



UNIVERSITY OF  
WEST ATTICA  
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ

**ΔΙΔΡΥΜΑΤΙΚΟ  
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ  
«ΝΕΕΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΣΤΗ ΝΑΥΤΙΛΙΑ ΚΑΙ ΤΙΣ ΜΕΤΑΦΟΡΕΣ»**

**Τίτλος Διπλωματικής : ‘Επισκόπηση της Εφαρμογής Μεθόδων  
Τεχνητής Νοημοσύνης σε Βελτιστοποίηση παραμέτρων πρόωσης  
σε πλοία LNG’**

**Τίτλος στα Αγγλικά :’ Review of the Application of Artificial Intelligence  
Methods in Optimizing Promotion Parameters on LNG Ships**

**Μαθήτρια : Κυρίτση Α. Αναστασία**

**Επιβλέπων Καθηγητής: Δρ. Βασίλειος Τσουκαλάς**



**Μάιος 2020**

## **ΤΙΤΛΟΣ**

*Επισκόπηση της Εφαρμογής Μεθόδων Τεχνητής Νοημοσύνης σε Βελτιστοποίηση παραμέτρων  
πρόωσης σε πλοία LNG'*

## **ΟΝΟΜΑ ΦΟΙΤΗΤΗ**

Κυρίτση Άλμπα Αναστασία

**Μεταπτυχιακή Διατριβή που υποβάλλεται στο καθηγητικό σώμα για την μερική εκπλήρωση των υποχρεώσεων απόκτησης του μεταπτυχιακού τίτλου του Διϋδραματικού Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών «Νέες Τεχνολογίες στη Ναυτιλία και τις Μεταφορές» του Τμήματος Ναυτιλίας και Επιχειρηματικών Υπηρεσιών του Πανεπιστημίου Αιγαίου και του Τμήματος Μηχανικών Βιομηχανικής Σχεδίασης και Παραγωγής του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής.**

### Δήλωση συγγραφέα διπλωματικής διατριβής

Η κάτωθι υπογεγραμμένη Κυρίτση Άλμπα Αναστασία, του Γκέργκι, με αριθμό μητρώου 8056110 φοιτήτρια του Διδρυματικού Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών «Νέες Τεχνολογίες στη Ναυτιλία και τις Μεταφορές» του Τμήματος Ναυτιλίας και Επιχειρηματικών Υπηρεσιών του Πανεπιστημίου Αιγαίου και του Τμήματος Μηχανικών Βιομηχανικής Σχεδίασης και Παραγωγής του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής, δηλώνω ότι: *«Είμαι συγγραφέας αυτής της μεταπτυχιακής διπλωματικής διατριβής και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην διατριβή. Επίσης έχω αναφέρει τις όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε αυτές αναφέρονται ακριβώς είτε παραφρασμένες. Επίσης βεβαιώνω ότι αυτή η διατριβή προετοιμάστηκε από εμένα προσωπικά ειδικά για τη συγκεκριμένη μεταπτυχιακή διπλωματική διατριβή».*

Η δηλούσα  
Κυρίτση Άλμπα Αναστασία

Ημερομηνία  
29/05/2020

## Περιεχόμενα

Πρόλογος.....	6
Εισαγωγή.....	7
1.1 Αντικείμενο – Σκοπός.....	7
1.2 Μεθοδολογία.....	8
2. Ενεργειακή Απόδοση Πλοίου.....	9
2.1 Η χρήση LNG ως Ναυτιλιακού Καυσίμου: Περιβαλλοντικές Προκλήσεις και Προοπτικές.....	10
2.1.1 Διεθνείς Υποδομές LNG.....	11
2.2 Διεθνή Αγορά Φυσικού Αερίου (LNG).....	12
2.3 Ο σχεδιασμός.....	13
2.4 Η αγορά.....	14
2.5 Υποδομές σε LNG πλοία.....	14
3. Χαρακτηριστικά και Τρόπος λειτουργίας Πλοίων Καύσης LNG .....	15
3.1 Boil-Off gas (BOG).....	16
3.2 Συστήματα πρόωσης.....	17
3.2.1 Τεχνολογία.....	17
3.2.2 Τύποι Πλοίων LNG ( Moss και Membrane).....	17
3.2.3 Κριτήριο Επιλογής.....	17
3.3 Η ανάπτυξη κινητήρων με υγροποιημένο φυσικό αέριο (LNG).....	19
3.4 Μηχανή Εσωτερικής καύσης ( MEK ).....	20
3.5 Κινητήρες Διπλού καυσίμου (LNG).....	22
3.5 Μηχανές πλοίων LNG .....	22
4. Υποδειγμα εφαρμογής LNG καυσίμου.....	23

4.1 Μηχανές LNG - RollsRoyce .....	24
4.2 Μηχανές LNG - Wartsilla .....	25
4.3 Συνδεσμολογία (DF) μηχανής διπλής καύσης.....	26
5.Θερμοφυσικές ιδιότητες του LNG καθώς και η σύνθεσή του.....	27-30
5.1 Ενεργειακή απόδοση.....	30
6.Επισκόπηση Μεθόδων Βελτιστοποίησης παραμέτρων πρόωσης με χρήση μεθόδων AI σε πλοία LNG .....	29-30
6.1.Τα συστήματα τεχνητής νοημοσύνης.....	31-33
6.2 Νευρωνικά Δίκτυα.....	33
6.2.1 Εφαρμογή.....	34
6.2.2 Αλγόριθμοι εκμάθησης νευρωνικών δικτύων.....	35
6.3.Γενετικοί αλγόριθμοι.....	36
6.4 CHAID.....	37
6.5 ANFIS.....	37
6.6 MVLRL.....	37
7.Πρόσφατες δημοσιεύσεις (20)εφαρμογής μοντέλων (AI) και Big data για βελτιστοποίηση παραμέτρων σε πλοία και αεροπλάνα.....	38-58
8.Μεθοδολογία για Genetic Algorithms, Neural networks.....	58-60
8.1 Επισκόπηση πειραματικών προγραμμάτων εφαρμογής AI .....	60
8.2 Αλγόριθμος Βελτιστοποίησης Καυσίμου.....	61-62
8.3 Συλλογή 58 μετρήσεων πλοίου καύσης LNG ( Τύπος μηχανής 9L50DF Wartsila) & πειραματική εφαρμογή σε επόμενο στάδιο AI μοντέλων αναφοράς.....	63-65
Συμπεράσματα/Προτάσεις.....	66-67
Βιβλιογραφία.....	68-71
Παραρτήματα/INDEX.....	72-75

## Πρόλογος

Είναι γνωστό ότι τα ορυκτά καύσιμα εξαντλούνται μέρα με τη μέρα και με την αύξηση του αριθμού των οχημάτων η ρύπανση έχει φτάσει σε ανησυχητικό στάδιο.

Ο σκοπός αυτής της εργασίας είναι να παρουσιάσει αρχικά τη χρήση του φυσικού αερίου ως εναλλακτικό καύσιμο για τη ναυτιλία και επίσης τη σχετική τεχνολογία του φυσικού αερίου (υγροποίηση, μεταφορά, αποθήκευση). Μέρος αυτής της διαδικασίας είναι τα πλοία που μεταφέρουν LNG παγκοσμίως.

Η ανάγκη της ώρας είναι να βρούμε ένα εναλλακτικό καύσιμο, καθώς και να μετριάσουμε τις εκπομπές καυσαερίων και να βελτιώσουμε τις παραμέτρους απόδοσης του κινητήρα εσωτερικής καύσης (I.C.). Από την εκτέλεση πειραμάτων σε ένα I.C. Ο κινητήρας είναι τόσο χρονοβόρος και δαπανηρός, επομένως πολλές τεχνικές μαλακών υπολογιστών υιοθετούνται σε αυτόν τον τομέα. Ο όρος "soft computer" αναφέρεται στην εύρεση της λύσης ενός ανακριβούς προβλήματος. Διαφορετικές τεχνικές μαλακών υπολογιστών που χρησιμοποιούνται σε αυτόν τον τομέα είναι το Τεχνητό Νευρωνικό Δίκτυο, (Soft Computing) η προσέγγιση με βάση το ασαφές, το προσαρμοστικό σύστημα Neuro Fuzzy Inference, , και ο γενετικός αλγόριθμος.. Το κίνητρο αυτής της εργασίας είναι να επανεξετάσει τις έρευνες που διεξάγονται στον τομέα του I.C. κινητήρα σε τύπους μηχανών με εναλλακτικό καύσιμο το ΥΦΑ( LNG)χρησιμοποιώντας αυτές τις τεχνικές μαλακού υπολογισμού.

Τα πρώτα κεφάλαια καλύπτουν μια αναφορά σε σύγχρονα συστήματα πρόωσης, τα καύσιμα που χρησιμοποιούνται ,τους τύπους μηχανών LNG. Στα τελευταία κεφάλαια αναλύονται οι μέθοδοι τεχνητής νοημοσύνης(neural networks,Anfis, genetic algorithm) που έχουν βρει ήδη εφαρμογή στη μέτρηση απόδοσης μηχανών LNG σε αεροπλάνα , πλοία και μελετάμε τη μεθοδολογία που θα χρησιμοποιηθεί στο άμεσο μέλλον και σε ανάλυση μετρήσεων σε συγκεκριμένο τύπο μηχανής LNG (μηχανής 9L50DF Wartsila).

## Λεξεις Κλειδιά

*LNG, (DF)Dual Fuel , (AI) Artificial Intelligence,(I.C.)internal combustion engine,(GA) Genetic Algorhythm,(ANN )Artificial neural networks, (Anfis) Adaptive Neuro Fuzzy Inference, (MVLR)Multivariable Linear Regression, Big Data, Soft computer*

## Εισαγωγή

Ο τομέας της Ναυτιλίας σήμερα ευθύνεται για περίπου το 2,5% των παγκόσμιων εκπομπών αερίων του φαινομένου του θερμοκηπίου. Αναφέρεται πως το 2007 με συνολικές παγκόσμιες εκπομπές στα 32 Gtones το μερίδιό της ήταν στο 3,5%, ενώ το 2015 με συνολικές παγκόσμιες εκπομπές στα 36 Gtones το μερίδιό της ήταν στο 2,6%, που υποδηλώνει σημαντική μείωση σε απόλυτα νούμερα. Ωστόσο, η βελτιστοποίηση της απόδοσης του πλοίου αποτελεί όλο και περισσότερο πλέον αδήριτη ανάγκη, τόσο για τη μείωση του λειτουργικού κόστους του στόλου όσο και για τη μείωση των εκπομπών αερίων του φαινομένου του θερμοκηπίου. Στις μέρες μας αναζητούνται διεθνώς πολιτικές αντιμετώπισης της κλιματικής αλλαγής και μετάβασης από την «εποχή του άνθρακα» σε μια βιώσιμη ενεργειακή πραγματικότητα. Έτσι, η ανάλυση της ενεργειακής απόδοσης στα πλοία αποκτά ιδιαίτερο ενδιαφέρον σε μια περίοδο που ο έλεγχος της κλιματικής αλλαγής από την πλευρά της ναυτιλίας καθώς και η εξοικονόμηση καυσίμου είναι θέματα αιχμής. Στόχος της παρούσας εργασίας είναι η διερεύνηση των συσχετίσεων ανάμεσα σε διάφορους παράγοντες που επηρεάζουν την ενεργειακή απόδοση των πλοίων, τόσο μέσα από την περιγραφή του θεωρητικού υπόβαθρου όσο και μέσω πρακτικής ανάλυσης ενός συνόλου δεδομένων που προέρχονται από την πραγματική λειτουργία ενός στόλου πενήντα οχτώ (58) πλοίων καύσης LNG.

Επιχειρείται η επισκόπηση βελτιστοποίησης παραμέτρων πρόωσης με χρήση μεθόδων Τεχνητής Νοημοσύνης (AI) σε πλοία LNG )στα πλοία αυτά με μια αποτελεσματική προσέγγιση βασισμένη στην πολυπαραγοντική γραμμική παλινδρόμηση (MVLN) και γενετικού αλγορίθμου (GA).

## Αντικείμενο – Σκοπός

Αντικείμενο της παρούσας εργασίας είναι η βιβλιογραφική ανασκόπηση και μελέτη των παραγόντων που επηρεάζουν την κατανάλωση του καυσίμου ενός πλοίου κατά τη λειτουργία του, συνθέτοντας τις πληροφορίες που παρέχονται από τη βιβλιογραφία, ως θεωρητικό υπόβαθρο, την εμπειρία από τους επαΐοντες στον τομέα της Ναυτιλίας, αλλά και την εξελίξει πρακτική εφαρμογή ανάλυσης ενός συνόλου δεδομένων που προέρχονται από την πραγματική λειτουργία από πενήντα οχτώ (58) διαφορετικές μετρήσεις πλοίου καύσης LNG. Στόχος της παρούσας εργασίας είναι να αναδείξει τη σπουδαιότητα και τα αναμενόμενα οφέλη που προκύπτουν από την ανάλυση δεδομένων μεγάλης κλίμακας σχετικών με την ενεργειακή απόδοση ενός πλοίου, τις προκλήσεις που καλείται κανείς να αντιμετωπίσει καθώς και τις δυνατότητες που μπορούν να προσφέρουν οι εφαρμογές μηχανικής μάθησης, στο πλαίσιο της αειφόρου ανάπτυξης, στον τομέα της Ναυτιλίας. Η συμβολή του ελέγχου της ενεργειακής απόδοσης ενός πλοίου είναι πολλαπλή: αρχικά, η παρακολούθηση της κατανάλωσης καυσίμου μπορεί να αποδώσει σημαντικά οικονομικά οφέλη, τα

οποία συμβάλλουν στη μείωση των λειτουργικών εξόδων της διαχειρίστριας εταιρείας και συνεπάγεται ταυτόχρονη αύξηση της ανταγωνιστικότητας του στόλου της. Επιπλέον, βοηθά στη βελτίωση της λειτουργίας του πλοίου, μέσω της εξασφάλισης της βέλτιστης λειτουργίας των μηχανημάτων του και της ασφαλούς δρομολόγησής του μέσω της καταλληλότερης διαδρομής, λαμβάνοντας υπόψη διάφορες παραμέτρους που επηρεάζουν την κατανάλωση του καυσίμου, όπως οι καιρικές συνθήκες και τα θαλάσσια ρεύματα. Ταυτόχρονα, η μείωση της κατανάλωσης του καυσίμου συνεπάγεται μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και άλλων ρυπογόνων εκπομπών, με αποτέλεσμα την προστασία του περιβάλλοντος. Η συμβολή της παρούσας εργασίας έγκειται στο γεγονός ότι αποτελεί έναν σύντομο οδηγό γύρω από τους παράγοντες που επηρεάζουν την ενεργειακή απόδοση στα πλοία καύσης LNG, ξεκινώντας από ένα θεωρητικό υπόβαθρο και καταλήγοντας στην επισκόπηση εφαρμογής εργαλείων Τεχνητής Νοημοσύνης. (ANN, GA,ANFIS,MLVR) στην βελτιστοποίηση παραμέτρων πρόωσης σε LNG πλοία.

## **Μεθοδολογία**

Η διαδικασία που ακολουθήθηκε για την εκπόνηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας συνοψίζεται σε 3 διακριτές φάσεις:

**Φάση 1η** : Μελέτη βιβλιογραφικών αναφορών σχετικά με τους παράγοντες που επηρεάζουν την κατανάλωση του καυσίμου ενός πλοίου Κατά τη διάρκεια της 1ης φάσης, έγινε προσπάθεια να συγκεντρωθούν πληροφορίες από διάφορες βιβλιογραφικές πηγές προκειμένου να εδραιωθεί ένα συνοπτικό αλλά πλήρες θεωρητικό υπόβαθρο για περαιτέρω έρευνα. Με τη βοήθεια του Διαδικτύου κατέστη δυνατή η καταγραφή των βασικών παραγόντων που επιδρούν στην κατανάλωση του καυσίμου και παρουσιάζεται εν συντομία ο τρόπος συσχέτισής τους.

**Φάση 2η** : Επισκόπηση εφαρμογών μεθόδων (AI) σε βελτιστοποίηση παραμέτρων LNG πλοίων μέσα από δημοσιεύσεις,. Μέσα από την αξιοποίηση των πραγματικών ιστορικών δεδομένων και τη θεωρητική και πρακτική μελέτη της επίδρασής τους στην κατανάλωση του καυσίμου, κατέστη εφικτή η αποκάλυψη των σχέσεων που συνδέουν τις μεταβλητές εισόδου (ανεξάρτητες μεταβλητές) και εξόδου (εξαρτημένες μεταβλητές, ήτοι η τελική κατανάλωση καυσίμου).

**Φάση 3η** : Συμπεράσματα και προοπτικές Κατά τη διάρκεια της τελευταίας φάσης της μελέτης καταγράφηκαν τα συμπεράσματα που εξήχθησαν από την προηγούμενη θεωρητική μελέτη και εξετάστηκαν οι προοπτικές που αναδύονται από την παρούσα εργασία.



## 2.Ενεργειακή Απόδοση Πλοίου

Η ενεργειακή απόδοση ενός πλοίου είναι ένα σύνθετο πρόβλημα και μπορεί να το προσεγγίσει κανείς από διάφορες σκοπιές και σε ποικίλα επίπεδα. Η επιδίωξη της καλύτερης κατανόησης της λειτουργικής απόδοσης ενός πλοίου είναι άμεσα συνδεδεμένη με το κόστος των καυσίμων και τη ρύπανση του περιβάλλοντος. Το ενδιαφέρον γύρω από την χρήση φιλικότερων καυσίμων ως προς το περιβάλλον αλλά ταυτόχρονα χωρίς μείωση απόδοσης κάνει επιτακτική την ανάγκη ανάληψης επείγουσας δράσης. Οι ηγέτες της πετρελαϊκής βιομηχανίας διαπιστώνουν ότι η εύρεση νέων πηγών πετρελαίου γίνεται ολοένα και δυσκολότερη και το κόστος για την άντληση του διαρκώς αυξάνει -εκτός και αν πρόκειται για έκτακτη περίοδο παγκόσμιας κρίσης όπως πχ με το πρόσφατο Ιο Covid-19 που είχε σαν προσωρινή συνέπεια ραγδαία πτώση τιμής πετρελαίου - που για να σταθεροποιήσει την τιμή που χε κατρακυλήσει στα 15 δολ. το βαρέλι, Ο Οργανισμός Πετρελαιοπαραγωγών Κρατών, η Ρωσία και άλλες χώρες (OPEC+), συμφώνησαν να μειώσουν την παραγωγή πετρελαίου σε επίπεδα ρεκόρ που φτάνουν το 10% της παγκόσμιας παραγωγής.



Γράφημα 1. Διακύμανση τιμής πετρελαίου σε βάθος 10ετίας έως το 2020

Πηγή: <https://gr.investing.com/commodities/crude-oil-streaming-chart>

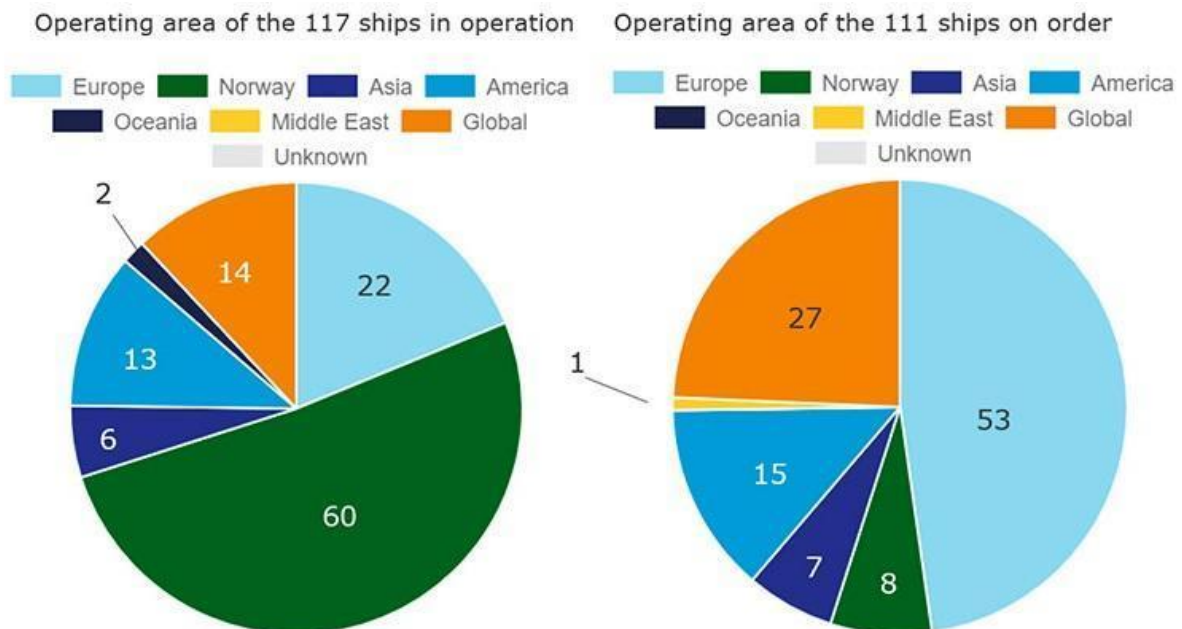
Για την εξοικονόμηση καυσίμων, συχνά επιλέγεται λειτουργία της μηχανής σε χαμηλές ταχύτητες, όπου και όποτε αυτό είναι δυνατόν, κάτι το οποίο επιπλέον οδηγεί σε υπο-λειτουργία του πλοίου και επιπρόσθετη φθορά της μηχανής. Για αυτόν τον λόγο, οι πλοιοκτήτες πάντοτε επιδιώκουν τη λειτουργία των πλοίων τους υπό τις βέλτιστες τεχνικές και λειτουργικές συνθήκες. Η επίτευξη της βέλτιστης λειτουργίας του πλοίου από άποψη ενεργειακής απόδοσης είναι εφικτή μόνο μέσα από την παρακολούθηση της κατανάλωσης του καυσίμου ακολουθώντας με συνέπεια μία δομημένη και σαφώς ορισμένη μεθοδολογία.

## **2.1 Η χρήση LNG ως Ναυτιλιακό Καύσιμο: Περιβαλλοντικές Προκλήσεις και Προοπτικές**

Τόσο ο περιορισμός εκπομπών θείου από το 2020, όσο και η σταδιακή αποανθρακοποίηση της ναυτιλίας μέχρι το 2050, καθιστούν επιτακτική την αντικατάσταση των συμβατικών καυσίμων στη ναυτιλία με εναλλακτικές πηγές ενέργειας, περισσότερο φιλικές προς το περιβάλλον.

**Τα καλά νέα είναι πως μια τέτοια βιώσιμη εναλλακτική ήδη υπάρχει!** Ο λόγος για το LNG (υγροποιημένο φυσικό αέριο) που έχει κάνει δυναμικά την εμφάνισή του στη ναυτιλιακή αγορά της Δυτικής Ευρώπης. Περισσότερα από 200 πλοία, τα οποία είτε έχουν παραδοθεί, είτε βρίσκονται σε στάδιο παραγγελίας, υιοθετούν το συγκεκριμένο καύσιμο, ενώ σημαντικά λιμάνια στη Δυτική Ευρώπη (Βαρκελώνη, Ρότερνταμ, Αμβέρσα κ.α.) παρέχουν υπηρεσίες εφοδιασμού των πλοίων με καύσιμο το LNG.

**Αλλά και στην Ανατολική Μεσόγειο, η χρήση του LNG στη ναυτιλία εξαπλώνεται με γοργούς ρυθμούς.** Δρομολογείται μέσα από καινοτόμες εφαρμογές, πλειάδα επενδύσεων σε υποδομές αναγκαίες για τον ανεφοδιασμό, καθώς και για την κατασκευή νέων ή τη μετατροπή υφιστάμενων πλοίων που θα κινούνται με το καύσιμο του μέλλοντος.



**Σχήμα 2.** Χωρες που λειτουργουν πλοια καυσης LNG

Πηγή: <https://www.dnvgl.com/article/uptake-of-lng-as-a-fuel-for-shipping-104195>

### 2.1.1 Διεθνεις Υποδομές για LNG ανεφοδιασμό καυσίμων

Πολλά βήματα έχουν γίνει στον τομέα των υποδομών ώστε να επιτυγχάνεται ο γρήγορος, ασφαλής και οικονομικά αποδοτικός ανεφοδιασμός πλοίων σε LNG σε βασικά παγκόσμια λιμάνια • είτε μειώνοντας την τιμή – κόστος των πλοίων που χρησιμοποιούν ως καύσιμο το LNG, είτε σε συνεργασία με τις ρυθμιστικές αρχές για τη δημιουργία διεθνών και εθνικών κανονισμών για την ενίσχυση των επενδύσεων στον τομέα αυτό”.

Ο IMO στο πλαίσιο της Δ.Σ. MARPOL VI εφαρμόζει από το 2013 μηχανισμούς, όπως το EEDI (Energy Efficiency Design Index) και SEEMP (Ship Energy Efficiency Management Plan), και επεξεργάζεται την καθιέρωση των MBM (Market Based Measures) για να επιτύχει μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου (GHG) που προέρχονται από τη ναυτιλία, ενώ ήδη εφαρμόζονται σταδιακά οι απαιτήσεις για τον περιορισμό εκπομπών από τα πλοία ως προς SOx (low sulphur fuel) και NOx (Tier II & III standards). Εξάλλου και η ευρωπαϊκή ναυτιλιακή πολιτική στοχεύει στη σταδιακή μείωση του ενεργειακού αποτυπώματος των πλοίων για να καταπολεμηθεί η κλιματική αλλαγή που προκαλείται από τις εκπομπές GHG στα καυσαέρια των πλοίων.

Επειδή το υγροποιημένο φυσικό αέριο (LNG) ως καύσιμο έχει την ιδιότητα να μειώνει τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα (CO<sub>2</sub>) περίπου 25-30%, τις εκπομπές οξειδίων του θείου (SO<sub>x</sub>) σχεδόν στο μηδέν και τις εκπομπές οξειδίων του αζώτου (NO<sub>x</sub>) περισσότερο από 80%, είναι φανερό ότι εμφανίζει περιβαλλοντικά πλεονεκτήματα σε σύγκριση με οποιοδήποτε ορυκτό καύσιμο. Συνεπώς είναι

εξαιρετικά ενδιαφέρον να εξεταστούν οι απαιτήσεις χρήσης του LNG ως ναυτιλιακό καύσιμο πρόωσης και παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στο πλοίο.

Η Resolution MSC.285(86)/2009 του IMO παρέχει διεθνή τυποποίηση στον τομέα προσωρινών οδηγιών ασφαλείας για την εγκατάσταση μηχανών φυσικού αερίου στα πλοία, ενώ η MSC επεξεργάζεται τον Διεθνή Κώδικα καυσίμου φυσικού αερίου (IGF) που θα καλύψει την έλλειψη κανονιστικών απαιτήσεων, με χρονοδιάγραμμα υιοθέτησης την επόμενη αναθεώρηση της Δ.Σ. SOLAS περί το 2014.

## 2.2 Διεθνή Αγορά Φυσικού Αερίου (LNG)

Αν και η παραγωγή LNG έχει δείξει αυξητικές τάσεις και νέους παίκτες κατά τη δεκαετία του 2000, δηλαδή έχει δώσει ένα ασφαλές μήνυμα διαθεσιμότητας, οι τιμές του φυσικού αερίου προβλέπεται να παραμείνουν εξαρτημένες από τις τιμές του πετρελαίου και αυτό αναμένεται να τις κρατήσει σχετικά υψηλά στο προβλέψιμο μέλλον. Επιπλέον η εξέλιξη του παγκόσμιου δικτύου υφιστάμενων και σχεδιαζόμενων εγκαταστάσεων προμήθειας LNG και η ανάπτυξη του στόλου μεταφοράς LNG παρουσιάζει ενδιαφέρον, διότι για τον ανεφοδιασμό των πλοίων με χρήση LNG διαπιστώθηκε ότι απαιτείται πυκνό δίκτυο, δεδομένης της ευελιξίας ανεφοδιασμού που παρέχεται είτε από τερματικές εγκαταστάσεις υγροποιημένου αερίου είτε από μικρά δεξαμενόπλοια.



Σχήμα 3: Παγκόσμιος χάρτης με υποδομές ανεφοδιασμού LNG καυσίμου

Πηγή: <https://www.dnvgl.com/article/uptake-of-lng-as-a-fuel-for-shipping-104195>

Η διερεύνηση των τεχνολογικών εξελίξεων στον τομέα των ναυτικών μηχανών, προκειμένου να προσδιοριστεί η μείωση των εκπομπών καυσαερίων σε περίπτωση χρήσης LNG ως ναυτιλιακό καύσιμο, κατέδειξε ότι Νηογνώμονες και κατασκευαστές

ναυτικών μηχανών έχουν ήδη συγκροτήσει ερευνητικές ομάδες και εκπονούν μελέτες σκοπιμότητας (case studies) για διαφορετικούς τύπους πλοίων (Ro-Ro, capsized bulk carrier, feeder container). Ειδικότερα, τα υβριδικά μοντέλα ναυτικής μηχανής (dual-fuel DF) που παράγουν 80% λιγότερο NOx, 20% λιγότερο CO2 και πρακτικά μηδενικές εκπομπές SOx κατά τη λειτουργία με LNG σε σύγκριση με HFO, αποτελούν βιώσιμες εναλλακτικές εφαρμογές. Επίσης, παρέχουν ευελιξία λόγω της υβριδικής τους φύσης κατά τη διέλευση του πλοίου από περιοχές (ECA, SECA) στα πλαίσια της Δ.Σ. MARPOL

### **2.3 Ο σχεδιασμός**

Σύμφωνα με το μέχρι στιγμής σχεδιασμό, η εγκατάσταση συστήματος διπλού καυσίμου (dual fuel) θα αυξήσει το κόστος κατασκευής των πλοίων κατά 12 με 13 εκατ. δολάρια το πλοίο.

Το επιπλέον κόστος, δεν θεωρείται αμελητέο, ωστόσο είναι περίπου 33% χαμηλότερο από όσο ήταν πριν από ενάμιση χρόνο.

Το στοίχημα για την κατασκευή των πλοίων αυτών θα είναι το μέγεθος της δεξαμενής υγροποιημένου φυσικού αερίου, η οποία άλλωστε θα καθορίσει και το εύρος της επιχειρησιακής δυνατότητας των super tanker. Υπολογίζεται ότι για ένα ταξίδι από τον Περσικό Κόλπο μέχρι την 'Απω Ανατολή χρειάζεται χωρητικότητα καυσίμων από 5.000 κ.μ. μέχρι 6.000 κ.μ.

### **2.4 Η αγορά**

Την ίδια στιγμή η αγορά των VLCCs ανεβαίνει. Σύμφωνα με την Clarksons Platou τις τελευταίες ημέρες τα έσοδα ανά ημέρα στα νέα ναυλοσύμφωνα ξεπέρασαν τα 30.000 δολάρια, την ώρα που ο μέσος όρος του έτους είναι στα 22.600 δολάρια την ημέρα. Μάλιστα ένα eco VLCC έκλεισε στα 35.000 δολάρια την ημέρα, ενώ ο μέσος όρος για αυτού του τύπου (eco) είναι στα 29.000 δολάρια την ημέρα φέτος. Η άνοδος στα VLCC αναμένεται να έχει θετικό αντίκτυπο και στα δεξαμενόπλοια μικρότερης μεταφορικής δυνατότητας, εφόσον φυσικά η υψηλή ζήτηση συνεχιστεί.

#### **2.4.1 Ο διεθνής στόλος πλοίων με καύση LNG**

Τα στοιχεία από την Clarksons δείχνουν ότι 507 πλοία αυτή τη περίοδο κινούνται με LNG. Περίπου τα δύο τρίτα από αυτά είναι LNG carriers, ενώ το 12% είναι κρουαζιερόπλοια και containerships. Τα δεξαμενόπλοια αντιπροσωπεύουν το 4% και τα bulk carriers μόλις το 1%.

## 2.5 Υποδομές σε Πλοία LNG

Ως το μοναδικό καύσιμο που μπορεί αυτή τη στιγμή να βοηθήσει ουσιαστικά ώστε να επιτευχθούν οι στόχοι για πράσινη ναυτιλία μέχρι το 2050, χαρακτηρίζει το LNG ο Γαλλικός Νηογνώμονας (Bureau Veritas). Ωστόσο η διάχυση του συγκεκριμένου καυσίμου είναι ιδιαίτερα περιορισμένη προς στιγμή, αφού σχετικά λίγα εμπορικά πλοία το χρησιμοποιούν ως καύσιμο (σημερα 507 πλοία).. Ένα από τα μεγαλύτερα ντεξαβαντάζ του συγκεκριμένου καυσίμου την περίοδο αυτή είναι η έλλειψη υποδομών. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα βασικοί χρήστες του συγκεκριμένου καυσίμου να είναι τα κρουαζιερόπλοια, και σε δεύτερο βαθμό τα μεγάλα containerships.

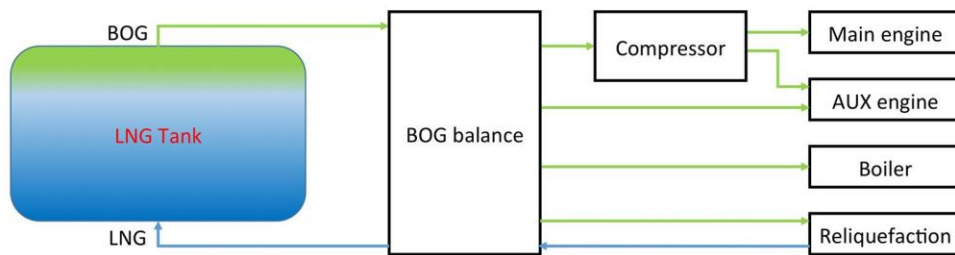
Σύμφωνα με τον γαλλικό νηογνώμονα όμως οι εναλλακτικές το LNG δεν είναι μια λύση που μπορεί να χρησιμοποιηθεί μόνο για να ικανοποιηθούν οι προϋποθέσεις για τα άμεσα μέτρα που έχει θέσει η διεθνής ναυτιλιακή κοινότητα, (αποθειωμένα καύσιμα από το 2020) αλλά μπορεί να ικανοποιήσει και τις μελλοντικές απαιτήσεις, όταν τεθούν σε ισχύ οι επόμενοι κανονισμοί του Διεθνούς Ναυτιλιακού Οργανισμού.

Προς το παρόν τα κρουαζιερόπλοια και τα containerships κυριαρχούν στο LNG fuel, αφού για τη μεγάλη μάζα εμπορικών πλοίων δεν υπάρχουν οι κατάλληλες υποδομές. Για τον γαλλικό νηογνώμονα όμως, όταν αναπτυχθούν οι συγκεκριμένες υποδομές το LNG μπορεί να αποτελέσει το πιο διαδεδομένο καύσιμο για την αγορά. το πλοία που κινούνται με LNG έχουν τις χαμηλότερες εκπομπές. Το συγκεκριμένο καύσιμο μπορεί να πιάσει τους περιβαλλοντικούς στόχους του 2030 σημειώνουν ναυτιλιακά στελέχη γνωστών εταιριών.

## 3. Χαρακτηριστικά και Τρόπος λειτουργίας Πλοίων Καύσης LNG

Ένας κινητήρας θαλάσσιου ΥΦΑ είναι ένας κινητήρας διπλού καυσίμου που χρησιμοποιεί φυσικό αέριο και καύσιμο καυσίμων για τη μετατροπή της χημικής ενέργειας σε μηχανική ενέργεια. Λόγω των καθαρότερων ιδιοτήτων καύσης φυσικού αερίου, η χρήση φυσικού αερίου σε μονάδες προώθησης εμπορικών πλοίων γίνεται επιλογή των εταιριών προκειμένου να συμμορφωθούν με τους περιβαλλοντικούς κανονισμούς του IMO και της MARPOL. Το φυσικό αέριο αποθηκεύεται σε υγρή κατάσταση (ΥΦΑ) και το αέριο βρασμού διοχετεύεται και καίγεται σε κινητήρες διπλού καυσίμου. Οι ναυτιλιακές εταιρείες ήταν προσεκτικές όταν επιλέγουν ένα σύστημα προώσης για τους στόλους τους. Το σύστημα ατμοστρόβιλου υπήρξε η κύρια επιλογή ως ο πρώτος κινητήρας των αερομεταφορέων ΥΦΑ τις τελευταίες δεκαετίες. Το σύστημα στους ατμοκίνητους αερομεταφορείς LNG χρησιμοποιεί BOG (boil-off gas). Οι φορείς LNG είναι πολύ μονωμένοι για να διατηρήσουν το LNG στους -160 ° C περίπου - για να το διατηρήσουν υγροποιημένο. Αυτό που συμβαίνει είναι ότι ακόμη και με όλη τη μόνωση, η περιοχή συγκράτησης ΥΦΑ διεισδύεται από

θερμότητα που επιτρέπει φυσικό αέριο που δημιουργείται με βρασμό (BOG).



**Σχημα 4.** Χειρισμός αερίου Boil-Off στα πλοία που τροφοδοτούνται με ΥΦΑ

Πηγή:<https://www.wartsila.com/twentyfour7/in-detail/boil-off-gas-handling-onboard-lng-fuelled-ships>

Σύμφωνα με στοιχεία της πλατφόρμας AFI, οι εγκαταστάσεις δεξαμενών LNG στα πλοία αναμένεται να τριπλασιαστούν σε όγκο έως τα τέλη του 2020 συγκριτικά με τα 100.000 κ.μ. σήμερα, με ιδιαίτερη έμφαση να δίνεται στην χρήση του LNG ως ναυτιλιακού καυσίμου σε κρουαζιερόπλοια, δεξαμενόπλοια και containerships.

Από την άλλη πλευρά, περίπου σε 3.553 πλοία έχουν εγκατασταθεί scrubbers, ενώ εντός του 2019 αναμένεται να πραγματοποιηθούν αντίστοιχες εγκαταστάσεις σε 2.000 πλοία. (<https://www.dnvgl.com/services/alternative-fuels-insight-128171>)

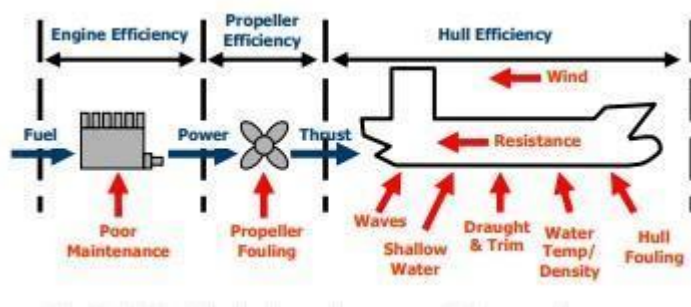
### 3.1 Boil-off gas

Τα δεξαμενόπλοια ΥΦΑ έχουν σχεδιαστεί για να μεταφέρουν φυσικό αέριο σε υγρή μορφή σε θερμοκρασία - 163 ° C, κοντά στη θερμοκρασία εξάτμισης. Παρά τη μόνωση του ρεζερβουάρ που έχει σχεδιαστεί για να περιορίζει την είσοδο εξωτερικής θερμότητας, ακόμη και μια μικρή ποσότητα θα προκαλέσει ελαφρά εξάτμιση του φορτίου. Αυτή η φυσική εξάτμιση, γνωστή ως boil-off είναι αναπόφευκτη και πρέπει να αφαιρεθεί από τις δεξαμενές για να διατηρηθεί η πίεση της δεξαμενής φορτίου.

([https://www.wartsila.com/encyclopedia/term/boil-off-gas-\(bog\)](https://www.wartsila.com/encyclopedia/term/boil-off-gas-(bog)))

### 3.2 Συστήματα πρόωσης

Θεωρώντας το πλοίο ως δυναμικό σύστημα που μπορεί να μοντελοποιηθεί ως ένα γενικό μη γραμμικό μοντέλο κρατικού-διαστήματος, η απόδοση πρόωσης του πλοίου (αναφέρεται ως η απόδοση) είναι ένα μέτρο της κατανάλωσης ενέργειας που εξαρτάται από την τρέχουσα κατάσταση του πλοίου και μεγάλο αριθμό εξωτερικών παραγόντων / μεταβλητών όπως ταχύτητα, συνθήκες φόρτωσης, συνθήκες πλοίου, καιρικές και θαλάσσιες συνθήκες. Το Σχ.5 δείχνει μερικούς παράγοντες που επηρεάζουν την απόδοση πρόωσης.



Σχέδιο 5: Μεταβλητές που επηρεάζουν την απόδοση πρόωσης

Πηγή: FORCE Technology, TU of Denmark

#### 3.2.1 Τεχνολογία

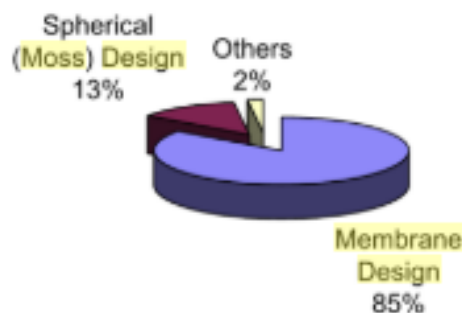
Το Samsung's Supreme ήταν ένα πλοίο μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων LNG τύπου Mark-III που ήταν το μεγαλύτερο του είδους του. Το Supreme είχε τη νεότερη τεχνολογία που βλέπει στα πλοία ΥΦΑ. Διαθέτει δεξαμενές πλήρως περιτριγυρισμένες από διπλό κύτος, και ένα cofferdam μεταξύ δεξαμενών. Κάθε



δεξαμενή αποθηκεύει το φορτίο της στους -163 βαθμούς Κελσίου. Αυτή είναι μια τυπική θερμοκρασία αποθήκευσης για LNG. Αυτό επιτυγχάνεται με μόνωση 250 mm και μεμβράνη από ανοξείδωτο χάλυβα πάχους 1,2 mm. Κάθε δεξαμενή φορτίου έχει βυθιστεί φυγοκεντρικές αντλίες για γρήγορη εκφόρτωση φορτίου. Αυτή είναι η τυπική μέθοδος εκφόρτωσης για δεξαμενές ΥΦΑ. Η μέγιστη ξηρασία για πλοία ΥΦΑ είναι συνήθως 12 μέτρα. Αυτό οφείλεται στα μεγέθη και τους περιορισμούς των λιμενικών εγκαταστάσεων. Το πιο συνηθισμένο μέγεθος των πλοίων ΥΦΑ κυμαίνεται μεταξύ 120.000 και 180.000 κυβικών μέτρων λόγω των διαστάσεων του πλοίου. (Propulsion Trends in LNG Carriers Two-stroke Engines, 2017).

### 3.2.2 Οι δύο κοινοί τύποι LNG πλοίων είναι Moss και Membrane.

Οι φορείς τύπου Moss διαθέτουν σφαιρικές δεξαμενές για να συγκρατούν το LNG, ενώ οι φορείς τύπου μεμβράνης διαθέτουν πιο παραδοσιακές δεξαμενές ορθογώνιου τύπου με μεμβράνη από ανοξείδωτο ασάλι. Τα δεξαμενόπλοια μεμβράνης είναι πιο συνηθισμένα επειδή είναι μικρότερα από τα βρύα πλοία για την ίδια ποσότητα καυσίμου ΥΦΑ που μεταφέρεται, αλλά δημιουργούν περισσότερο βρασμένο αέριο από τα πλοία τύπου Moss.



**Σχέδιο 6: Οι δύο τύποι LNG Moss Και Membrane % διεθνώς 2005-2010**  
*Marine Structural Design - Σελίδα 54,- 2015 - Technology & Engineering*

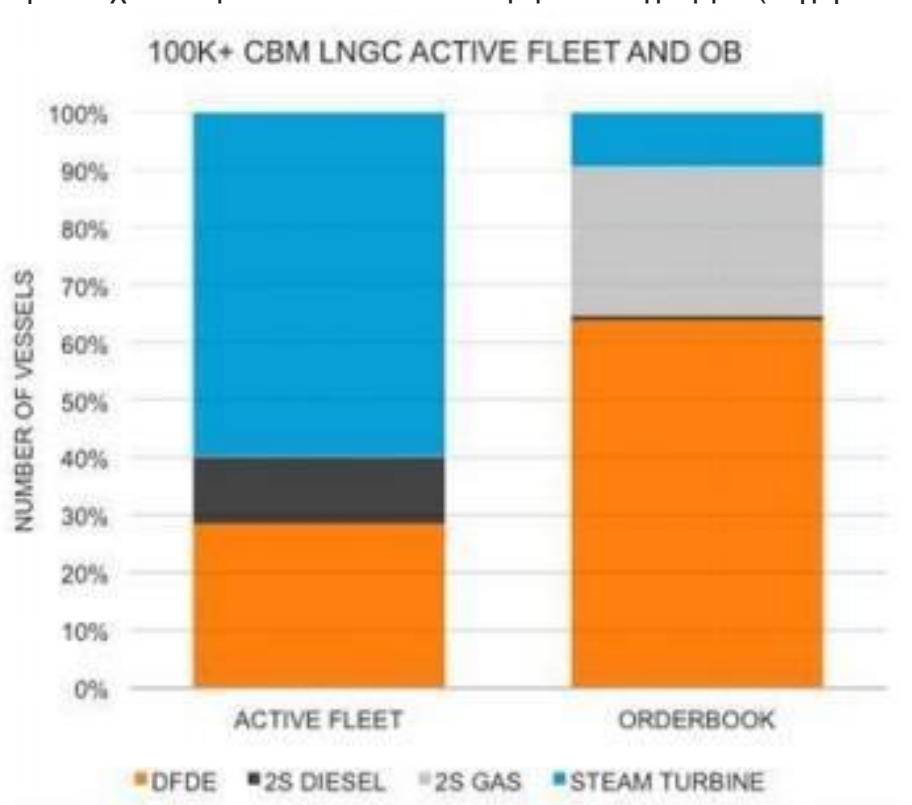
Μια μελέτη της MEC Intelligence διαπίστωσε ότι το ΥΦΑ θα είναι η κύρια πηγή καυσίμου για όλα τα εμπορικά πλοία εντός 40 ετών. Πολλές εταιρείες έχουν ήδη αρχίσει να εξετάζουν τη διαδικασία αλλαγής των στόλων τους σε συστήματα προώθησης ΥΦΑ.

Τα συστήματα προώθησης πλοίων LNG έρχονται συνήθως εξοπλισμένα με WHR, επειδή μπορούν να οδηγήσουν σε μειωμένες εκπομπές, μειωμένη κατανάλωση καυσίμου και καλύτερη απόδοση. Η μετάβαση σε πλοία που λειτουργούν με ΥΦΑ είναι μια περίπλοκη εργασία για τις εταιρείες, αλλά συνδυάζεται με σύγχρονα συστήματα μείωσης θερμότητας αποβλήτων (WHR), τα πλοία ΥΦΑ μπορούν να είναι πιο αποτελεσματικά από τα πλοία ντίζελ ή ατμού. (*wikipedia*)

### 3.2.3 Το βασικό κριτήριο επιλογής συστημάτων πρόωσης για πλοία LNG

Ανάγκη καύσης boil-off αερίου, η οποία δημιούργησε μια εντελώς διαφορετική τάση σε σχέση με τον παραδοσιακό σχεδιασμό εμπορικών πλοίων. Μέχρι τις αρχές της δεκαετίας του 2000, καθώς οι λέβητες ήταν το μόνο μέσο για την καύση boil-off αερίου, οι ατμοστρόβιλοι ήταν το ευρέως προτιμώμενο σύστημα πρόωσης. Το 2001, η GDF Suez παρήγγειλε τα δύο πρώτα πλοία LNG με σύστημα πρόωσης DFDE. Το νέο σύστημα προώθησης έφερε σημαντικές βελτιώσεις όσον αφορά τη λειτουργική ευελιξία και πάνω από όλα την αποδοτικότητα, επιτρέποντας εξοικονόμηση καυσίμου έως και 40% σε σχέση με τους παραδοσιακούς ατμοστρόβιλους. Το σύστημα πρόωσης DFDE έγινε γρήγορα το νέο πρότυπο για τα πλοία LNG, εξοπλίζοντας το 90% των νεότευκτων πλοίων το 2014. (Clarksons,2015)

Διάφορες άλλες νέες τεχνολογίες πρόωσης, όπως η χαμηλής πίεσης βραδείας-ταχύτητας dual fuel ή η υψηλής πίεσης βραδείας ταχύτητας αερίου-diesel, εισήλθαν πρόσφατα σε αυτήν την αγορά οδηγώντας σε περαιτέρω περικοπή των λειτουργικών δαπανών. Στη συνέχεια παρατίθενται ένα ενδιαφέρον διάγραμμα (πηγή Clarksons,



2015)..

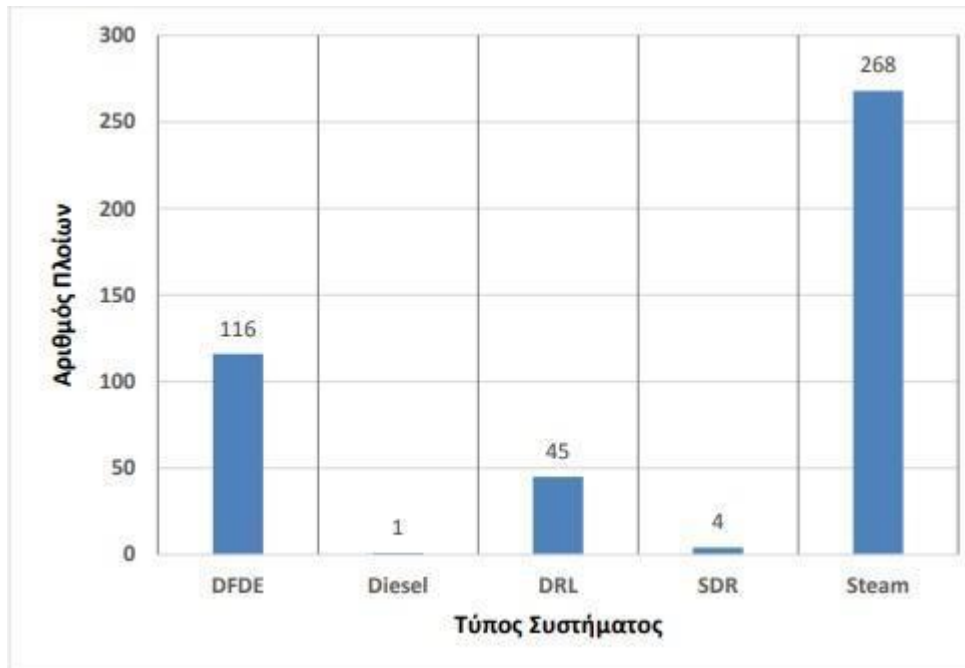
**Σχήμα 7:** Υπάρχοντα πλοία LNG και παραγγελίες Πηγή: LNG propulsion alternatives

πηγή: Clarksons, 2015.

### 3.3 Η ανάπτυξη κινητήρων με υγροποιημένο φυσικό αέριο (LNG)

Κερδίζει διαρκώς αναγνώριση για τα πλεονεκτήματα χαμηλών εκπομπών και κόστους κατανάλωσης. Χρησιμοποιούνται σε πλοία μεταφοράς LNG όπου μέρος του

φορτίου το οποίο βρίσκεται σε ειδικές μονωμένες δεξαμενές στους -120 Κελσίου αναπόφευκτα εξατμίζεται οπότε χρησιμοποιείται ως καύσιμο σε τετράχρονες μηχανές που παράγουν ηλεκτρικό ρεύμα κυρίως όμως τελευταία πολλά τέτοια πλοία εξοπλίζονται με δίχρονες κύριες μηχανές



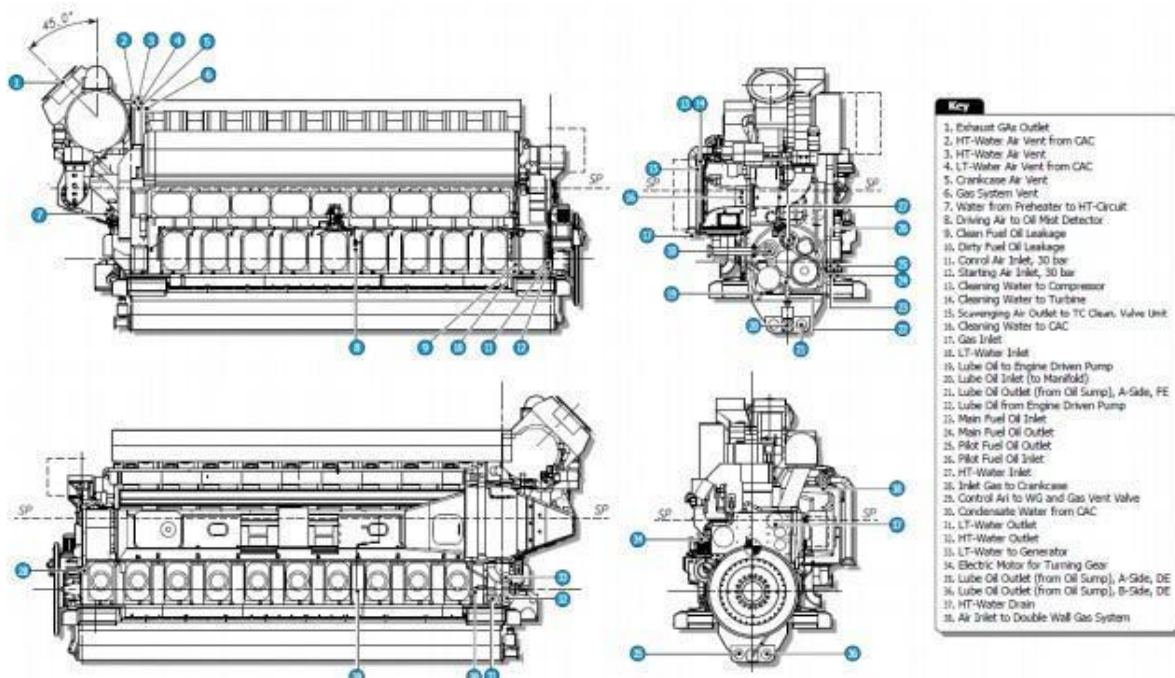
*Εικόνα 8: Τυποι συστήματος Προώσης LNG (1969-2016)*

Πηγή:(πηγή Clarksons, 2015).

### 3.3.1 Μηχανές Εσωτερικής Καύσης (ΜΕΚ)

Σε όλων των ειδών τα πλοία οι ΜΕΚ είναι αποκλειστικά υπεύθυνες για την πρόωση. Στα DFDE οι ΜΕΚ είναι αποκλειστικά υπεύθυνες για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Ο λόγος που το κάνουν αυτό είναι το φορτίο των πλοίων που τις

χρησιμοποιούν, το φυσικό αέριο.



**Σχέδιο 9.** Τετράχρονη DFDE μηχανής σε σειρά

Πηγή: <https://maredu.gunet.gr>

Οι μηχανές αυτές είναι τετράχρονες ενίοτε τύπου V ή σε σειρά. Ονομάζονται DFDE γιατί έχουν την δυνατότητα να κάψουν δύο είδη καυσίμων (πετρέλαιο και φυσικό αέριο). Όταν καίνε πετρέλαιο HFO δεν διαφέρουν σε τίποτα από μια οποιαδήποτε μηχανή ναυτικού τύπου σε κύκλο Diesel εκτός από τον καυστήρα όπου ναί μεν είναι άμεσου ψεκασμού, αλλά είναι συγχωνευμένος με ένα καυστήρα pilot όπου χρησιμοποιεί μόνο diesel καθόλη την διάρκεια της λειτουργίας της μηχανής με οποιοδήποτε καύσιμο, για να μην κολλήσει κατά την διάρκεια της λειτουργίας της μηχανής με HFO. Επίσης κοινό με οποιαδήποτε ναυτική μηχανή είναι και το σύστημα τροφοδοσίας πετρελαίου της μηχανής. Για να μπορέσει η μηχανή να αρχίσει να καίει ως καύσιμο φυσικό αέριο πρέπει να αλλάξει η λειτουργία της από κύκλο Diesel σε κύκλο OTTO. Αρχικά ξεκινά ένα sequence όπου η μηχανή αρχίζει να καίει μόνο diesel για περίπου 30 λεπτά. Για να γίνει αυτό υπάρχει και το ανάλογο σύστημα τροφοδοσίας diesel. Τέλος ξεκινά η έγχυση του φυσικού αερίου στην μηχανή και με μια αυτοπονημένη διαδικασία η μηχανή αλλάζει κύκλο λειτουργίας. Η έγχυση του φυσικού αερίου γίνεται λίγο πριν το A.N.Σ. του κυλίνδρου από ένα Gas Admission Valve (όπου λειτουργεί ηλεκτρομαγνητικά). Το φυσικό αέριο βγαίνει από το συμπιεστή low duty με πίεση γύρω στα 5 bar (μεγαλύτερη πίεση από αυτή που επικρατεί μέσα στον κύλινδρο κατά την στιγμή της έγχυσης) οπότε και μπαίνει με φυσικό τρόπο λόγω της διαφοράς πίεσης.

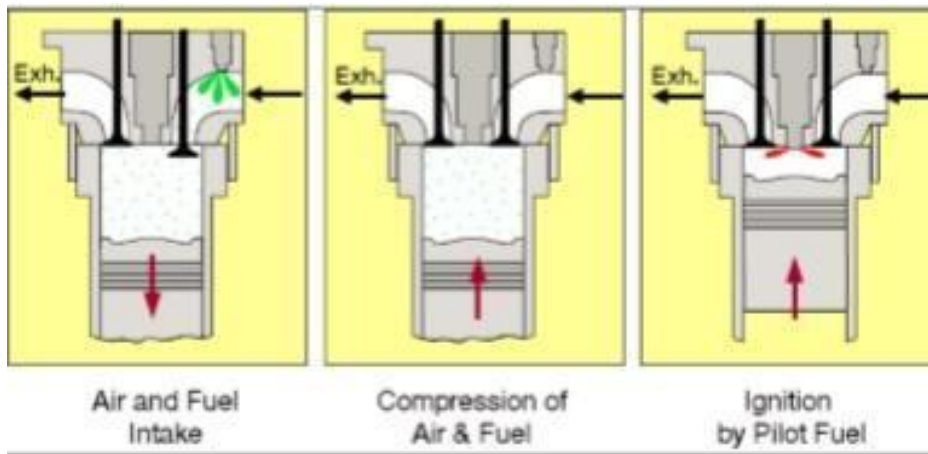


**Φωτο 10 :** Μηχανοστάσιο πλοίου τετράχρονης DFDE μηχανής σε σειρά  
Πηγή: <https://maredu.gunet.gr>

### **3.4 Κινητήρες Διπλού καυσίμου (LNG)**

Οι ναυτιλιακές εταιρείες οφείλουν να συμμορφώνονται με τον Διεθνή Ναυτιλιακό Οργανισμό (IMO) και τη διεθνή σύμβαση για την πρόληψη της ρύπανσης από τις εκπομπές πλοίων . Οι κινητήρες διπλού καυσίμου τροφοδοτούνται είτε από ναυτικό ντίζελ, είτε από βαρύ μαζούτ είτε από υγροποιημένο φυσικό αέριο (ΥΦΑ ή LNG). Ένας κινητήρας LNG έχει πολλές επιλογές καυσίμων, επιτρέποντας στα πλοία να κινούνται χωρίς να βασίζονται σε ένα είδος καυσίμου. Μελέτες δείχνουν ότι το ΥΦΑ είναι το πιο αποδοτικό από τα καύσιμα, αν και η περιορισμένη πρόσβαση σε σταθμούς ανεφοδιασμού ΥΦΑ περιορίζει την παραγωγή τέτοιων κινητήρων για πλοία που δεν μεταφέρουν φυσικό αέριο. Τα πλεονεκτήματα των κινητήρων διπλού καυσίμου περιλαμβάνουν ευελιξία καυσίμου και λειτουργική ευελιξία, υψηλή απόδοση, χαμηλές εκπομπές και πλεονεκτήματα λειτουργικού κόστους. Οι μηχανές υγροποιημένου φυσικού αερίου προσφέρουν στη ναυτιλιακή βιομηχανία μεταφορών μια φιλική προς το περιβάλλον εναλλακτική λύση για την παροχή ενέργειας σε σκάφη. Με τα νέα περιβαλλοντολογικά μέτρα πολλές εταιρίες με επιβατικά χτίζουν καινοτόμα πλοία και πολλές επιλέγουν μηχανές dual fuel και δεξαμενές φυσικού αερίου. Τα κέρδη μιας εταιρείας από φορολογικές περικοπές και πλεονεκτήματα

λειτουργικού κόστους οδήγησαν στη σταδιακή αύξηση της χρήσης καυσίμου ΥΦΑ σε κινητήρες.



**Σχήμα 11:** Διαδικασία καύσης στον κινητήρα διπλού καυσίμου)

Πηγή: [www.shi.samsung.co.kr](http://www.shi.samsung.co.kr)

### 3.5 Μηχανές πλοίων LNG

Μεγάλη πρόοδος και ανάπτυξη έχει επιτευχθεί στις μηχανές πλοίων που χρησιμοποιούν LNG. Υπάρχουν αρκετά ήδη μηχανών που μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε ένα πλοίο. Ο (Wursing, 2014) ταξινόμησε αυτές τις μηχανές στις παρακάτω κατηγορίες:

- Μηχανές που χρησιμοποιούν μόνο φυσικό αέριο με τα ακόλουθα

**χαρακτηριστικά:**

- 1) Χαμηλή πίεση τροφοδότησης της μηχανής με φυσικό αέριο
- 2) Μίξη καυσίμου πριν την εισαγωγή του στον κύλινδρο
- 3) Ανάφλεξη με σπινθήρα

**Τετράχρονες μηχανές με ευελιξία χρήσης καυσίμου από πετρέλαιο σε φυσικό αέριο και το αντίστροφο με τα ακόλουθα χαρακτηριστικά:**

1) Χαμηλή πίεση τροφοδότησης της μηχανής με φυσικό αέριο

2) Μίξη καυσίμου πριν την εισαγωγή του στον κύλινδρο

3) Ανάφλεξη από προπομπό πετρελαίου

• Δίχρονες μηχανές με ευελιξία χρήσης καυσίμου από πετρέλαιο σε φυσικό

**αέριο και το αντίστροφο με τα ακόλουθα χαρακτηριστικά:**

1) Υψηλή ή χαμηλή πίεση τροφοδότησης της μηχανής με φυσικό αέριο

2) Μίξη καυσίμου κατά την διάρκεια της συμπίεσης και της καύσης

3) Μίξη καυσίμου μετά το τέλος της συμπίεσης

4) Ανάφλεξη από προπομπό πετρελαίου

## **4. Υποδειγμα εφαρμογής LNG καυσίμου**

### **4.1 Μηχανές LNG - RollsRoyce**

Η εταιρία Rolls-Royce (Bergen) τις τελευταίες δεκαετίες έχει κάνει μεγάλη έρευνα και έχει αναπτύξει τεχνολογίες για την καύση του φυσικού αερίου σε ναυτικές μηχανές. Κατασκεύασε την πρώτη της μηχανή το 2005 και σήμερα τουλάχιστον 5 επιβατικά πλοία χρησιμοποιούν τις μηχανές της Rolls-Royce στην Νορβηγία. Οι μηχανές της Rolls-Royce χρησιμοποιούν το σύστημα ανάφλεξης με σπίθα όπου ένα πλούσιο μίγμα καυσίμου αποτελούμενο από φυσικό αέριο και αέρα εισάγεται σε έναν προθάλαμο και αναφλέγεται έτσι ώστε να δημιουργηθεί μια ισχυρή πηγή ανάφλεξης με σπίθα μέσα στον κύλινδρο. Στις μηχανές της Rolls-Royce υπάρχει περισσότερος αέρας μέσα στον κύλινδρο από ότι πραγματικά χρειάζεται και αυτό γίνεται για να μειώνονται οι θερμοκρασίες που αναπτύσσονται μέσα στον κύλινδρο με αποτέλεσμα την μείωση των εκπομπών NOx. Ακόμη και στις χαμηλές στροφές, οι μηχανές της Rolls-Royce έχουν αρκετά μειωμένες εκπομπές αερίων. ( Εικ.1)

**Οι μηχανές που έχει παράγει η εταιρία Rolls-Royce είναι οι ακόλουθες:**

• Gas B Engines που λειτουργούν στις 720-750 στροφές με ισχύ 6760 – 9380

ίππων

- Gas C Engines που λειτουργούν στις 900-1000 στροφές με ισχύ 1960-3260

ίππους (Caughlan και Larsen,2010)



**Εικ.12** Μηχανή LNG Rolls Royce

Πηγή: <https://bergen.rolls-royce.com/>

#### 4.2 Μηχανές LNG - Wartsilla

Η εταιρία κατασκευής μηχανών πλοίων Wartsilla κατασκευάζει αποκλειστικά μηχανές dual-fuel, δηλαδή μηχανές οι οποίες μπορούν να λειτουργήσουν και με φυσικό αέριο και με πετρέλαιο. Τα τελευταία χρόνια η εταιρία έχει επικεντρωθεί στην ανάπτυξη και στην κατασκευή μηχανών μικρού μεγέθους για επιβατικά πλοία κυρίως πάντα όμως τεχνολογίας dual-fuel. (Εικόνα 11) Μηχανή Διπλού καυσίμου για πλοία LNG

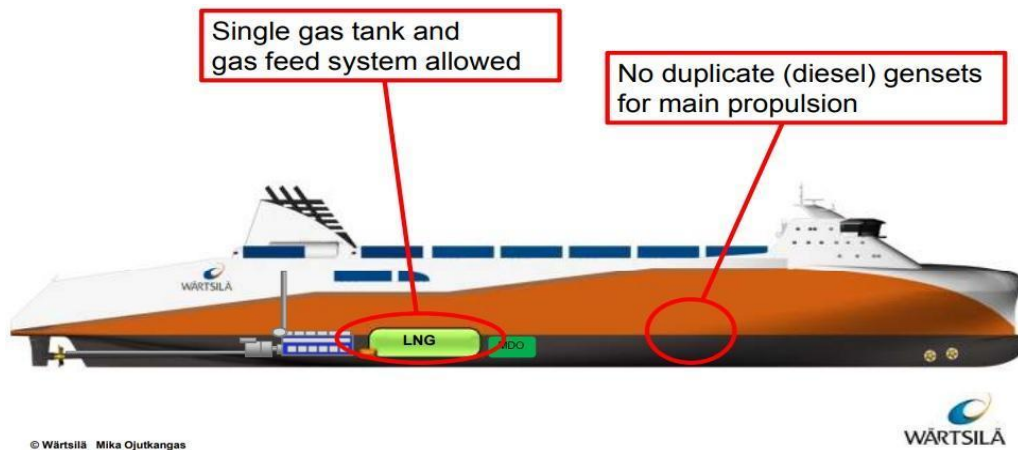


**Εικ.13 :** Μηχανή Διπλού καυσίμου για πλοία LNG

Πηγή: <https://www.wartsila.com/media/news/18-10-2017-wartsila-dual-fuel-engines-to-power-four-new-lng-carriers>

Οι μηχανές της Wartsilla χρησιμοποιούν μια μικρή ποσότητα πετρελαίου για να γίνει η ανάφλεξη του καυσίμου στον κύλινδρο των μηχανών που χρησιμοποιούν LNG ως καύσιμο όπως φαίνεται στην εικόνα 12. Οι μηχανές της Wartsilla έχουν χαμηλές εκπομπές διοξειδίου του θείου, είναι ηλεκτρονικά ελεγχόμενες και μπορεί να γίνει η μετάβαση από πετρέλαιο σε LNG ακόμα και όταν το πλοίο βρίσκεται εν κινήσει. (Caughlan και Larsen, 2010)





**Εικόνα 14** Σχεδίαση κινητήρα DF wartsila .

πηγή: Klaipeda LNG Forum

<http://www.kmtp.lt/old/uploads/Renginiai/Klaipeda%20LNG%20Forum%202011%2006%2016/Dual%20fuel%20engine%20development%20and%20design.pdf>

Η εταιρία κατασκευής μηχανών πλοίων Wartsilla έχει αναπτύξει **3 μοντέλα μηχανών** οι οποίες μπορούν να χρησιμοποιούν LNG ή πετρέλαιο.

Τα μοντέλα των μηχανών αυτών είναι:

- Wärtsilä 20DF με ισχύ 1400-2100 ίππων
- Wärtsilä 34DF με ισχύ 3500-9300 ίππων
- Wärtsilä 50DF με ισχύ 7640-23000 ίππων

Τα χαρακτηριστικά των μηχανών αυτών σύμφωνα και με τον Levander, 2011 είναι

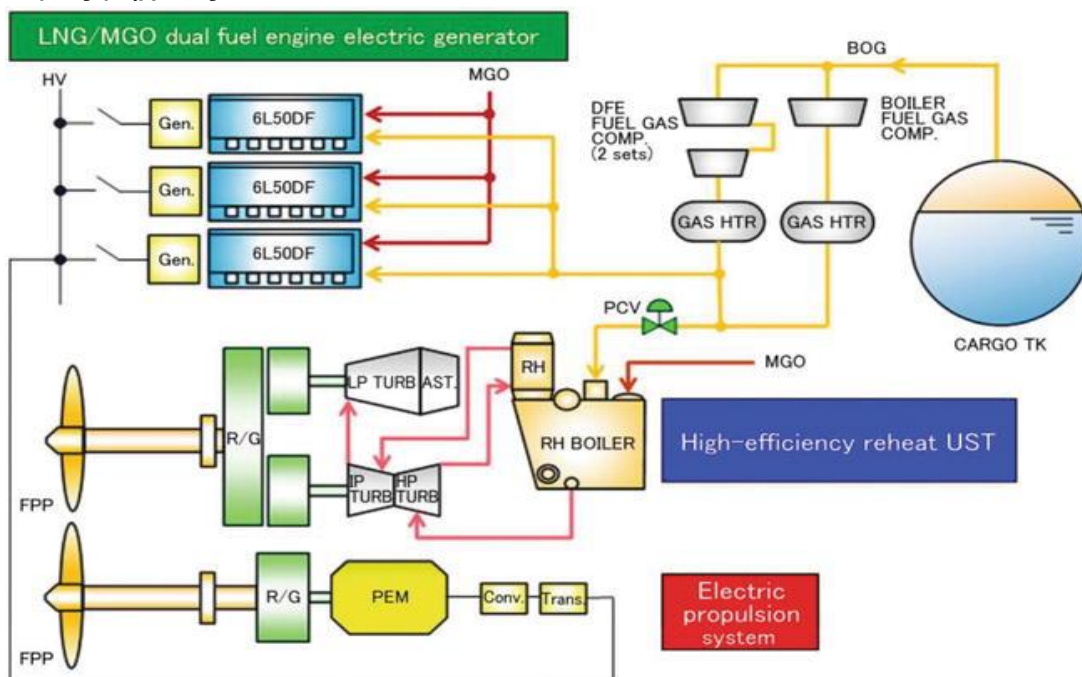
τα ακόλουθα:

- Υψηλή αποδοτικότητα
- Χαμηλή πίεση του αερίου (4-5 bar)
- 25-30% χαμηλότερες εκπομπές CO<sub>2</sub> εξαιτίας του χαμηλού ποσοστού του άνθρακα ως προς το υδρογόνο
- 85% χαμηλότερες εκπομπές NO<sub>x</sub> εξαιτίας της υψηλής περιεκτικότητας σε αέρα του καυσίμου

- Καθαρότερη καύση του καυσίμου
- Ευαισθησία στην ποιότητα του καυσίμου που εξαρτάται από τον αριθμό μεθανίου
- Μηδενικές εκπομπές SO<sub>x</sub> καθώς το Θείο απομακρύνεται από το καύσιμο όταν αυτό υγροποιείται
- Δεν εκπέμπεται καπνός που να είναι ορατός
- Δεν υπάρχουν επικαθίσεις κατάλοιπων καυσαερίων
- Δυνατότητα προσαρμογής καυσίμου από φυσικό αέριο σε πετρέλαιο και το αντίστροφο.
- Δυνατότητα προσαρμογής στις ήδη υπάρχουσες μηχανές πλοίων με μετασκευή και μετατροπή αυτών.

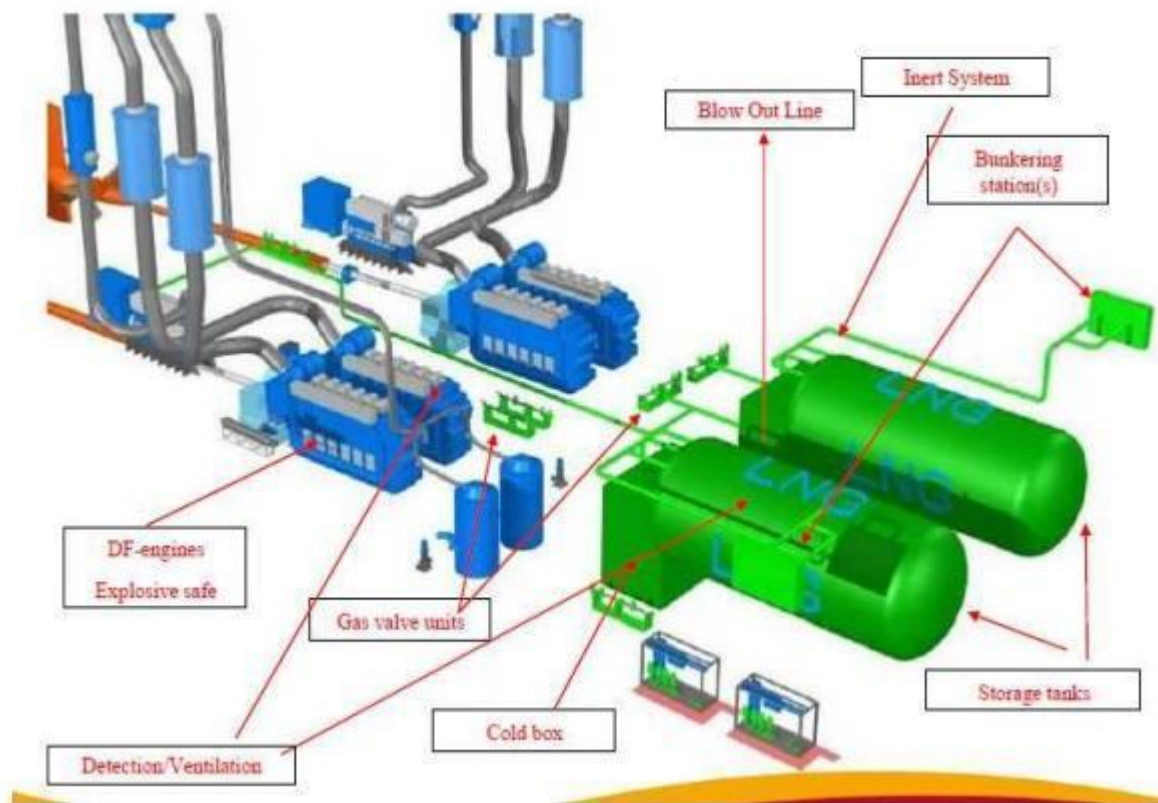
#### 4.3 Συνδεσμολογία Μηχανής DF

Μια τυπική συνδεσμολογία μηχανής Dual Fuel μας παρουσιάζει ο (Unseki (2014) όπου φαίνονται οι δεξαμενές αποθήκευσης του LNG και η συνδεσμολογία τους με τις κύριες μηχανές του πλοίου.



**Σχήμα 14:** Συνδεσμολογία μηχανής DF (Διπλού Καυσίμου)

πηγή: <https://www.intechopen.com/books/propulsion-systems/options-and-evaluations-on-propulsion-systems-of-lng-carriers>



**Σχήμα 15** Εγκατάσταση Μηχανής LNG

πηγή: Viking Cruise lines

## 5. Θερμοφυσικές ιδιότητες του ΥΦΑ καθώς και η σύνθεσή του

Η επιλογή του ΥΦΑ προσφέρει οικονομία, ευελιξία και ασφάλεια ανεφοδιασμού σε σχέση με τον αγωγό και άλλες τεχνολογικές επιλογές. Πολλές χώρες της Ευρώπης και της Ασίας προτιμούν αυτό τον τρόπο ανεφοδιασμού ανεξαρτήτως αν ο μεγάλος όγκος που διακινείται προέρχεται από την περιοχή της Ρωσίας, την Βόρεια Αφρική και τη Μέση Ανατολή. Τα τελευταία χρόνια, ύστερα από την αυξανόμενη παραγωγή ΦΑ από μη συμβατικές πηγές στην Αμερική, μεγάλος όγκος της Ασίας καλύπτεται πλέον μέσω του ΥΦΑ της Αμερικής. (Saeid Mokhatab, 2013). Ορισμός ΥΦΑ Για την ασφαλέστερη, ευκολότερη και οικονομικότερη μεταφορά του ΦΑ, είτε μέσα σε κρυογενικές δεξαμενές, είτε με ειδικά φορτηγά, το αεριοποιημένο Φ.Α. ψύχεται στους  $-162^{\circ}\text{C}$  και μεταπίπτει στην υγρή φάση (LNG - Liquefied Natural Gas), με τον όγκο του να μειώνεται μέχρι και 600 φορές, και τη μέγιστη πίεση μεταφοράς να ορίζεται

περίπου στα 25kPa (4psi). Το ΥΦΑ είναι μια κρυογενική ουσία, με το 7 σημείο βρασμού του να είναι μικρότερο των -90ο C. Πριν την ψύξη, γίνεται απομάκρυνση ορισμένων συστατικών, όπως σκόνης, όξινων αερίων, ηλίου, νερού και βαρέων υδρογονανθράκων, ώστε να μην δημιουργηθεί πρόβλημα κατά την αλλαγή φάσης, από ΦΑ σε ΥΦΑ. Κατά τη διάρκεια της φόρτωσης του ΥΦΑ όλες οι δεξαμενές του μεταφορέα πρέπει να διατηρούνται χωρίς αέρα. Η βίαιη αεριοποίηση του, κατά την απευθείας εισαγωγή του σε δεξαμενή που βρίσκεται σε θερμοκρασία περιβάλλοντος, οδηγεί σε ραγδαία αύξηση της εσωτερικής του πίεσης κάνοντας την ατμόσφαιρα εύφλεκτη. Η μεταφορά ΦΑ σε υγρή μορφή είναι πιο συμφέρουσα σε σχέση με τη χρήση αγωγών όταν αφορά σε μεγάλες αποστάσεις και κυρίως σε διαδρομές όπου συμπεριλαμβάνουν υγρό στοιχείο, κάτι το οποίο καθιστά οικονομικά ασύμφορο την κατασκευή υποθαλάσσιων αγωγών. Για υπεράκτιους αγωγούς το ΥΦΑ μπορεί να γίνει ανταγωνιστικό για αγωγούς μικρότερους των 700 μιλίων, ενώ για χερσαίους αγωγούς μεγαλύτερο από 2000 μίλια. Για μεγάλες αποστάσεις το ΦΑ θα απαιτούσε αγωγούς με μεγάλη διάμετρο και εγκαταστάσεις συμπίεσης για να ξεπεράσουν την πτώση πίεσης μετάδοσης (transmission pressure drop). (Saeid Mokhtab, 2013) 2.3. Σύνθεση ΥΦΑ Η σύνθεση του ΥΦΑ ποικίλει ανάλογα με την προέλευση του ΦΑ και τη διαδικασία υγροποίησης. Το κύριο συστατικό του είναι το μεθάνιο και σε μικρά ποσοστά βαρύτεροι υδρογονάνθρακες, όπως το αιθάνιο, το προπάνιο, το βουτάνιο και το πεντάνιο, ενώ ενδέχεται να υπάρχουν μικρές ποσότητες αζώτου. Παρόλα αυτά, λόγω της μεταφοράς θερμότητας από τα τοιχώματα της μονωμένης δεξαμενής στο ΥΦΑ, προκαλώντας μερική αεριοποίηση του φορτίου, κατά τη διάρκεια ενός θαλάσσιου ταξιδιού, η σύνθεση του ΥΦΑ μεταβάλλεται, με τα ελαφρύτερα συστατικά, (δηλαδή χαμηλότερα σημεία βρασμού), να εξατμίζονται πρώτα. Επομένως, το ΥΦΑ που θα παραδοθεί θα έχει χαμηλότερη ποσοστιαία περιεκτικότητα σε Άζωτο και Μεθάνιο από ότι το ΥΦΑ που φορτώθηκε και ελαφρώς υψηλότερο ποσοστό Αιθανίου, Προπανίου και Βουτανίου, καθώς αυτά είναι βαρύτερα συστατικά των δύο πρώτων. Ο ατμός του ΥΦΑ είναι ελαφρύτερος από τον αέρα σε θερμοκρασία ατμών άνω των -110 βαθμών C ή υψηλότερος ανάλογα με τη σύνθεση του ΥΦΑ. Όταν λοιπόν, ο ατμός εξαερίζεται στην ατμόσφαιρα, ο ατμός τείνει να ανεβαίνει πάνω από την έξοδο εξαερισμού και ώστε να διασκορπιστεί γρήγορα. Όταν οι κρύοι ατμοί αναμιγνύονται 8 με τον ατμοσφαιρικό αέρα, το μίγμα ατμού – αέρα δημιουργεί ένα λευκό σύννεφο λόγω της συμπύκνωσης υγρασίας στον αέρα. Επομένως, κατά κανόνα θεωρείται ότι το εύφλεκτο εύρος σε μίγμα ατμού – αέρα δεν εκτείνεται σημαντικά πέρα από την περίμετρο του λευκού νέφους. Σε περίπτωση που υπάρξει διαρροή ΥΦΑ μέσα σε νερό, τότε αυτό εξατμίζεται άμεσα, αφού η πυκνότητα του υγροποιημένου φυσικού αερίου είναι μικρότερη σε σχέση με αυτή του νερού. Μια άλλη αντιμετώπιση του συγκεκριμένου γεγονότος θα ήταν είτε, το ΥΦΑ να υποβληθεί σε ταχεία αλλαγή φάσης, με φυσική έκρηξη ατμών, χωρίς να λάβει χώρα καύση, είτε να σχηματιστεί «πισίνα ΥΦΑ» συνοδευόμενη από ανάφλεξη, είτε να σχηματιστεί σύννεφο ΦΑ με επακόλουθη καύση. (Anon., n.d.) Ιδιότητες ΥΦΑ Το ΥΦΑ δεν είναι εύφλεκτο, αλλά στην αέρια φάση του απαιτείται ανάμειξη σε ποσοστό 5 – 15% ογκομετρική συγκέντρωση αέρα, ώστε να αναφλεγεί. Παράλληλα, η δεξαμενή ψύχεται γρήγορα, προκαλώντας τεράστια θερμική πίεση στις δεξαμενές και στα

συστήματα σωληνώσεων, προκαλώντας σοβαρές ζημιές στις εγκαταστάσεις. Το εύρος ευφλεκτότητας του μεθανίου στον αέρα (21% οξυγόνο) είναι περίπου 5,3 έως 14% (κατ'όγκο), καθιστώντας το εξαιρετικά επικίνδυνο χημικό προϊόν, αν χειριστεί ακατάλληλα. Για να μειωθεί αυτό το εύρος, ο αέρας αραιώνεται με άζωτο μέχρι η περιεκτικότητα του οξυγόνου να μειωθεί στο 2% πριν τη φόρτωση. Θεωρητικά, μια έκρηξη δεν μπορεί να συμβεί εάν η περιεκτικότητα του μείγματος σε O<sub>2</sub> είναι κάτω από 13%, ανεξάρτητα από το ποσοστό του μεθανίου, αλλά για πρακτικούς λόγους ασφαλείας, ο καθαρισμός συνεχίζεται μέχρις ότου το O<sub>2</sub> είναι κάτω από 2%. Η θερμοκρασία αυτανάφλεξης του μεθανίου, ήτοι, η χαμηλότερη θερμοκρασία στην οποία πρέπει να θερμαίνεται το αέριο για να προκαλέσει αυτοσυντηρούμενη καύση χωρίς ανάφλεξη με σπινθήρα ή φλόγα, είναι 595 βαθμοί C. Το ΥΦΑ όντας στην αέρια φάση μπορεί να προκαλέσει μέχρι και ασφυξία, λόγω της υψηλής περιεκτικότητάς του σε μεθάνιο. Το ΥΦΑ δεν είναι τόσο πυκνό όσο το πετρέλαιο, απαιτώντας έτσι τον διπλό, ίσως και τον τριπλό χώρο για τη δεξαμενή καυσίμου. Για να αντισταθμιστεί η απώλεια χώρου, ορισμένοι Νορβηγοί σχεδιαστές κατασκευάζουν τις δεξαμενές κάτω από τους χώρους διαμονής, δημιουργώντας προστατευτικά σημεία για να κρατήσουν τις 9 δεξαμενές, ενώ άλλοι έχουν τοποθετήσει δεξαμενές στο κατάστρωμα. Οι κατευθυντήριες γραμμές του International Maritime Organisation (IMO) δεν απαγορεύουν την τοποθέτηση δεξαμενών ΥΦΑ κάτω από τους χώρους διαμονής, ωστόσο, η USCG θεωρεί πως θα πρέπει να δοθεί περισσότερη προσοχή στην συγκεκριμένη επιλογή. Το ΥΦΑ, όπως και το ΦΑ, είναι άοσμο, άχρωμο, μη τοξικό και μη διαβρωτικό κρυσταλλικό υγρό σε κανονική ατμοσφαιρική πίεση. Για αυτό το λόγο κατά την επεξεργασία του προστίθεται μία τεχνητή ουσία με έντονη οσμή, έτσι ώστε σε περίπτωση διαρροής να γίνει άμεσα αντιληπτό στον περιβάλλοντα χώρο. Όταν το ΥΦΑ αεριοποιείται και χρησιμοποιείται ως ΦΑ καύσιμο, απελευθερώνει πολύ μικρό ποσοστό σωματιδίων, διοξειδίου και υδρογονανθράκων. Το ΥΦΑ είναι μη τοξικό, ωστόσο αν αναμειχθεί με τη σωστή συγκέντρωση αέρα μπορεί να αναφλεγεί ή να προκαλέσει ασφυξία έλλειψη αέρα σε κλειστό χώρο. Η πηγή του φυσικού αερίου αλλά και η επεξεργασία κατά τη διαδικασία υγροποίησής του καθορίζει την ενεργειακή πυκνότητα του υγροποιημένου φυσικού αερίου, δηλαδή τη θερμογόνο δύναμή του, «η οποία αντιστοιχεί στην ικανότητά του να παράγει θερμική ενέργεια κατά την καύση του και μετράται σε ενέργεια ανά μάζα. Διακρίνεται σε Κατωτέρα (Hu) και Ανωτέρα (Ho) Θερμογόνο Δύναμη» (energypress, n.d.). Η Ανωτέρα Θερμογόνο Δύναμη του ΥΦΑ είναι περίπου 24MJ/L, ενώ η Κατωτέρα Θερμογόνο Δύναμή του υπολογίζεται στα 21 MJ/L.

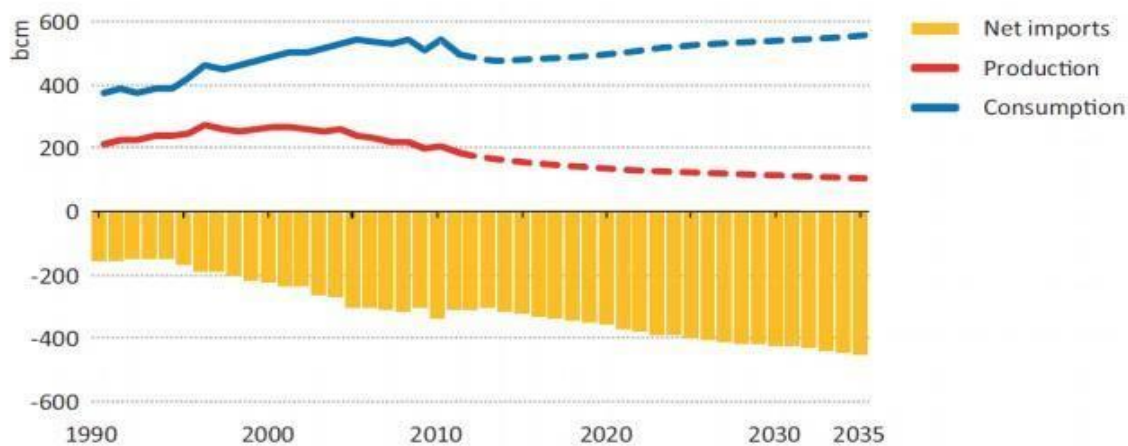
### **5.1 Ενεργειακή απόδοση , τιμή πετρελαίου, κόστος μεταφοράς**

Ο τομέας των μεταφορών κατά κύριο λόγο χρησιμοποιεί το πετρέλαιο ως βασική πηγή ενέργειας. Η δραστηριότητα αυτή καταναλώνει περισσότερο από το 50 τις εκατό της παγκόσμιας παραγωγής πετρελαίου καθώς άξιο αναφοράς είναι η ραγδαία αύξηση της κατανάλωσης που σημειώθηκε από το 1973 έως το 2010 . Σε αντίθεση με τους υπόλοιπους βασικούς καταναλωτές που παρουσίασαν μια μικρή μείωση στην χρήση της συγκεκριμένης μορφής ενέργειας, ο τομέας των μεταφορών

σημείωσε σημαντική αύξηση. Μάλιστα οι προβλέψεις αναφέρουν μια περαιτέρω αύξηση της κατανάλωσης αυτής κατά 1.4 τις εκατό για την περίοδο 2008 με 2035.

## 5.2 Τιμές Φυσικού Αερίου και Ζήτηση Ευρώπη

Οι τιμές της ηλεκτρικής ενέργειας καθορίζονται εν μέρει ως αποτέλεσμα των τιμών των ορυκτών καυσίμων (σε συνδυασμό με άλλους, περισσότερο εθνικούς ή περιφερειακούς παράγοντες που διαμορφώνουν επίσης την τιμή), ενώ οι τιμές του φυσικού αερίου βασίζονται στις παγκόσμιες τιμές των ορυκτών καυσίμων – συμπεριλαμβανόμενου του πετρελαίου. Είναι σαφές ότι η μεγάλη διασπορά των τιμών του φυσικού αερίου κατά την περίοδο 2011-2014 έχει περιοριστεί με την ανάπτυξη των παγκόσμιων αγορών ΥΦΑ και άλλων αποθεμάτων. (Πηγή: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EL/TXT/PDF/?uri=CELEX:52019DC0001&from=EN>)



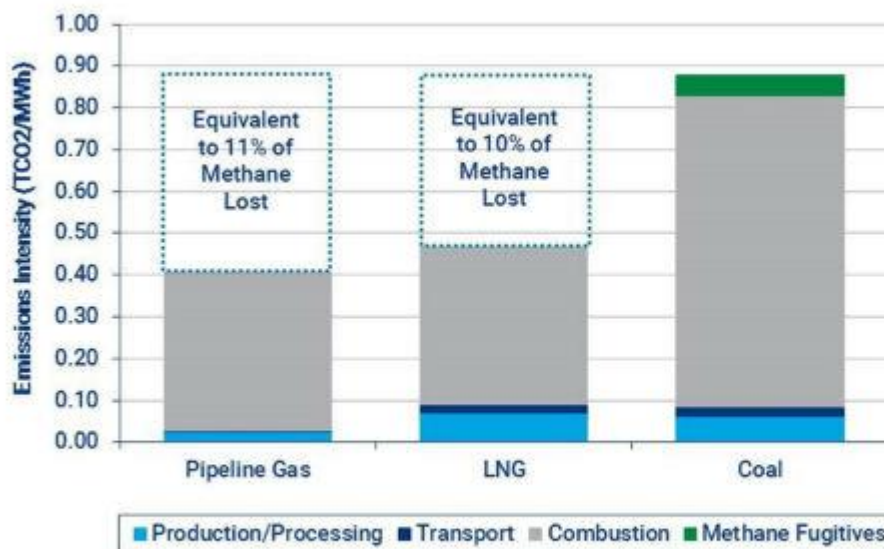
**Εικόνα 16 :** Ισοζύγιο Φυσικού Αερίου στην Ευρώπη σύμφωνα με το New Policies Σενάριο. Πηγή: <http://www.transport.ntua.gr/wp-content/uploads/dtd1012-FotisAthanasios.pdf>

## 5.3 Περιβαλλοντικά ζητήματα

Το φυσικό αέριο αποτελείται κυρίως από μεθάνιο, το οποίο έχει πολύ ισχυρότερο φαινόμενο θερμοκηπίου από το CO<sub>2</sub> ref: Δυναμικό υπερθέρμανσης του πλανήτη. Οι κλιματικές επιπτώσεις του μεθανίου οφείλονται σε μεγάλο βαθμό στη διαρροή μεθανίου. Για παράδειγμα, υπάρχει ένα ζήτημα που ονομάζεται ολίσθηση μεθανίου. Η ολίσθηση μεθανίου είναι όταν η διαρροή αερίου δεν καίγεται μέσω του κινητήρα. [[https://en.wikipedia.org/wiki/Marine\\_LNG\\_Engine](https://en.wikipedia.org/wiki/Marine_LNG_Engine)] Το μεθάνιο έχει GWP (20) (δυναμικό υπερθέρμανσης 20 ετών) που είναι 86x υψηλότερο από το CO<sub>2</sub>. Εάν δεν ελέγχεται η ολίσθηση του μεθανίου, τα περιβαλλοντικά οφέλη από τη χρήση φυσικού αερίου μειώνονται και μπορούν να ακυρώσουν τα πλεονεκτήματα έναντι του καυσίμου ντίζελ ή καυσίμων λόγω της υψηλής επίδρασης του μεθανίου στο θερμοκήπιο. Μια άλλη πρόκληση είναι οι κίνδυνοι που σχετίζονται με την αποθήκευση του ΥΦΑ σε πολύ χαμηλές θερμοκρασίες. Η μόνωση της δεξαμενής είναι κρίσιμη και υπάρχει πιθανότητα δομικής ευθραυστότητας και τραυματισμών από προσωπικό

κρουοπαγήματος. Ουσιαστικά, δεδομένου ότι αποδεικνύεται ότι το ΥΦΑ για την πρόωση πλοίων μειώνει το CO<sub>2</sub> και άλλους ρύπους σε σύγκριση με τα κοινά βαρέα μαζούτ, η εφαρμογή ΥΦΑ εξαρτάται από αυτούς τους βασικούς παράγοντες: διαθεσιμότητα αερίου, ζήτηση για πλοία, όρια εκπομπών (ελεγχόμενες εκπομπές), εγκατάσταση δεξαμενών ΥΦΑ, και απαιτήσεις ασφαλείας. Οι προκλήσεις που σχετίζονται με τη χρήση του ΥΦΑ πρέπει να λαμβάνονται υπόψη. Προκλήσεις όπως η έλλειψη υποδομής στην πλειονότητα των εμπορικών λιμένων, η περιορισμένη εμπειρία του πληρώματος σε λειτουργία με κινητήρες με καύσιμα φυσικού αερίου, η μελλοντική τιμή του φυσικού αερίου και τα απαιτούμενα μέτρα ασφαλείας είναι όλα κρίσιμα σημεία που πρέπει να ληφθούν υπόψη.

Η χρήση του LNG μειώνει τα οξείδια του θείου κατά σχεδόν 100 τοις εκατό και μειώνει τις εκπομπές οξειδίου του αζώτου κατά περίπου 85 τοις εκατό. [[https://en.wikipedia.org/wiki/Marine\\_LNG\\_Engine](https://en.wikipedia.org/wiki/Marine_LNG_Engine)] Υπάρχει σημαντική συζήτηση σχετικά με το εάν η χρήση του LNG οδηγεί σε μειωμένες εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου, με μελέτες που διαπιστώνουν ότι η διαρροή μεθανίου αναιρεί οφέλη για το κλίμα



Source: Source: Wood Mackenzie  
 \*Assumes 100-year GWP of 34. Losses would be around 44.5% assuming

**Εικ.17.** Το δυναμικό υπερθέρμανσης του πλανήτη (GWP) Σύγκριση LNG vs Ανθρακα

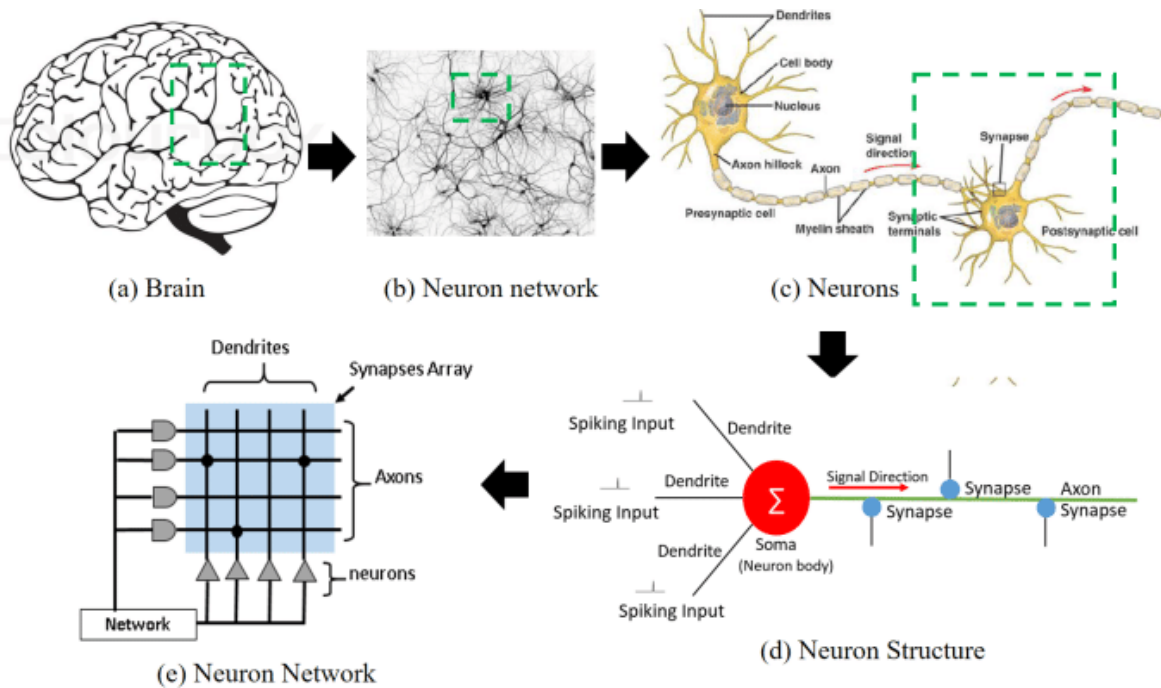
Πηγή: <https://mfame.guru/natural-gas-emissions-intensive-coal/>

## **6. Επισκόπηση βελτιστοποίησης παραμέτρων πρόωσης με χρήση μεθόδων artificial intelligence σε πλοία LNG**

### 6.1 Τα συστήματα τεχνητής νοημοσύνης

Τα ευφυή συστήματα είναι ένας όρος που χρησιμοποιείται συνήθως για συστήματα που έχουν την ικανότητα να αποκτούν και να εφαρμόζουν γνώσεις με «έξυπνο» τρόπο και έχουν τις δυνατότητες αντίληψης, συλλογισμού, εκμάθησης και εξαγωγής συμπερασμάτων από ελλιπείς πληροφορίες. Αυτό το χαρακτηριστικό είναι ζωτικής σημασίας όταν έχουμε συστήματα πολύ περίπλοκα για παρακολούθηση ή με πάρα πολλές διαφορετικές εισόδους. Ο σχεδιασμός πτήσεων είναι ένα από αυτά τα πολύπλοκα συστήματα που θα ταιριάζουν καλά σε έξυπνα συστήματα. Σε όλη την ιστορία της ανθρωπότητας έχουμε αναπτύξει συστήματα για να βοηθήσουμε και να βοηθήσουμε την ύπαρξή μας. Το πιο σημαντικό χαρακτηριστικό αυτών των συστημάτων είναι η παραγωγή εξόδων, με βάση ορισμένες εισόδους και τη φύση του ίδιου του συστήματος. Πολύ συχνά, η παραγωγή αποτελεσμάτων περιλαμβάνει κάποιο είδος λήψης αποφάσεων. Αυτή η διαδικασία λήψης αποφάσεων μπορεί να κυμαίνεται από αριθμητικούς υπολογισμούς έως πολύπλοκες αποφάσεις που βασίζονται στη γνώση χρησιμοποιώντας φυσική και τεχνητή νοημοσύνη, όπως στα σύγχρονα συστήματα υποστήριξης αποφάσεων. Για πολύ πολύπλοκα συστήματα, ακόμη και όταν είναι δυνατή η μοντελοποίηση, τα μοντέλα θα μπορούσαν να είναι τόσο πολύπλοκα που οι ακριβείς αλγόριθμοι ή η λήψη αποφάσεων με βάση αυτά τα μοντέλα, θα μπορούσαν να αυξήσουν σημαντικά το κόστος υπολογιστών και υλικού και να κάνουν τη διαδικασία πολύ αργή για να είναι εφικτή. Συστήματα βασισμένα στη γνώση με έξυπνες δυνατότητες λήψης αποφάσεων είναι πολύ επιτυχημένα σε αυτούς τους τύπους προβλημάτων. Στο εγγύς μέλλον, αναμένεται ότι τα βιομηχανικά μηχανήματα και τα συστήματα υποστήριξης αποφάσεων διατηρούν τη συνέπεια και την επαναληψιμότητα της λειτουργίας και αντιμετωπίζουν τις εξωτερικές επιδόσεις χωρίς ορατή υποβάθμιση της απόδοσης. Ο τομέας των μαλακών υπολογιστών συμβάλλει σημαντικά στην πραγματοποίηση ευφυών μηχανών, διευρύνοντας έτσι το νόημα της μηχανικής νοημοσύνης μέσω εξελίξεων μέσω διαφορετικής πορείας από την παραδοσιακή AI. Μόνο τη δεκαετία του 1960 ξεκίνησε σημαντική δραστηριότητα στον τομέα της τεχνητής νοημοσύνης με στόχο την ανάπτυξη υπολογιστών που θα μπορούσαν να σκέφτονται σαν ανθρώπους. Ακριβώς όπως οι νευρώνες στον εγκέφαλο, το υλικό και το λογισμικό ενός υπολογιστή δεν είναι από μόνα τους έξυπνα, αλλά έχει αποδειχθεί ότι ένας υπολογιστής μπορεί να προγραμματιστεί για να επιδείξει κάποια έξυπνα χαρακτηριστικά ενός ανθρώπου.





Εικ17. Ανθρώπινα νευρώνια και νευρωνικά δίκτυα υπολογιστών

Πηγή: Opportunities and challenges on nanoscale 3D neuromorphic computing system, October 2017, Conference: Electromagnetic Compatibility & Signal/Power Integrity (EMCSI)

Δεν υπάρχει πλήρης αλλά απλός ορισμός της νοημοσύνης. Είναι κοινώς αποδεκτό ότι ένα ευφυές σύστημα διαθέτει ένα ή περισσότερα από τα ακόλουθα χαρακτηριστικά και δυνατότητες:

- Αναγνώριση προτύπων
- Εκμάθηση και απόκτηση γνώσεων
- Συμπεράσματα από ποιοτικές ή κατά προσέγγιση πληροφορίες
- Ικανότητα αντιμετώπισης άγνωστης κατάστασης
- Προσαρμογή σε νέες αλλά συναφείς καταστάσεις (μέσω προσδοκίας γνώσης)
- Επαγωγική συλλογιστική
- Αισθητηριακή αντίληψη
- Κοινή λογική
- Επίδειξη συναισθημάτων
- Εφευρετικότητα

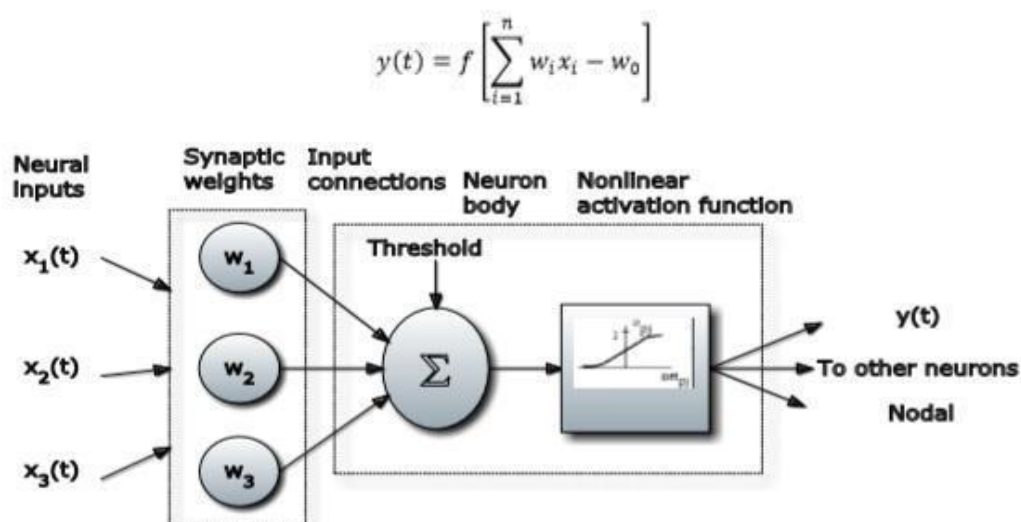
Τα πρώτα έξι χαρακτηριστικά της λίστας είναι τα πιο σημαντικά σε αυτό το έγγραφο, καθώς αντιπροσωπεύουν χαρακτηριστικά που απαιτούνται για την πρόβλεψη της

ποσότητας καυσίμου που καταναλώνεται. Οι τελευταίες τρεις από τις λίστες είναι οι πιο δύσκολες στην εφαρμογή και για αυτόν τον λόγο, σπάνια εμφανίζονται σε έξυπνα μηχανήματα.

## 6.2.Νευρωνικά δίκτυα

Νευρωνικό δίκτυο ονομάζεται ένα κύκλωμα διασυνδεδεμένων νευρώνων. Στην περίπτωση βιολογικών νευρώνων, πρόκειται για ένα τμήμα νευρικού ιστού. Στην περίπτωση τεχνητών νευρώνων, πρόκειται για ένα αφηρημένο αλγοριθμικό κατασκεύασμα το οποίο εμπίπτει στον τομέα της υπολογιστικής νοημοσύνης, όταν στόχος του νευρωνικού δικτύου είναι η επίλυση κάποιου υπολογιστικού προβλήματος, ή της υπολογιστικής νευροεπιστήμης, όταν στόχος είναι η υπολογιστική προσομοίωση της λειτουργίας των βιολογικών νευρωνικών δικτύων με βάση κάποιο μαθηματικό μοντέλο τους.

Η διαδικασία προσέγγισης μιας μη γραμμικής συνάρτησης με την αλληλεπίδραση με ένα σύστημα και τη χρήση δεδομένων σχετικά με τη συμπεριφορά του μπορεί να ερμηνευθεί ως «μάθηση». Μέσω της χρήσης νευρωνικών δικτύων, ένα ευφυές σύστημα θα μπορούσε να μάθει και να εκτελέσει γνωστικά καθήκοντα υψηλού επιπέδου. Ένα νευρικό δίκτυο αποτελείται από ένα σύνολο κόμβων, συνήθως οργανωμένων σε στρώματα και συνδέεται μέσω στοιχείων βάρους που ονομάζονται συνάψεις. Αυτές οι λειτουργίες φαίνονται στο Σχήμα 18. Εάν το σταθμισμένο άθροισμα των εισόδων σε έναν κόμβο (νευρώνα) υπερβαίνει μια τιμή κατωφλίου, τότε ο νευρώνας ενεργοποιείται και μια έξοδος () δημιουργείται σύμφωνα με την Εξίσωση παρακατω , με τις νευρικές εισόδους.



**Σχήμα 18** : Οι λειτουργίες σε έναν κόμβο ενός νευρωνικού δικτύου Πηγή:

[https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%9D%CE%B5%CF%85%CF%81%CF%89%CE%BD%CE%B9%CE%BA%CF%8C\\_%CE%B4%CE%AF%CE%BA%CF%84%CF%85%CE%BF](https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%9D%CE%B5%CF%85%CF%81%CF%89%CE%BD%CE%B9%CE%BA%CF%8C_%CE%B4%CE%AF%CE%BA%CF%84%CF%85%CE%BF)

### 6.1.1 Εφαρμογή

- Παρακολούθηση της κατάστασης των μηχανημάτων: Τα νευρωνικά δίκτυα μπορούν να συμβάλλουν στη μείωση του κόστους με την εξασφάλιση της πρόσθετης εμπειρογνωμοσύνης για τον προγραμματισμό προληπτικής συντήρησης των μηχανημάτων. Ένα νευρωνικό δίκτυο, λοιπόν, μπορεί να εκπαιδευτεί με τέτοιο τρόπο, ώστε να διακρίνει από τους ήχους τους οποίους παράγει μια μηχανή είτε αν εκτελεί κανονικά τις λειτουργίες της, είτε βρίσκεται στα πρόθυρα εμφάνισης οποιασδήποτε δυσλειτουργίας. Μετά από αυτήν την περίοδο εκπαιδευτικής κατάρτισης, η εμπειρία του ίδιου δικτύου είναι δυνατό να χρησιμοποιηθεί με σκοπό την προειδοποίηση ενός τεχνικού για κάποια επικείμενη βλάβη προτού συμβεί και ενδεχομένως προκαλέσει πολυδάπανες και απρόβλεπτες χρονικές καθυστερήσεις.
- Συστήματα διαχείρισης κινητήρα: Τα νευρωνικά δίκτυα έχουν χρησιμοποιηθεί για την ανάλυση των εισροών που δέχονται οι αισθητήρες ενός κινητήρα. Το νευρωνικό δίκτυο ελέγχει μια ποικιλία παραμέτρων με τις οποίες λειτουργεί ο κινητήρας, προκειμένου να επιτευχθεί ένας συγκεκριμένος στόχος. Για παράδειγμα, το δίκτυο αυτό επιχειρεί την ελαχιστοποίηση της κατανάλωσης των καυσίμων.

Όπου ( $X_i$ ) είναι οι είσοδοι νευρώνων, ( $w_i$ ) είναι τα συναπτικά βάρη και  $f[\cdot]$  είναι η λειτουργία ενεργοποίησης.

Υπάρχουν δύο κύριες κατηγορίες νευρωνικών δικτύων γνωστών ως δίκτυα τροφοδοσίας και δίκτυα ανατροφοδότησης. Σε ένα δίκτυο τροφοδοσίας, ένα παράδειγμα είναι ένα πολυστρωματικό perceptron όπου η ροή σήματος από έναν κόμβο σε έναν άλλο κόμβο λαμβάνει χώρα μόνο προς τα εμπρός. Σε ένα νευρικό δίκτυο feedforward, η μάθηση επιτυγχάνεται μέσω παραδειγμάτων. Αυτό είναι γνωστό ως εποπτευόμενη μάθηση. Η διαδικασία λειτουργεί σε δύο βασικά βήματα. Στο πρώτο βήμα καθορίζεται ένα σύνολο δεδομένων εισόδου-εξόδου της πραγματικής διαδικασίας και τα δεδομένα εισόδου τροφοδοτούνται στο NN. Στο δεύτερο βήμα, η έξοδος δικτύου συγκρίνεται με την επιθυμητή έξοδο και τα συναπτικά βάρη του NN ρυθμίζονται χρησιμοποιώντας αλγόριθμο διαβάθμισης έως ότου επιτευχθεί η επιθυμητή έξοδος. Σε ένα σχόλιο NN, οι έξοδοι ενός ή περισσότερων κόμβων είναι ανατροφοδότηση σε έναν ή περισσότερους κόμβους σε ένα προηγούμενο επίπεδο ή ακόμη και στον ίδιο κόμβο. Τα σχόλια παρέχουν τη δυνατότητα «μνήμης» στο δίκτυο. Σε αντίθεση με τους υπολογιστές, οι οποίοι είναι προγραμματισμένοι για την επίλυση προβλημάτων χρησιμοποιώντας διαδοχικούς αλγόριθμους, ο εγκέφαλος χρησιμοποιεί ένα τεράστιο δίκτυο παράλληλων και καταμεμημένων στοιχείων υπολογισμού που ονομάζονται νευρώνες. Ο μεγάλος αριθμός συνδέσεων που συνδέουν τα στοιχεία παρέχει στον άνθρωπο την πολύ ισχυρή ικανότητα μάθησης. Τα τεχνητά νευρικά δίκτυα (ANN) γεννήθηκαν από την

ανάγκη να υπάρχουν συστήματα που μπορούν να επεξεργάζονται πληροφορίες με παρόμοιο τρόπο. Αποτελούνται από μεγάλο αριθμό πολύ αλληλοσυνδεδεμένων στοιχείων επεξεργασίας ανάλογα με τη λειτουργικότητα των βιολογικών νευρώνων και συνδέονται μαζί με σταθμισμένες συνδέσεις που αντιστοιχούν σε συνάψεις εγκεφάλου

### **6.2.2 Αλγόριθμοι εκμάθησης νευρωνικών δικτύων**

Οι αλγόριθμοι εκμάθησης χρησιμοποιούνται για την ενημέρωση των παραμέτρων ζύγισης στο επίπεδο διασύνδεσης των νευρώνων κατά τη διάρκεια της εκπαιδευτικής διαδικασίας του δικτύου. Οι τρεις γνωστοί και πιο χρησιμοποιημένοι μηχανισμοί μάθησης είναι οι εποπτευόμενοι, οι μη εποπτευόμενοι και οι ενισχυμένοι. Η μη επίβλεψη μάθηση δεν περιλαμβάνει εξωτερικό δάσκαλο και βασίζεται αντ' αυτού σε τοπικές πληροφορίες και εσωτερικό έλεγχο. Ο ενισχυμένος μηχανισμός αλλάζει τις συνδέσεις δικτύου σύμφωνα με τις πληροφορίες ανάδρασης που παρέχονται στο δίκτυο από το περιβάλλον του. Ο εποπτευόμενος μηχανισμός εκπαιδεύει το δίκτυο με παραδείγματα. Το δίκτυο λαμβάνει ένα σύνολο εισόδων για το οποίο είναι γνωστή η έξοδος. Κατά τη διάρκεια της εκπαιδευτικής διαδικασίας, η έξοδος

Τα αποτελέσματα συγκρίνονται συνεχώς με τα επιθυμητά δεδομένα. Ένας κατάλληλος κανόνας εκμάθησης χρησιμοποιεί το σφάλμα μεταξύ της πραγματικής εξόδου και των δεδομένων στόχων για να προσαρμόσει τα βάρη σύνδεσης έτσι ώστε να αποκτήσει, μετά από αρκετές επαναλήψεις, την πλησιέστερη αντιστοίχιση μεταξύ της εξόδου στόχου και της πραγματικής εξόδου. Ο αλγόριθμος υπό επίβλεψη μάθησης ήταν αυτός που επιλέχθηκε.

### **6.3.Γενετικοί αλγόριθμοι**

Οι γενετικοί αλγόριθμοι (GA) είναι τεχνικές βελτιστοποίησης χωρίς παράγωγα, οι οποίες μπορούν να εξελιχθούν μέσω διαδικασιών ανάλογων με τη βιολογική εξέλιξη. Οι γενετικοί αλγόριθμοι ανήκουν στον τομέα της εξελικτικής πληροφορικής. Αντιπροσωπεύουν μια προσέγγιση βελτιστοποίησης όπου γίνεται αναζήτηση για «εξέλιξη» ενός αλγορίθμου λύσης, ο οποίος θα διατηρήσει τα «προσαρμοσμένα» στοιχεία σε μια διαδικασία ανάλογη με τη βιολογική εξέλιξη μέσω φυσικής επιλογής, crossover και μετάλλαξης. Ο εξελικτικός υπολογιστής μπορεί να παίξει σημαντικό ρόλο στην ανάπτυξη ενός βέλτιστου και αυτο-βελτιωμένου έξυπνου μηχανήματος.

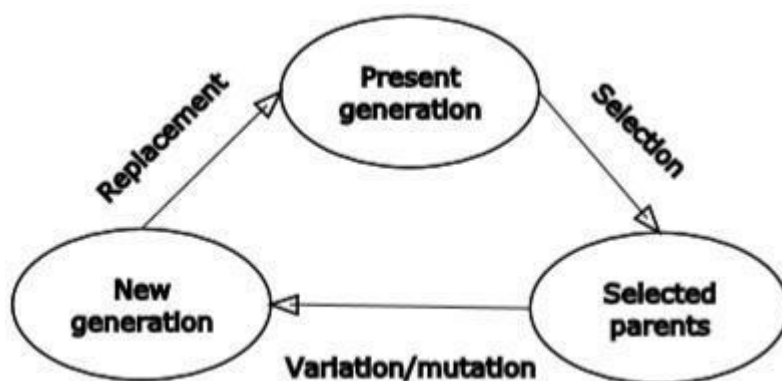
Ο εξελικτικός υπολογιστής έχει τα ακόλουθα χαρακτηριστικά:

- (1) Βασίζεται σε πολλά σημεία αναζήτησης ή υποψήφιους λύσεων
- (2) Χρησιμοποιεί εξελικτικές λειτουργίες όπως crossover και μετάλλαξη.
- (3) Βασίζεται σε πιθανολογικές πράξεις

Ένας γενετικός αλγόριθμος λειτουργεί με πληθυσμό ατόμων, το καθένα αντιπροσωπεύει μια πιθανή λύση σε ένα δεδομένο πρόβλημα. Σε κάθε άτομο έχει βαθμολογία φυσικής κατάστασης ανάλογα με το πόσο καλή είναι η λύση του προβλήματος. Στα άτομα με υψηλή ικανότητα δίνεται η δυνατότητα αναπαραγωγής με διασταυρούμενη αναπαραγωγή με άλλα άτομα στον πληθυσμό. Αυτό παράγει νέα άτομα ως απόγονα, τα οποία μοιράζονται ορισμένα χαρακτηριστικά που λαμβάνονται από κάθε γονέα. Τα λιγότερο κατάλληλα μέλη του πληθυσμού είναι λιγότερο πιθανό να επιλεγούν για αναπαραγωγή και τελικά θα εξαφανιστούν. Ένας εντελώς νέος πληθυσμός πιθανών λύσεων παράγεται με αυτόν τον τρόπο, ζευγαρώνοντας τα καλύτερα άτομα από τη σημερινή γενιά. Η νέα γενιά θα περιέχει ένα υψηλότερο ποσοστό των χαρακτηριστικών που διαθέτουν τα μέλη της «βέλτιστης εφαρμογής» της προηγούμενης γενιάς. Με αυτόν τον τρόπο, σε πολλές γενιές, τα επιθυμητά χαρακτηριστικά εξαπλώνονται σε όλο τον πληθυσμό, ενώ αναμιγνύονται και ανταλλάσσονται με άλλα επιθυμητά χαρακτηριστικά στη διαδικασία. Ευνοώντας το ζευγάρι των ατόμων που είναι πιο κατάλληλα, θα αξιοποιηθούν οι πιο υποσχόμενες περιοχές του χώρου αναζήτησης. Το GA καθορίζει το επόμενο σύνολο σημείων αναζήτησης, τα οποία κατανέμονται ευρέως σε ολόκληρο τον χώρο αναζήτησης και χρησιμοποιεί τη λειτουργία μετάλλαξης για να ξεφύγει από ένα τοπικό ελάχιστο.

Οι τυπικές τεχνικές βελτιστοποίησης με βάση ένα σημείο έχουν αρκετές ελλείψεις. Οι μέθοδοι που βασίζονται σε κλίση απαιτούν γνώση των παραγώγων της συνάρτησης ή των μερικών παραγώγων και δεν υπάρχει καμία εγγύηση ότι παρέχουν την παγκόσμια βέλτιστη λύση. Είναι αποτελεσματικές μόνο όταν το πρόβλημα είναι καλά καθορισμένο και έχει σχετικά απλή αντικειμενική λειτουργία. Οι γενετικοί αλγόριθμοι αντιμετωπίζουν προβλήματα που δεν είναι μοντελοποιημένα ή έχουν πολλαπλές αντικειμενικές λειτουργίες.

Η βασική ιδέα είναι να αντιπροσωπεύουμε κάθε άτομο της πιθανής λύσης ως μια σειρά από ακολουθίες χορδών, χρωμοσωμάτων. Κάθε συμβολοσειρά στο χρωμόσωμα ονομάζεται γονίδιο και η θέση ενός γονιδίου ονομάζεται τόπος του. Η διαδικασία μετάλλαξης εφαρμόζεται για να προσθέσει διαφορετικότητα στις πιθανές λύσεις. Εμφανίζεται ο βασικός κύκλος εξέλιξης



Σχήμα 19: Βασικός Κύκλος Εξέλιξης Πηγή: [https://en.wikipedia.org/wiki/Genetic\\_algorithm](https://en.wikipedia.org/wiki/Genetic_algorithm)

GA είναι μη ολοκληρωμένες τεχνικές αναζήτησης που χρησιμοποιούνται για να προσδιορίσουν, μεταξύ άλλων, το παγκόσμιο βέλτιστο μιας δεδομένης συνάρτησης που ενδέχεται ή δεν υπόκειται σε περιορισμούς. Η διαδικασία αναζήτησης των GA είναι στοχαστικής φύσης και συνήθως δεν παρέχει την ακριβή τοποθεσία του βέλτιστου όπως κάποια άλλες τεχνικές βελτιστοποίησης με βάση την κλίση. Ωστόσο, οι τεχνικές που βασίζονται σε GA διαθέτουν δύο ελκυστικά χαρακτηριστικά που τους προσφέρουν πλεονεκτήματα σε σχέση με τους αντίστοιχους με βάση παράγωγα προϊόντα. Αν και τα GA ενδέχεται να μην παρέχουν τη μαθηματικά ακριβή λύση μιας δεδομένης βελτιστοποίησης, συνήθως ξεπερνούν τις τεχνικές που βασίζονται σε βαθμίδες για να πλησιάσουν το βέλτιστο σε παγκόσμιο επίπεδο και επομένως αποφεύγουν να παγιδευτούν σε τοπικό επίπεδο.

Η πιο σημαντική πτυχή μιας εξελικτικής διαδικασίας σχετίζεται με τον τρόπο με τον οποίο αλλάζει η σύνθεση ενός πληθυσμού. Αυτές οι αλλαγές συμβαίνουν λόγω της επιλογής, της μετάλλαξης και της διασταύρωσης.

#### **6.4 (CHAID) Chi-square Automatic Interaction Detector**

Το CHAID είναι ένα εργαλείο που χρησιμοποιείται για να ανακαλύψει τη σχέση μεταξύ των μεταβλητών. Η ανάλυση CHAID δημιουργεί ένα προγνωστικό μοντέλο, ή δέντρο, για να καθορίσει πώς οι μεταβλητές συγχωνεύονται καλύτερα για να εξηγήσουν το αποτέλεσμα στη δεδομένη εξαρτημένη μεταβλητή. Στην ανάλυση CHAID, μπορούν να χρησιμοποιηθούν ονομαστικά, κανονικά και συνεχή δεδομένα, όπου οι συνεχείς προβλέψεις χωρίζονται σε κατηγορίες με περίπου ίσο αριθμό παρατηρήσεων. Το CHAID δημιουργεί όλες τις πιθανές διασταυρώσεις για κάθε κατηγορηματική πρόβλεψη έως ότου επιτευχθεί το καλύτερο αποτέλεσμα και δεν μπορεί να πραγματοποιηθεί περαιτέρω διαχωρισμός. Στην τεχνική CHAID, μπορούμε να δούμε οπτικά τις σχέσεις μεταξύ των διαιρούμενων μεταβλητών και του σχετικού σχετικού παράγοντα μέσα στο δέντρο. Η ανάπτυξη της απόφασης ή του δέντρου ταξινόμησης ξεκινά με τον προσδιορισμό της μεταβλητής στόχου ή της εξαρτημένης μεταβλητής, που θα μπορούσε να θεωρηθεί η ρίζα. Η ανάλυση CHAID χωρίζει τον στόχο σε δύο ή περισσότερες κατηγορίες που ονομάζονται αρχικοί ή γονικοί κόμβοι και, στη συνέχεια, οι κόμβοι χωρίζονται χρησιμοποιώντας στατιστικούς αλγόριθμους σε θυγατρικούς κόμβους. Σε αντίθεση με την ανάλυση παλινδρόμησης, η τεχνική CHAID δεν απαιτεί την κανονική διανομή των δεδομένων.

#### **6.5 (ANFIS) Adaptive network-based fuzzy inference system**

Ένα προσαρμοστικό σύστημα νευρο-ασαφών συμπερασμάτων ή ένα προσαρμοστικό σύστημα ασαφών συμπερασμάτων που βασίζεται στο δίκτυο (ANFIS) είναι ένα είδος τεχνητού νευρικού δικτύου που βασίζεται στο σύστημα ασαφών συμπερασμάτων Takagi – Sugeno. Δεδομένου ότι ενσωματώνει τόσο νευρωνικά δίκτυα όσο και ασαφείς λογικές αρχές, έχει τη δυνατότητα να αποτυπώσει

τα οφέλη και των δύο σε ένα ενιαίο πλαίσιο. Το σύστημα συμπερασμάτων του αντιστοιχεί σε ένα σύνολο ασαφών κανόνων IF – THEN που έχουν μαθησιακή ικανότητα να προσεγγίζουν τις μη γραμμικές συναρτήσεις. Ως εκ τούτου, το ANFIS θεωρείται καθολικός εκτιμητής. Για τη χρήση του ANFIS με πιο αποτελεσματικό και βέλτιστο τρόπο, μπορεί κανείς να χρησιμοποιήσει τις καλύτερες παραμέτρους που λαμβάνονται με γενετικό αλγόριθμο. Έχει χρήσεις σε ευφυές σύστημα διαχείρισης ενέργειας με επίγνωση κατάστασης

## 6.6( MVLR ) Πολυπαραγοντική γραμμική παλινδρόμηση

Η πολλαπλή γραμμική παλινδρόμηση (MLR), επίσης γνωστή ως πολλαπλή παλινδρόμηση, είναι μια στατιστική τεχνική που χρησιμοποιεί αρκετές επεξηγηματικές μεταβλητές για να προβλέψει το αποτέλεσμα μιας μεταβλητής απόκρισης. Ο στόχος της πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης (MLR) είναι να μοντελοποιήσει τη γραμμική σχέση μεταξύ των επεξηγηματικών (ανεξάρτητων)

## 7.Πρόσφατες δημοσιεύσεις για LNG fueled engines

*(Τεχνητή Νοημοσύνη (AI, neural networks, anfis, genetic algorithms, chaid ,mvlr, Big data)*

Η πλειοψηφία των εγγράφων που έχουν χρησιμοποιήσει νευρωνικά δίκτυα για σκοπούς πρόβλεψης είναι στον τομέα της ενέργειας.

1 Προγνωστική μελέτη εξαιρετικά χαμηλών εκπομπών από κινητήρα διπλού καυσίμου χρησιμοποιώντας τεχνητά νευρωνικά δίκτυα σε συνδυασμό με γενετικό αλγόριθμο*(Predictive study of extremely low emissions from a dual fuel engine using artificial neural networks combined with a genetic algorithm, International Journal of Green Energy, Volume 16, 2019 - Issue 12)*

Πολλοί βαθμοί ελευθερίας στις παραμέτρους λειτουργίας του κινητήρα περιορίζουν τη βελτιστοποίηση της διαχείρισης κινητήρα για χάρη της ταυτόχρονης συμμόρφωσης με τους κανονισμούς εκπομπών και τις απαιτήσεις εξοικονόμησης ενέργειας. Το προσαρμοστικό σύστημα νευρο-ασαφών συμπερασμάτων (ANFIS) είναι ο συνδυασμός του νευρικού δικτύου και της ασαφούς λογικής, ικανός να λύσει μη γραμμικά προβλήματα που δεν έχουν αλγοριθμικές λύσεις και δεν μπορούν να μοντελοποιηθούν μαθηματικά, εξαλείφοντας έτσι τους περιορισμούς των κλασικών προσεγγίσεων. Σε αυτή τη μελέτη, το ANFIS χρησιμοποιήθηκε για να χαρτογραφήσει τις σχέσεις μεταξύ ελεγχόμενων ορίων και επιδόσεων κινητήρα. Επιλέχθηκαν συνολικά 80 πειραματικά δεδομένα για κινητήρα ντίζελ διπλού καυσίμου για εκπαίδευση και δοκιμή του μοντέλου ANFIS που έχει έξι μεταβλητές εισόδου

(χρονισμός έγχυσης καυσίμου ντίζελ, αναμειγμένος λόγος βενζίνης, ρυθμός ανακυκλοφορίας καυσαερίων, ένδειξη μέσης πραγματικής πίεσης και χρονισμοί 10% και 50% της συνολικής απελευθέρωσης θερμότητας) εντός ευρέος εύρους ισχύος παραμέτρων λειτουργίας κινητήρα και τεσσάρων εξόδων εκπομπών και επιδόσεων κινητήρα. Στη συνέχεια, οι έξοδοι ANFIS χρησιμοποιήθηκαν για την αξιολόγηση των αντικειμενικών λειτουργιών της διαδικασίας βελτιστοποίησης, η οποία πραγματοποιήθηκε με μια προσέγγιση πολλαπλών στόχων βελτιστοποίησης γενετικών αλγορίθμων (GA). Τέλος, τα σύνολα Pareto-optimal σχεδιάστηκαν με ελαχιστοποιημένα NOx καθώς και εκπομπές αιθάλης εντός των επιβαλλόμενων περιορισμών του ρυθμού αύξησης πίεσης και της αποτελεσματικότητας. Αυτή η εργασία μελέτησε τη δυνατότητα χρήσης του ANFIS σε συνδυασμό με το GA για τη βελτιστοποίηση των ρυθμίσεων του κινητήρα ντίζελ, έτσι ώστε να επιτευχθεί η βέλτιστη απόδοση του κινητήρα και η συμπεριφορά εκπομπών. Τα χαρακτηριστικά των βέλτιστων λύσεων διερευνήθηκαν τελικά με ανάλυση ευαισθησίας.

2.)Μελέτη και προσομοίωση σχετικά με τη στρατηγική ελέγχου της ενεργειακής απόδοσης του πλοίου με βάση το σύστημα πρόωσης (Study and simulation on the ship's energy efficiency control strategy based on the propulsion system,ASME 2015 34th International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering,May 31–June 5, 2015 St. John's, Newfoundland, Canada)

Σε αυτό το έγγραφο, σύμφωνα με τις νέες διαμορφώσεις χαμηλής απόδοσης κινητήρα.Η στρατηγική ελέγχου ενεργειακής απόδοσης του συστήματος βασίζεται στο μοντέλο της προηγμένης γεννήτριας άξονα διπλής τροφοδοσίας χωρίς ψήκτρες, σύστημα πρόωσης που χρησιμοποιεί LNG / κινητήρας διπλού καυσίμου ντίζελ και κατανάλωση ενέργειας του κύριου κινητήρα για τη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας. Σχεδιάστηκαν το μοντέλο προσομοίωσης ολόκληρου του συστήματος πρόωσης και η σχεδιασμένη στρατηγική ελέγχου. Αναλύθηκε η επίδραση της ταχύτητας του κινητήρα στην ενεργειακή απόδοση του πλοίου και η σκοπιμότητα των στρατηγικών ελέγχου της ενεργειακής απόδοσης επαληθεύτηκε με προσομοίωση χρησιμοποιώντας Matlab / Simulink. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι οι σχεδιασμένες στρατηγικές μπορούν να εξασφαλίσουν την απαίτηση ισχύος ολόκληρου του πλοίου υπό διαφορετικές συνθήκες και να βελτιώσουν την ενεργειακή απόδοση του πλοίου και να μειώσουν τις εκπομπές CO2.



### 3.Βελτιστοποίηση κατανάλωσης καυσίμου χρησιμοποιώντας νευρωνικά δίκτυα και γενετικούς αλγόριθμους (Fuel Consumption Optimization using Neural Networks and Genetic Algorithms Kevin Simões Spencer 2011 Aerospace Engineering implementation on TAP airline)

Ο σκοπός αυτής της διατριβής ήταν να αναπτύξει ένα εργαλείο που θα επιτρέψει στον προγραμματιστή πτήσης να εισαγάγει όλες τις ρίζες, τους προορισμούς και τις ημερομηνίες ενός συνόλου πτήσεων και στη συνέχεια ο αλγόριθμος όχι μόνο θα επέλεγε ποιο αεροπλάνο θα ήταν πιο αποτελεσματικό κάνοντας μια συγκεκριμένη πτήση καθώς θα παράγει επίσης μια εκτίμηση για το καύσιμο που καταναλώνεται λαμβάνοντας υπόψη τις παραμέτρους του καιρού, την υποβάθμιση του επιπέδου και τα διαθέσιμα αεροπλάνα. Ο αλγόριθμος θα παράγει επίσης μια εκτίμηση των εκπομπών CO<sub>2</sub>, το ωφέλιμο φορτίο πτήσης, διάφορα δέματα κατανάλωσης καυσίμου και θα ευδοκιμήσει για τη βελτιστοποίηση της χρήσης του στόλου. Αυτό θα επιτευχθεί με την εκπαίδευση ενός νευρωνικού δικτύου για την πρόβλεψη της κατανάλωσης καυσίμου με βάση όσο το δυνατόν λιγότερες εισόδους χρηστών και τη βελτιστοποίηση της συνολικής κατανάλωσης του στόλου χρησιμοποιώντας γενετικούς αλγόριθμους για την επίτευξη της παγκόσμιας ελάχιστης κατανάλωσης στόλου. Ο αλγόριθμος πρέπει να δοκιμαστεί, συγκρίνοντας τις εξόδους του με τους πραγματικούς. Λόγω του μαθησιακού χαρακτηριστικού του αλγορίθμου, το ίδιο λογισμικό μπορεί ουσιαστικά να εφαρμοστεί σε όλες τις μελλοντικές πτήσεις, απαιτώντας μόνο μικρές ενημερώσεις

Αυτή η εξοικονόμηση αντιπροσωπεύει τις τιμές του Jet A στις 30 Σεπτεμβρίου 2011, σύμφωνα με την IATA εξοικονόμηση 109321 δολαρίων ημερησίως. Αυτή η εξοικονόμηση αντιπροσωπεύει μια ετήσια εξοικονόμηση σχεδόν 40 εκατομμυρίων δολαρίων. Αξίζει να σημειωθεί ότι αυτή η εξοικονόμηση επιτεύχθηκε μόνο χωρίς να ληφθεί υπόψη το ωφέλιμο φορτίο και θα ισχύει μόνο εάν το φορτίο που μεταφέρεται από το αεροσκάφος καθορίζεται από το λογισμικό και όχι από προηγούμενες συμβάσεις ή την πρόβλεψη ωφέλιμου φορτίου. Εφαρμόζοντας τους περιορισμούς ωφέλιμου φορτίου και λαμβάνοντας υπόψη το αρκετό ξηρό συνολικό βάρος κάθε αεροπλάνου για κάθε συγκεκριμένο ταξίδι, ήταν δυνατή η προσομοίωση του νέου προγραμματισμού πτήσεων. Σε αυτή τη διαμόρφωση ο αλγόριθμος μπόρεσε να εξοικονομήσει 15396 κιλά καυσίμου για 100 πτήσεις που αντιπροσωπεύουν σχεδόν 10 εκατομμύρια δολάρια το χρόνο.

4.Βελτιστοποίηση σε πραγματικό χρόνο και έλεγχος της ενεργειακής απόδοσης του πλοίου.Η συλλογή δεδομένων πραγματοποιήθηκε σε κρουαζιερόπλοιο στον ποταμό Yangtze.

*(Real-time optimization of ship energy efficiency based on the prediction technology of working condition Article in Transportation Research Part D Transport and Environment · July 2016X. P. Yan, Yupeng Yuan Feng Li etc Wuhan University of Technology)*

Η κατάσταση εργασίας που σχετίζεται με το περιβάλλον πλοήγησης επηρεάζει σημαντικά την ενεργειακή απόδοση του πλοίου. Ο τρόπος καθορισμού της βέλτιστης ταχύτητας κινητήρα σε διαφορετικό περιβάλλον πλοήγησης είναι το κλειδί για τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης του πλοίου. Παρατηρείται ότι ο αντίκτυπος της κατάστασης εργασίας στην ενεργειακή απόδοση του πλοίου εξαρτάται κυρίως από την αντίσταση του πλοίου. Με τον υπολογισμό της αντίστασης του πλοίου κάτω από διαφορετική ταχύτητα πλοήγησης και διαφορετικό περιβάλλον πλοήγησης, μπορεί να κατασκευαστεί το μοντέλο ενεργειακής απόδοσης του κύριου κινητήρα. Στη συνέχεια, μπορούμε να επιτύχουμε τη βέλτιστη ταχύτητα του κινητήρα στο τρέχον περιβάλλον πλοήγησης με τη μέθοδο δυναμικής βελτιστοποίησης. Υπολογισμός της αντίστασης του πλοίου εν συνεχεία.Η αντίσταση του πλοίου περιλαμβάνει υδροστατική αντίσταση, αντίσταση προσθήκης κυμάτων, αντίσταση ανέμου και ρηχή αντοχή στο νερό. Έτσι, μπορούμε να επιτύχουμε τη συνολική αντίσταση του πλοίου υπολογίζοντας την υδροστατική αντίσταση (Holtrop and Mennen, 1982), την αντίσταση προσθήκης κύματος (Kwon, 2008), την αντίσταση στον άνεμο (Townsin et al., 1975) και την αντίσταση ρηχά νερά (Hu , 1986).

$$R = \frac{1}{4} R_T + R_{wave} + R_{wind} + R_{shallow}$$

όπου R υποδηλώνει τη συνολική αντίσταση του πλοίου. Το RT δηλώνει τη συνολική υδροστατική αντίσταση. Το Rwave δηλώνει το κύμα προσθέτοντας αντίσταση. Το Rwind δηλώνει την αντίσταση του ανέμου. Το Rshallow υποδηλώνει τη ρηχή αντίσταση στο νερό.



**Εικόνα20:** Cruise ship on the Yangtze River.

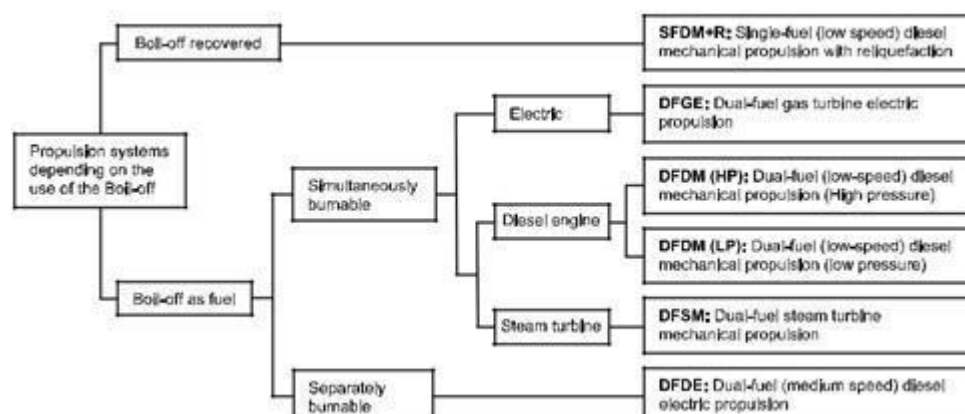
πηγή : Real-time optimization of ship energy efficiency based on the prediction technology of working condition Article in Transportation Research Part D Transport and Environment · July 2016X. P. Yan, Yupeng Yuan Feng Li etc Wuhan University of Technology

## 5.) Επισκόπηση των συστημάτων πρόωσης σε LNG πλοία

*(Review of propulsion systems on LNG carriers Article in Renewable and Sustainable Energy Reviews · January 2017 Manuel Romero Gómez , Fernando Ignacio University of A Coruña)*

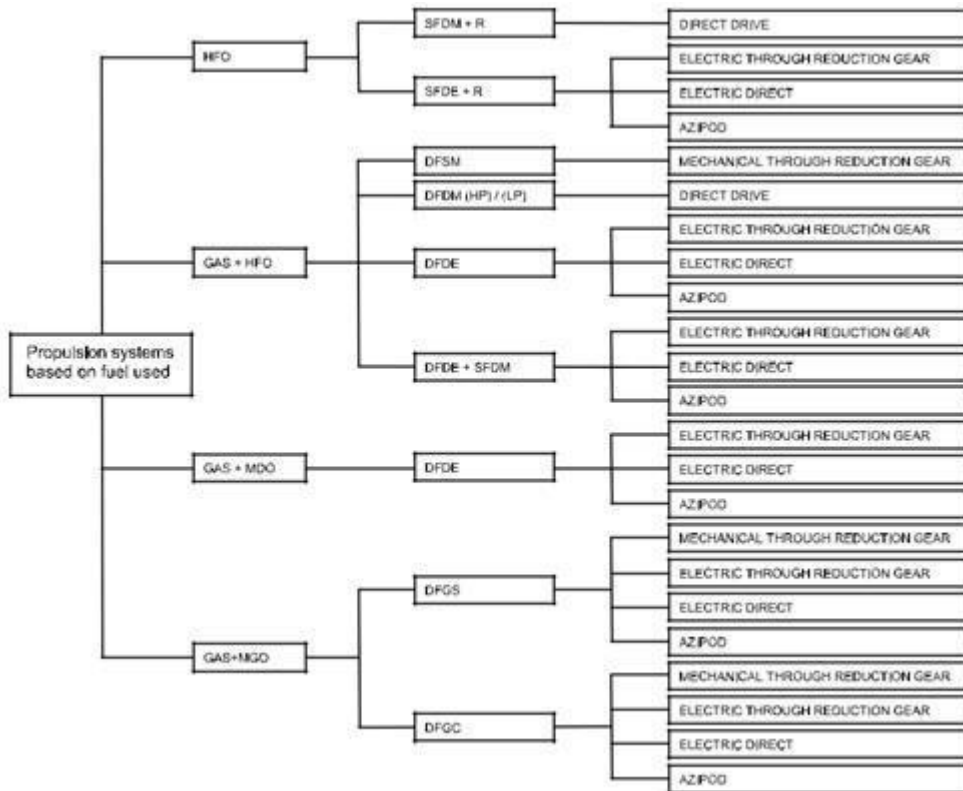
Αυτό το άρθρο εξετάζει τα διαφορετικά συστήματα πρόωσης που χρησιμοποιούνται σε πλοία για τη μεταφορά υγροποιημένου φυσικού αερίου (ΥΦΑ). Η μελέτη περιγράφει τα κύρια χαρακτηριστικά των συστημάτων πρόωσης, καθώς και τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα που συνοδεύουν αυτά, από την αρχή μέχρι τα συστήματα που έχουν εγκατασταθεί μέχρι σήμερα. Τα περιγραφόμενα συστήματα προώθησης περιλαμβάνουν τόσο αεριοστρόβιλους όσο και ατμοστρόβιλους, συνδυασμένους κύκλους, κινητήρες εσωτερικής καύσης 2 και 4 διαδρομών, ενώ περιλαμβάνουν μηχανικά, ηλεκτρικά και συστήματα διπλού καυσίμου (DF).

- Οι κινητήρες DF, και οι 4S και 2S, είναι τα συστήματα πρόωσης που είναι εγκατεστημένα επί του παρόντος σε αερομεταφορείς ΥΦΑ λόγω της υψηλής απόδοσης, της υψηλής ελαστικότητας, λόγω της διαμόρφωσης του συστήματος πρόωσης και των μειωμένων εκπομπών SOx, σύμφωνα με τους κανονισμούς εκπομπών αερίων IMO TIER III όταν λειτουργεί σε λειτουργία αερίου, με εξαίρεση τους κινητήρες MAN 2S DF. Στο μειονέκτημα, αυτό το σύστημα πρόωσης περιλαμβάνει αυξημένη ποσότητα εξοπλισμού, πράγμα που συνεπάγεται υψηλό κόστος εγκατάστασης και συντήρησης.

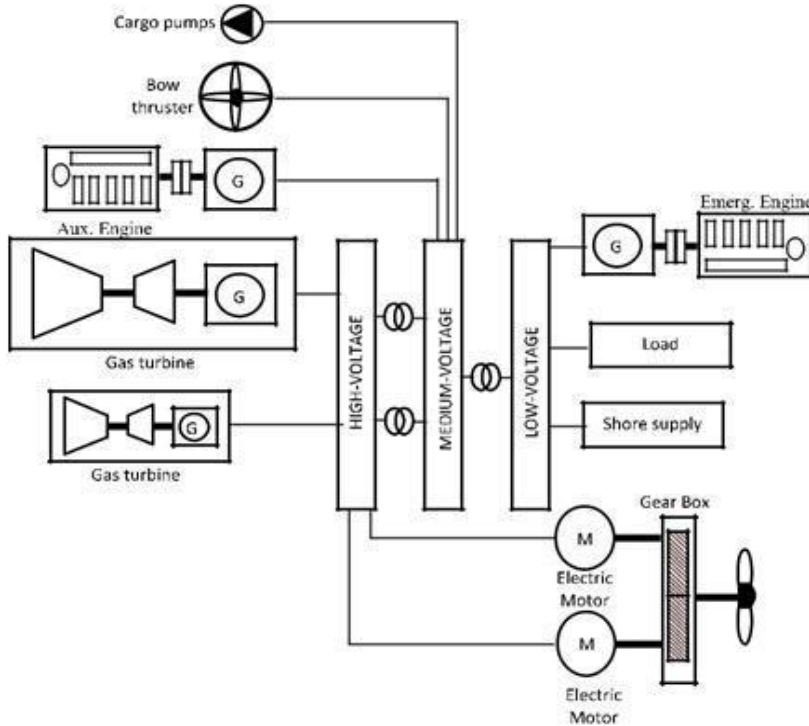


**Σχήμα 21** : Ταξινόμηση των συστημάτων πρόωσης ανάλογα με το σκοπό του Boil-off.

Πηγή: *(Review of propulsion systems on LNG carriers Article in Renewable and Sustainable Energy Reviews · January 2017 Manuel Romero Gómez , Fernando Ignacio University of A Coruña)*



**Σχήμα 22:** Συστήματα Πρόωσης με βάση το καύσιμο που χρησιμοποιείται  
 Πηγή (Review of propulsion systems on LNG carriers Article in Renewable and Sustainable Energy Reviews · January 2017 Manuel Romero Gómez , Fernando Ignacio University of A Coruña)



**Σχήμα 23 :** DFGE (ηλεκτρική πρόωση αεριοστροβίλων διπλού καυσίμου)  
 Πηγή: Πηγή (Review of propulsion systems on LNG carriers Article in Renewable and Sustainable Energy Reviews · January 2017 Manuel Romero Gómez , Fernando Ignacio University of A Coruña)

## 6.ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΕΧΝΗΤΗΣ ΝΟΗΜΟΣΥΝΗΣ ΣΤΗΝ ΑΠΟΔΟΣΗ ΤΟΥ ΚΙΝΗΤΗΡΑ WIN GD XDF-72

(ARTIFICIAL INTELLIGENCE APPLICATION IN PERFORMANCE OF ENGINE WIN GD XDF-72, D. Pallas<sup>1</sup>, V. Tsoukalas<sup>2</sup>, 1 Dpt. of Shipping trade & Transport and Dpt. Industrial Design & Production Engineering, “MSc in Master in New Technologies for Shipping & Transport”, University of Aegean and University of West Attica, Greece,)

Τα δεδομένα εκπαίδευσης προήλθαν από ένα δείγμα πραγματικών μετρήσεων λειτουργίας της δίχρονης μηχανής Win GD XDF-72. Ο αριθμός του δείγματος μελέτης που συλλέχθηκε είναι 301 για καύσιμο ντίζελ και 318 για αέριο.

Σε αυτήν την εργασία, διερευνούμε το μοντέλο πρόβλεψης για καλή ή βλάβη λειτουργίας του κύριου κινητήρα σκαφών Win GD XDF-72, με βάση τη μηχανική εκμάθηση με ταξινόμηση χρησιμοποιώντας το Εξαντλητικό CHAID, αλγόριθμους και νευρωνικά δίκτυα. Στη μέθοδο νευρωνικού δικτύου MLP είναι δυνατό να δημιουργηθεί ένα μοντέλο πρόβλεψης απόδοσης μηχανής με 100% σωστή πρόβλεψη για δεδομένα εκπαίδευσης και 100% για δεδομένα τύπου ελέγχου. Ο Πίνακας VII δείχνει τη σύγκριση μεταξύ τριών μεθόδων.

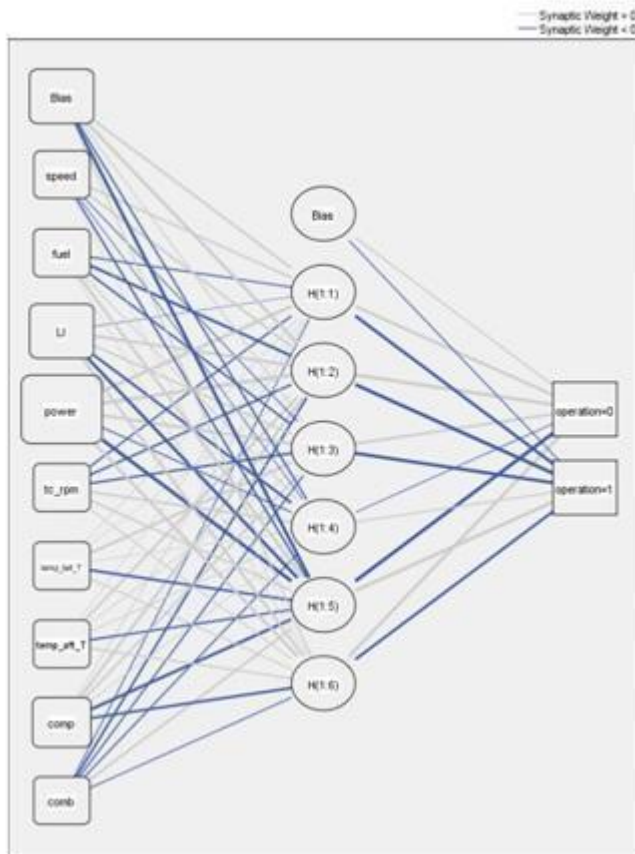
Μέθοδος	Ποσοστό πρόβλεψης δεδομένων εκπαίδευσης	Ποσοστό πρόβλεψης δεδομένων ελέγχου
Exhaustive CHAID με split-validation	100%	96.2%
Exhaustive CHAID με Cross validation	99.7%	
MLP με νευρωνικό δίκτυο	100%	100%

**ΠΙΝΑΚΑΣ 24. ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ ΠΡΟΒΛΕΨΗΣ**

Πηγή: ARTIFICIAL INTELLIGENCE APPLICATION IN PERFORMANCE OF ENGINE WIN GD XDF-72, D. Pallas<sup>1</sup>, V. Tsoukalas

Independent Variable Importance		
	Importance	Normalized Importance
tc_rpm	,119	82,4%
speed	,144	100,0%
fuel	,107	74,7%
LI	,106	73,9%
power	,123	85,9%
temp_bef_T	,101	70,1%
temp_aft_T	,104	72,2%
comp	,110	76,2%
comb	,086	59,9%

**ΠΙΝΑΚΑΣ 25 . ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΩΝ ΑΝΕΞΑΡΤΗΤΩΝ ΜΕΤΑΒΛΗΤΩΝ ΝΕΥΡΩΝΙΚΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ**



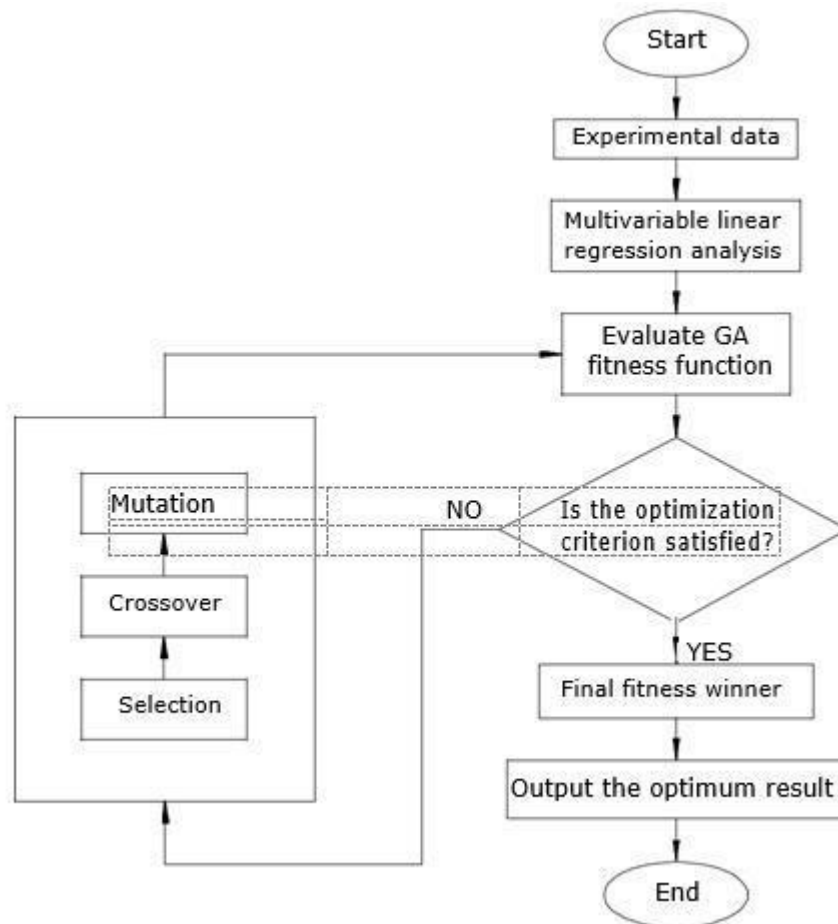
**Σχήμα 26 :** Δομή Νευρωνικών Δικτυων

Πηγή: ARTIFICIAL INTELLIGENCE APPLICATION IN PERFORMANCE OF ENGINE WIN GD XDF-72, D. Pallas<sup>1</sup>, V. Tsoukalas<sup>2</sup>, 1 Dpt. of Shipping trade & Transport and Dpt. Industrial Design & Production Engineering, “MSc in Master in New Technologies for Shipping &Transport”, University of Aegean and University of West Attica, Greece,)

7.) Πρόβλεψη επαγγελματικού κινδύνου στη ναυπηγική βιομηχανία με χρήση γραμμικής παλινδρόμησης πολλαπλών μεταβλητών και γενετικής ανάλυσης αλγορίθμων

(Prediction of occupational risk in the shipbuilding industry using multivariable linear regression and genetic algorithm analysis, V.D. Tsoukalas <sup>†</sup>, N.G. Fragiadakis, Elsevier 2015 ,Merchant Marine Academy of Athens, Engineering Department, Paralia Aspropyrgou, 19300 Aspropyrgos, Greece)

Σε αυτήν τη μελέτη, μια αποτελεσματική προσέγγιση βασισμένη στις μεθόδους Multivariable Lin-ear Regression (MVLN) και Genetic Algorithm (GA) έχει εφαρμοστεί για την πρόβλεψη του κινδύνου επαγγελματικού ατυχήματος στη ναυπηγική βιομηχανία. Το περίγραμμα του αλγορίθμου βελτιστοποίησης δίνεται στο Σχ. 27.

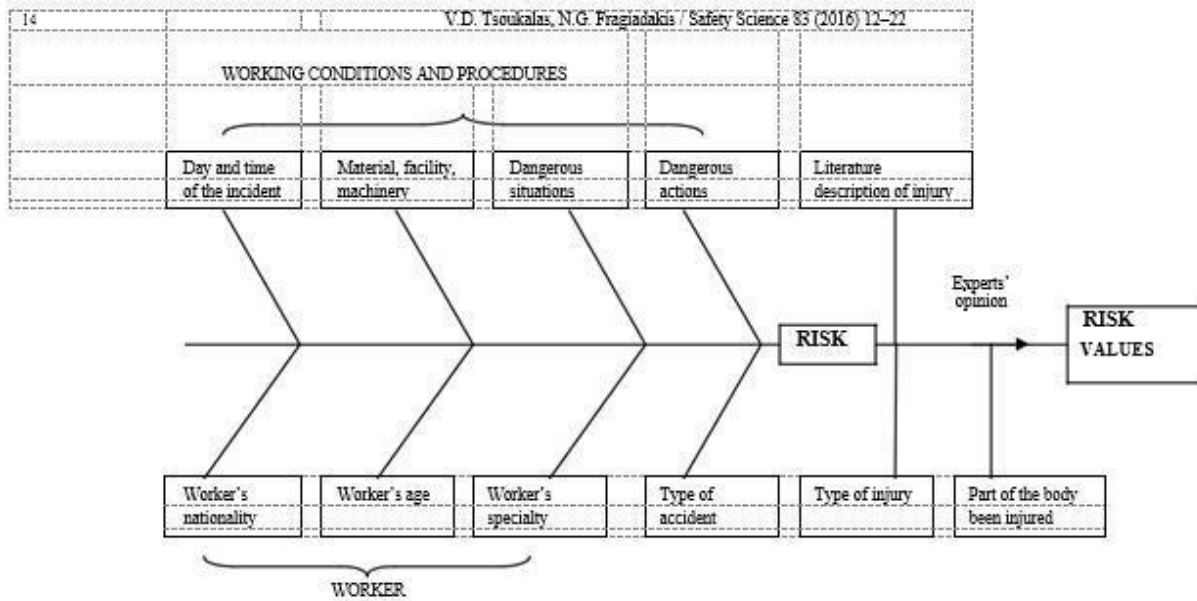


**Το Σχ. 27.** Διάγραμμα ροής του σχήματος βελτιστοποίησης βάσει συνδυασμένου αλγορίθμου MVLR / GA

Πηγή: *ARTIFICIAL INTELLIGENCE APPLICATION IN PERFORMANCE OF ENGINE WIN GD XDF-72*, D. Pallas<sup>1</sup>, V. Tsoukalas

Το μοντέλο MVLR-GA υλοποιήθηκε χρησιμοποιώντας ένα κατάλληλο σύνολο δεδομένων εκπαίδευσης εισόδου-εξόδου, για την εκτίμηση του επαγγελματικού κινδύνου. Τα δεδομένα εισαγωγής ήταν οι συνθήκες ατυχήματος, η ημέρα και η ώρα, η ειδικότητα του ατόμου, ο τύπος συμβάντος, η επικίνδυνη κατάσταση και οι επικίνδυνες ενέργειες που εμπλέκονται στο συμβάν. Τα δεδομένα εξόδου ήταν οι

Δείκτες Κινδύνου που υπολογίστηκαν για τις παραμέτρους εισόδου.



**Σχημα 28** . Διάγραμμα αιτίας και αποτελέσματος για επαγγελματικό κίνδυνο.

Πηγή: ARTIFICIAL INTELLIGENCE APPLICATION IN PERFORMANCE OF ENGINE WIN GD XDF-72, D. Pallas1, V. Tsoukalas

Προκειμένου να επιτύχουμε αποτελεσματική εκπαίδευση του αλγόριθμου GA, λάβαμε έναν αριθμό αρχείων ατυχημάτων από τα αρχεία της Ελληνικής Υπηρεσίας Επιθεώρησης Εργασίας (Αναφορές Επαγγελματικών Ατυχημάτων).

Επεξεργαστήκαμε στατιστικά αυτά τα αρχεία προκειμένου να επιλέξουμε τις πιο σημαντικές παραμέτρους. Οι επιλεγμένες παράμετροι απέδειξαν, λόγω της στατιστικής διαδικασίας, ότι συσχετίζονται με την παρατηρούμενη συχνότητα



τεσσάρων επιπέδων τραυματισμού (Πίνακας 29).

Table 4  
Dangerous actions involved in the incident.

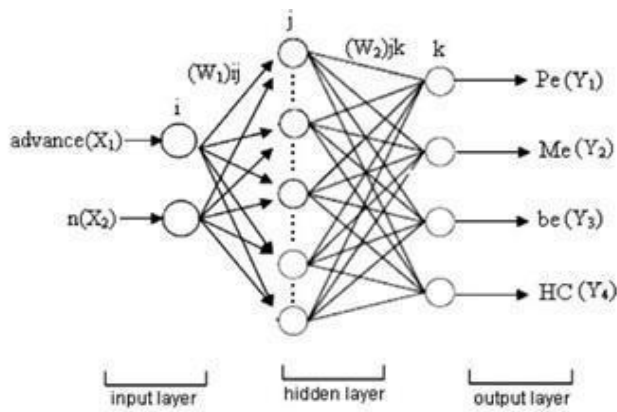
Cod	NRI	Equivalence of code for dangerous actions
00	0.22	Uncoded data
01	0.67	Operation of machinery or plant without supervision
02	0.56	Set off safety features
04	0.65	Non-compliance with safety procedures
07	0.33	Use of improper tools or use of bare hands
08	1.00	Repair or maintenance of equipment in running mode, under voltage, under pressure or under electrical load
09	0.50	Overloading, straining, squeezing during materials handling, failure to balance these materials, insecure rigging or handling in other ways
10	0.48	Bad use of equipment or defective equipment
11	0.50	Bad maintenance of equipment, personal protective equipment or safety systems
12	0.50	Bad use of personal protective equipment and safety systems
16	0.61	Stand or work under suspended loads, under scaffolding, beneath openings in walls and floors, under vehicles
17	0.33	Stand or work in places where it can be thrown materials or fittings of work done elsewhere
18	0.42	Circulation or transportation via different roads than the pre-determined circulation corridors or via unsafe routes provided that the roads of safe circulation have not been determined
20	0.67	Work without authorization
21	0.81	Entry in tanks, closed spaces or wells without previous gas control
22	0.61	Another unsafe way or working procedure where working procedures are undefined
23	0.33	Distraction by other persons
25	0.49	Other reasons
26	0.45	No dangerous action involved

**Πίνακας 29:** Επικίνδυνες ενέργειες που εμπλέκονται στο περιστατικό

Πηγή: ARTIFICIAL INTELLIGENCE APPLICATION IN PERFORMANCE OF ENGINE WIN GD XDF-72, D. Pallas<sup>1</sup>, V. Tsoukalas

8.) Σύγκριση τεχνητού νευρωνικού δικτύου και ασαφούς ειδικού συστήματος για την πρόβλεψη των παραμέτρων απόδοσης και εκπομπών σε έναν βενζινοκινητήρα  
**Artificial neural network and fuzzy expert system comparison for prediction of performance and emission parameters on a gasoline engine Elsevier 2011, Sakir Tasdemir a, İ, Ismail Saritas b, Murat Ciniviz c, Novruz Allahverdi b a Department of Computer Technology and Programming, Technical Science College, Selcuk University, Konya, Turkey)**

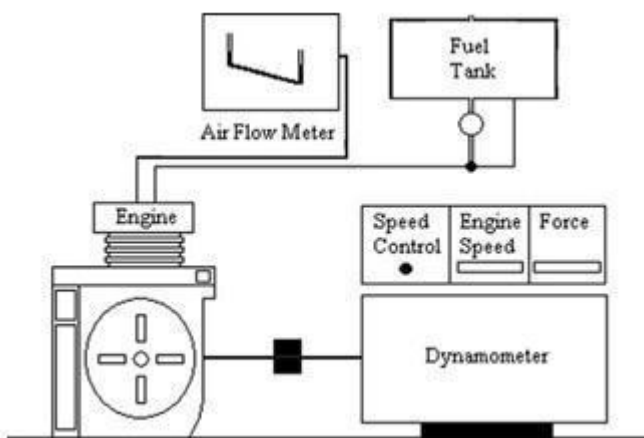
Αυτή η μελέτη ασχολείται με τη μοντελοποίηση τεχνητού νευρωνικού δικτύου (ANN) και ασαφούς εμπειρογνώμονα (FES) ενός κινητήρα αερίου-oline για την πρόβλεψη της ισχύος του κινητήρα, της ροπής, της ειδικής κατανάλωσης καυσίμου και των εκπομπών υδρογονανθράκων. Σε αυτήν τη μελέτη, χρησιμοποιήθηκαν πειραματικά δεδομένα, τα οποία ελήφθησαν από πειραματικές μελέτες σε εργαστηριακό περιβάλλον. Αναπτύχθηκε η χρήση ορισμένων από τα πειραματικά δεδομένα για εκπαίδευση και δοκιμή ενός ANN για τον κινητήρα.



**Σχ.30** Προτεινόμενο ANN για την πρόβλεψη της απόδοσης του βενζινοκινητήρα και των παραμέτρων εκπομπών

Πηγή: Artificial neural network and fuzzy expert system comparison for prediction of performance and emission parameters on a gasoline engine Elsevier 2011, Sakir Tasdemir

Επίσης, το FES έχει αναπτυχθεί και υλοποιηθεί. Σε αυτό το σύστημα οι παράμετροι εξόδου ισχύος, συγκεκριμένης κατανάλωσης καυσίμου και εκπομπών υδρογονανθράκων έχουν προσδιοριστεί χρησιμοποιώντας παραμέτρους εισόδου εισόδου ανοίγματος βαλβίδας εισαγωγής και ταχύτητας κινητήρα. Όταν τα πειραματικά δεδομένα και τα αποτελέσματα που ελήφθησαν από τα ANN και FES συγκρίθηκαν με t-test στο SPSS και ανάλυση παλινδρόμησης στο Matlab, προσδιορίστηκε ότι και οι δύο ομάδες δεδομένων είναι συνεπείς μεταξύ τους για διάστημα εμπιστοσύνης  $p > 0,05$  και οι διαφορές δεν ήταν στατιστικά σημαντικές. Ως αποτέλεσμα, έχει αποδειχθεί ότι τα ανεπτυγμένα ANN και FES μπορούν να χρησιμοποιηθούν αξιόπιστα στην αυτοκινητοβιομηχανία και τη μηχανική αντί για πειραματικές εργασίες.



**Σχ. 31.** Σχηματική προβολή των εξοπλισμών δοκιμής.

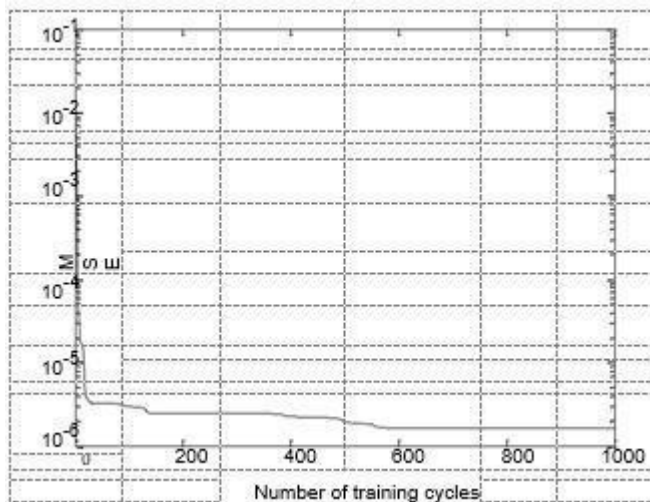
Πηγή :Artificial neural network and fuzzy expert system comparison for prediction of performance and emission parameters on a gasoline engine Elsevier 2011, Sakir Tasdemir

Ως αποτέλεσμα, φαίνεται ότι γενικά τα ANN και FES μπορούν να χρησιμοποιηθούν και να εφαρμοστούν σε σύνθετα και αβέβαια πεδία, όπως ο καθορισμός της απόδοσης του κινητήρα και των παραμέτρων εκπομπών

9.) Εφαρμογή τεχνητού νευρωνικού δικτύου για την πρόβλεψη ελαφριάς κατανάλωσης καυσίμου και θερμοκρασίας καυσαερίων για κινητήρα Diesel  
*(Application of artificial neural network to predict specific fuel consumption and exhaust temperature for a Diesel engine Elsevier 2005, Adnan Parlak a,\*, Yasar Islamoglu b, Halit Yasar b, Aysun Egrisogut )*

Μελετάται η ικανότητα ενός μοντέλου τεχνητού νευρωνικού δικτύου, χρησιμοποιώντας έναν αλγόριθμο εκμάθησης πίσω διάδοσης, για την πρόβλεψη συγκεκριμένης κατανάλωσης καυσίμου και θερμοκρασίας εξάτμισης ενός κινητήρα ντίζελ για διάφορους χρόνους έγχυσης. Το προτεινόμενο νέο μοντέλο συγκρίνεται με πειραματικά αποτελέσματα. Η σύγκριση έδειξε ότι η συνέπεια μεταξύ πειραματικών και αποτελεσμάτων δικτύου επιτυγχάνεται με μέσο απόλυτο σχετικό σφάλμα μικρότερο από 2%. Θεωρείται ότι ένα καλά εκπαιδευμένο μοντέλο νευρικού δικτύου παρέχει γρήγορα και συνεπή αποτελέσματα, καθιστώντας το ένα εύκολο στη χρήση εργαλείο σε προκαταρκτικές μελέτες για τέτοια προβλήματα θερμικής μηχανικής. Ο στόχος της χρήσης του μοντέλου Artificial Neural Network (ANN) που θεωρείται πρακτική προσέγγιση είναι να δοκιμαστεί η ικανότητα πρόβλεψης συγκεκριμένης κατανάλωσης καυσίμου και θερμοκρασίας εξάτμισης για έναν κινητήρα ντίζελ. Το δίκτυο έχει τρεις παραμέτρους εισόδου: ταχύτητα κινητήρα, μέση αποτελεσματική πίεση και χρονισμό ψεκασμού και δύο παραμέτρους εξόδου: συγκεκριμένη κατανάλωση καυσίμου και θερμοκρασία εξάτμισης. Το πειραματικό σύνολο δεδομένων περιλαμβάνει 80 τιμές, εκ των οποίων 60 τιμές χρησιμοποιήθηκαν για την εκπαίδευση του δικτύου και 20 τιμές επιλέχθηκαν τυχαία για να ελεγχθεί η απόδοση του εκπαιδευμένου δικτύου. Αυτός ο αριθμός τιμών θεωρείται τυπικός αριθμός για εφαρμογές ANN. Όλες οι τιμές εισόδου και εξόδου ομαλοποιήθηκαν στο εύρος 0,1-0,9. Κατά τη διάρκεια της εκπαίδευσης και της δοκιμής / επικύρωσης ανά περίοδο, το μέγιστο μέσο σχετικό σφάλμα βρέθηκε να είναι 1,93% και 2,36%, αντίστοιχα. Μετά από 900 κύκλους προπόνησης, το επίπεδο σφάλματος ήταν ικανοποιητικό και οι περαιτέρω κύκλοι δεν είχαν σημαντική επίδραση στη μείωση του

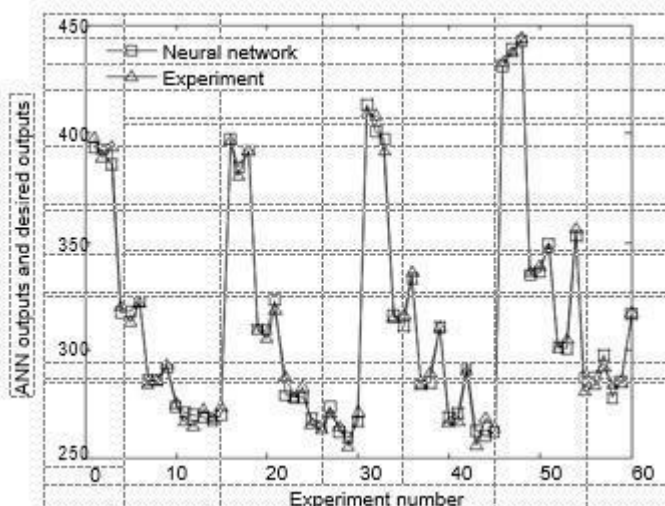
σφάλματος. Αυτό φαίνεται ξεκάθαρα από το Σχ. 32.



**Εικ. 32.** Απόδοση προτεινόμενης διαμόρφωσης νευρωνικού δικτύου.

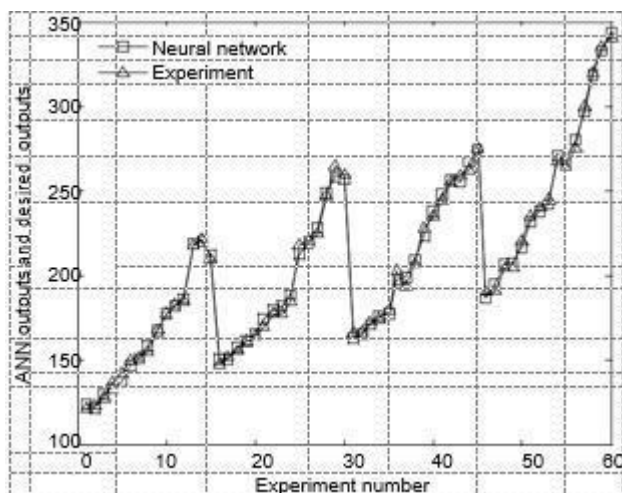
*Artificial neural network and fuzzy expert system comparison for prediction of performance and emission parameters on a gasoline engine Elsevier 2011, Sakir Tasdemir*

Κατά την περίοδο εκπαίδευσης, τόσο για την προβλεπόμενη ειδική κατανάλωση καυσίμου όσο και για τη θερμοκρασία εξατμίσσης, το μέσο σχετικό σφάλμα βρέθηκε να είναι μικρότερο από 1,5%. Αυτή η καλή ικανότητα προ-υπαγόρευσης μπορεί να παρατηρηθεί από τα Σχ. 4 και 5, υποδεικνύοντας ότι το δίκτυο μπόρεσε να μάθει με ακρίβεια τα σύνολα δεδομένων εκπαίδευσης.



**Σχ. 33.** Ειδική πρόβλεψη κατανάλωσης καυσίμου από νευρωνικό δίκτυο

*Πηγή: Artificial neural network and fuzzy expert system comparison for prediction of performance and emission parameters on a gasoline engine Elsevier 2011, Sakir Tasdemir*



**Εικ. 34.** Θερμοκρασία εξάτμισης από νευρωνικό δίκτυο κατά την περίοδο προπόνησης. *Artificial neural network and fuzzy expert system comparison for prediction of performance and emission parameters on a gasoline engine Elsevier 2011, Sakir Tasdemir*

**13.Πρόβλεψη απόδοσης κινητήρα για ένα εναλλακτικό καύσιμο χρησιμοποιώντας ΤΕΧΝΗΤΟ ΝΕΥΡΩΝΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ (Prediction of engine performance for an alternative fuel using artificial neural network, Elsevier 2012 Author links open overlay panelYusufÇayaAdemÇiçekbFuatKaracSelamiSağiroğlu)**

Αυτή η μελέτη ασχολείται με τη μοντελοποίηση τεχνητού νευρωνικού δικτύου (ANN) για την πρόβλεψη της κατανάλωσης καυσίμου ειδικά για το φρένο, της πραγματικής ισχύος και της μέσης αποτελεσματικής πίεσης και της θερμοκρασίας καυσαερίων του κινητήρα μεθανόλης. Για την απόκτηση δεδομένων εκπαίδευσης και δοκιμών, πραγματοποιήθηκαν ορισμένα πειράματα με τετρακύλινδρο, τετράχρονο δοκιμαστικό κινητήρα που λειτουργεί σε διαφορετικές ταχύτητες και ροπές κινητήρα. Χρησιμοποιώντας ορισμένα από τα πειραματικά δεδομένα για εκπαίδευση, αναπτύχθηκε ένα μοντέλο ANN που βασίζεται σε τυπικό αλγόριθμο πολλαπλασιασμού πίσω. Στη συνέχεια, μετρήθηκε η απόδοση των προβλέψεων ANN συγκρίνοντας τις προβλέψεις με τα πειραματικά αποτελέσματα. Η ταχύτητα του κινητήρα, η ροπή του κινητήρα, η ροή καυσίμου, η μέση θερμοκρασία πολλαπλής εισαγωγής και η θερμοκρασία εισόδου νερού ψύξης έχουν χρησιμοποιηθεί ως στρώμα εισόδου, ενώ η ειδική κατανάλωση καυσίμου φρένων, η πραγματική ισχύς, η μέση αποτελεσματική πίεση και η θερμοκρασία καυσαερίων έχουν επίσης χρησιμοποιηθεί ξεχωριστά ως έξοδος στρώμα. Μετά την προπόνηση, διαπιστώθηκε ότι οι τιμές R2 πλησιάζουν το 1 τόσο για δεδομένα εκπαίδευσης όσο και για δεδομένα δοκιμών. Οι τιμές RMS είναι μικρότερες από 0,015 και τα μέσα σφάλματα είναι μικρότερα από 3,8% για τα δεδομένα δοκιμών. Αυτό δείχνει ότι το ανεπτυγμένο μοντέλο ANN είναι ένα ισχυρό μοντέλο για την πρόβλεψη της ειδικής κατανάλωσης

καυσίμου φρένων, της πραγματικής ισχύος και της μέσης αποτελεσματικής πίεσης και της θερμοκρασίας καυσαερίων των κινητήρων εσωτερικής καύσης.

14. Ανάπτυξη ενός εργαλείου αναγνώρισης συστήματος βασισμένο σε ANN για την εκτίμηση των χαρακτηριστικών απόδοσης-εκπομπών ενός κινητήρα ντίζελ διπλού καυσίμου CNG με υποβοήθηση CRDI (*Development of an ANN based system identification tool to estimate the performance-emission characteristics of a CRDI assisted CNG dual fuel diesel engine, Elsevier, Journal of Natural Gas Science and Engineering, Volume 21, November 2014, Pages 147-158, Ajoy Kumar et al.*)

Στην παρούσα μελέτη, οι παράμετροι απόδοσης και εκπομπών ενός μονοκύλινδρου τετράχρονου CRDI κινητήρα με λειτουργία διπλού καυσίμου CNG-diesel έχουν μοντελοποιηθεί από το Artificial Neural Network. Ένα μοντέλο ANN αναπτύχθηκε για την πρόβλεψη BSFC, BTE, NO<sub>x</sub>, PM και HC με βάση τα πειραματικά δεδομένα, με φορτίο, πίεση ψεκασμού καυσίμου και μερίδιο ενέργειας CNG ως παραμέτρους εισόδου για το δίκτυο. Το ανεπτυγμένο μοντέλο ANN ήταν ικανό να προβλέψει τις επιδόσεις και τις παραμέτρους εκπομπών με αξιοσημείωτη ακρίβεια όπως παρατηρείται από τους συντελεστές συσχέτισης εντός του εύρους 0,99833-0,99999, μέσο απόλυτο ποσοστό σφάλματος στο εύρος 0,045-1,66% μαζί με αισθητά χαμηλά μέση τετραγωνικά λάθη που παρέχονται ένα αποδεκτό δείκτη της ευρωστίας της προβλεπόμενης ακρίβειας.

15. Έλεγχος εκπομπών καυσαερίων και βελτιστοποίηση παραμέτρων κινητήρα με χρήση εικονικών αισθητήρων τεχνητού νευρικού δικτύου για υδροκίνητο όχημα (*Elsevier, International Journal of Hydrogen Energy Volume 37, Issue 10, May 2012, Pages 8704-8715 Exhaust emissions control and engine parameters optimization using artificial neural network virtual sensors for a hydrogen-powered vehicle Kean Yap et al.*)

Αυτό το άρθρο παρουσιάζει ένα εναλλακτικό εργαλείο για εφαρμογές συντονισμού οχημάτων ενσωματώνοντας τη χρήση εικονικών αισθητήρων τεχνητού νευρικού δικτύου (ANN) για ένα αυτοκίνητο με υδρογόνο. Ο στόχος αυτής της μελέτης είναι η βελτιστοποίηση απλών παραμέτρων διεργασίας κινητήρα για τη ρύθμιση των εκπομπών καυσαερίων. Οι παράμετροι της διαδικασίας του κινητήρα (θέση πεταλούδας, λάμδα, πρόοδος ανάφλεξης και γωνία ψεκασμού) και οι μεταβλητές εκπομπών καυσαερίων (CO, CO<sub>2</sub>, HC και NO<sub>x</sub>) αποτελούν τη βάση των εικονικών αισθητήρων. Τα πειραματικά δεδομένα ελήφθησαν πρώτα μέσω μιας ολοκληρωμένης πειραματικής και συντονιστικής διαδικασίας για εκπαίδευση και επικύρωση νευρωνικών δικτύων. Το βελτιστοποιημένο νευρωνικό δίκτυο στρώματος προς στρώμα χρησιμοποιήθηκε για την κατασκευή δύο εικονικών αισθητήρων ANN.

τα μοντέλα κινητήρα και εκπομπών. Η απόδοση και η ακρίβεια των προτεινόμενων εικονικών αισθητήρων ήταν αποδεκτές με τα μέγιστα προγνωστικά μέσα σχετικά σφάλματα 0,65%. Με την ακριβή δυνατότητα πρόβλεψης, οι εικονικοί αισθητήρες χρησιμοποιήθηκαν και προσομοιώθηκαν ως εργαλείο μέτρησης για τον συντονισμό και τη βελτιστοποίηση του οχήματος. Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης έδειξαν ότι οι εκπομπές καυσαερίων μπορούν να ρυθμιστούν βελτιστοποιώντας απλές παραμέτρους διαδικασίας κινητήρα. Αυτή η μελέτη παρουσιάζει ένα εναλλακτικό εργαλείο για εφαρμογές συντονισμού οχημάτων για ένα όχημα καύσης υδρογόνου. Επιπλέον, αυτή η εργασία παρείχε επίσης ένα εργαλείο για την καλύτερη κατανόηση των επιπτώσεων των διαφόρων συνθηκών του κινητήρα στις εκπομπές καυσαερίων χωρίς την ανάγκη τροποποίησης του οχήματος.

16. Τεχνητά νευρωνικά δίκτυα μοντελοποίηση αποκρίσεων κινητήρα για έναν ελαφρύ κινητήρα ντίζελ που τροφοδοτείται με μίγματα βιοντίζελ (Elsevier, Applied Energy Volume 92, April 2012, Pages 769-777 Artificial neural networks modelling of engine-out responses for a light-duty diesel engine fuelled with biodiesel blends HarunMohamed et.)

Αυτό το άρθρο αναφέρει ένα πρόγραμμα μοντελοποίησης τεχνητών νευρωνικών δικτύων (ANN) για έναν ελαφρύ κινητήρα ντίζελ που χρησιμοποιεί μίγματα διαφόρων καυσίμων βιοντίζελ με συμβατικό ορυκτό ντίζελ. Το ANN χρησιμοποιήθηκε εδώ για να προβλέψει εννέα διαφορετικές αποκρίσεις κινητήρα, όπως το μονοξείδιο του άνθρακα (CO), το διοξείδιο του άνθρακα (CO<sub>2</sub>), το μονοξείδιο του αζώτου (NO), ο άκαυστος υδρογονάνθρακας (UHC), η μέγιστη πίεση (P<sub>max</sub>), η θέση της μέγιστης πίεσης (CAD P<sub>max</sub>), μέγιστος ρυθμός απελευθέρωσης θερμότητας (HRR<sub>max</sub>), θέση μέγιστου HRR (CAD HRR<sub>max</sub>) και αθροιστικός HRR (CuHRR). Τέσσερις σχετικές παράμετροι λειτουργίας κινητήρα, ταχύτητα κινητήρα, ροπή εξόδου, ρυθμός ροής μάζας καυσίμου και τύποι και μίγματα καυσίμου βιοντίζελ, χρησιμοποιήθηκαν ως παράμετροι εισόδου για αυτό το έργο μοντελοποίησης. Αξιολογήθηκε η δυνατότητα χρήσης του ANN για την πρόβλεψη των σχέσεων μεταξύ αυτών των εισροών και εξόδων. Τα προσομοιωμένα αποτελέσματα επικυρώθηκαν πρώτα σε σχέση με δεδομένα από τη μελέτη παράλληλου κινητήρα. Βασικά αποτελέσματα του ANN "model" και "model parameter", όπως ο τύπος της λειτουργίας μεταφοράς, ο αλγόριθμος εκπαίδευσης και ο αριθμός των νευρώνων, μαζί με τις μεθόδους βελτιστοποίησης των ρυθμίσεων δικτύου παρουσιάστηκαν επίσης σε αυτό το άρθρο.

17. Πρόβλεψη τεχνητού νευρωνικού δικτύου βάσει απόδοσης και χαρακτηριστικά εκπομπών κινητήρα μεταβλητού λόγου συμπίεσης CI που χρησιμοποιεί WCO ως βιοντίζελ σε διαφορετικούς χρόνους έγχυσης(Elsevier, Applied Energy Volume 88, Issue 7, July 2011, Pages 2344-2354 Artificial Neural Network based prediction of performance and

***emission characteristics of a variable compression ratio CI engine using WCO as a biodiesel at different injection timings Srinivasa PaibB.R.et.)***

Στην παρούσα έρευνα, η επίδραση του χρονισμού έγχυσης στην απόδοση και τις εκπομπές ενός μονοκύλινδρου, τετράχρονης σταθερής, μεταβλητής αναλογίας συμπίεσης, ο κινητήρας ντίζελ μελετήθηκε χρησιμοποιώντας χρησιμοποιημένο λάδι μαγειρέματος (WCO) καθώς το βιοντίζελ αναμειγνύεται με ντίζελ. Οι δοκιμές πραγματοποιήθηκαν σε τρεις διαφορετικούς χρόνους έγχυσης (24 °, 27 °, 30 ° CA BTDC) αλλάζοντας το πάχος της προωθητικής λάμψης. Τα πειραματικά αποτελέσματα έδειξαν ότι η θερμική απόδοση του φρένου για το προηγμένο καθώς και ο καθυστερημένος χρονισμός έγχυσης ήταν μικρότερη από εκείνη του κανονικού χρονισμού έγχυσης (27 ° BTDC) για όλα τα σύνολα λόγων συμπίεσης. Οι εκπομπές καπνού, μη καμένων υδρογονανθράκων (UBHC) μειώθηκαν για προχωρημένους χρόνους έγχυσης όπου αυξάνονταν οι εκπομπές NOx. Το Artificial Neural Networks (ANN) χρησιμοποιήθηκε για την πρόβλεψη της απόδοσης του κινητήρα και των χαρακτηριστικών εκπομπών του κινητήρα. Αναπτύχθηκαν ξεχωριστά μοντέλα για παραμέτρους απόδοσης καθώς και χαρακτηριστικά εκπομπών. Για την εκπαίδευση του δικτύου, χρησιμοποιήθηκαν ως παράμετροι εισόδου ο λόγος συμπίεσης, ο χρόνος ψεκασμού, το ποσοστό μείγματος, το ποσοστό φορτίου, όπου ως παράμετροι απόδοσης κινητήρα όπως η θερμική απόδοση φρένων (BTE), η κατανάλωση ενέργειας συγκεκριμένης πέδης (BSEC), η θερμοκρασία καυσαερίων (Texh) χρησιμοποιήθηκαν ως παράμετροι εξόδου για το μοντέλο απόδοσης και οι εκπομπές καυσαερίων κινητήρα όπως οι τιμές NOx, καπνού και (UBHC) χρησιμοποιήθηκαν ως παράμετροι εξόδου για το μοντέλο εκπομπών. Τα αποτελέσματα της ANN έδειξαν ότι υπάρχει καλή συσχέτιση μεταξύ των προβλεπόμενων τιμών της ANN και των πειραματικών τιμών για διάφορες παραμέτρους απόδοσης κινητήρα και χαρακτηριστικά εκπομπών καυσαερίων και οι σχετικές μέσες τιμές σφάλματος (MRE) ήταν εντός 8%, κάτι που είναι αποδεκτό.

**18. Πρόβλεψη κατανάλωσης καυσίμου πλοίου με μηχανική εκμάθηση  
*(Ship Fuel Consumption Prediction with Machine Learning, Conference Paper, 4th International Mediterranean Science and Engineering Congress(IMSEC 2019) April 25-27, 2019, Turkey, Tayfun Uyanik et)***

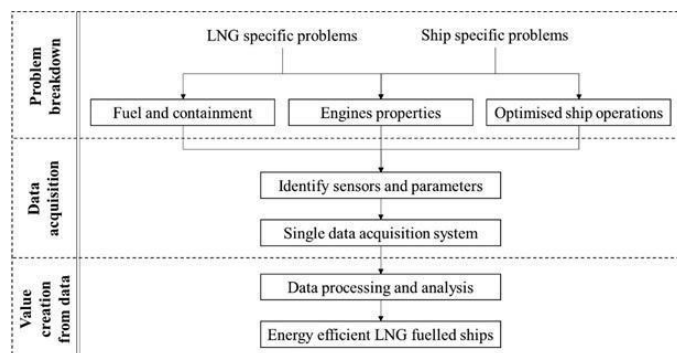
Σε αυτήν τη μελέτη, χρησιμοποιήθηκαν μέθοδοι τεχνητής νοημοσύνης για την εκτίμηση του καυσίμου που ξόδεψε το πλοίο κατά τη διάρκεια του ταξιδιού. Αρχικά, η έκθεση μεσημέρι που είναι δεδομένα πλοίων ελήφθη από εμπορικό πλοίο. Τα δεδομένα σε αυτήν την έκθεση αναλύθηκαν και χωρίστηκαν σε δύο μέρη ως δεδομένα εκπαίδευσης και δοκιμών. Μερικά από τα δεδομένα διδάχθηκαν στον υπολογιστή ως δεδομένα εκπαίδευσης. Στη συνέχεια ζητήθηκε να εκτιμήσει το μη



διδασκόμενο μέρος χρησιμοποιώντας πολλαπλή μέθοδο γραμμικής παλινδρόμησης από τον υπολογιστή. Τέλος, αυτή η πρόβλεψη που έγινε από τη μηχανική μάθηση συγκρίνεται με πραγματικά δεδομένα σε ένα γράφημα και η επιτυχία της εκτίμησης έχει εξεταστεί.

**19. Πρακτικές λύσεις για πλοία καυσίμων LNG (Practical Solutions for LNG fueled ships ,Conference proceedings of ICMET OMAN 2019 Practical solutions for LNG Fuelled Ships Serena Lim, PhD)**

Πρακτικές λύσεις από την προοπτική ενός τυπικού πλοίου, όπως για τον εντοπισμό πιθανών αποδόσεων κινητήρα και προσεγγίσεων για τη βελτιστοποίηση των λειτουργιών του πλοίου. Μόλις η δήλωση προβλήματος είναι σαφής, οι απαραίτητες λύσεις θα γίνουν εμφανείς. Ως εκ τούτου, οι αισθητήρες μπορούν να αναγνωριστούν για παραμέτρους που απαιτείται να καταγράφονται για την παροχή δεδομένων για συγκεκριμένες λύσεις. Στη συνέχεια, τα δεδομένα καταγράφονται σε μία πλατφόρμα για γρήγορη και αποτελεσματική επεξεργασία



**Εικ35 . Μεθοδολογία για την ανάπτυξη συστήματος απόκτησης δεδομένων**

Πηγή. Conference proceedings of ICMET OMAN 2019 Practical solutions for LNG Fuelled Ships Serena Lim, PhD

**20.Ο ψηφιακός στόλος του αύριο**

**(From manual to 21st century operations / Eniram a Wartsila company White Paper / 2018 Venla Pourou el)**

Σε αυτό το άρθρο συζητάμε τα τέσσερα στάδια του ταξιδιού που έχουμε εντοπίσει ως μέρος της έρευνάς μας για τη ναυτιλιακή αγορά - παραδοσιακή, συνδεδεμένη, έξυπνη και αυτόνομη - με έμφαση τόσο στις πτήσεις όσο και στις χερσαίες. Τα τέσσερα στάδια κυμαίνονται από έναν τρόπο λειτουργίας όπου όλη η συλλογή και ανάλυση δεδομένων είναι χειροκίνητη, έως ένα μελλοντικό προσανατολισμένο όραμα όπου όλα τα δεδομένα συλλογής, ανάλυσης και λήψης αποφάσεων αυτοματοποιούνται.



**Εικ 36.** Ο ψηφιακός στόλος του αύριο

Πηγή: *From manual to 21st century operations / Eniram White Paper / 2018*

21. Νέα τεχνολογία τεχνητής νοημοσύνης που βελτιώνει την απόδοση καυσίμου και μειώνει τις εκπομπές CO<sub>2</sub> των πλοίων μέσω της χρήσης επιχειρησιακών μεγάλων δεδομένων (New artificial intelligence technology improving fuel efficiency and reducing co<sub>2</sub> emissions of ships threw the use of operational big data, Fujitsu 2017)

Η Fujitsu ανέπτυξε ειδικό λογισμικό πολυδιάστατης στατιστικής ανάλυσης που επιτρέπει την πρόγνωση αποδοτικότητας πλοίων χωρίς τη χρήση μοντέλων φυσικής. Η εφαρμογή αυτής της τεχνολογίας μετρήσεων δεδομένων μηχανής, λειτουργικά στοιχεία κτλ απέδειξε υψηλό βαθμό ακριβείας .

## 8.Μεθοδολογία για Genetic algorithms,Neural Networks

Σε αυτό το κεφάλαιο το πειραματικό πρόγραμμα ορίζεται και εξηγείται με μεγαλύτερη λεπτομέρεια. Εδώ καθορίζονται οι επιλογές που γίνονται, επιλέγονται οι παράμετροι και δημιουργούνται οι λύσεις. Το λογισμικό ορίζεται επίσης σε αυτήν την ενότητα και εξηγείται η λειτουργικότητα και η δομή του.

### 8.1 Επισκόπηση πειραματικών προγραμμάτων

Τα δεδομένα επεξεργάζονται αρχικά με το προχωρημένο εργαλείο ανάλυσης στατιστικών δεδομένων στο "SPSS Statistics" το είναι ένα πακέτο λογισμικού που χρησιμοποιείται για διαδραστική ή παρτίδα, στατιστική ανάλυση. Παράγεται από καιρό από την SPSS Inc., αποκτήθηκε από την IBM το 2009. Οι τρέχουσες εκδόσεις (2015) ονομάζονται IBM SPSS Statistics.

Η εκπαίδευση νευρωνικών δικτύων έγινε χρησιμοποιώντας MATLAB® Neural Network Toolbox® έκδοση 7.1. Η εκπαιδευτική διαδικασία είναι το πιο ευαίσθητο και χρονοβόρο μέρος του αλγορίθμου. Ένα καλά εκπαιδευμένο δίκτυο δίνει καλά αποτελέσματα δεδομένης κάθε εισόδου. Ένα μη καλά εκπαιδευμένο δίκτυο από την άλλη πλευρά θα δώσει ακανόνιστα αποτελέσματα εάν οι εισόδους που δίνονται είναι διαφορετικές από τις εισόδους που χρησιμοποιούνται για την εκπαίδευση. Επειδή τα σύνολα δεδομένων έχουν σημαντικό μέγεθος και επειδή το δίκτυο χρειάζεται επίσης εισόδους για την επικύρωση και τον έλεγχο του δικτύου, θα πρέπει να γίνει η σωστή διαίρεση του συνόλου δεδομένων. Στην ιδανική περίπτωση, όσο μεγαλύτερο είναι το σύνολο δεδομένων εκπαίδευσης, τόσο πιο ακριβές είναι το δίκτυο. Στην πράξη, ένα δίκτυο με πολύ μεγάλο σύνολο δεδομένων εκπαίδευσης θα προβλέψει πολύ καλά τη σχέση μεταξύ της εξόδου και της εκπαιδευόμενης εισόδου, αλλά θα δώσει εσφαλμένες τιμές για εισόδους που δεν περιλαμβάνονται στο σύνολο δεδομένων εκπαίδευσης. Αυτή η διαδικασία καλείται *over fitting* και συμβαίνει όταν το δίκτυο είναι πολύ εκπαιδευμένο. Επειδή είναι απαραίτητο το δίκτυο να προβλέπει την κατανάλωση καυσίμων, είναι υψίστης σημασίας να αποφευχθεί το υπερβολικό πρόβλημα. Είναι επίσης σαφές ότι ένα πολύ μικρό σύνολο δεδομένων εκπαίδευσης θα δημιουργήσει ένα χαλαρό νευρωνικό δίκτυο, απλώς και μόνο επειδή δεν είχε αρκετά παραδείγματα και ευκαιρίες για να βελτιώσει τα βάρη και τις προκαταλήψεις του. Ο ακριβής διαχωρισμός μεταξύ εκπαιδευτικών, επικύρωσης και δοκιμαστικών συνόλων δεδομένων δεν καθορίζεται καθολικά. Η διαδικασία εμφανίζεται στην παρακάτω εικόνα.

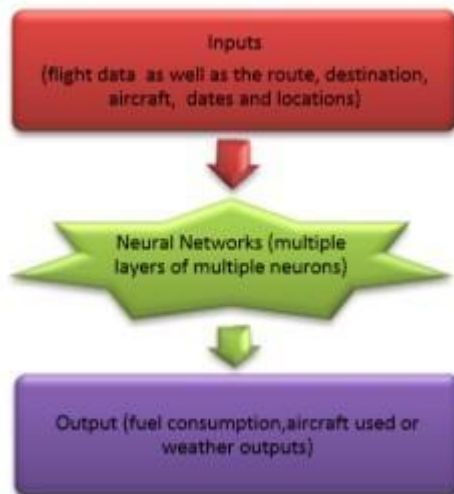


**Σχήμα 37**-Ακολουθία νευρωνικών δικτύων

Πηγή: wikipedia

Επειδή οι γενετικοί αλγόριθμοι προσπαθούν να ελαχιστοποιήσουν τη λειτουργία απόδοσής του, χρησιμοποιήθηκε το αντίστροφο αυτής της παραμέτρου. Οι μεταβλητές γενετικού αλγορίθμου είναι ο αριθμός των νευρώνων σε κάθε στρώμα νευρώνων και η λειτουργία απόδοσής του είναι  $R$ . Δημιουργήθηκαν συνολικά 4 νευρικά δίκτυα, 2 για την πρόγνωση καιρού και 2 για την πραγματική πρόβλεψη καυσίμου. Για την πρόγνωση καιρού επιλέχθηκαν 2 τοπολογίες: 2 στρώσεις και 5 στρώσεις. Αρκετές παράμετροι επικύρωσης καθορίστηκαν και καθορίστηκε η συνολική συνοχή του δικτύου. Το νευρωνικό δίκτυο, όπως έχει κατασκευαστεί,

απαιτεί μόνο παραμέτρους σύγκλισης. Όλες οι άλλες παράμετροι είναι είτε τυχαίες είτε υπολογίζονται αυτόματα από MATLAB®. Η παράμετρος συνόλου δεδομένων άλλαξε για κάθε νευρωνικό δίκτυο που εκπαιδεύτηκε προκειμένου να επιτευχθεί η καλύτερη απόδοση. Για το δίκτυο πρόγνωσης καιρού, η διαίρεση του συνόλου δεδομένων ορίστηκε σε 50% για εκπαίδευση, 25% για επικύρωση και 25% για δοκιμή στις διαμορφώσεις 2 και 5 επιπέδων. Για το Fuel Prediction Network η διαμόρφωση ήταν 70% για εκπαίδευση, 15% για επικύρωση και 15% για δοκιμή.



**Σχήμα 38:** Διαδικασία Αλγόριθμου

Πηγή: Wikipedia

## 8. 2 Αλγόριθμος βελτιστοποίησης καυσίμου

Ο αλγόριθμος βελτιστοποίησης καυσίμου ήταν ένας αλγόριθμος σχεδιασμένος να επιλέγει ποιο ζεύγος αεροπλάνου / προορισμού, θα είχε τη μικρότερη συνολική κατανάλωση. Δεδομένου ότι η βελτιστοποίηση δεν συνίσταται στην επιλογή του επιπέδου που έχει τη μικρότερη κατανάλωση σε μια συγκεκριμένη διαδρομή, είναι πιο περίπλοκο από ένα απλό πρόβλημα επιλογής. Για το λόγο αυτό χρησιμοποιήθηκε ο Γενετικός Αλγόριθμος. Το πρόβλημα στα χέρια είναι μια βελτιστοποίηση πολλαπλών εισόδων και πολλαπλών εξόδων. Λόγω του γεγονότος ότι οι γενετικοί αλγόριθμοι χρησιμοποιούνται με εξαιρετικά αποτελέσματα, ήταν η προφανής επιλογή για αυτήν την κατάσταση. Ο αλγόριθμος σχεδιάστηκε για να έχει όσες μεταβλητές απαιτούν οι πτήσεις. Στην τελική βελτιστοποίηση που σημαίνει 58 μεταβλητές. Κάθε μεταβλητή μπορεί να αναλάβει μια τιμή μεταξύ 1 και 55. Η μεταβλητή αντιπροσωπεύει το δρομολογίο και η τιμή της αντιπροσωπεύει το επίπεδο. Τα πλοία οργανώθηκαν ανά μοντέλο και ανά μητρώο. Αυτή η απόδοση σημαίνει ότι εάν η μεταβλητή "one" που αντιπροσωπεύει την πρώτη πτήση που έχει ζητηθεί έχει τιμή 44, το επίπεδο που επιλέγει ο γενετικός αλγόριθμος για αυτήν τη διαδρομή είναι αυτό που βρίσκεται στη θέση 44 της λίστας πλοίων. Αυτή η

μεθοδολογία εγγυάται συνεπώς ότι η τιμή που επιλέγεται για την καλύτερη κατανάλωση καυσίμου είναι το επίπεδο που χρησιμοποιείται. Η λειτουργία βελτιστοποίησης υπολογίζει την κατανάλωση καυσίμου. Η κύρια συνάρτηση της λειτουργίας βελτιστοποίησης είναι ο έλεγχος των τιμών των μεταβλητών που ορίζονται από τον Γενετικό Αλγόριθμο. Τιμωρεί τον αλγόριθμο, δίνοντάς του μεγαλύτερες από τις πιθανές τιμές κατανάλωσης όταν ο αλγόριθμος επιλέγει τιμές που δεν είναι δυνατές

### 8.3 Αρχιτεκτονική ANFIS

Είναι δυνατό να προσδιοριστούν δύο μέρη στη δομή του δικτύου, δηλαδή τμήματα υπόθεσης και συνεπειών. Σε περισσότερες λεπτομέρειες, η αρχιτεκτονική αποτελείται από πέντε επίπεδα. Το πρώτο επίπεδο λαμβάνει τις τιμές εισόδου και καθορίζει τις συναρτήσεις μέλους που τις ανήκουν. Ονομάζεται συνήθως στρώμα fuzzification. Οι βαθμοί συμμετοχής κάθε συνάρτησης υπολογίζονται χρησιμοποιώντας το σύνολο παραμέτρων premise, δηλαδή {a, b, c}. Το δεύτερο στρώμα είναι υπεύθυνο για τη δημιουργία των δυνατοτήτων πυροδότησης για τους κανόνες. Λόγω της εργασίας του, το δεύτερο επίπεδο χαρακτηρίζεται ως "επίπεδο κανόνα". Ο ρόλος του τρίτου στρώματος είναι να ομαλοποιήσει τις υπολογισμένες αντοχές πυροδότησης, καταδύοντας κάθε τιμή για τη συνολική ισχύ πυροδότησης. Το τέταρτο επίπεδο λαμβάνει ως είσοδο τις ομαλοποιημένες τιμές και το σύνολο παραμέτρων συνεπειών {p, q, r}. Οι τιμές που επιστρέφονται από αυτό το επίπεδο είναι οι αποδιαμορφωμένες και αυτές οι τιμές μεταβιβάζονται στο τελευταίο επίπεδο για να επιστρέψουν την τελική έξοδο

#### 8.3.1 Περιγραφή

Το `fis = anfis (trainingData)` δημιουργεί ένα σύστημα εξόδου αμιγούς συνομιλίας Sugeno (FIS) και συντονίζει τις παραμέτρους του συστήματος χρησιμοποιώντας τα καθορισμένα δεδομένα εκπαίδευσης εισόδου / εξόδου. Το αντικείμενο FIS δημιουργείται αυτόματα χρησιμοποιώντας διαχωριστικό πλέγματος.

Ο αλγόριθμος εκπαίδευσης χρησιμοποιεί έναν συνδυασμό μεθόδων καθόδου κλίσης ελάχιστων τετραγώνων και πλάτης διάδοσης για τη μοντελοποίηση του συνόλου δεδομένων εκπαίδευσης.

#### παράδειγμα

`fis = anfis (trainingData, options)` συντονίζει ένα FIS χρησιμοποιώντας τα καθορισμένα δεδομένα και τις επιλογές εκπαίδευσης. Χρησιμοποιώντας αυτήν τη σύνταξη, μπορείτε να καθορίσετε:

- Ένα αρχικό αντικείμενο FIS για συντονισμό.
- Δεδομένα επικύρωσης για την αποτροπή της υπερβολικής προσαρμογής σε δεδομένα εκπαίδευσης.
- Επιλογές αλγορίθμου εκπαίδευσης.
- Αν θα εμφανίζονται πληροφορίες προόδου εκπαίδευσης.

#### παράδειγμα

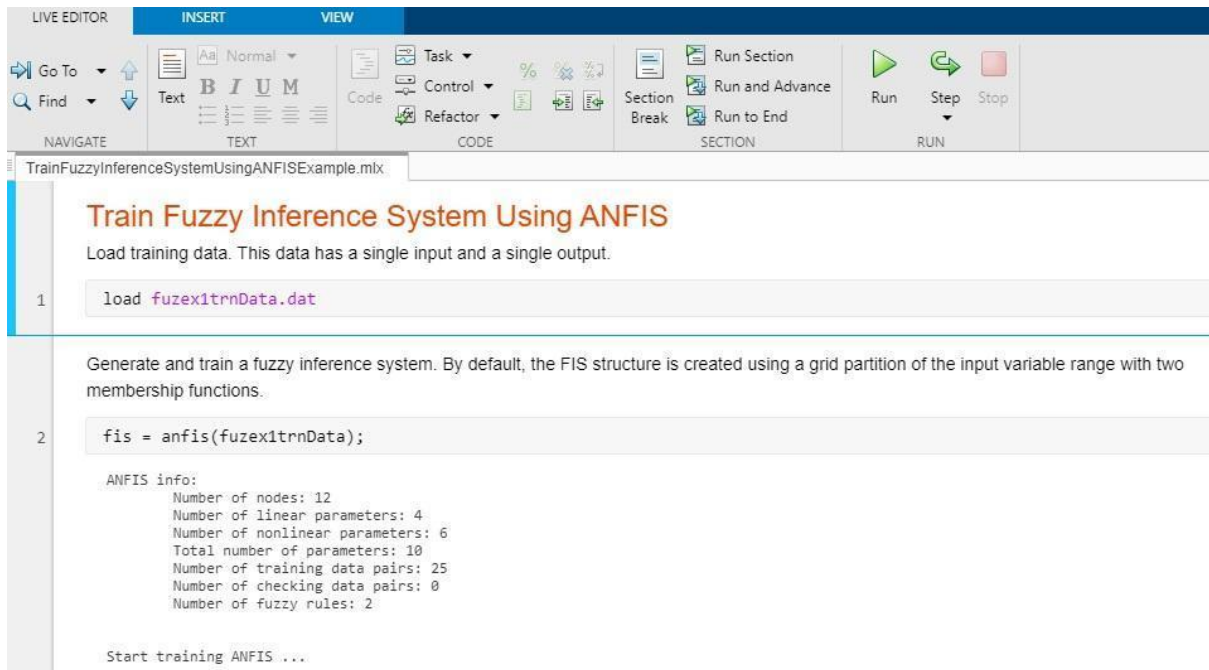
[fis, trainError] = anfis (\_\_\_) επιστρέφει το βασικό τετράγωνο σφάλμα εκπαίδευσης για κάθε περίοδο προπόνησης.

#### παράδειγμα

[fis, trainError, stepSize] = anfis (\_\_\_) επιστρέφει το μέγεθος του βήματος προπόνησης σε κάθε περίοδο προπόνησης.

#### παράδειγμα

[fis, trainError, stepSize, chkFIS, chkError] = anfis (trainingData, options) επιστρέφει το σφάλμα δεδομένων επικύρωσης για κάθε περίοδο εκπαίδευσης, chkError και το συντονισμένο αντικείμενο FIS για το οποίο το σφάλμα επικύρωσης είναι ελάχιστο, chkFIS. Για να χρησιμοποιήσετε αυτήν τη σύνταξη, πρέπει να καθορίσετε δεδομένα επικύρωσης χρησιμοποιώντας τις επιλογές.ValidationData.



**Εικόνα 39 :** εντολής **MATLAB**/Παράδειγμα Εκπαίδευσης με Σύστημα Ασαφών Συμπληρώσεων με χρήση του **ANFIS** (Φόρτωση δεδομένων εκπαίδευσης. Αυτά τα δεδομένα έχουν μία είσοδο και μία έξοδο.)

πηγή: <https://www.mathworks.com/help/fuzzy/anfis.html>

#### 8.4 Έρευνα συλλογή στοιχείων και μελλοντική εφαρμογή AI μοντελων σε μηχανή πλοίου καύσης LNG ( Τυπος μηχανης 9L50DF Wartsila)

Εχουν συλλεχθει προσωπικά 56 διαφορετικές μετρήσεις του τύπου ΥΦΑ μηχανης **9L50DF-wartsila** και θα ακολουθησει ζωντανο πείραμα επαλήθευσης οσων μας δείχνει και η βιβλιογραφική έρευνα της παρούσας εργασίας με τα προαναφερθέντα μοντέλα τεχνητής νοημοσύνης και επεξεργασία με matlab.& Αναλυση αποτελεσμων /ευρηματων στην επόμενη φάση της έρευνας.

Wärtsilä 9L50DF		DE Constant Speed		DE Constant Speed		ME	
		Gas mode	Diesel mode	Gas mode	Diesel mode	Gas mode	Diesel mode
Cylinder output	kW	950		975		975	
Engine speed	rpm	500		514		514	
Engine output	kW	8550		8775		8775	
Mean effective pressure	MPa	2.0		2.0		2.0	
IMO compliance		Tier 3	Tier 2	Tier 3	Tier 2	Tier 3	Tier 2
<b>Combustion air system (Note 1)</b>							
Flow at 100% load	kg/s	13.7	16.9	13.7	16.9	13.7	16.4
Temperature at turbocharger intake, max.	°C	45		45		45	
Temperature after air cooler, nom. (TE 601)	°C	45	50	45	50	45	50
<b>Exhaust gas system (Note 2)</b>							
Flow at 100% load	kg/s	13.4	17.0	13.8	17.8	13.5	18.5
Flow at 75% load	kg/s	10.4	13.7	10.7	14.2	10.8	13.9
Flow at 50% load	kg/s	7.8	10.4	8.0	10.7	8.1	12.5
Temperature after turbocharger at 100% load (TE 517)	°C	401	337	401	337	402	316
Temperature after turbocharger at 75% load (TE 517)	°C	445	319	445	319	418	321
Temperature after turbocharger at 50% load (TE 517)	°C	442	319	442	319	397	255
Backpressure, max.	kPa	4		4		4	
Calculated exhaust diameter for 35 m/s	mm	962	1031	975	1055	966	1058
<b>Heat balance at 100% load (Note 3)</b>							
Jacket water, HT-circuit	kW	981	1467	1017	1494	1026	1512
Charge air, HT-circuit	kW	1170	1836	1242	1962	1260	2061
Charge air, LT-circuit	kW	648	972	675	1044	675	1152
Lubricating oil, LT-circuit	kW	693	1098	711	1116	720	1134
Radiation	kW	234	261	243	270	243	270
<b>Fuel consumption (Note 4)</b>							
BSEC total at 100% load	kJ/kWh	7360	-	7390	-	7410	-
BSEC total at 85% load	kJ/kWh	7530.0	-	7570.0	-	0.0	-
BSEC total at 75% load	kJ/kWh	7720	-	7750	-	7550	-
BSEC total at 50% load	kJ/kWh	8560	-	8580	-	8220	-
BSEC gas fuel at 100% load	kJ/kWh	7318	-	7350	-	7365	-
BSEC gas fuel at 85% load	kJ/kWh	7481.0	-	7513.0	-	0.0	-
BSEC gas fuel at 75% load	kJ/kWh	7658	-	7692	-	7493	-
BSEC gas fuel at 50% load	kJ/kWh	8456	-	8476	-	8122	-
Pilot fuel consumption at 100% load	g/kWh	1.0	0.0	1.0	0.0	1.0	0.0
Pilot fuel consumption at 85% load	g/kWh	1.3	0.0	1.3	0.0	0.0	0.0
Pilot fuel consumption at 75% load	g/kWh	1.5	0.0	1.5	0.0	1.5	0.0
Pilot fuel consumption 50% load	g/kWh	2.5	0.0	2.5	0.0	2.4	0.0
SFOC at 100% load - LFO	g/kWh	-	190.1	-	192.0	-	189.6

**Εικ.40** Η απόδοση Μηχανής από ιστοσελίδα wartsila

πηγή: <https://cdn.wartsila.com/docs/default-source/product-files/engines/df-engine/product-guide-o-e-w50df.pdf?sfvrsn=9>



Ενδεικτικά μια από τις 56 μετρήσεις της LNG μηχανής που θα εφαρμόσουμε σε επόμενο στάδιο τις τεχνικές Τεχνητής νοημοσύνης εν συνεχεία της έρευνας με βάση τη Βιβλιογραφία



Revision No. / Date 01/04.15



MEASUREMENT  
RECORD



SMS FORM M 064-1

Date	29/08/2015	Time	09:00	Installation / ship	2288	Engine type	9L50DF	Engine no	3		
Output, % of nominal	83%	Alternator load [kW]	6955	Methane number (gas)	-	Gas demand (GD) [%]	23352	Fuel demand (GD) [%]	-		
Engine speed [Rpm]	514	Operating h [hrs]	10617	Load indicator position							
Cylinder values:		Cyl.	Exh. temp	Fuel rack pos.	Firing pressure	Cylinder liner temp	Gas timing	Main gas valve dur.	Knock margin	Main bearing temp. °C	
Cylinders A-bank (or in-line engine)			[°C]	[mm]	[bar]	[Δp] (GD)	[°] BTDC	% of nominal	[°]	No. 0	
	A1	509	0	86		104		97		1	75
	A2	521	0	101		103		100		2	81
	A3	511	0	100		99		99		3	83
	A4	511	0	100		101		95		4	82
	A5	503	0	95		102		97		5	81
	A6	505	0	98		100		94		6	82
	A7	512	0	103		105		100		7	83
	A8	509	0	88		104		107		8	83
	A9	504	0	95		103		106		9	83
	A10									10	79
Mean values A-bank											

**Εικόνα 41:** Απόδοση μηχανής σε πραγματικό χρόνο (Μια εκ των 56 μετρήσεων του LNG Κινητήρα 9L50DF Wartsila )

πηγή: Προσωπική συνέντευξη του αρχιμηχανικού/Υπεύθυνου Προγράμματος NAP(Naval Architecture Process) <https://www.nap.gr/>

## Συμπεράσματα / Προτάσεις

Κάθε κλάδος προσπαθεί να μειώσει τα απόβλητά της και να βελτιστοποιήσει τις διαδικασίες που χρησιμοποιούνται.

Λόγο της ιδιομορφίας αυτού του καύσιμου αλλά και τις αυξημένης του ζήτησης κατορθώθηκε σχετικά γρήγορα να δημιουργηθεί ένας πάρα πολύ ανταγωνιστικός τύπος πλοίων όπου αυτήν την στιγμή τείνει να μονοπωλήσει στον χώρο της ναυτιλίας για την μεταφορά φυσικού αερίου.

Τεχνητή νοημοσύνη, μηχανική μάθηση και ναυτική βιωσιμότητα.

Ενεργοποιημένη από την παγκόσμια συνδεσιμότητα και την τεχνολογία διαδικτύου των πραγμάτων, η ροή αριθμών που καλύπτει την κατανάλωση καυσίμου, τις επιδόσεις, τον καιρό και εκατοντάδες άλλες μεταβλητές δεν ήταν ποτέ μεγαλύτερη.

Η αύξηση των μεγάλων δεδομένων αυξάνεται καθημερινά και είναι ατελείωτη. Είναι ζωτικής σημασίας η ναυτιλιακή βιομηχανία να βελτιώσει τη συνεργασία και την ενσωμάτωση δεδομένων για να εκμεταλλευτεί τον τεράστιο όγκο πληροφοριών. Τα μεγάλα αναλυτικά δεδομένα θα επιτρέψουν στον κλάδο να αποκαλύψει πληροφορίες, τάσεις και συσχετισμούς που είναι κρυμμένοι αυτήν τη στιγμή. Τα δεδομένα σε πραγματικό χρόνο δημιουργούν ευκαιρίες βελτιστοποίησης σε κάθε πτυχή της ναυτιλιακής βιομηχανίας - διαχείριση ενέργειας, σχεδιασμός διαδρομών και βελτιστοποίηση, προβλέψιμη συντήρηση, περιβαλλοντική διαχείριση, καθώς και ασφάλεια και προστασία πλοίων. Η διαχείριση της κυκλοφορίας λιμένων μπορεί να βελτιωθεί και οι διαχειριστές στόλου θα είναι πιο αποτελεσματικοί καθώς τα δεδομένα σε πραγματικό χρόνο θα επιτρέψουν την παραγωγική παρακολούθηση της επιχειρησιακής ετοιμότητας και της απόδοσης των πλοίων τους.

Το ερώτημα είναι πώς να κατανοήσουμε όλες αυτές τις πληροφορίες. Μια πρόκληση πολύ πέρα από τη μη αυτόματη ανάλυση που απαιτεί εξελιγμένα εργαλεία ανάλυσης ικανά να κατανοήσουν τις πληροφορίες σε κλίμακα και πέρα από τα χρονοδιαγράμματα. Ποια είναι φυσικά η τεχνητή νοημοσύνη (AI). Πιο συγκεκριμένα, τα συστήματα μηχανικής μάθησης (ML) και οι αλγόριθμοί τους που μπορούν να μετατρέψουν διαφορετικά σημεία δεδομένων καθ' όλη τη διάρκεια της ιστορίας των λειτουργιών για να φέρουν στο φως γνώσεις μεταξύ του θορύβου: βασικές σχέσεις μεταξύ μεταβλητών που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την πρόβλεψη μελλοντικών αποτελεσμάτων.

Η κατανάλωση καυσίμων στα πλοία και η μείωση των εκπομπών είναι τα πιο σημαντικά έξοδα για τη ναυτιλία. Εκτός από τον IMO, κράτη και άλλοι διεθνείς οργανισμοί εργάζονται για τη μείωση της κατανάλωσης καυσίμου στα πλοία και τη μείωση της ποσότητας επιβλαβών αερίων που εκπέμπονται από πλοία από τη μία πλευρά, θέτοντας διάφορους κανόνες και ελέγχους για την επίλυση αυτών των δύο

προβλημάτων. Προκειμένου να μειωθεί η κατανάλωση καυσίμων στα πλοία, οι ναυτιλιακές εταιρείες εργάζονται ουσιαστικά για τον προσδιορισμό του καυσίμου που χρησιμοποιείται κατά τη διάρκεια του ταξιδιού. Στο παρελθόν έχουν προταθεί διάφορες μέθοδοι. Σε αυτήν τη μελέτη, χρησιμοποιήθηκαν μέθοδοι τεχνητής νοημοσύνης για την εκτίμηση του καυσίμου που ξόδεψε το πλοίο κατά τη διάρκεια του ταξιδιού

Τα BIG Data αυξάνονται καθημερινά και είναι ατελείωτα. Είναι ζωτικής σημασίας η ναυτιλιακή βιομηχανία να βελτιώσει τη συνεργασία και την ενσωμάτωση δεδομένων για να εκμεταλλευτεί τον τεράστιο όγκο πληροφοριών. Τα μεγάλα αναλυτικά δεδομένα θα επιτρέψουν στον κλάδο να αποκαλύψει πληροφορίες, τάσεις και συσχετισμούς που είναι κρυμμένοι αυτήν τη στιγμή. Τα δεδομένα σε πραγματικό χρόνο δημιουργούν ευκαιρίες βελτιστοποίησης σε κάθε πτυχή της ναυτιλιακής βιομηχανίας - διαχείριση ενέργειας, σχεδιασμός διαδρομών και βελτιστοποίηση, προβλέψιμη συντήρηση, περιβαλλοντική διαχείριση, καθώς και ασφάλεια και προστασία πλοίων. Η διαχείριση της κυκλοφορίας λιμένων μπορεί να βελτιωθεί και οι διαχειριστές στόλου θα είναι πιο αποτελεσματικοί καθώς τα δεδομένα σε πραγματικό χρόνο θα επιτρέψουν την παραγωγική παρακολούθηση της επιχειρησιακής ετοιμότητας και της απόδοσης των πλοίων τους.

Η ποιότητα των δεδομένων που συλλέγονται αυτόματα είναι τουλάχιστον θεωρητικά, ανώτερο σε σύγκριση με τα δεδομένα που συλλέγονται χειροκίνητα. Ωστόσο, εξακολουθούν να υπάρχουν πολλοί παράγοντες που εμποδίζουν η ποιότητά του. Τα περισσότερα από αυτά τα ζητήματα προκαλούνται από αισθητήρες έχει εγγενείς ανακρίβειες, προβλήματα βαθμονόμησης ή δυσλειτουργίες. Για παράδειγμα, ένας κακώς βαθμονομημένος αισθητήρας ή μετατόπιση της βαθμονόμησης αισθητήρα μπορεί να οδηγήσει σε σημαντικές παρερμηνείες της απόδοσης. Επιπλέον, τα δεδομένα που συλλέγονται Το πλοίο πρέπει να συγκεντρωθεί για να το μεταφέρει στην παραλία. Εάν δεν εκτελεστεί σωστά, η συγκέντρωση μπορεί να μειώσει σημαντικά την ακρίβεια των δεδομένων. Οι μεθοδολογίες ανάλυσης που αναφέρθηκαν νωρίτερα μπορεί επίσης δεν είναι ιδιαίτερα έγκυρη όπως η ναυτική αρχιτεκτονική σχεδιασμένο για ναυπήγηση, που σημαίνει υπολογισμούς δεν είναι απαραίτητα σχετικό με επιχειρησιακά πλοία στη θάλασσα. Ένας παράδειγμα αυτού είναι το σημαντικό κενό ακρίβειας μεταξύ στατική μοντελοποίηση χρησιμοποιώντας συντελεστές επιτραπέζιου και δυναμικά μοντέλα αποσύνθεσης που αντικατοπτρίζουν τις συνθήκες της θάλασσας. Η σύγκριση έδειξε ότι η συνέπεια μεταξύ πειραματικών και αποτελεσμάτων δικτύου επιτυγχάνεται με μέσο απόλυτο σχετικό σφάλμα μικρότερο από 2%. Θεωρείται ότι ένα καλά εκπαιδευμένο μοντέλο νευρωνικού δικτύου παρέχει γρήγορα και συνεπή αποτελέσματα, καθιστώντας το ένα εύκολο στη χρήση εργαλείο σε προκαταρκτικές μελέτες για τέτοια προβλήματα θερμικής μηχανικής.

## Βιβλιογραφία

### Προσωπική Συνέντευξη

Naval Architecture Progress (Creative marine consulting and ship design innovation. )creative marine consulting and ship design innovation. <https://www.nap.gr/> (Programme director)

(EU Projects Leader & Poseidon Med II Project Manager)<https://www.lr.org/el-gr/>

### Επιστημονικά Άρθρα

*Options and Evaluations on Propulsion Systems of LNG Carriers*

By Tu Huan, Fan Hongjun, Lei Wei and Zhou Guoqiang

Submitted: July 3rd 2018Reviewed: October 21st 2018Published: February 14th 2019

Elsevier -V.D. Tsoukalas, N.G. Fragiadakis / Safety Science 83 (2016) 12–22

Elsevier-An adaptive neuro-fuzzy inference system (anfis) model for assessing occupational risk in the shipbuilding industry

Elsevier- Dr.Tsoukalas,Optimization of porosity formation in AlSi9Cu3 pressure die castings using genetic algorithm analysis

Elsevier-Real-time optimization of ship energy efficiency based on the prediction technology of working condition, Kai Wang, Xinping Yan , Yupeng Yuan, Feng Li

Elsevier-2012 International Symposium on Safety Science and Technology Fire and explosion risk analysis and evaluation for LNG ships,LI Jianhuaa,, HUANG Zhenghuab

7th Energy conference Iceesd 2018,Reducing the Carbon emissions in shipping industry:Application & Development in LNG ships in China

Elsevier-Artificial neural network and fuzzy expert system comparison for prediction of performance and emission parameters on a gasoline engine

Burel, Fabio; Taccani, Rodolfo; Zuliani, Nicola (2013). "Improving sustainability of maritime transport through utilization of Liquefied Natural Gas (LNG) for propulsion". *Energy*. 57 (1): 412–420. doi:10.1016/j.energy.2013.05.002.

Chang, Daejun; Rhee, Taejin; Nam, Kiil; Chang, Kwangpil; Lee, Donghun; Jeong, Samheon (2008). "A study on availability and safety of new propulsion systems for LNG carriers". *Reliability Engineering & System Safety*. 93 (12): 1877–1885. doi:10.1016/j.ress.2008.03.013.

Tusiani, M. D., & Shearer, G. (2007). *LNG: A nontechnical guide*. Tulsa, Okla: PennWell.

MAN Diesel and Turbo. (2013, Feb 28). *Flexible Dual Future - MAN B&W ME-GI Engine* [Video file]. Retrieved from <https://www.youtube.com/watch?v=V0MVdIQYonM>

Livanos, George A.; Theotokatos, Gerasimos; Pagonis, Dimitrios-Nikolaos (2014). "Techno-economic investigation of alternative propulsion plants for Ferries and RoRo ships". *Energy Conversion and Management*. 79: 640–651. doi:10.1016/j.enconman.2013.12.050.

Pospiech, Peter (21 April 2014). "Is Internal Combustion Engine Methane Slip Harmful to the Environment?". *Maritime Reporter and Engineering News*. Retrieved 27 September 2019.

<https://www.theguardian.com/environment/2015/jun/24/natural-gas-leaks-methane-environment>

Brandt, A.R.; Heath, G.A.; Kort, E.A.; et al. (2014). "Methane Leaks from North American Natural Gas Systems". *Science* 343 (6172): 733-735, doi: 10.1126/science.1247045

## Ηλεκτρονικές πηγές

Μελέτη για πλοία καύσης LNG στην Ευρώπη

<https://ec.europa.eu/transport/sites/transport/files/2015-12-lng-lot3.pdf>

Propulsion Trends in LNG carriers [https://www.mandieselturbo.com/docs/default-](https://www.mandieselturbo.com/docs/default-source/shopwaredocuments/propulsion-trends-in-lngb395958927f2417aa98957b04cbb684a.pdf?sfvrsn=4)

[source/shopwaredocuments/propulsion-trends-in-lngb395958927f2417aa98957b04cbb684a.pdf?sfvrsn=4](https://www.mandieselturbo.com/docs/default-source/shopwaredocuments/propulsion-trends-in-lngb395958927f2417aa98957b04cbb684a.pdf?sfvrsn=4)

Πρόωση πλοίου

[https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%A0%CF%81%CF%8C%CF%89%CF%83%CE%B7\\_%CF%80%CE%BB%CE%BF%CE%AF%CE%BF%CF%85](https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%A0%CF%81%CF%8C%CF%89%CF%83%CE%B7_%CF%80%CE%BB%CE%BF%CE%AF%CE%BF%CF%85)

DOI 10.2478/ntp-2018-005 ALTERNATIVE PROPULSION PLANTS FOR MODERN LNG CARRIERS

Αυτοματισμός, μηχανική μάθηση και τεχνητή νοημοσύνη στην απόδοση των πλοίων

<https://ypoglobal.com/2018/04/16/what-does-automation-machine-learning-and-ai-mean-for-vessel-performance/>

Designing Tomorrow's ships today

<https://www.maritime-executive.com/magazine/the-edge-of-tomorrow>

Szymon Grzesiak MSc. Maritime University of Szczecin, Poland

[file:///C:/Users/user/Downloads/\[25452843%20-](file:///C:/Users/user/Downloads/[25452843%20-%20New%20Trends%20in%20Production%20Engineering]%20Alternative%20Propulsion%20Plants%20for%20Modern%20LNG%20Carriers.pdf)

[%20New%20Trends%20in%20Production%20Engineering\]%20Alternative%20Propulsion%20Plants%20for%20Modern%20LNG%20Carriers.pdf](file:///C:/Users/user/Downloads/[25452843%20-%20New%20Trends%20in%20Production%20Engineering]%20Alternative%20Propulsion%20Plants%20for%20Modern%20LNG%20Carriers.pdf)

Αρχίζει νέα εποχή για το LNG ως καύσιμο στην «πράσινη»

ναυτιλία <https://m.naftemporiki.gr/story/1505881/arxizei-nea-epoxi-gia-to-lng-os-kausimo-stin-prasini-nautilia>

Ποια πλοία επιλέγουν ως καύσιμο LNG

<https://www.naftikachronika.gr/2019/06/12/poia-ploia-epilegoun-os-kafsimo-lng/>

2018 Αλεξόπουλος Χριστόφορος & Φώτης Αθανάσιος Διπλωματική Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο : Διερεύνηση θεμάτων ενεργειακής ασφάλειας φυσικού αερίου στην Ευρώπη

2015 ΓΕΩΡΓΙΑΔΗΣ ΙΩΑΝΝΗΣ ΑΚΑΔΗΜΙΑ ΕΜΠΟΡΙΚΟΥ ΝΑΥΤΙΚΟΥ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΤΗΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ Περιγραφή πλοίου με LNG και ηλεκτροπρόωση, καταγραφή ιδιαιτεροτήτων στον σχεδιασμό

<https://maredu.gunet.gr/modules/document/file.php/MAK178/%CE%97%CE%BB%CE%B5%CE%BA%CF%84%CF%81%CE%B9%CE%BA%CE%AD%CF%82%20%CE%9C%CE%B7%CF%87%CE%B1%CE%BD%CE%AD%CF%82%CE%A0%CE%B5%CF%81%CE%B9%CE%B3%CF%81%CE%B1%CF%86%CE%AE%20%CF%80%CE%BB%CE%BF%CE%AF%CE%BF%CF%85%20%CE%BC%CE%B5%20LNG%20%CE%BA%CE%B1%CE%B9%20%CE%B7%CE%BB%CE%B5%CE%BA%CF%84%CF%81%CE%BF%CF%80%CF%81%CF%8C%CF%89%CF%83%CE%B7.pdf>

Η χρήση LNG ως Ναυτιλιακό Καύσιμο: Περιβαλλοντικές Προκλήσεις και Προοπτικές <https://www.elint.org.gr/lectures/the-lng-as-a-maritime-fuel-environmental-challenges-and-perspectives/>

Η χρήση LNG ως καύσιμον στα πλοία μπορεί να διαμορφώσει το μέλλον της ναυτιλίας

<http://www.naftikachronika.gr/2016/10/24/i-chrisi-lng-os-kafsimou-sta-ploia-borei-na-diamorfosei-to-mellon-tis-naftilias/>

Poseidon Med II : Η Ναυτιλία στην εποχή του LNG <https://portnet.gr/main-article/22650-poseidon-med-ii-h-naftilia-stin-epoch-tou-lng.html>

Dual fuel engine development and design

<http://www.kmtp.lt/old/uploads/Renginiai/Klaipeda%20LNG%20Forum%202011%2006%2016/Dual%20fuel%20engine%20development%20and%20design.pdf>

<https://www.intechopen.com/books/propulsion-systems/options-and-evaluations-on-propulsion-systems-of-lng-carriers>

«Γκρεμίζεται» το πετρέλαιο λόγω κορωνοϊού - Συμφωνία στον OPEC+ για μείωση της παραγωγής Πηγή: [www.lifo.gr](http://www.lifo.gr)

<https://www.lifo.gr/now/world/278182/gkremizetai-to-petrelaio-logo-koronoioy-symfonia-ston-opec-gia-meiosis-paragogis>

Διακύμανση τιμής πετρελαίου σε βάθος 10ετίας έως το 2020 Πηγή: <https://gr.investing.com/commodities/crude-oil-streaming-chart>

Uptake of LNG as a fuel for shipping <https://www.dnvgl.com/article/uptake-of-lng-as-a-fuel-for-shipping-104195>

LNG World News. (2010) STX Finland and Viking Line sign agreement for cruise ferry. Retrieved December 15, 2011 from «Archived copy». Αρχειοθετήθηκε από το πρωτότυπο στις 14 Ιανουαρίου 2012. Ανακτήθηκε στις 18 Δεκεμβρίου 2011. Wärtsilä. (2011) Wärtsilä dual-fuel power plants. <https://www.offshore-energy.biz/stx-finland-and-viking-line-sign-agreement-for-cruise-ferry/>

Στατιστική SPSS <https://en.wikipedia.org/wiki/SPSS>

MATLAB (matrix laboratory) είναι ένα περιβάλλον αριθμητικής υπολογιστικής και μια προγραμματιστική γλώσσα τέταρτης γενιάς. Αποθηκεύει και κάνει τις πράξεις με βάση την άλγεβρα μητρών

<https://el.wikipedia.org/wiki/MATLAB>

Νευρωνικά Δίκτυα και Εφαρμογές

[https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%9D%CE%B5%CF%85%CF%81%CF%89%CE%BD%CE%B9%CE%BA%CF%8C\\_%CE%B4%CE%AF%CE%BA%CF%84%CF%85%CE%BF](https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%9D%CE%B5%CF%85%CF%81%CF%89%CE%BD%CE%B9%CE%BA%CF%8C_%CE%B4%CE%AF%CE%BA%CF%84%CF%85%CE%BF)

<http://statsoft.com/textbook/neural-networks/>

Γενετικός Αλγόριθμος [https://en.wikipedia.org/wiki/Genetic\\_algorithm](https://en.wikipedia.org/wiki/Genetic_algorithm)

International Journal of Green Energy 2018 <https://www.tandfonline.com/toc/ljge20/16/12>

### **Βιβλία**

Çay Y, Korkmaz I, Çiçek A, Kara F (2013) Prediction of engine performance and exhaust emissions for gasoline and methanol using artificial neural network. *Energy* 50:177–186. doi:[10.1016/j.energy.2012.10.052](https://doi.org/10.1016/j.energy.2012.10.052)

*Prediction of Full-Scale Propulsion Power using Artificial Neural Networks* Benjamin Pjedsted Pedersen, FORCE Technology, TU of Denmark, [bpp@force.dk](mailto:bpp@force.dk) Jan Larsen, Technical University of Denmark,

DTU toolbox (2002), *Neural regressor with quadratic cost function*, <http://isp.imm.dtu.dk/toolbox> LARSEN, J. (1993), *Design of neural network filters*, PhD thesis, Technical University of Denmark.

FORCE (2008), *SeaTrend® info sheet*,

[http://www.force.dk/en/Menu/Products+and+Concepts/Products/080220\\_seatrend.htm](http://www.force.dk/en/Menu/Products+and+Concepts/Products/080220_seatrend.htm)

Haykin, S. (1999) *Neural Networks: A Comprehensive Foundation*, Prentice Hall, ISBN 0-13-273350-1

Διαμαντάρας, Κ. (2007) *Τεχνητά Νευρωνικά Δίκτυα*, Κλειδάριθμος, ISBN 9604610805

Ματσατσίνης Ν., *Συστήματα Υποστήριξης Αποφάσεων*, Εκδόσεις Νέων Τεχνολογιών, 2010

*Fuel Consumption Optimization using Neural Networks and Genetic Algorithms* (Kevin Simões Spencer

*Dissertation for the Degree of Master of Aerospace Engineering* Lisbon Institute 2011

## **INDEX**

**(DF)**Dual Fuel =Διπλού Καυσίμου

**(HFO)** Heavy fuel oils = Βαρέα Καύσιμα

**(MEK)** =Μηχανές Εσωτερικής Καύσης

**(VLCCs )** Very large and ultra-large crude carriers =Πολύ μεγάλοι και εξαιρετικά μεγάλοι μεταφορείς αργού πετρελαιο

**EEDI** (Energy Efficiency Design Index=Δείκτης σχεδιασμού ενεργειακής απόδοσης

**SEEMP** (Ship Energy Efficiency Management Plan)=Σχέδιο διαχείρισης ενεργειακής απόδοσης πλοίου

**MBM** (Market Based Measures)=Μέτρα βάσει αγοράς

**(GHG)** greenhouse gas = εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου

**(SOx)** (low sulphur fuel)= Οξειδία του θείου

**(NOx)** =οξειδία του αζώτου

**(CO2)**=διοξειδίου του άνθρακα

**(GWP)** Global warming potential =Το δυναμικό υπερθέρμανσης του πλανήτη είναι ένα μέτρο του πόσο θερμότητα παγιδεύει ένα αέριο θερμοκηπίου στην ατμόσφαιρα έως ένα συγκεκριμένο χρονικό ορίζοντα, σε σχέση με τον άνθρακα

**(FES** Functional electrical stimulation) =είναι μια τεχνική που χρησιμοποιεί ηλεκτρικούς παλμούς χαμηλής ενέργειας για να δημιουργήσει τεχνητά κινήσεις

**(AI)** Artificial Intelligence = Τεχνητη Νοημοσυνη

**(GA)** Genetic Algorithm= Γενετικός αλγόριθμος

**(CHAID)**Chi-square Automatic Interaction Detector =Το CHAID είναι ένα εργαλείο που χρησιμοποιείται για να ανακαλύψει τη σχέση μεταξύ των μεταβλητών

**(ANFIS)** Adaptive network-based fuzzy inference system = Ένα προσαρμοστικό σύστημα νευρο-ασαφών συμπερασμάτων

**( MLR )**Multilinear regression -Πολυπαραγοντική γραμμική παλινδρόμηση



**(ANN)** Artificial neural networks =Τα τεχνητά νευρικά δίκτυα

**(IMO)**International Maritime Organization= Διεθνής Οργανισμός Ναυτιλίας

## **Κανονισμοί**

**(Tier II &III standards)**= Τα πρότυπα εκπομπών IMO αναφέρονται συνήθως ως πρότυπα Tier I ... III. Τα πρότυπα Tier I καθορίστηκαν στην έκδοση του παραρτήματος VI του 1997, ενώ τα πρότυπα Tier II / III εισήχθησαν με τροποποιήσεις του παραρτήματος VI που εγκρίθηκαν το 2008

**SOLAS** =Η Διεθνής Σύμβαση για την Ασφάλεια της Ανθρώπινης Ζωής στη Θάλασσα (SOLAS 1974) είναι η πιο σημαντική σχετικά με τη ναυτιλιακή ασφάλεια.

**MARPOL**=Η Διεθνής Σύμβαση για την πρόληψη της Ρύπανσης από πλοία (MARPOL 1973/78) είναι η κύρια διεθνής σύμβαση που αφορά την πρόληψη της ρύπανσης του θαλάσσιου περιβάλλοντος από πλοία λόγω της λειτουργίας τους ή λόγω ναυτικών ατυχημάτων.

**Διεθνή Κώδικα καυσίμου φυσικού αερίου (IGF)** =Ένας νέος κώδικας ο “Διεθνής Κώδικας για τα πλοία που χρησιμοποιούν αέριο (κυρίως LNG) και άλλα καύσιμα με χαμηλό σημείο ανάφλεξης” – (IGF code) παρέχοντας ένα σαφές νομοθετικό πλαίσιο για τα πλοία ώστε να εγκαταστήσουν συστήματα καυσίμου LNG.

**Resolution MSC.285(86)/2009**= ΕΝΔΙΑΜΕΣΕΣ ΚΑΤΕΥΘΥΝΤΗΡΙΕΣ ΓΡΑΜΜΕΣ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ ΓΙΑ ΦΥΣΙΚΟ ΚΙΝΗΤΗΡΑ ΑΕΡΙΟ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΣΕ ΠΛΟΙΑ

## Παραρτήματα / Index

Γράφημα 1. Διακύμανση τιμής πετρελαίου σε βάθος 10ετίας εως το 2020.....	8
Σχήμα 2. Χωρες που λειτουργουν πλοια καυσης LNG.....	10
Σχήμα 3: Παγκοσμιος χαρτης με υποδομές ανεφοδιασμού LNG καυσιμου.....	11
Σχημα 4. Χειρισμός αερίου Boil-Off στα πλοία που τροφοδοτούνται με ΥΦΑ.....	14
Σχέδιο 5: Μεταβλητές που επηρεάζουν την απόδοση πρόωσης .....	15
Σχέδιο 6: Οι δυο τύποι LNG Moss Και Membrane % διεθνώς 2005-2010.....	16
Σχήμα 7: Υπάρχοντα πλοία LNG και παραγγελίες Πηγή: LNG propulsion alternatives.....	17
Εικόνα 6: Τυποι συστηματος Προωσης LNG (1969-2016).....	18
Σχέδιο 7. Τετράχρονη DFDE μηχανής σε σειρά .....	19
Φωτο 8 : Μηχανοστάσιο πλοίου τετράχρονης DFDE μηχανής σε σειρά .....	20
Σχήμα 9: Διαδικασία καύσης στον κινητήρα διπλού καυσίμου).....	21
Εικ.10 Μηχανή LNG Rolls Royce & Wartsila.....	22-23
Εικ.11 Μηχανή Διπλού καυσίμου για πλοία LNG .....	23
Εικόνα 12 Σχεδίαση κινητήρα DF wartsila . πηγή: Klaipeda LNG Forum .....	24
Σχήμα 13: Συνδεσμολογία μηχανής DF (Διπλού Καυσίμου) .....	24
Σχήμα 14 Εγκατασταση Μηχανης LNG .....	25
Εικόνα15 : Ισοζύγιο Φυσικού Αερίου στην Ευρώπη σύμφωνα με το New Policies .....	26.
Εικ. 16. Το δυναμικό υπερθέρμανσης του πλανήτη (GWP) Συγκριση LNG vs Ανθρακα.....	29
Σχήμα 17 : Οι λειτουργίες σε έναν κόμβο ενός νευρωνικού δικτυου .....	30
Σχήμα 18 : Οι λειτουργίες σε έναν κόμβο ενός νευρωνικού δικτυου .....	33
Σχημα 19: Βασικός Κύκλος Εξέλιξης .....	36
Εικ.20: Cruise ship on the Yangtze River.....	40
Σχήμα 21 : Ταξινόμηση των συστημάτων πρόωσης ανάλογα με το σκοπό του Boil-off.....	42

Σχήμα 22: Συστήματα Πρόωσης με βάση το καύσιμο που χρησιμοποιείται.....	43
Σχήμα 23 :DFGE (ηλεκτρική πρόωση αεριοστροβίλων διπλού καυσίμου.....	43
ΠΙΝΑΚΑΣ 24.. ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ ΠΡΟΒΛΕΨΗΣ.....	44
ΠΙΝΑΚΑΣ 25 . ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΩΝ ΑΝΕΞΑΡΤΗΤΩΝ ΜΕΤΑΒΛΗΤΩΝ ΝΕΥΡΙΚΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ..	44
Σχήμα 26 : Δομή Νευρωνικών Δικτυών APPLICATION IN PERFORMANCE OF ENGINE WIN GD XDF-72.....	45
Το Σχ. 27. Διάγραμμα ροής του σχήματος βελτιστοποίησης βάσει συνδυασμένου αλγορίθμου MVLR / GA.....	46
Σχήμα 28 . Διάγραμμα αιτίας και αποτελέσματος για επαγγελματικό κίνδυνο.....	47
Πίνακας 29: Επικίνδυνες ενέργειες που εμπλέκονται στο περιστατικό.....	48
Σχ.30 Προτεινόμενο ANN για την πρόβλεψη της απόδοσης του βενζινοκινητήρα και των παραμέτρων εκπομπών.....	49
Σχ. 31. Σχηματική προβολή των εξοπλισμών δοκιμής.....	49
Εικ. 32. Απόδοση προτεινόμενης διαμόρφωσης νευρικού δικτύου.....	51
Σχ. 33. Ειδική πρόβλεψη κατανάλωσης καυσίμου από νευρωνικό δίκτυο.....	51
Εικ. 34. Θερμοκρασία εξάτμισης από νευρωνικό δίκτυο κατά την περίοδο προπόνησης....	52.
Εικ35 . Μεθοδολογία για την ανάπτυξη συστήματος απόκτησης δεδομένων .....	56
Εικ 36. Ο ψηφιακός στόλος του αύριο .....	57
Σχήμα 37-Ακολουθία νευρωνικών δικτύων.....	58
Σχήμα 38: Διαδικασία Αλγόριθμου .....	59
Εικόνα 39 : εντολής MATLAB/Παράδειγμα Εκπαίδευσης με Σύστημα Ασαφών Συμπληρώσεων με χρήση του ANFIS.....	62
Εικόνα 40: Απόδοση Κινητήρα 9L50DF στην ιστοσελίδα Wartsila.....	63
Εικόνα 41.: Απόδοση Κινητήρα 9L50DF σε πραγματικό χρόνο (Μια εκ των 56 μετρήσεων του LNG Κινητήρα 9L50DF Wartsila .....	64