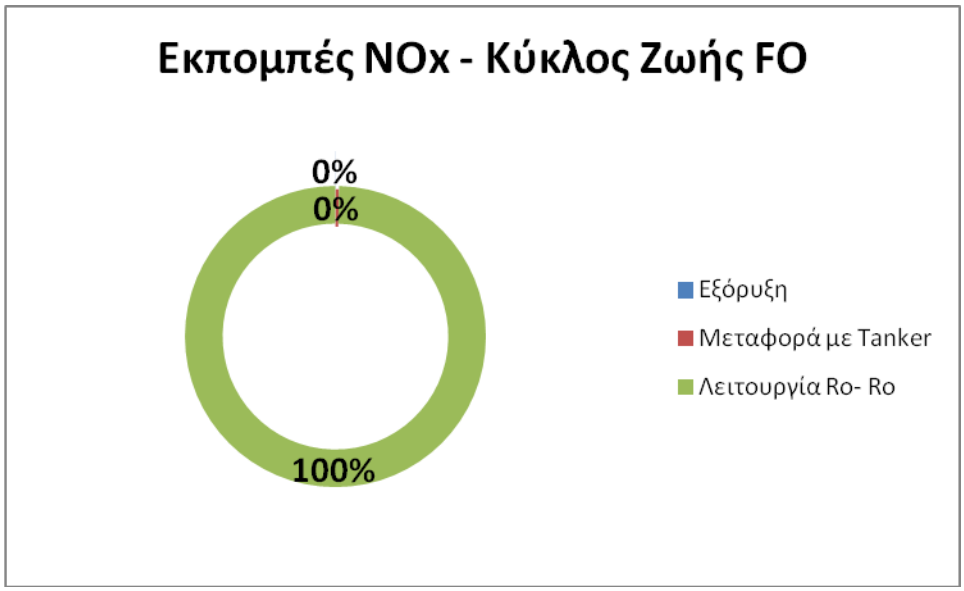
Γράφημα 16 Ποσοστιαίες εκπομπές CH4 - LCI FO

Αντίθετα με το CO2 το CH4 είναι προϊόν που οφείλεται κυρίως από την εξόρυξη και παραγωγή του FO. Το CH4 δεν είναι παράγωγο καύσης παρά προϊόν είτε ατελών καύσεων είτε διαρροών. Έτσι οι προερχόμενες εκπομπές προέρχονται από τη φάση της εξόρυξης και της διύλισης σε συντριπτικό ποσοστό 99% .

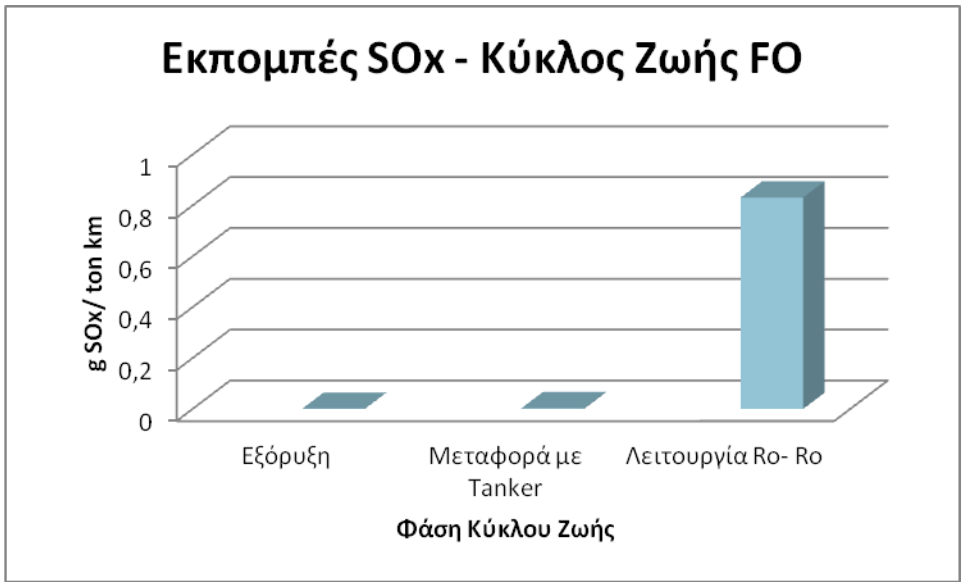
Τα επόμενα γραφήματα παρουσιάζουν τις εκπομπές των SOx, NOx, και PM. Οι τρεις εκπομπές παρουσιάζουν ακριβώς την ίδια συμπεριφορά. Προέρχονται καθολικά από την καύση του FO και όχι από την μεταφορά ή την εξόρυξη. Είναι λογικό αφού είναι εκπομπές παραγόμενες από την καύση.



Γράφημα 17 Εκπομπές NOx - LCI FO

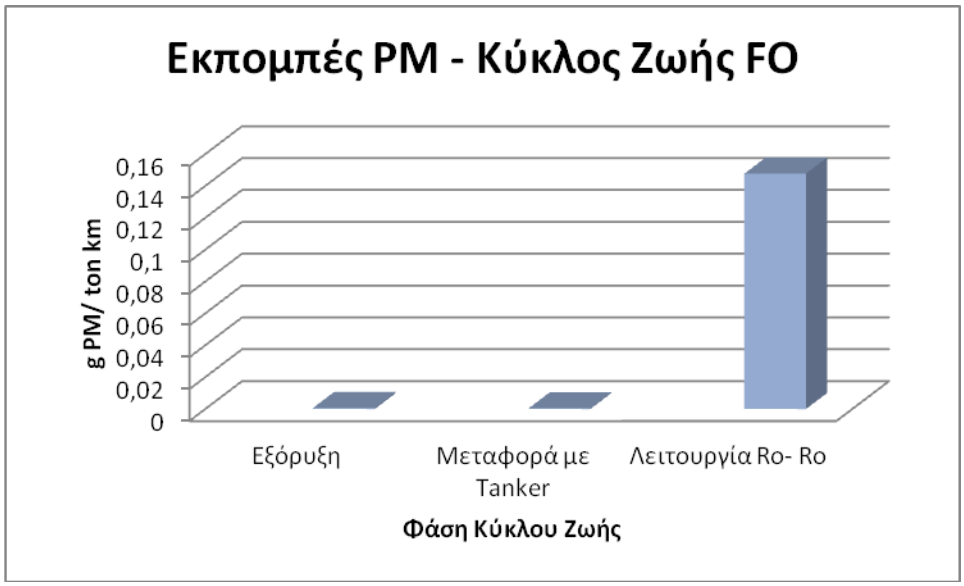


Γράφημα 18 Ποσοστιαίες εκπομπές NOx - LCI FO

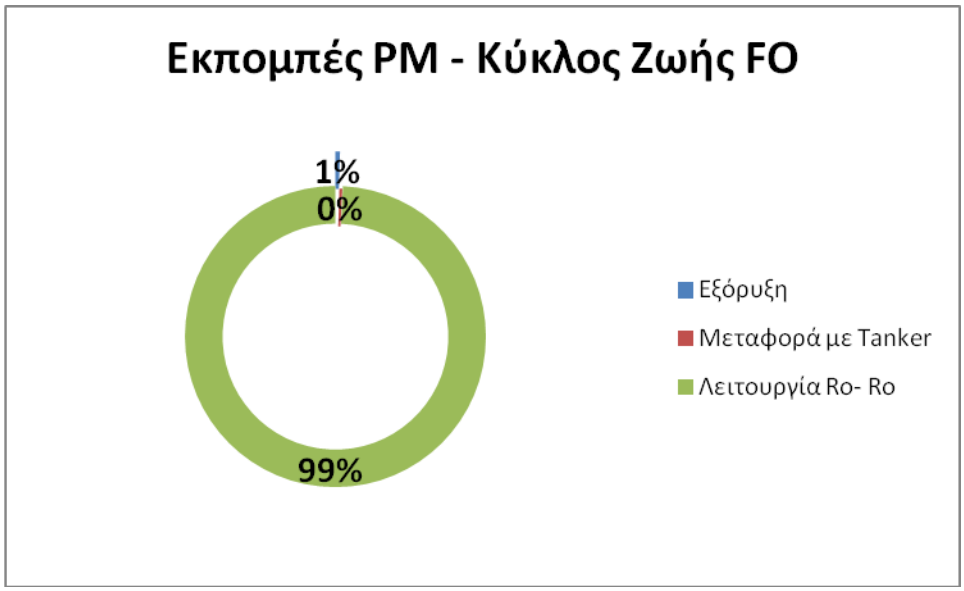


Γράφημα 19 Εκπομπές SOx - LCI FO

Γράφημα 20 Ποσοστιαίες εκπομπές SOx - LCI FO



Γράφημα 21Εκπομπές PM - LCI FO



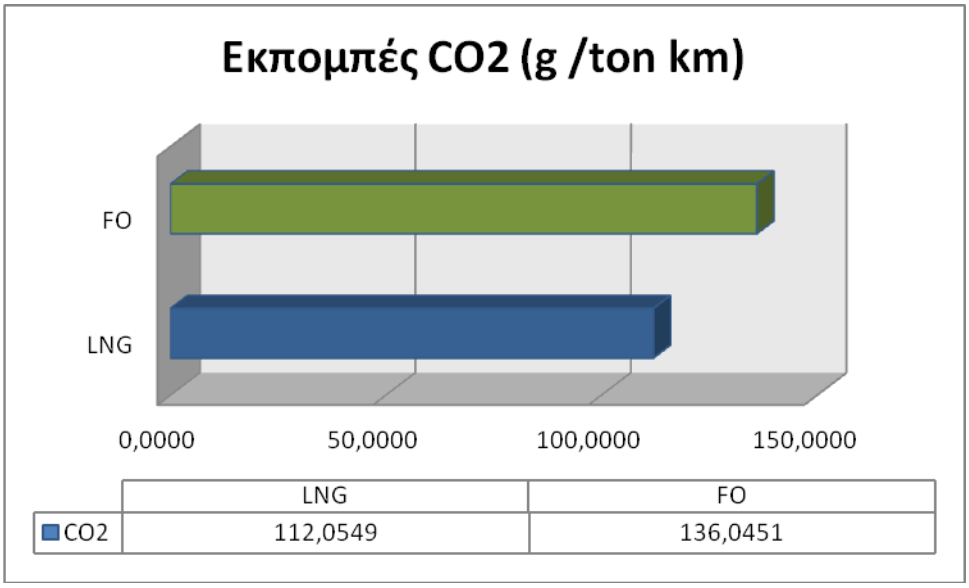
Γράφημα 22 Ποσοστιαίες εκπομπές PM - LCI FO

7 ΙΣΟΖΥΓΙΑ – ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

7.1 ΣΥΓΚΡΙΤΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΚΠΟΜΠΩΝ

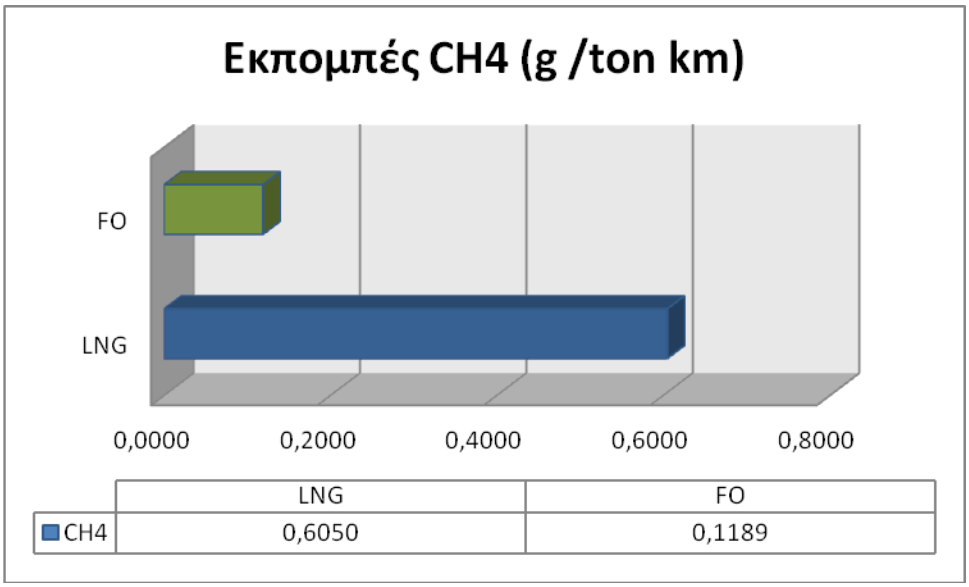
Η ανάλυση του κύκλου Ζωής δύο καυσίμων επιτρέπει και τη συγκριτική ανάλυση του. Με τον τρόπο αυτό γίνεται εποπτική η διαφοροποίηση των χαρακτηριστικών τους και είναι δυνατή η εξαγωγή συμπερασμάτων προς θέσπιση πολιτικών Η συγκριτική ανάλυση γίνεται με τη βοήθεια γραφήματος ενώ και ποσοστιαίας ανάλυσης.

Το FO και το LNG είναι ορυκτά καύσιμα και το κύριο τους στοιχείο είναι ο άνθρακας. Καίγονται σύμφωνα με την στοιχειομετρική εξίσωση. Οι εκπομπές τους είναι συγκρίσιμες και σχετικά ομοιάζουν. Οι εκπομπές του CO2 από το LNG είναι το 82,4% των αντίστοιχων του FO. Είναι εμφανές πως το LNG σαν καύσιμο που μόλις εισάγεται στη ναυτιλία δεν εξασφαλίζει δραστική μείωση των εκπομπών.



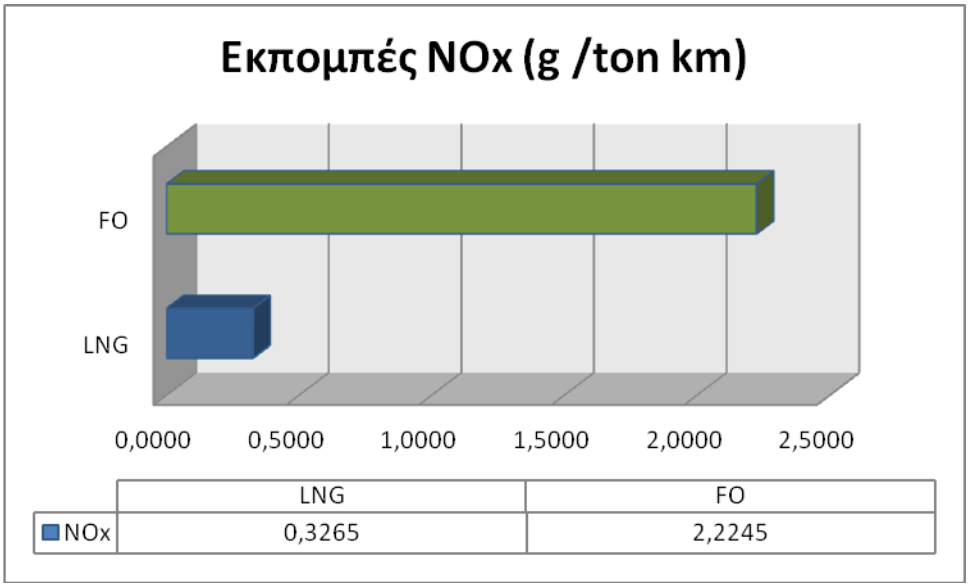
Γράφημα 23 Συγκριτική ανάλυση εκπομπών CO2 από LCI FO - LNG

Το κυριότερο χαρακτηριστικό του LNG είναι οι εκπομπές του μεθανίου ενός αερίου ιδιαίτερα δραστικό για το φαινόμενο του θερμοκηπίου. Είναι μία ποσότητα σημαντική για το LNG αφού είναι σχεδόν πενταπλάσια της ποσότητας που παράγεται με το FO. Η παραγόμενη ποσότητα μεθανίου είναι μία πρόκληση για το LNG σε μεταγενέστερες πολιτικές που θα το ελέγχουν. Σίγουρα όμως θεωρείται πως η τεχνολογία θα επιτρέψει την επανάκτηση του κατά την καύση. Επίσης, προς το παρόν η IMO δεν έχει ακόμα θεσπίσει όρια για τα αέρια του θερμοκηπίου καθότι είναι στη φάση καταγραφής αυτών.



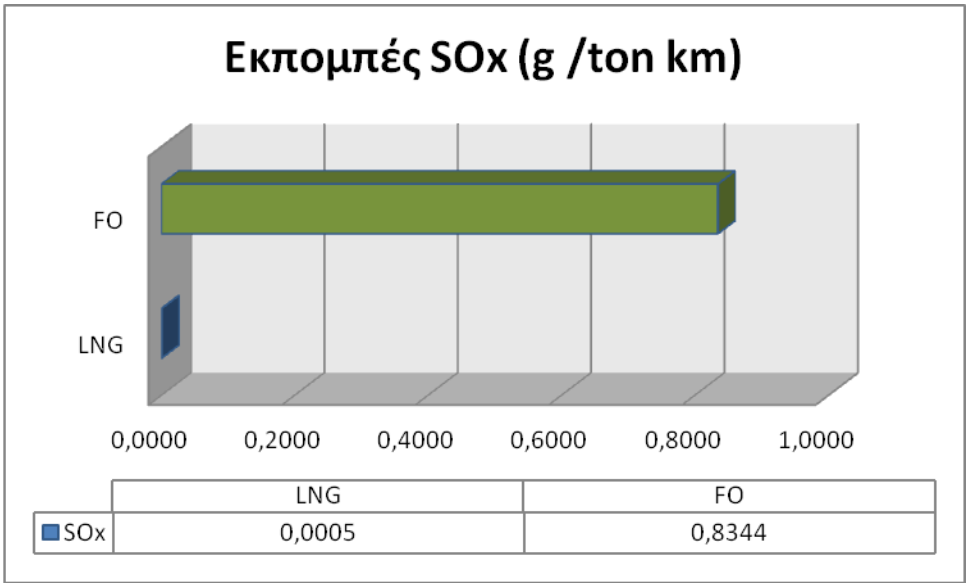
Γράφημα 24Συγκριτική ανάλυση εκπομπών CH4 από LCI FO - LNG

Το LNG σαν καύσιμο χαίρει μεγάλης αναγνώρισης γιατί πετυχαίνει μεγάλες μειώσεις στις εκπομπές των θειικών, των νιτρικών αλλά και των μικροσωματιδίων. Συνεπώς υπάρχει μεγάλο όφελος περιβαλλοντικά γιατί μειώνουν το φαινόμενο της όξινης βροχής, Παράλληλα βελτιώνουν τις ατμοσφαιρικές συνθήκες για τον άνθρωπο. Τα NOx που παράγονται αναγκαστικά λόγω της ατμοσφαιρικής καύσης είναι σαφώς λιγότερα στο LNG – αποτελούν το 14,7 % των εκπομπών του FO . Η μείωση αυτή οφείλεται κυρίως στη χαμηλότερη θερμοκρασία καύσης του LNG οπότε δεν ευνοείται η δημιουργία νιτρικών. Κατεύθυνση της αγοράς είναι να διασφαλίζονται χαμηλές θερμοκρασίες καυσαερίων και ακόμα προς σχηματισμό συμπυκνωμάτων τους.



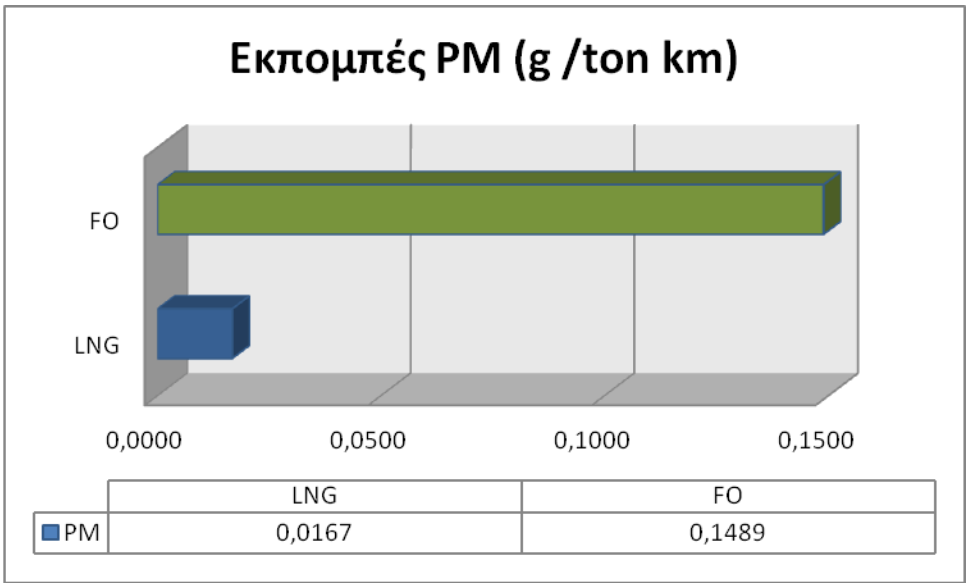
Γράφημα 25 Συγκριτική ανάλυση εκπομπών NOx από LCI FO - LNG

Το LNG όταν καίγεται είναι αποθειωμένο διαδικασία που πραγματοποιείται με τον καθαρισμό του πριν από την υγροποίηση του. Συνεπώς στη μελέτη αυτή θεωρείται απαλλαγμένο κατά την καύση του ενώ η μικρή παρουσία στο κύκλο οφείλεται στις καύσεις diesel για την κατασκευή των εγκαταστάσεων εξόρυξης και υγροποίησης. Η μείωση είναι καθολική για αυτό το LNG θα μπορεί να χρησιμοποιηθεί στις αυστηρότερες ECA.



Γράφημα 26 Συγκριτική ανάλυση εκπομπών SOx από LCI FO - LNG

Τα PM είναι ένας από τους βλαβερότερους παράγοντες για την υγεία καθότι εισχωρούν στα πνευμόνια και προκαλούν αναπνευστικά προβλήματα. Το LNG είναι ουσιαστικά καθαρό μεθάνιο, το οποίο είναι η απλούστερη οργανική ένωση και δεν ευνοεί το σχηματισμό πολύπλοκων ανθρακικών συσσωμάτων όπως σε αντίθεση με το FO ένα υπόλειμμα της βιομηχανίας πετρελαίου. Έτσι οι εκπομπές PM αποτελούν μόλις το 11,2% των εκπομπών από το FO.



Γράφημα 27 Συγκριτική Ανάλυση εκπομπών PM από LCI FO - LNG

Από τα παραπάνω γραφήματα συνάγεται ότι το LNG μειώνει δραστικά τα θειικά και τα νιτρικά όπως και τα PM ενώ αυξάνει δραματικά τις εκπομπές του μεθανίου. Οι εκπομπές του CO2 μειώνονται επίσης, όχι όμως δραστικά και σίγουρα μειονεκτεί σε σύγκριση με άλλα καύσιμα (όπως υδρογόνου) . Ενδιαφέρον όμως παρουσιάζει η συνδυαστική συμπεριφορά των εκπομπών στη παγκόσμια θέρμανση, στο acidification και στην υγεία.

7.2 ΙΣΟΔΥΝΑΜΕΣ ΠΟΣΟΤΗΤΕΣ ΕΚΠΟΜΠΩΝ

Το CO2 και το CH4 είναι αέρια του θερμοκηπίου με διαφορετική όμως δραστικότητα. Χαρακτηριστικά το μεθάνιο θεωρείται 25 φορές πιο δραστικό ως προς τις συνέπειες για την παγκόσμια θέρμανση σε αντίθεση με το CO2. Συνεπώς η μέτρηση του σαν εκπομπή είναι αναγκαία. Αντίστοιχα η δραστικότητα των νιτρικών σε σχέση με τα θειικά στην όξινη βροχή είναι το 70%. Η διαφορετικά της δραστικότητας της κάθε εκπομπής απαιτεί την εξαγωγή τους σε ποσότητες ισοδύναμου CO2 και SO2. Οι παρακάτω πίνακες παρουσιάζουν για το LNG και για το FO τις ισοδύναμες ποσότητες. Χαρακτηριστικό είναι πως τα 0,6050 g CH4 αντιστοιχούν σε ποσότητα 15,12 γραμμαρίων CO2. Αντίστοιχα τα 0,3265 g NOx μειώνονται σε 0,2286 g SO2.

Εκπομπές αερίων από την LCI του LNG				
Ρύποι	**Συνολα**	**Συντελεστής Παγκόσμιας Θέρμανσης**	**Λειτουργία Ro- Ro**	**Σύνολα eq**
Αέρια Θερμοκηπίου (g/ ton km)				CO2 eq
CO2	**112,0549**	**1,0000**	**112,0549**	**127,1795**
CH4	**0,6050**	**25,000000**	**15,1246**	

Λοιπά Αέρια (g/ ton km)				Σύνολα eq
Ρύποι	**Συνολα**	**Συντελεστής acidification**	**Λειτουργία Ro- Ro**	SO2 eq
NOx	**0,3265**	**0,7000**	**0,2286**	**0,2291**
SOx	**0,0005**	**1,0000**	**0,0005**	
PM (g/ ton km)				**Σύνολα eq**
Ρύποι	**Συνολα**	**Συντελεστής Human Health**	**Λειτουργία Ro- Ro**	PM eq
PM	**0,0167**	**1,0000**	**0,0167**	**0,0167**

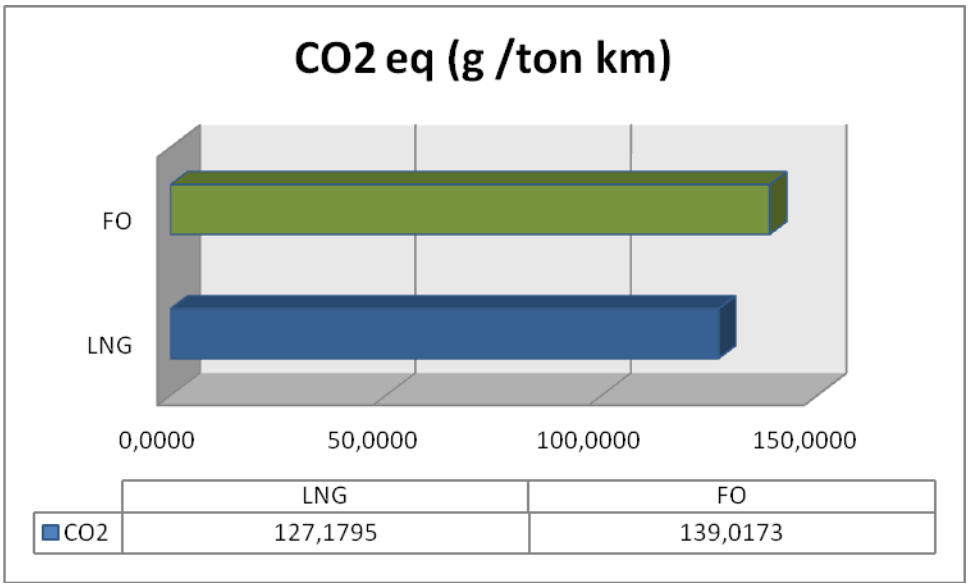
Πίνακας 11Συγκεντρωτικές ισοδύναμες εκπομπές από την LCI του LNG

Αντίστοιχα και στον πίνακα των αποτελεσμάτων για το FO το μεθάνιο μεταφράζεται σε 2,97 γραμμάρια CO2 ενώ τα NOx μειώνονται από 2,22 σε 1,55 g . Με τον τρόπο των ισοδύναμων ποσοτήτων είναι εφικτή η άθροιση εκπομπών αερίων που προκαλούν τις ίδιες συνέπειες σε περιβαλλοντικό επίπεδο. Σχετικά με την ανθρώπινη υγεία ο μόνος ρύπος είναι τα PM τα οποία για λόγους ομοιογένειας πολλαπλασιάζονται με την μονάδα προς σχηματισμό ίσων ποσοτήτων PM - eq

Εκπομπές αερίων από την LCI του FO με 1% S				
Ρύποι	**Συνολα**	**Συντελεστής Παγκόσμιας Θέρμανσης**	**Λειτουργία Ro- Ro**	**Σύνολα eq**
Αέρια Θερμοκηπίου (g/ ton km)				CO2 eq
CO2	**136,0451**	**1,0000**	**136,0451**	**139,0173**
CH4	**0,1189**	**25,000000**	**2,9721**	
Λοιπά Αέρια (g/ ton km)				**Σύνολα eq**
Ρύποι	**Συνολα**	**Συντελεστής acidification**	**Λειτουργία Ro- Ro**	SO2 eq
NOx	**2,2245**	**0,7000**	**1,5572**	**2,3915**
SOx	**0,8344**	**1,0000**	**0,8344**	
Λοιπά Αέρια (g/ ton km)				**Σύνολα eq**
Ρύποι	**Συνολα**	**Συντελεστής Human Health**	**Λειτουργία Ro- Ro**	PM eq
PM	**0,1489**	**1,0000**	**0,1489**	**0,1489**

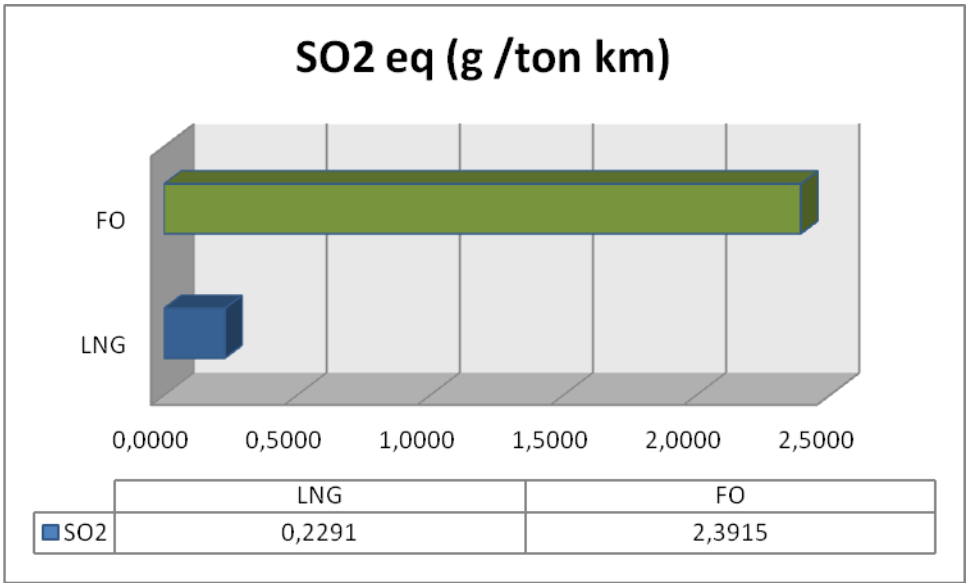
Πίνακας 12 Συγκεντρωτικές ισοδύναμες εκπομπές αερίων από την LCI της FO

Το γράφημα του ισοδύναμου CO2 δείχνει πως τελικά με τη χρήση του LNG πετυχαίνεται μείωση κατά 8,52%. Είναι εμφανής η επιρροή της δράσης του CH4 που ως ισοδύναμο CO2 αυξάνει τις εκπομπές κατά 13,5%. Η ασθενής μείωση των εκπομπών των αερίων του CO2 είναι σίγουρο πως θα ενεργοποιήσει τις αγορές για εισαγωγή τεχνολογικών μεθόδων προς μείωση και αυτού του ποσοστού.



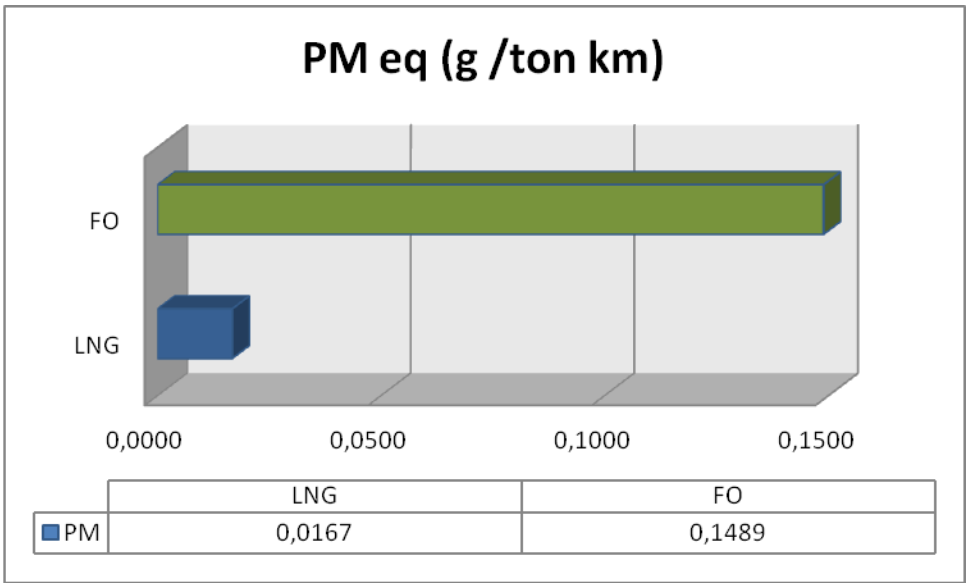
Γράφημα 28 Συγκριτική ανάλυση ισοδύναμων ποσοτήτων CO2 από LCI LNG - FO

Η κύρια συμβολή του LNG είναι στη καθοριστική μείωση των θειικών και των νιτρικών που σε ισοδύναμες ποσότητες SO2 αγγίζει το 90,4%. Επισημαίνεται πως η παρουσία των SO2 ισοδύναμων οφείλεται σχεδόν κατά αποκλειστικότητα από τα νιτρικά αφού το LNG θεωρείται αποθειωμένο. Με το LNG τα πλοία μπορούν να κινηθούν στις ECA.



Γράφημα 29 Συγκριτική ανάλυση ισοδύναμων ποσοτήτων SO2 από LCI LNG - FO

Σχετικά με τα PM ισοδύναμα τα αποτελέσματα είναι ακριβώς τα ίδια με τα PM αφού δεν υπάρχει κάποια άθροιση εκπομπών αερίων. Για την πληρότητα των αποτελεσμάτων παρουσιάζεται το γράφημα των PM-eq όπου φαίνεται η καταλυτική μείωση των PM με τη χρήση του LNG



Γράφημα 30 Συγκριτική ανάλυση ισοδύναμων ποσοτήτων PM από LCI LNG - FO

8 ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ

Η μεθοδολογία της ανάλυσης ευαισθησίας αναδεικνύει τη σημαντικότητα μεταβλητών που υπεισέρχονται σε μία προσομοίωση. Αποτελεί ένα εργαλείο που βοηθάει τους λήπτες αποφάσεων να ποσοτικοποιούν τα πιθανά αποτελέσματα από την εφαρμογή νέων πολιτικών. Στην παρούσα μελέτη θα παρουσιαστούν δύο σενάρια.

8.1 ΣΕΝΑΡΙΟ ΒΕΛΤΙΩΣΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΜΗΧΑΝΗΣ LNG

Το πρώτο σχετίζεται με την απόδοση της μηχανής στο LNG η οποία στο βασικό σενάριο είναι 41% ενώ στην ανάλυση ευαισθησίας αυξάνεται στο 46% μία αύξηση κατά 5% που μπορεί να προσομοιώσει την τεχνολογική εξέλιξη στις κατασκευές των μηχανών.

Τα αποτελέσματα από την προσομοίωση είναι τα ακόλουθα και κύριο χαρακτηριστικό είναι ότι υπάρχει μείωση στις εκπομπές αερίων σε όλα τα στάδια.

Εκπομπές αερίων από την LCI του LNG				
Ρύποι	**Συνολα**	**Συντελεστής Παγκόσμιας Θέρμανσης**	**Λειτουργία Ro- Ro**	**Σύνολα eq**
Αέρια Θερμοκηπίου (g/ ton km)				CO2 eq
CO2	**99,5439**	**1,0000**	**99,5439**	**112,9384**
CH4	**0,5358**	**25,000000**	**13,3945**	
Λοιπά Αέρια (g/ ton km)				**Σύνολα eq**
Ρύποι	**Συνολα**	**Συντελεστής acidification**	**Λειτουργία Ro- Ro**	SO2 eq
NOx	**0,2899**	**0,7000**	**0,2029**	**0,2033**
SOx	**0,0004**	**1,0000**	**0,0004**	
PM (g/ ton km)				**Σύνολα eq**
Ρύποι	**Συνολα**	**Συντελεστής Human Health**	**Λειτουργία Ro- Ro**	PM eq
PM	**0,0149**	**1,0000**	**0,0149**	**0,0149**

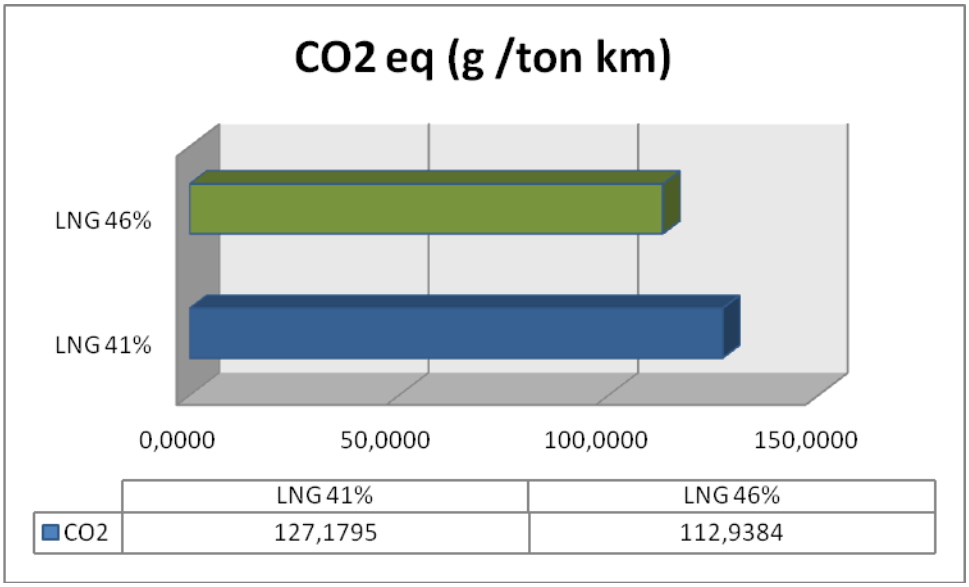
Πίνακας 13 Συγκεντρωτικές εκπομπές αερίων με απόδοση μηχανής 46% από την LCI του LNG

Ο παρακάτω πίνακας δείχνει τη σύγκριση μεταξύ των ισοδύναμων εκπομπών αερίων για απόδοση μηχανής 41% και απόδοση 46%.

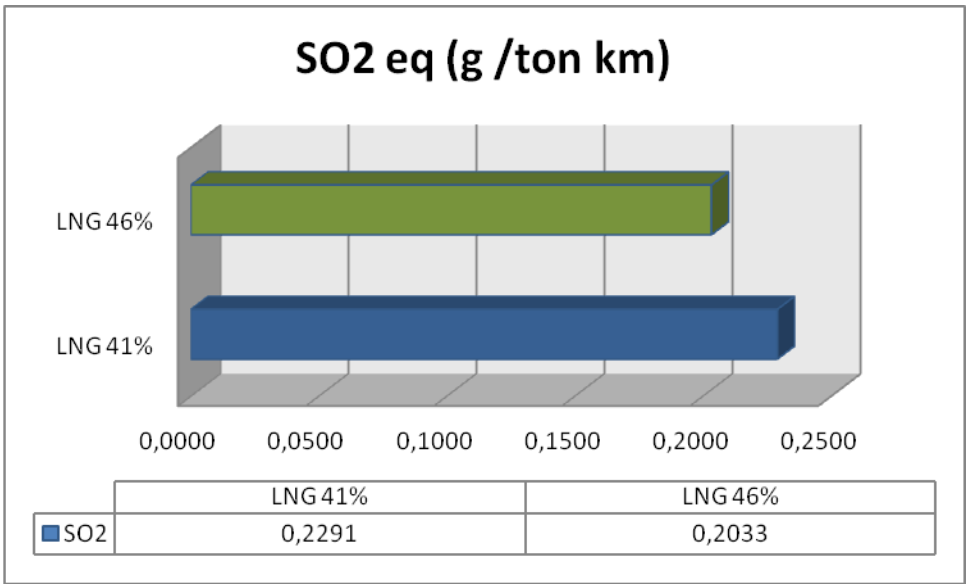
Εκπομπές αερίων από την LCI LNG 41% - LNG 46%		
Ρύποι	**LNG 41%**	**LNG 46%**
CO2	**127,1795**	**112,9384**
SO2	**0,2291**	**0,2033**
PM	**0,0167**	**0,0149**

Πίνακας 14 Συγκεντρωτικές ισοδύναμες εκπομπές αερίων από την LCI του LNG για απόδοση μηχανής 41% και 46%

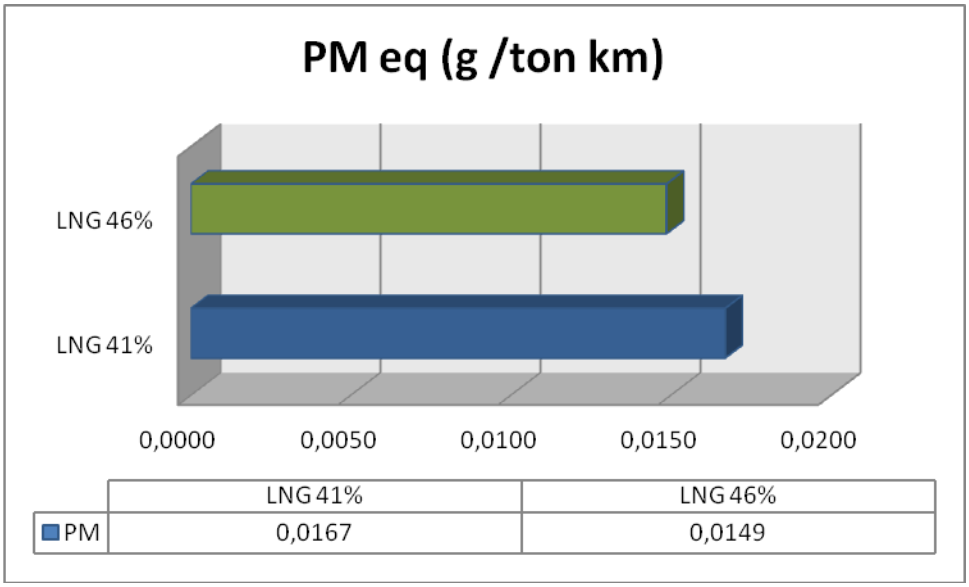
Από τον πίνακα το κύριο συμπέρασμα είναι πως η αύξηση της απόδοσης της μηχανής LNG έιναι ικανή να πετύχει μείωση σε όλες τις ισοδύναμες ποσότητες . Η μείωση ανέρχεται σε ένα μέσο ποσοστό για όλες τις εκπομπές που ανέρχεται στο 11,2%. Συνεπώς κρίνεται αποδοτική μία προσπάθεια για περεταίρω βελτίωση της απόδοσης της μηχανής αφού συμβάλει καθοριστικά στην περαιτέρω μείωση των εκπομπών. Η μείωση γίνεται πιο χαρακτηριστική στις εκπομπές με το ισοδύναμο CO2 – eq του FO που ανέρχεται στο 18,8% από 8,52%



Γράφημα 31Συγκριτική ανάλυση ισοδύναμων ποσοτήτων CO2 με απόδοση μηχανής 41% και 46% από την LCI του LNG



Γράφημα 32 Συγκριτική ανάλυση ισοδύναμων ποσοτήτων SO2 με απόδοση μηχανής 41% και 46% από την LCI του LNG



Γράφημα 33 Συγκριτική ανάλυση ισοδύναμων ποσοτήτων PM με απόδοση μηχανής 41% και 46% από την LCI του LNG

8.2 ΣΕΝΑΡΙΟ ΑΛΛΑΓΗΣ ΘΕΣΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΑΠΟ ΤΗΝ ΚΥΠΡΟ ΣΤΟ ΚΑΤΑΡ

Το δεύτερο σενάριο σχετίζεται με την αλλαγή του δρομολογίου για την μεταφορά LNG από το Βασιλικό της Κύπρου στη Ντόχα του Κατάρ αυξάνοντας έτσι την απόσταση από τα 530 μίλα στα 3660 μίλια. Εδώ μπορεί να γίνει αντιληπτή η επιρροή της απόστασης στη φάση της μεταφοράς με LNG carrier ή με tanker. Τα αποτελέσματα από την προσομοίωση είναι τα ακόλουθα και κύριο χαρακτηριστικό είναι ότι υπάρχει μικρή στις εκπομπές αερίων σε όλα τα στάδια.

Εκπομπές αερίων από την LCI του LNG				
Ρύποι	**Συνολα**	**Συντελεστής Παγκόσμιας Θέρμανσης**	**Λειτουργία Ro- Ro**	**Σύνολα eq**
Αέρια Θερμοκηπίου (g/ ton km)				CO2 eq
CO2	**114,6618**	**1,0000**	**114,6618**	**129,7210**
CH4	**0,6024**	**25,000000**	**15,0592**	
Λοιπά Αέρια (g/ ton km)				**Σύνολα eq**
Ρύποι	**Συνολα**	**Συντελεστής acidification**	**Λειτουργία Ro- Ro**	SO2 eq
NOx	**0,3275**	**0,7000**	**0,2293**	**0,2297**
SOx	**0,0005**	**1,0000**	**0,0005**	
PM (g/ ton km)				**Σύνολα eq**
Ρύποι	**Συνολα**	**Συντελεστής Human Health**	**Λειτουργία Ro- Ro**	PM eq
PM	**0,0169**	**1,0000**	**0,0169**	**0,0169**

Πίνακας 15 Συγκεντρωτικές ποσότητες εκπομπών από την LCI του LNG στο σενάριο μεταφοράς LNG από το Κατάρ

Ο παρακάτω πίνακας δείχνει τη σύγκριση μεταξύ των ισοδύναμων εκπομπών αερίων για τη μεταφορά από Κύπρο σε σχέση με Κατάρ

Εκπομπές αερίων από την LCI LNG Κύπρος - Κατάρ		
Ρύποι	**LNG από Κύπρο**	**LNG από Κατάρ**
CO2 eq	**127,1795**	**129,7210**
SO2 eq	**0,2291**	**0,2297**
PM eq	**0,0167**	**0,0169**

Πίνακας 16 Συγκριση ισοδύναμων εκπομπών αερίων από την LCI του LNG στα σενάρια μεταφοράς LNG από Κύπρο και Κατάρ

Από τον πίνακα το κύριο συμπέρασμα είναι πως η αύξηση της απόστασης μεταφοράς LNG δεν πετυχαίνει μεγάλες αυξήσεις στις εκπομπές . Η αύξηση ανέρχεται σε ένα μέσο ποσοστό για όλες τις εκπομπές που ανέρχεται στο 1%. Τούτο οφείλεται κατά κύριο λόγο αφενός στη χαμηλή ταχύτητα αλλά και στη μεγάλη μεταφορική ικανότητα του πλοίου LNG Carrier. Επίσης η μικρή συνεισφορά έγκειται και στη μικρή συμμετοχή στο LCI της φάσης μεταφοράς.

9 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η ανάλυση του κύκλου ζωής των δύο ναυτιλιακών καυσίμων είναι μία προσπάθεια η οποία λαμβάνει μόλις πρόσφατα εντός της ακαδημαϊκής κοινότητας και των αγορών. Κρίνεται σκόπιμη η αναφορά σε παλαιότερες μελέτες ώστε να διασφαλίζεται η ορθότητα των αποτελεσμάτων.

Τέλος μία σειρά από συμπεράσματα καταστρώνουν ένα πλαίσιο προτάσεων που είτε συμβάλλουν στη κατανόηση των μεγεθών που χαρακτηρίζουν τους κύκλους ζωής είτε συντελούν στην αποδοχή της υιοθέτησης του σύγχρονου για τη ναυτιλία LNG.

9.1 ΠΡΟΗΓΟΥΜΕΝΕΣ ΜΕΛΕΤΕΣ

Το 2011 ο Edwards μελέτησε τις ισοδύναμες ποσότητες εκπομπών αερίων από διάφορα καύσιμα ως προς τον κύκλο ζωής τους. Σχετικά με τα ναυτιλιακά καύσιμα μελέτησε το CNG (compressed natural gas) και το diesel. Ιδιαίτερα εστίασε στη ποσοτικοποίηση των ισοδύναμων ποσοτήτων CO2 που συνιστά αέριο του θερμοκηπίου. Κατά αυτήν την έννοια υπολόγισε αφενός μεν για το CNG 145 g CO2 –eq/ ton km. Σαν ποσότητα αυτή είναι κοντά σε τάξη μεγέθους στα 127 g CO2 –eq/ ton km που υπολόγισε η παρούσα εργασία για το LNG

Επίσης σύμφωνα με το Wang αναφέρει ότι ο Bengtsson το 2011 υπολόγισε τη μείωση των εκπομπών αερίων από το κύκλο ζωής του LNG σε σχέση με του FO. Κατά αυτόν το CO2 μειώνεται κατά 15-20%, τα NOx κατά 85%, τα SOx κατά σχεδόν 100% και τα PM κατά 90%. Σε αντιστοιχία η παρούσα μελέτη εμφανίζει μείωση των τιμών για το CO2 κατά 17,6%, για τα NOx κατά 85,3% , για τα SOx σχεδόν 100% και για τα PM 88,8%.

9.2 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΥΙΟΘΕΤΗΣΗ ΣΧΕΔΙΟΥ ΔΡΑΣΗΣ

Ο κύριος στόχος της μελέτης είναι να ποσοτικοποιήσει τις εκπομπές αερίων που προέρχονται από το κύκλο ζωής δύο χαρακτηριστικών καυσίμων. Αφενός του FO me 1% S, καύσιμο που χρησιμοποιείται ως το 2015 στις ECA και του LNG, ενός καυσίμου σύγχρονου για τη ναυτιλία που πετυχαίνει να ικανοποιήσει τα κριτήρια που θέτει η IMO.

Τα άμεσα συμπεράσματα που προκύπτουν από την μελέτη σε σειρά προτάσεων είναι:

1) Η IMO είναι θεσμικό όργανο που με τους κανονισμούς που θέτει κινεί τις εξελίξεις ως προς την εισαγωγή νέων καυσίμων, όπως του LNG για να διασφαλίζονται τα αυστηρά κριτήρια που τίθενται ιδιαίτερα στα NOx και SOx.

2) Δεν υφίσταται κανονιστικό πλαίσιο σχετικά με τις εκπομπές των αερίων του θερμοκηπίου όπως του CO2 και του CH4 που συμβάλλουν στην κλιματική αλλαγή. Προς το παρόν η IMO κινείται στη συλλογή δεδομένων μέσω καταγραφής

3) Είναι κοινά αποδεκτό πως η τάση προς νέα καύσιμα φιλικά προς το περιβάλλον δεν οφείλεται καθαρά στην περιβαλλοντική ευσυνειδησία. Είναι προφανές πως μεγάλο ρόλο παίζει το οικονομικό όφελος, η παγκόσμια ανάπτυξη αλλά και γεωπολιτικά συμφέροντα.

4) Οι τεχνικές όπως το scrubber και to SCR επιτυγχάνουν έως ένα βαθμό τη μείωση των εκπομπών. Όμως το scrubber πετυχαίνει μείωση των SOx ενώ το SCR των NOx. Η παράλληλη λειτουργία τους όμως λογίζεται στη βιβλιογραφία προβληματική. Συνεπώς αυτά τα ημίμετρα δεν είναι αειφόρα

5) Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκαν βάσεις δεδομένων οι οποίες χαρακτηρίζονται από συγκεκριμένη χωρική και χρονική αναφορά, ενώ παράλληλα ενέχουν αβεβαιότητα, ανακρίβεια, ανεπάρκεια. Τα αποτελέσματα συνεπώς βρίσκονται σε άμεση συνάρτηση με τα δεδομένα αυτά

6) Η μεθοδολογία της LCI πρέπει να αντιμετωπίσει τις προκλήσεις της κατανομής και των απλουστεύσεων προς όφελος της ολοκληρωμένης περιγραφής του κύκλου ζωής.

7) Η επιλογή του Functional Unit, της μονάδας μέτρησης των εκπομπών είναι ιδιαιτέρως σημαντική για την συγκρισιμότητα των αποτελεσμάτων σε σχέση με άλλες εργασίες. Εδώ έχει επιλεχτεί ο ένας τόνος εμπορεύματος μεταφερόμενος σε ένα χιλιόμετρο με Ε/Γ σε συνήθεις επιχειρησιακές συνθήκες. Συνεπώς, δεν περιλαμβάνονται οι κινήσεις του πλοίου εντός λιμανιού.

8) Ο κύκλος ζωής του LNG ως ναυτιλιακό καύσιμο έχει να αντιμετωπίσει ισχυρά κενά σε συγκεκριμένες φάσεις. Χαρακτηριστικά η βιβλιογραφία έχει να παρουσιάσει μικρό έργο ως προς την πετρέλευση του LNG στο Ε/Γ.

9) Η χρήση του LNG εμπεριέχει αυξημένες ποσότητες CH4 το οποίο ουσιαστικά διαφεύγει , διαρρέει μέσα από τον κύκλο. Αυτή η διαρροή δε συναντάται στα έως τώρα χρησιμοποιούμενα καύσιμα. Το CH4 είναι αέριο 25 φορές πιο ισχυρό από το CO2 ως προς το φαινόμενο του θερμοκηπίου. Είναι χαρακτηριστικό πως ο ακριβής προσδιορισμός των διαφυγών είναι ιδιαιτέρως δύσκολος όπως επίσης και ο ακριβής εντοπισμός των διαφυγών σε όλο τον κύκλο ζωής. Συνεπώς οι

αρνητικές επιδράσεις του LNG στο φαινόμενο του θερμοκηπίου είναι ακόμα σκιώδεις.

10) Στους κύκλους ζωής των δύο ναυτιλιακών καυσίμων το μεγαλύτερο μερίδιο των εκπομπών το έχει η φάση της καύσης δηλαδή η φάση της λειτουργίας, άνω του 90% . Αυτή σχετίζεται με τη κίνηση του πλοίου. Κατά την ίδια λογική στις φάσεις της εξόρυξης , της διύλισης και της υγροποίησης , η φάση της λειτουργίας παράγει τις μεγαλύτερες εκπομπές.

11) Η συγκριτική ανάλυση είναι ένα εργαλείο που εποπτικά μας δείχνει ότι οι εκπομπές CO2 στο LNG είναι το 82,4% των εκπομπών του FO. Ως προς το CH4 οι εκπομπές του CH4 είναι σχεδόν πενταπλάσιες στο LNG, υπάρχει καθοριστική μείωση των SOx σχεδόν 100%, ενώ τα NOx μειώνονται κατά 85,3% και τα PM κατά 88,8%

12) Υπολογίζοντας τις ισοδύναμες ποσότητες είναι άμεσα ορατό οι επιπτώσεις στο φαινόμενο του θερμοκηπίου, στο φαινόμενο της όξινης βροχής και στην ανθρώπινη υγεία. Το LNG εκπέμπει ισοδύναμες ποσότητες CO2 που είναι 8,5% λιγότερες σε σχέση με το FO. Αντίστοιχα εκπέμπει 90,4 % λιγότερες ισοδύναμες εκπομπές αερίων SO2 για την όξινη βροχή και 88,8% για τα PM που επηρεάζουν την ανθρώπινη υγεία.

13) Με την ανάλυση της ευαισθησίας αποδεικνύεται ότι πιθανή βελτίωση της απόδοσης της μηχανής κατά 5% θα έχει ένα πολλαπλάσιο όφελος κατά 11,2% σε όλες τις εκπομπές.

14) Η εισαγωγή του LNG στη ναυτιλία μολονότι παρουσιάζει εμφανή πλεονεκτήματα θα πρέπει να ξεπεράσει και ισχυρές προκλήσεις όπως:
    a. Την έλλειψη θεσμικού πλαισίου που ρυθμίζει διαδικασίες του κύκλου ζωής του όπως τη λειτουργία των πλοίων με LNG καύσιμο αλλά και των διαδικασιών πετρέλευσης
    b. Το ασθενές τεχνικοοικονομικό υπόβαθρο που θα ποσοτικοποιεί με οικονομικούς όρους το κόστος για τον πλοιοκτήτη της εισαγωγής του LNG, την εξέλιξη των τιμών καυσίμων, το κόστος συντήρησης
    c. Τα κενά στην τεχνολογική κοινότητα ως προς την πραγματική μείωση του ωφέλιμου φορτίου από τη χρήση του LNG, ως προς τις δυνατότητες μετασκευών, ως προς τις διαφυγές μεθανίου και ως προς τα θέματα ασφάλειας
    d. Οι παρούσες υποδομές δεν μπορούν να διασφαλίσουν την ομαλή διανομή του LNG παγκοσμίως καθότι απαιτούνται τερματικοί σταθμοί

ανεφοδιασμού και ειδικές εγκαταστάσεις στις λιμενικές υποδομές. Η διαδικασία αυτή σκοντάφτει αφενός μεν στους πλοιοκτήτες που περιμένουν τις ειδικές εγκαταστάσεις να λειτουργούν για να χρησιμοποιήσουν το LNG και αφετέρου στα λιμάνια που για να προβούν στις εγκαταστάσεις περιμένουν πλοία που ήδη χρησιμοποιούν LNG.

e. Η καθιέρωση στη κοινή γνώμη της χρήσης του LNG ως μέσο μεταφοράς είναι ακόμα εν εξελίξει και απαιτεί εύλογο χρονικό διάστημα προσαρμογής

15) Απαιτεί μεγάλη πρόκληση για τους λήπτες αποφάσεων η ποσοτικοποίηση της προσαρμοστικότητας των συντελεστών της ναυτιλίας στη χρήση του LNG αλλά και την ποσοτικοποίηση της τρωτότητας του υφιστάμενου συστήματος από την εισαγωγή νέων τεχνολογιών, υποδομών και μεθόδων.

10 ΠΕΡΑΙΤΕΡΩ ΕΡΕΥΝΑ

Η μελέτη ολοκληρώνεται με την εισαγωγή προτάσεων για περαιτέρω έρευνα η οποία είτε θα μπορούσε να αναβαθμίσουν την παρούσα έρευνα είτε να προωθήσουν νέα πεδία έρευνας. Η πιο σημαντική παράμετρος η οποία πρέπει να βελτιωθεί είναι η αβεβαιότητα που διέπει όλα τα επίπεδα έρευνας. Διαδικασίες όπως η συλλογή δεδομένων, η επεξεργασία αυτών, οι υποθέσεις προσομοιώσεων, η ακριβέστερη χρονική και χωρική αναφορά μπορούν να αναβαθμιστούν. Άλλη πρόκληση είναι η εκτίμηση με οικονομικούς όρους των τεχνικών παρεμβάσεων και συνεπειών ώστε να επιλέγεται πάντα η αποδοτικότερη και βέλτιστη λύση.

10.1 ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

Μεγάλη πρόκληση αποτελεί σε αυτήν την έρευνα τα δεδομένα. Ο προσδιορισμός του είδους των δεδομένων, η εύρεση αυτών , επεξεργασία του ώστε να είναι διαχειρίσιμα από τα μοντέλα αλλά και ο έλεγχος αυτών ως προς την ακρίβεια, την επάρκεια και τη βεβαιότητα είναι στοιχεία που χαρακτηρίζουν την επιτυχία και την αξιοπιστία μιας μελέτης. Επειδή για να ολοκληρωθεί μία βάση δεδομένων απαιτούνται μεγάλοι πόροι τόσοι ανθρωποωρών όσο και οικονομικοί, είναι αρκετά δύσκολο να ενημερώνεται μία βάση από ένα δυναμικό χαρακτήρα. Ακόμα περισσότερο να προσδιορίζεται η στοχαστικότητα των δεδομένων μίας βάσης. Άρα μία έρευνα που θα στηρίζεται λιγότερο σε έτοιμες βάσεις δεδομένων θα συντελούσε σε μια πιο ολοκληρωμένη και προσδιοριστική ανάλυση. Φυσικά τέτοιες προσπάθειες απαιτούν πόρους που μόνο μεγάλα τεχνολογικά ιδρύματα μπορούν υποστηρίξουν.

Το διάγραμμα ροής του κύκλου ζωής του κάθε ενός καυσίμου αποτελείται από συγκεκριμένες φάσεις. Ενδιαφέρον παρουσιάζει η δυνατότητα για μεγαλύτερη διακριτοποίηση των φάσεων με σκοπό την αναλυτικότερη περιγραφή του κύκλου ζωής. Με τον τρόπο αυτό γίνεται ευκρινέστερη η κατανομή ροών ανά φάση και έτσι ευκολότερη η στρατηγική λήψη αποφάσεων

Νέες συνθήκες προκύπτουν με τις κλιματικές αλλαγές. Συνεπώς η προσομοίωση των κλιματικών αλλαγών μπορεί να υποδεικνύει επιβαρυντικές συγκεντρώσεις αερίων ρύπων. Τέτοιες συγκεντρώσεις απαιτούν δραστικές κινήσεις ως προς τον περιορισμό των εκπομπών που σημαίνει η εισαγωγή νέων τεχνικών στην κίνηση των πλοίων

Υψηλό ενδιαφέρον παρουσιάζει η τεχνοοικονομική ανάλυση των συμπερασμάτων που προκύπτουν από τη συγκριτική ανάλυση των κύκλων ζωής των δύο καυσίμων. Είναι σημαντικό να ποσοτικοποιηθούν οι πόροι που απαιτούνται για τη συμμόρφωση με νέους

κανονισμούς. Είναι πιθανόν η συμμόρφωση αυτή να έχει περισσότερες αρνητικές συνέπειες από ότι χωρίς.

Εκτός από τα συμβατικά καύσιμα υφίστανται καύσιμα όπως το υδρογόνο το οποίο θεωρείται ένα από τα καθαρότερα. Η έρευνα για την αξιολόγηση του κύκλου ζωής του είναι σε πρώιμο στάδιο και συμβαδίζει με τις τεχνολογικές εξελίξεις

Λόγω της έλλειψης δεδομένων τόσο στο χωρικό όσο και στο χρονικό πεδίο εφαρμόζεται η τεχνική της διδυμίας. Κατά αυτή η προσομοίωση που έχει πραγματοποιηθεί σε περιορισμένο γεωγραφικό χώρο και σε συγκεκριμένο χρόνο μπορεί να μεταφερθεί σε άλλη περιοχή και χρόνο χωρίς να απαντώνται δεδομένα χωρικά και χρονικά. Με στατιστικές μεθόδους και με προσδιορισμό μητρών μπορεί να γίνει εφικτή η προσομοίωση για την εξαγωγή επιθυμητών συμπερασμάτων. Οι τεχνικές αυτές ήδη χρησιμοποιούνται στην προσομοίωση υδρολογικών λεκανών.

Η προσομοίωση του κύκλου ζωής είναι στατική. Η δυναμική προσομοίωση, μολονότι απαιτεί μεγάλο όγκο δεδομένων και συνεχή ενημέρωση θα μπορούσε να εξάγει δεδομένα σχετικά με του ρυθμούς μεταβολής των μεγεθών και συνεπώς των τάσεων τους.

Η αξιολόγηση του Κύκλου Ζωής ενός καυσίμου έχει γεωγραφική αναφορά και συνδέεται με τα δρομολόγια των πλοίων αλλά και με τις θέσεις παραγωγής. Συνεπώς αναπτύσσονται γραμμικές και σημειακές γεωγραφικές αναφορές στη γη όπου επιβαρύνονται περισσότερο . Με τεχνικές clustering είναι δυνατή η ολοκληρωτική εποπτεία των εκπομπών σε γεωγραφικό επίπεδο και έτσι να οπτικοποιούνται με τη χρήση γεωγραφικών πληροφοριακών συστημάτων η πληροφορία. Η οπτικοποιημένη πληροφορία είναι αμεσότερη, αντιληπτή και μπορεί να εισάγει νέες πολιτικές.

10.2 ΚΑΙΝΟΤΟΜΕΣ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΕΙΣ

Η μεθοδολογία του Κύκλου Ζωής ενός συστήματος στηρίζεται σε συγκεκριμένες αρχές και προτυποποιείται στα ISO – standards. Ο σκοπός και ό στόχος ενός Κύκλου Ζωής μπορεί να πραγματοποιηθεί και με άλλες μεθοδολογίες. Μια εξ αυτών στηρίζεται στα εξής βήματα

- Προσδιορισμός των δρωσών δυνάμεων. Δρώσα δύναμη είναι το καύσιμο και τα χαρακτηριστικά
- Ποσοτικοποίηση της Πίεσης. Κατά αυτήν την έννοια η καύση είναι μία διαδικασία που επιδρά σε ένα σύστημα
- Εύρεση της κατάστασης. Η καύση προκαλεί καυσαέρια τα οποία δημιουργούν μία νέα κατάσταση σε ένα σύστημα

- Ποσοτικοποίηση των συνεπειών. Η αναλυτική εύρεση των καυσαερίων σε ένα σύστημα όπως η αύξηση της θερμοκρασίας λόγω φαινομένου θερμοκηπίου
- Μέτρα Ανταπόκρισης. Ανάλογα τις συνέπειες να είναι δυνατή η ποσοτικοποίηση των μέτρων ανταπόκρισης ώστε να αποκαθίσταται η ισορροπία.

Στην αγορά μεγάλη σημασία δίνεται στην τρωτότητα των συστημάτων από τα μέτρα που λαμβάνονται σε επίπεδο λήψης απόφασης αλλά και την προσαρμοστικότητα των συστημάτων. Ο λήπτης των αποφάσεων θέλει να γνωρίζει αν τα μέτρα που λαμβάνονται είναι δυνατόν να αφομοιωθούν από ένα σύστημα. Ακόμα σημαντικότερο είναι να γνωρίζει πως οι αλλαγές αυτές επιφέρουν παράπλευρες δράσεις είτε σε περιβαλλοντικό επίπεδο , είτε σε οικονομικό είτε σε θεσμικό αλλά και κοινωνικό επίπεδο.

11 ΑΝΑΦΟΡΕΣ

1) International Maritime Organization , Second IMO GHG Study 2009

2) International Maritime Organization. International Convention for the Prevention of Pollution from Ships (MARPOL) 2013

3) International Maritime Organization, Prevention of Air Pollution from ships, 2005

4) International Maritime Organization, Special Areas under MARPOL, 2013

5) International Maritime Organization, Nitrogen Oxides (NOx) – Regulation 13, 2013

6) International Maritime Organization, Sulphur oxides (SOx) – Regulation 14, 2013

7) ISO 14044:2006, Life Cycle Assessment – Requirements and guidelines. The International Organization for Standardization

8) ISO 14040:2006, Life Cycle Assessment – Principles and framework. The International Organization for Standardization

9) Argonne – National – Laboratory Appendix A – Emissions Factors of Fuel Combustion. In: Laboratory, A.N. Technical report: Greet 1.5 – Transportation Fuel Cycle Model Argonne: Center for Transportation Research, Energy Systems Division, Argonne National Laboratory, 1999

10) ELCD –Core – Database-Version- II. Heavy Fuel oil. European Commission – Joint Research Centre – LCA Tools, Services and Data ,2009

11) Hasan, M.M.F., Zheng, A.M. & KARIMI, I.A. Minimizing Boil-Off Losses in Liquefied Natural Gas Transportation. Industrial & engineering Chemistry Research, 2009

12) Hattar, C. Typical emissions from Wartsilas gas fuelled engines , 2010

13) NTM Environmental data for international cargo and passenger sea transport. ,2008

14) National Energy Technology Laboratory, U.S. Department of Energy, Life Cycle Analysis : Natural Gas Combined Cycle (NGCC) Power Plant, 2010

15) API , Compendium of Greenhouse Gas Emissions for the Oil and Natural Gas Industry. API. Washington, DC. 2009.

16) EIA, Natural Gas Annual 2007. Energy Information Administration, Office of Oil and Gas, Washington, DC, 2009

17) Tamura, I., Tanaka, T., Kagajo, T., "Life Cycle CO2 Analysis of LNG and City Gas". ,2001

18) American Bureau of Shipping , Notes on Heavy Fuel Oil, 1984

19) Salome Schori, Life Cycle Inventory of natural Gas Supply, 2012

20) Selim Alkaner, Peilin Zhou, A comparative study on life cycle analysis of molten carbon fuel cells and diesel engines for marine application, 2005

21) Chatzinikolaou S., Ventikos N. Ship Life Cycle Impact Assessment,

22) Chatzinikolaou S.D., Ventikos N.P., (2011). Sustainable maritime transport: an operational definition. Sustainable Maritime Transportation and Exploitation of Sea Resources, (IMAM 2011), CRC Press, vol. 2, pp. 931-939, 2011

23) Kameyama et al . Development of LCA software for ships and LCI Analysis based on actual shipbuilding and operation., 2004

24) John W. Boulston Fueling with LNG, SNAME, 2011

25) Ozaki, Y., Larkin, J., Tikka, K. & Michel, K.. An Evaluation of the Energy Efficiency Design Index (EEDI) Baseline for Tankers, Containerships, and LNG Carriers. Climate Change and Ships: Increasing energy efficiency a SNAME & Marine Board Symposium. 2010

26) Sevenster, M. N. & Croezen, H. J. The natural gas chain - toward a global life cycle assessment. Delft: CE. , 2006

27) Winebreak, J. J., Corbett, J. J. & Meyer, P. E. Energy use and emissions from marine vessels: A total fuel life cycle approach. Journal of the Air and Waste Management Association, 57, 102-110. , 2007

28) Hocking, M. B.. Petroleum Refining. Handbook of Chemical Technology and Pollution Control (Third Edition). San Diego: Academic Press. ,2005

29) IPPC 2007. Climate Change: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment. Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. ,2007

30) Jaramillo, P., Griffin, W. M. & Matthewes, H. S. Comparative Analysis of the Production Costs and Life-Cycle GHG Emissions of FT Liquid Fuels from Coal and Natural Gas. Environmental Science & Technology, 42, 7559-7565. ,2008

31) JEC Input Data NG 181108.xls. JEC Well-to-wheels study Joint Research Centre of the EU Commission, ECUAR and CONCAWE ,2008

32) JEC. Well-to-Wheels analysis of future automotive fuels and powertrains in the European context - Well-to-Tank Report Version 3.0 - Appendix 2. JEC Well-to-wheels study Joint Research Centre of the EU Commission, ECUAR and CONCAWE. ,2008

33) Karle, I.-M. & Turner, D. Seawater Scrubbing - reduction of SOx emissions from ship exhaust. Gothenburg: AGS office at Chalmers. 2007

34) Kirillov, N. G. Analysis of Modern Natural Gas Liquefaction Technologies. Chemical and Petroleum Engineering, 40, 401-406. ,2004

35) Kuiken, K. Diesel engines - for ship propulsion and power plants I, Onnen, Target Global Energy Training. ,2008

36) Kuiken, K. Diesel engines - for ship propulsion and power plants II, Onnen, Target Global Energy Training. ,2008

37) Wang S., Notteboom T. The adoption of Liquefied Natural Gas as a Ship Fuel : A Systematic Review of Perspectives and Challenges, 2014

38) R. Edwards , J-F. Larive, J-C Beziat, Well to wheels Analysis of Future Automotive Fuels and Powertrains in the European Context, 2011

39) Bengston S.,Andersson K., Fridell E. Life cycle assessment of marine fuels ,2011