



Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο  
Σχολή Ναυπηγών Μηχανολόγων Μηχανικών  
Τομέας Ναυτικής Μηχανολογίας

Διπλωματική εργασία:  
«Θέματα ηλεκτρισμού σε πλοία και λιμένες»

Χριστόφορος Λευκίου  
Επιβλέπων: Ιωάννης Προυσαλίδης

# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1.	ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	5
1.1	Υπόβαθρο της Μελέτης .....	5
1.2	Περιγραφή της Μελέτης.....	6
2.	ΜΗΧΑΝΕΣ ΕΣΩΤΕΡΙΚΗΣ ΚΑΥΣΗΣ.....	9
2.1	Αρχή Λειτουργίας.....	9
2.2	Πετρέλαιο .....	14
2.3	Ναυτικά Καύσιμα.....	15
2.4	Διαδικασία της Καύσης σε κινητήρες Diesel .....	18
2.5	Προβλήματα κινητήρων λόγω καυσίμων .....	19
3.	ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΚΑΙ ΑΝΘΡΩΠΟΣ .....	22
3.1	Ατμοσφαιρική Ρύπανση.....	22
3.2	Επιπτώσεις καυσαερίων στην υγεία.....	27
4.	ΜΠΑΤΑΡΙΕΣ .....	31
4.1	Βολταϊκή στήλη.....	31
4.2	Αρχή Λειτουργίας.....	33
4.3	Κύρια Χαρακτηριστικά Κελιών.....	36
4.4	Τύποι Μπαταριών.....	37
4.5	Μπαταρίες σε ναυπηγικές εφαρμογές.....	44
5.	PROJECTS ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΠΛΟΙΩΝ .....	48
5.1	E-Ferry project - Ellen.....	48
5.2	Tr.AM project – Kolombus .....	51
5.3	YARA BIRKELAND .....	52
5.4	Zero Emission Ferries a green link across the Öresund - Tycho Brahe & Aurora .....	55
6.	ΗΛΕΚΤΡΟΚΙΝΗΤΗΡΕΣ.....	59
6.1	Αρχή Λειτουργίας.....	59
6.2	Κατηγοριοποίηση Ηλεκτροκινητήρων .....	65
6.3	Ηλεκτροκινητήρες σε εφαρμογές ηλεκτροπρόωσης.....	66
6.4	Επιλογή Ηλεκτροκινητήρα για AES .....	67
7.	ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΕΞΗΛΕΚΤΡΙΣΜΟΥ Ε/Γ-Ο/Γ ΠΛΟΙΟΥ.....	69
7.1	Προϋποθέσεις υποψήφιου πλοίου για μετασκευή .....	69
7.2	Ανάλυση Δεδομένων .....	71
7.3	Νομικό Πλαίσιο.....	73
7.4	Σύστημα μπαταριών .....	75

7.5	Ενεργειακές απαιτήσεις.....	78
7.6	Επιλογή και διαρρύθμιση χώρου τοποθέτησης του συστήματος μπαταριών.....	78
7.7	Απαιτούμενο σύστημα διασύνδεσης ξηράς.....	80
8.	COLD IRONING .....	84
8.1	Μετασηματιστής .....	85
8.2	Διακόπτης .....	87
8.3	Καλώδια .....	88
8.4	Σημεία υποδοχής καλωδίων.....	88
8.5	Τρόποι σύνδεσης πλοίου - ξηράς .....	89
8.6	Εξοπλισμός πλοίου .....	92
8.7	Ανάγκες Ισχύος .....	94
9.	ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΔΙΑΔΡΑΣΤΙΚΟΥ ΧΑΡΤΗ .....	95
9.1	Δομή και επεξήγηση κώδικα .....	96
	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	107
	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	109

# ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κύριο Ιωάννη Προυσαλίδη που αρχικά με εμπιστεύτηκε και μετέπειτα καθ' όλη την διάρκεια της εκπόνησης της εργασίας στάθηκε αρωγός στην προσπάθειά μου. Οι συμβουλές του ήταν κατατοπιστικές, πάντα ήταν ευγενικός και η προθυμία σε συνδυασμό με τις γνώσεις του ήταν καταλυτικός παράγοντας για το τελικό αποτέλεσμα, ιδιαίτερα στο πρακτικό κομμάτι της μελέτης.

Επίσης, θέλω να εκφράσω τις ευχαριστίες μου στους δύο μου γονείς, Λεύκιο και Έλενα για όλα όσα μου πρόσφεραν όλα αυτά τα χρόνια, όχι μόνο των σπουδών μου, αλλά όλης μου της ζωής, καθώς μου πρόσφεραν με το παραπάνω ότι ήταν απαραίτητο σε υλικό αλλά κυρίως σε πνευματικό επίπεδο. Οι ευχαριστίες και ευγνωμοσύνη μου εκτείνεται και στα άλλα δύο μέλη της οικογενείας μου, τα δύο μου αδέρφια, Μιχάλη και Μαρία Νεφέλη. Ο αδερφός μου τυγχάνει να σπουδάζει και αυτός στην Σχολή Ναυπηγών Μηχανολόγων Μηχανικών του ΕΜΠ, και πέραν των αδερφικών δεσμών, αναπτύχθηκε σε όλα αυτά τα χρόνια μια συναδερφική αλληλεγγύη η οποία ήταν πολύ βοηθητική κατά την διάρκεια των σπουδών μου.

# 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

## 1.1 Υπόβαθρο της Μελέτης

Η ναυτιλία, μέσω πρωτοβουλιών από τα κράτη και διεθνείς οργανισμούς, έχει ως στόχο ένα πιο πράσινο και περιβαλλοντικά βιώσιμο μέλλον. Ο στόχος αυτός δεν επινοήθηκε αυθαίρετα από κάποιον μεμονωμένο οργανισμό, αλλά αποτελεί επιτακτική ανάγκη μετά από χρόνια κατάχρηση των φυσικών πόρων του πλανήτη και καταστροφή του φυσικού περιβάλλοντος. Η χρήση των ορυκτών καυσίμων που κινούν τα πλοία και παράγουν την απαραίτητη ηλεκτρική ενέργεια για λειτουργία τους αποδείχτηκε εξαιρετικά επιβλαβής για το κλίμα της Γης.

Η ανάγκη για αλλαγές στην παρούσα περιβαλλοντική κατάσταση αποτελεί καθήκον του κάθε ενσυνείδητου πολίτη και ιδιαίτερα του κάθε μηχανικού, αφού περεταίρω κακή διαχείριση σε αυτό τον τομέα αποτελεί ταφόπλακα στο μέλλον του πλανήτη και της ανθρωπότητας.

Η παρούσα μελέτη αποσκοπεί στην συμβολή της προσπάθειας περιορισμού της ρύπανσης του πλανήτη από τα καυσαέρια και παράλληλα στην αυτοματοποίηση του κλάδου της ναυτικής βιομηχανίας. Έτσι γίνεται μια θεωρητική μελέτη μετασκευής ενός συμβατικού πλοίου που κινείται και παράγει την ενέργειά του μέσω Μηχανών Εσωτερικής Καύσης. Επίσης δημιουργείται μέσω προγραμματισμού μια εφαρμογή η οποία παρουσιάζει τις ενεργειακές ανάγκες των λιμένων στην Ευρώπη.

Αν και στα πρώτα χρόνια ύπαρξής τους έγιναν προσπάθειες για ηλεκτροκίνητη πρόωση σκαφών, η όλη φιλοσοφία εγκαταλείφθηκε και επικράτησε η κίνηση με μηχανές εσωτερικής καύσης. Ωστόσο, η ανάγκη για πιο πράσινα πλοία προωθεί εδώ και κάποια χρόνια την επαναφορά, μελέτη και ανάπτυξη της τεχνολογίας ηλεκτροκίνητης πρόωσης.

Η ανθρωπότητα, κυρίως μέσω του Διεθνούς Οργανισμού Ναυτιλίας IMO, προσπαθεί να περιορίσει τις εκπομπές επικίνδυνων αερίων του θερμοκηπίου, οξειδίων του θείου, οξειδίων του αζώτου και σωματιδίων που παράγονται που συνδέονται με τα πλοία. Αυτές οι ουσίες έχουν μεγάλη συμβολή στην περιβαλλοντική ρύπανση και συνδέονται με την κλιματική αλλαγή. Όλα αυτά είναι παράγωγα της καύσης που γίνεται μέσα στις μηχανές diesel οι οποίες κινούν τα πλοία ή παράγουν ενέργεια.

Η ποιότητα της ζωής και η υγεία των πολιτών σε πόλεις με μεγάλα λιμάνια επηρεάζεται άμεσα από τις ρυπογόνες μηχανές εσωτερική καύσης. Ναι μεν υπάρχει οικονομική ανάπτυξη και θέσεις εργασίες σε πόλεις-λιμάνια, ωστόσο οι επιπτώσεις στην υγεία μπορεί να είναι πολυάριθμες εξαιτίας των αερίων που παράγουν τα πλοία. Σε συνδυασμό με την ήδη «βαριά» από τα αυτοκίνητα και μηχανοκίνητα οχήματα αστική ατμόσφαιρα, η αναγκαιότητα για περιορισμό αυτών των ουσιών είναι πιο μεγάλη σε παράκτιες πόλεις.

Ο άνθρωπος πρέπει να εφαρμόσει πιο οικολογικές πρακτικές, τόσο για περιβαλλοντικούς λόγους, όσο και για θέματα υγείας. Ήδη πολλές εταιρίες σε όλους τους τομείς έχουν στραφεί προς αυτή την κατεύθυνση και η ναυτιλία δεν αποτελεί εξαίρεση. Ευφάνταστες πρακτικές όπως η υποβοηθούμενη πρόωση με περιστρεφόμενους κυλίνδρους (rotorsails) που εκμεταλλεύονται το φαινόμενο Magnus καθώς και η τεχνολογία Hull Air Lubrication που δημιουργεί ένα στρώμα αέρα στον πυθμένα της γάστρας μειώνοντας έτσι την αντίσταση τριβής, ακολουθούν την πορεία προς πιο πράσινες πρακτικές στη ναυπηγική. Όμως τέτοιες εφαρμογές απλά μειώνουν την κατανάλωση καυσίμου και δεν λύνουν καθολικά το πρόβλημα.

Η αποκλειστική ηλεκτροκίνηση πλοίων αποτελεί μία ελκυστική λύση σε πολλά από τα περιβαλλοντικά προβλήματα και επιπτώσεις της υγείας. Οι ηλεκτροκινητήρες παράγουν έργο χωρίς την παράλληλη εκπομπή βλαβερών για την υγεία και το περιβάλλον ουσιών. Ήδη υπάρχουν πλοία που χρησιμοποιούν υβριδικά συστήματα, δηλαδή συνδυασμό diesel και ηλεκτροκινητήρα για την πρόωση τους, μειώνοντας έτσι τις εκπομπές ρύπων. Σε πιο μικρό βαθμό υπάρχουν και σκάφη που χρησιμοποιούν αποκλειστικά ηλεκτροκινητήρες. Ωστόσο αυτή η πρακτική περιορίζεται κυρίως σε οχηματαγωγά – επιβατηγά πλοία μικρών ακτοπλοϊκών γραμμών.

Τα στοιχεία δείχνουν ότι τα ηλεκτροκίνητα πλοία έχουν ένα πολλά υποσχόμενο μέλλον. Για την πρακτική εφαρμογή της ηλεκτροκίνησης απαιτείται παράλληλη βελτιστοποίηση άλλων τεχνολογιών, όπως οι μπαταρίες και η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Η ανάπτυξη των απαραίτητων τεχνολογιών παρουσιάζει αλματώδη ανάπτυξη και καθιστά την επίτευξη της αποκλειστικής ηλεκτροκίνησης πλοίων την πιο εφικτή πράσινη λύση.

Η μεταστροφή από την dieseloκίνηση στην ηλεκτροκίνηση απαιτεί και τεράστιους οικονομικούς πόρους. Πέραν από τα κεφάλαια που απαιτούνται για ανάπτυξη και εξέλιξη των μπαταριών και των ίδιων των κινητήρων, χρειάζονται μεγάλα ποσά για μετατροπή υφιστάμενων σκαφών σε αποκλειστικά ηλεκτρικά ή υβριδικά καθώς και για την αγορά νέων ηλεκτρικών-υβριδικών πλοίων. Βέβαια αυτά τα κεφάλαια πρέπει να εκλαμβάνονται ως επένδυση, όχι μόνο οικονομική, αλλά και για ένα καλύτερο και πιο πράσινο αύριο.

Πέραν από την κίνηση των πλοίων, η ενέργεια που χρησιμοποιείται από αυτά στους λιμένες αποτελεί σοβαρό πρόβλημα στις τοπικές κοινωνίες, αφού οι βοηθητικές γεννήτριες χρησιμοποιούν ορυκτά καύσιμα για την παραγωγή ηλεκτρισμού. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την επιβάρυνση του ήδη ρυπασμένου περιβάλλοντος στις περιοχές όπου υπάρχουν λιμάνια. Τεχνολογίες όπως το Cold Ironing, δηλαδή την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών του πλοίου στα λιμάνια μέσω του τοπικού δικτύου ηλεκτροδότησης, αναπτύσσονται σε πολλές περιοχές ανά τον κόσμο.

Για εγκατάσταση τέτοιων συστημάτων ηλεκτροδότησης των πλοίων από το τοπικό δίκτυο, είναι απαραίτητη η γνώση πολλών παραμέτρων έτσι ώστε η οποιαδήποτε επένδυση στα ανάλογα συστήματα να είναι χαμηλού ρίσκου. Προγράμματα όπως το ELEMED, που αποτελεί πρωτοβουλία της Ευρωπαϊκής Ένωσης, συμβάλουν στην ανάπτυξη των απαιτούμενων γνώσεων για το μέλλον τέτοιων συστημάτων.

Η αλλαγή δεν θα γίνει εν μια νυκτί. Άλλωστε όλες οι τεχνολογίες που ζούμε χρειάστηκαν κάποια χρόνια για να αντικαταστήσουν τις προηγούμενες και η ηλεκτρική πρόωση πλοίων δεν αποτελεί εξαίρεση. Οι ενδείξεις όμως είναι θετικές και με μερικές απαραίτητες παροτρύνσεις από τους κατάλληλους οργανισμούς μπορούν φέρουν ένα χρονικό βήμα πιο κοντά αυτή την αλλαγή.

## 1.2 Περιγραφή της Μελέτης

Η μελέτη αυτή χωρίζεται σε δύο μέρη:

- **ΜΕΡΟΣ Α:** 'Τεχνική Μελέτη και Ανάπτυξη Μεθοδολογίας Εξηλεκτρισμού Οχηματαγωγών Πλοίων'
- **ΜΕΡΟΣ Β:** 'Κατασκευή Διαδραστικού Χάρτη με δεδομένα Εκπομπών Ρύπων και Ανάγκες Ηλεκτρικής Ισχύος στους λιμένες της Ευρώπης σε γλώσσα Python'

Στο **Α΄ ΜΕΡΟΣ**, η μελέτη επικεντρώνεται στην ηλεκτρική πρόωση Ε/Γ -Ο/Γ πλοίων σε ακτοπλοϊκές συνδέσεις μικρών αποστάσεων και επομένως περιορισμένων ενεργειακών αναγκών.

Η μελέτη προέκυψε αφού προηγουμένως εκπονήθηκε εργασία οικονομοτεχνικής μελέτης στα πλαίσια του μαθήματος επιλογής του 8<sup>ου</sup> εξαμήνου «Στοιχεία Χρηματο-οικονομίας -Ειδικά θέματα ναυτιλιακών χρηματοδοτήσεων» σε συνεργασία με τον συνάδερφο Γιάννη Λαό. Εφόσον υπήρχε μικρή προηγούμενη πείρα από την οικονομοτεχνική εργασία αποφασίστηκε όπως προχωρήσει αυτό το project.

Το πρώτο μέρος παρουσιάζει τις σχεδιαστικές παραμέτρους που απαιτούνται για την μετατροπή ή ναυπήγηση ενός e-ferry (e από την αγγλική λέξη electric) και επικεντρώνεται στα τεχνικά χαρακτηριστικά που απαιτούνται για τον εξηλεκτρισμό ενός Ε/Γ-Ο/Γ πλοίου αφήνοντας σε δευτερεύουσα θέση την οικονομική πτυχή του θέματος.

Στο **Β΄ ΜΕΡΟΣ**, που αν και αποτελείται μόνο από δύο κεφάλαια, αναπτύσσεται σε γλώσσα Python ένας κώδικας που παράγει ένα διαδραστικό χάρτη με στοιχεία ανάγκης ισχύος και εκπομπών CO<sub>2</sub> στους λιμένες της Ευρώπης. Σε αυτό περιγράφονται τα scripts του κώδικα που αναπτύχθηκαν και παρουσιάζεται η μεθοδολογία έτσι ώστε το εγχείρημα να γίνει πράξη.

Ακολουθεί η δομή της μελέτης:

#### **ΜΕΡΟΣ Α:**

Στο Κεφάλαιο 2 γίνεται ανάλυση της λειτουργίας των Μηχανών Εσωτερικής Καύσης, του καυσίμου που χρησιμοποιούν και διάφορα προβλήματα της υφιστάμενης αυτής τεχνολογίας που χρησιμοποιείται στα συμβατικά πλοία.

Στο Κεφάλαιο 3 παρουσιάζονται οι επιπτώσεις της χρήσης των ορυκτών καυσίμων στην υγεία και στο περιβάλλον.

Στο Κεφάλαιο 4 γίνεται ανάλυση της τεχνολογίας των μπαταριών και συσχέτιση τους με τα σύγχρονα πλοία.

Στο Κεφάλαιο 5 παρουσιάζονται διάφορα projects ανά την Ευρώπη με μετασκευές και κατασκευές υβριδικών και All Electric Ships.

Στο Κεφάλαιο 6 γίνεται ανάλυση της τεχνολογίας των Ηλεκτροκινητήρων, η αρχή λειτουργίας τους και κριτήρια επιλογής του κατάλληλου ηλεκτροκινητήρα σε ηλεκτροπρωθούμενο σκάφος.

Στο Κεφάλαιο 7 αναπτύσσεται μια μεθοδολογία μετασκευής συμβατικού σε ηλεκτρικό σκάφος.

#### **ΜΕΡΟΣ Β:**

Στο Κεφάλαιο 8 γίνεται μια παρουσίαση του συστήματος σύνδεσης των πλοίων με το τοπικό δίκτυο της εκάστοτε περιοχής (Cold Ironing)

Στο Κεφάλαιο 9 περιγράφεται ο κώδικας και ο διαδραστικός χάρτης που αναπτύχθηκε για παρουσίαση του ενεργειακού και περιβαλλοντικού προφίλ των Ευρωπαϊκών Λιμένων.





# ΜΕΡΟΣ Α

## 2. ΜΗΧΑΝΕΣ ΕΣΩΤΕΡΙΚΗΣ ΚΑΥΣΗΣ

### 2.1 Αρχή Λειτουργίας

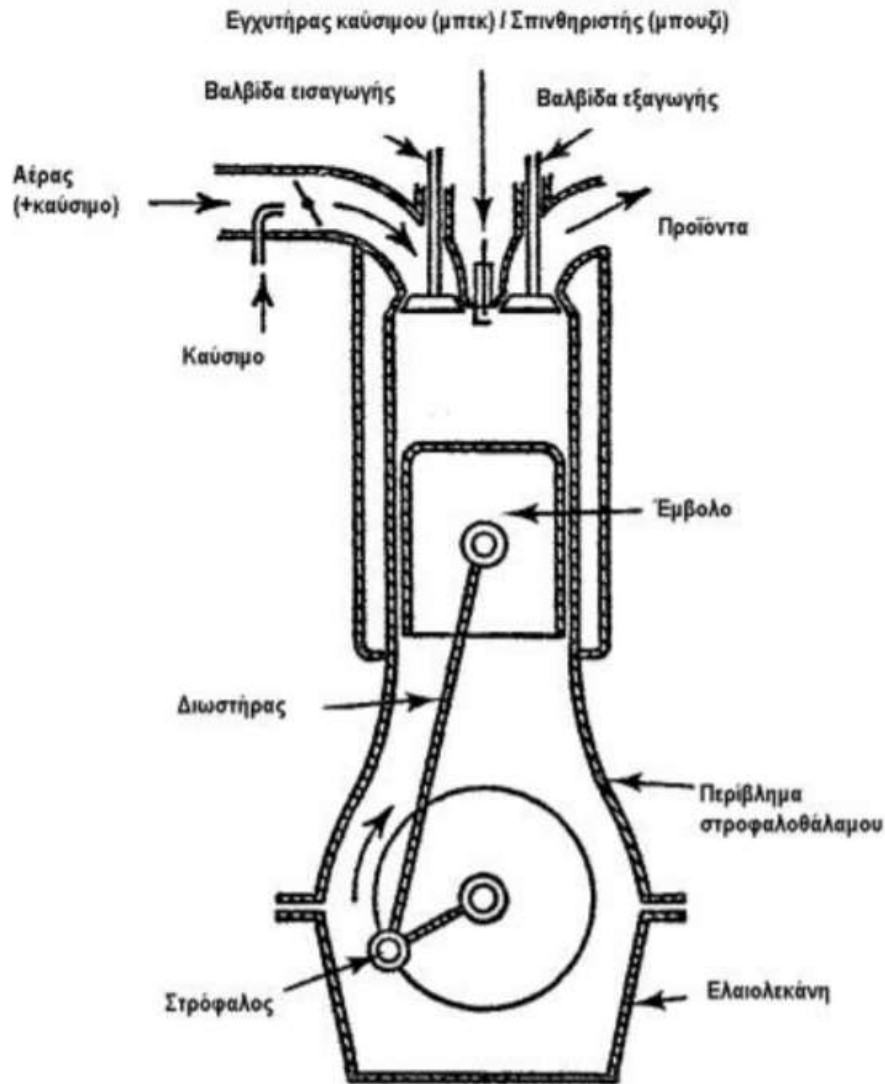
Απαραίτητη για την μετέπειτα επεξήγηση και σύγκριση με τους ηλεκτροκινητήρες, είναι η ανάλυση και παρουσίαση των μηχανών εσωτερικής καύσης, με επίκεντρο τις Μηχανές Diesel που κυριαρχούν στην ναυτιλία. Αυτή η κατηγορία μηχανών έχει καθιερωθεί να αναφέρονται με το αρκτικόλεξο ΜΕΚ.

Ως ΜΕΚ ορίζονται οι μηχανές στις οποίες η καύση γίνεται εντός του εσωτερικού σώματός της. Ο χώρος στον οποίο γίνεται η καύση ονομάζεται θάλαμος καύσης. Κυρίαρχες στην βιομηχανία είναι οι εμβολοφόρες, με την μεγαλύτερη χρήση να έχουν η Diesel και η Otto. Στις ναυτιλιακές μεταφορές τα ινία κατέχουν οι Diesel.

Ο κύριος διαχωρισμός Diesel – Otto γίνεται με βάση το καύσιμο που χρησιμοποιεί ο κάθε τύπος μηχανής. Ο Otto ή αλλιώς βενζινοκινητήρας χρησιμοποιεί βενζίνη ως καύσιμο, ενώ ο Diesel μια γκάμα πετρελαιοειδών. Διαφορετικό καύσιμο σημαίνει και διαφορετικό τρόπο ανάφλεξης. Στον βενζινοκινητήρα χρειάζεται σπινθήρας για έναρξη της καύσης, ενώ στον Diesel η διαδικασία της καύσης ξεκινά λόγω της αυξημένης πίεσης.

Υπάρχουν κάποια βασικά μέρη και εξαρτήματα μιας εμβολοφόρας ΜΕΚ, που χωρίς αυτά η λειτουργία της δεν θα ήταν δυνατή. Το μείγμα καυσίμου και αέρα εισέρχεται μέσω της βαλβίδας εισαγωγής. Το έμβολο συμπιέζει το μείγμα καυσίμου, σπρώχνει τα καυσαέρια προς την βαλβίδα εξαγωγής και κινείται γραμμικά μέσα σε ένα κύλινδρο δεχόμενο τις πιέσεις του καυσαερίου μετά την καύση. Η άνω επιφάνεια του εμβόλου και τα εσωτερικά τοιχώματα του κυλίνδρου ορίζουν τον θάλαμο καύσης. Το έμβολο φέρει ελατήρια στην περιμέτρή του που εξασφαλίζουν στεγανοποίηση και λίπανση της εσωτερικής πλευράς του κυλίνδρου (χιτώνιο). Ο διωστήρας είναι ένα εξάρτημα το οποίο παραλαμβάνει τις πιέσεις του εμβόλου και τις μεταδίδει στο στρόφαλο. Ο στροφαλοφόρος άξονας μετατρέπει την κίνηση του διωστήρα σε περιστροφική. Το καύσιμο μετά την καύση μετατρέπεται σε καυσαέριο, το οποίο εξέρχεται στην ατμόσφαιρα μέσω της βαλβίδας εξαγωγής. Το άνοιγμα και κλείσιμο των δύο βαλβίδων (εισαγωγής – εξαγωγής) γίνεται μέσω του εκκεντροφόρου άξονα, οποίος περιέχει έκκεντρα τα οποία ανοιγοκλείνουν τις βαλβίδες.

Ο συγχρονισμός ανοίγματος και κλεισίματος των έκκεντρων του εκκεντροφόρου γίνεται με βάση δύο σημεία: Το Άνω Νεκρό Σημείο (ΑΝΣ) το οποίο ορίζεται ως το σημείο στο οποίο το έμβολο βρίσκεται στην ανώτερη θέση μέσα στον θάλαμο καύσης και το Κάτω Νεκρό Σημείο (ΚΝΣ) στο οποίο το έμβολο βρίσκεται στην κατώτερη θέση μέσα στον θάλαμο καύσης. Όταν το έμβολο βρίσκεται στο ΑΝΣ, ο όγκος ελαχιστοποιείται δημιουργώντας συνθήκες υψηλής πίεσης, ενώ όταν βρίσκεται στο ΚΝΣ ο όγκος είναι ο μέγιστος δυνατός. Ο όγκος μεταξύ του ΑΝΣ και του ανώτερου τοιχώματος του κυλίνδρου ονομάζεται νεκρός όγκος. Η απόσταση μεταξύ του ΑΝΣ και του ΚΝΣ συμβολίζεται με το λατινικό γράμμα  $s$  στην διεθνή βιβλιογραφία. (βλέπε Σχήμα 2.2)



Σχήμα 2.1 Απλοποιημένη Διάταξη Εμβολοφόρας ΜΕΚ

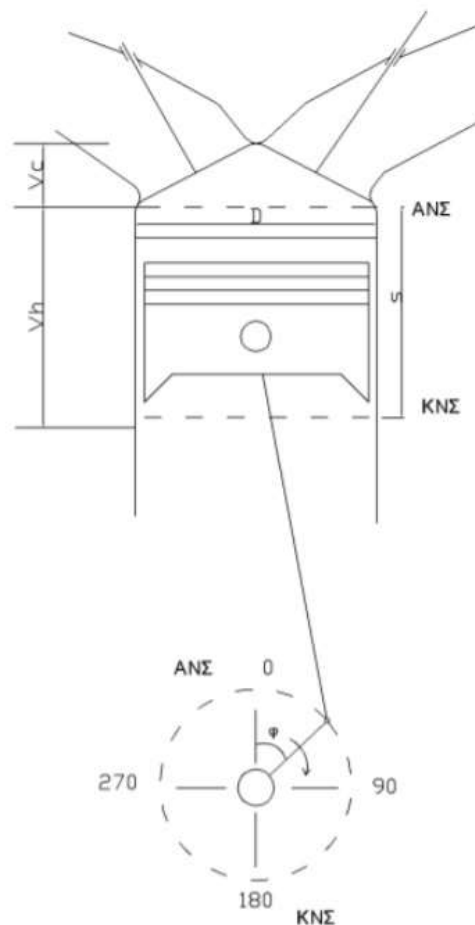
Αν και το έμβολο παλινδρομεί επιταχυνόμενο και επιβραδυνόμενο μέσα στον κύλινδρο, ο στροφαλοφόρος άξονα κινείται (κατά προσέγγιση) με σταθερή γωνιακή ταχύτητα. Η θέση του εμβόλου δίδεται συναρτήσει της «γωνίας στροφάλου»  $\phi$ , η οποία μετριέται σε μοίρες ενός πλήρους κύκλου  $360^\circ$  (βλέπε Εικόνα 2.2). Όταν η γωνία  $\phi$  είναι ίση με  $0^\circ$ , το έμβολο βρίσκεται στο ΑΝΣ, ενώ όταν ισούται με  $180^\circ$  βρίσκεται στο ΚΝΣ.

Ως «χρόνος» λειτουργίας ορίζεται η διαδρομή του εμβόλου απόστασης από το ΑΝΣ ως το ΚΝΣ (και το αντίθετο).

Οι εμβολοφόρες ΜΕΚ μετατρέπουν την χημική ενέργεια που βρίσκεται στο καύσιμο σε κινητική. Μετά την καύση, το έμβολο που βρίσκεται στον θάλαμο καύσης κινείται γραμμικά και με την βοήθεια του διωστήρα και ενός στροφαλοφόρου άξονα αυτή η κίνηση μετατρέπεται σε ωφέλιμη

περιστροφική. Για να πραγματοποιηθεί ένας πλήρης κύκλος λειτουργίας πρέπει λάβουν χώρα οι ακόλουθες 4 διεργασίες:

1. Εισαγωγή του καύσιμου μείγματος (καύσιμο + αέρας) στον θάλαμο καύσης από την βαλβίδα εισαγωγής.
2. Συμπίεση του μείγματος, με το έμβολο να κινείται από το ΚΝΣ προς το ΑΝΣ.
3. Εκτόνωση, η οποία συμβαίνει με την ανάφλεξη του μείγματος αέρα-καυσίμου. Η έναυση της καύσης ξεκινά λίγο πριν το έμβολο φτάσει το ΑΝΣ (συνήθως λίγες μοίρες πριν τις  $360^\circ$  με βάση την γωνία  $\phi$ ) και η εκτόνωση του μείγματος ωθεί το έμβολο προς το ΚΝΣ παράγοντας έτσι ωφέλιμο έργο. Εδώ αξίζει να υπενθυμιστεί ότι όταν ο κινητήρας είναι τύπου Otto, η έναρξη της ανάφλεξης ξεκινά με την δημιουργία σπινθήρα από έναν σπινθηριστή (μπουζί), ενώ στην περίπτωση του Diesel παρατηρείται το φαινόμενο της αυτανάφλεξης όταν η τιμή της πίεσης στον θάλαμο καύσης ξεπεράσει ένα όριο πίεσης αυτανάφλεξης του μείγματος.
4. Εξαγωγή των καυσαερίων από τον θάλαμο καύσης, με την βοήθεια του εμβόλου. Το έμβολο το οποίο βρίσκεται στο ΚΝΣ, λόγω αδράνειας του συστήματος με τον στροφαλοφόρο (ο οποίος συνδέεται και με άλλα έμβολα με μερικά από αυτά να βρίσκονται στη διαδικασία της εκτόνωσης περιστρέφοντας έτσι τον στροφαλοφόρο) αρχίζει να κινείται προς το ΑΝΣ, σπρώχνοντας έτσι τα αέρια στην ατμόσφαιρα μέσω της βαλβίδας εξαγωγής.



Σχήμα 2.2 ΑΝΣ, ΚΝΣ, διαδρομής, γωνία στροφάλου  $\phi$

Ένας κύριος διαχωρισμός των εμβολοφόρων MEK προκύπτει από τον αριθμό των χρόνων που χρειάζονται για την πραγματοποίηση των 4 απαραίτητων διεργασιών. Υπάρχουν έτσι δίχρονοι (2X) και τετράχρονοι (4X). Στους 4X κάθε διεργασία γίνεται ξεχωριστά, 1 σε κάθε χρόνο, ενώ στους 2X το τέλος της καύσης-εκτόνωσης και η έναρξη της συμπίεσης συμβαίνουν ταυτόχρονα, με τις διεργασίες εισαγωγής μείγματος αέρα και εξαγωγής καυσαερίων να λαμβάνουν χώρα την ίδια ώρα. Έτσι για ολοκλήρωση ενός κύκλου διεργασιών ένας 2X χρειάζεται 1 πλήρη περιστροφή του στροφαλοφόρου, ενώ ένας 4X χρειάζεται 2 πλήρεις στροφές του στροφαλοφόρου. Μερικές διατάξεις (π.χ Griffin 6-stroke, Dyer 6-stroke, Bajulaz 6-stroke) χρειάζονται 6 χρόνους, ωστόσο στην πράξη η συντριπτική πλειοψηφία των κινητήρων λειτουργούν σε 2 ή 4 χρόνους.

Πρέπει να σημειωθεί ότι στους δίχρονους κινητήρες αντί βαλβίδων μπορούν να χρησιμοποιηθούν θυρίδες, που αποκαλύπτονται με την κίνηση του εμβόλου και επιτρέπουν έτσι την είσοδο του μείγματος (θυρίδες εισαγωγής) και την έξοδο των καυσαερίων (θυρίδες εξαγωγής). Για να συμβεί αυτό αναγκαστικά πρέπει η πίεση στην θυρίδα εισόδου να είναι μεγαλύτερη από την πίεση στην θυρίδα εξόδου.

Έστω δύο όμοιοι κινητήρες, με ίσο όγκο καύσης, ένας 2X και ένας 4X, που κινούνται στις ίδιες στροφές, έχουν άρα ίδια γωνιακή ταχύτητα στροφάλου. Θεωρητικά ο 2X θα έπρεπε να παράγει διπλάσια ισχύ από τον 4X επειδή σε ίδιο χρόνο (ίδια γωνιακή ταχύτητα εφόσον κινούνται στις ίδιες στροφές) θα εκτελούσε διπλάσιους κύκλους από τον 4X. Ωστόσο αυτό δεν συμβαίνει λόγω του χώρου που χρησιμοποιείται για απόπλυση στον 2X. Κατά την κίνηση του εμβόλου από το ΑΝΣ προς το ΚΝΣ, πρώτα αποκαλύπτονται οι θυρίδες εξαγωγής (ή ανοίγουν βαλβίδες) για διοχέτευση του καυσαερίου στην ατμόσφαιρα και στην συνέχεια αποκαλύπτονται οι θυρίδες (ή ανοίγουν βαλβίδες) εισαγωγής βοηθώντας στην απόπλυση του κυλίνδρου από τα καυσαέρια και την πλήρωση του κυλίνδρου με νέα ποσότητα εργαζόμενου μέσου. Η διάταξη του κινητήρα (έμβολο και θέση θυρίδων) είναι διαμορφωμένη ώστε το να αποκλείεται η μεταφορά του μείγματος από την εισαγωγή στην εξαγωγή με ταυτόχρονη ώθηση του καυσαερίου προς την έξοδο με την βοήθεια του νέου εργαζόμενου μέσου. Η διαδικασία κατά την οποία το καυσαέριο εξέρχεται στην ατμόσφαιρα με ταυτόχρονη είσοδο νέου μείγματος έτοιμο για καύση ονομάζεται απόπλυση. Για να συμβεί η απόπλυση χρειάζεται κάποιος χρόνος και χώρος, μειώνοντας έτσι τον διαθέσιμο όγκο για συμπίεση. Μειωμένος όγκος σημαίνει μειωμένο έργο W αφού για κάθε κύλινδρο ισχύει:

$$W_i = \oint p dV \text{ όπου } p = \text{πίεση σε ένα κύλινδρο και } V = \text{όγκος}$$

Πρακτικά το έργο κάθε κυλίνδρου προκύπτει από το εμβαδόν του διαγράμματος p-V (βλέπε σχήμα 2.1)

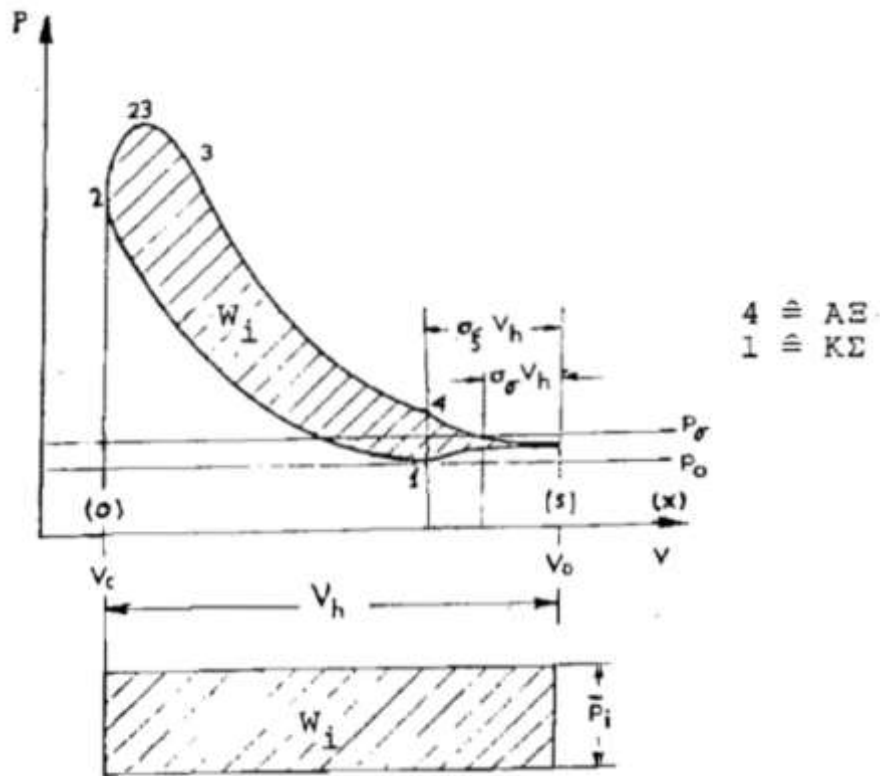
Μειωμένο έργο σημαίνει μειωμένη ισχύς κινητήρα P αφού:

$$P_i = z * W_i * \frac{n}{30K} \text{ όπου } z = \text{αριθμός κυλίνδρων, } n = \text{αριθμός στροφών ανά λεπτό και } K = \begin{cases} 2 \text{ για } 2X \\ 4 \text{ για } 4X \end{cases}$$

Ο δείκτης i αναφέρεται στα ενδεικνύμενα μεγέθη, δεν λαμβάνονται δηλαδή υπόψιν στις μετρήσεις οι απώλειες πίεσης και ισχύος λόγω τριβών που λαμβάνουν χώρα κατά την διάρκεια κίνησης των κινούμενων μερών της MEK.

Έτσι συμπεραίνεται ότι η ισχύς που παράγει ένας 2X κινητήρας δεν είναι διπλάσια από έναν όμοιο 4X κινητήρα, αλλά λιγότερη λόγω του όγκου που χάνεται στην διαδικασία της απόπλυσης του πρώτου. Στην πράξη ο λόγος ισχύος δύο όμοιων κινητήρων  $\frac{2X}{4X}$  είναι περίπου 1.4-1.6. Αυτό καθιστά

τους 2X κινητήρες πιο ρυπογόνους από τους 4X, ωστόσο για εφαρμογές όπου υπάρχει μεγάλη απαίτηση ισχύος με ταυτόχρονο περιορισμό χώρου, οι 2X πλεονεκτούν έναντι των 4X.



Σχήμα 2.3 Διάγραμμα p-V 2X Diesel

Για την πρόωση των πλοίων ο πιο κοινός τύπος κινητήρα είναι ο 2X αργόστροφος ή μεσόστροφος Diesel. Πιο περιορισμένη χρήση έχουν οι 4X κινητήρες, που όμως έχουν κάποια βασικά μειονεκτήματα έναντι των 2X στο πεδίο της θάλασσας. Καταρχάς ο 2X μπορεί να καταναλώνει χαμηλότερης ποιότητας καύσιμο σε σχέση με ένα 4X. Αυτό μεταφράζεται σε χαμηλότερα λειτουργικά κόστη αφού τα καύσιμα είναι ένα από τα βασικότερα έξοδα του πλοίου. Επίσης ο 2X έχει μεγαλύτερο λόγο ισχύος προς βάρος σε σχέση με ένα 4X, όπως αναλύθηκε στην προηγούμενη παράγραφο. Το γεγονός αυτό είναι πολύ σημαντικό επειδή ο χώρος στα πλοία είναι περιορισμένος και μεγαλύτερη ισχύς για δεδομένο χώρο μεταφράζεται σε μεγαλύτερη μεταφορική ικανότητα ή μεγαλύτερη ταχύτητα λειτουργίας. Οι 2X είναι κατά κανόνα πιο αξιόπιστες από ένα 4X, ο οποίος διαθέτει περισσότερα κινούμενα μέρη και χρειάζεται καλύτερο συγχρονισμό. Ένας 2X, λειτουργεί σε λίγες στροφές με αποτέλεσμα να μην χρειάζεται μειωτήρας στροφών, επιτυγχάνοντας έτσι την απευθείας σύνδεση μηχανής-έλικας. Συμβολή στις αργές στροφές έχει το μεγάλο μέγεθος που κατά κανόνα έχουν οι ναυτικοί κινητήρες, εφόσον όσο αυξάνεται το μέγεθος ενός κινητήρα τόσο δυσκολεύεται να αναπτύξει μεγάλο αριθμό στροφών. Ωστόσο επειδή για την επιλογή βέλτιστης έλικας απαιτείται ένας συνδυασμός μεγάλης επιφάνειας έλικας με μικρό αριθμό στροφών, η μικρή γωνιακή ταχύτητα των μεγάλων ναυτικών 2X είναι ιδανική.



Σχήμα 2.4 Κλασικός ναυτικός κινητήρας της εταιρίας MANB&W

## 2.2 Πετρέλαιο

Γενικά το πετρέλαιο είναι προϊόν της αποσύνθεσης ζωικών οργανισμών (κυρίως θαλάσσιων) που εγκλείστηκαν σε πετρώματα μέσα σε μεγάλο βάθος στην Γη. Συνήθως το πετρέλαιο βρίσκεται σε μεγάλες ποσότητες στην βάση των θαλάσσιων λεκανών και κόλπων αφού τα θαλάσσια ρεύματα παρέσυραν εκεί υπολείμματα των νεκρών θαλάσσιων οργανισμών.

Μετά το 1900 η αξία του εκτοξεύθηκε και αποτέλεσε ίσως τον πιο σημαντικό φυσικό πόρο που μπορεί να διαθέτει μια χώρα, καθώς αποτελεί πρώτη ύλη για ενεργειακή παραγωγή. Το γεγονός ότι του δόθηκε το όνομα «μαύρος χρυσός», αντικατοπτρίζει την αξία του στην παγκόσμια οικονομία και για χάρη του υπήρξαν πολλές πολεμικές συμπλοκές, ιδιαίτερα κατά τον 20<sup>ο</sup> αιώνα.

Πέραν της χρήσης του για παραγωγή ενέργειας το πετρέλαιο, χρησιμοποιείται στην βιομηχανία με παράγωγα όπως το πλαστικό, διαλυτών, λιπασμάτων, φυτοφαρμάκων και εκρηκτικών υλών. Επίσης έχει ευρεία εφαρμογή σε μονάδες θέρμανσης.

Οι μεγάλες αλυσίδες υδρογονανθράκων αποτελούν το κύριο χημικό συστατικό του πετρελαίου. Οι υδρογονάνθρακες του είναι κυρίως κορεσμένοι, διαθέτει όμως και ακόρεστους. Στην αρχική του μορφή το πετρέλαιο ονομάζεται «αργό» και αποτελείται από κορεσμένους υδρογονάνθρακες που χαρακτηρίζονται από απλές ενώσεις μεταξύ ατόμων του άνθρακα. Οι ακόρεστοι υδρογονάνθρακες προκύπτουν κατά την επεξεργασία του πετρελαίου, σε διάφορες διεργασίες όπως την πυρόλυση και αφυδρογόνωση. Τα αλκάνια, αλκένια, και ολεφίνες είναι ομάδες ενώσεων που βρίσκεται στο

πετρέλαιο, ενώ σε μικρές συγκεντρώσεις περιλαμβάνονται θειούχες ενώσεις (υδρόθειο, μερκαπτάνες, σουλφίνια κ.α). Επιπλέον κατά την επεξεργασία συναντώνται ανεπιθύμητες αζωτούχες ενώσεις που είναι διαβρωτικές και δηλητηριώδεις. Μέταλλα όπως βανάδιο, νικέλιο και σίδηρος συναντώνται επίσης στο μείγμα του αργού πετρελαίου. Μια πιο αναλυτική παρουσίαση της χημικής σύστασης του αργού πετρελαίου παρουσιάζεται στον πίνακα 2.1 που δημιουργήθηκε από το Εργαστήριο Τεχνολογίας Καυσίμων Και Λιπαντικών του ΕΜΠ.

## Σύσταση Αργού Πετρελαίου

- Αργό Πετρέλαιο
  - Σύνθετο Μίγμα Υδρογονανθράκων
  - Περιέχει αέρια διαλελυμένα στα υγρά συστατικά
  - Υδρογονάνθρακες  $C_1 - C_{90+}$
- Στοιχειακή Ανάλυση: Αρκετά Ομοιόμορφη

Στοιχεία	Περιεκτικότητα (% κ.β.)
Άνθρακας	83.90 – 86.80
Υδρογόνο	11.40 – 14.00
Θείο	0.06 – 8.00
Άζωτο	0.11 – 1.70
Οξυγόνο	0.50
Μέταλλα (Fe, V, Ni, κλπ)	0.03



Τεχνολογία Πετρελαίου και  
Φυσικού Αερίου

Αργό Πετρέλαιο  
Χαρακτηριστικά – Ιδιότητες

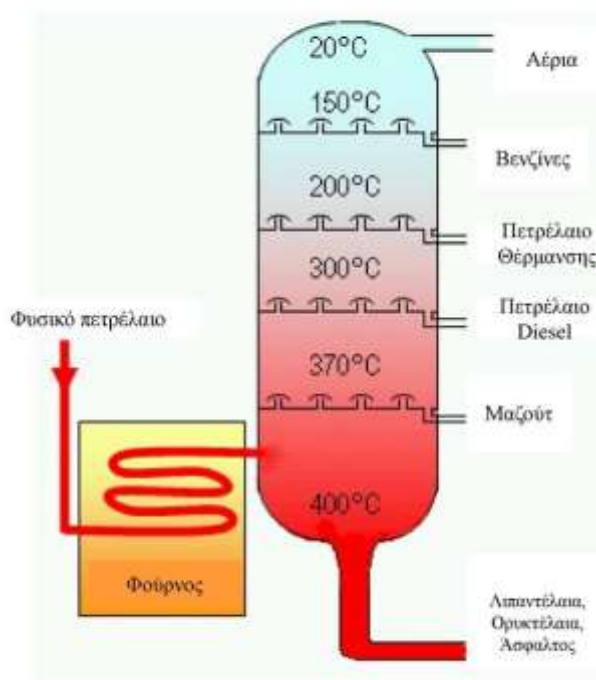
Εργαστήριο Τεχνολογίας Καυσίμων  
Και Λιπαντικών ΕΜΠ

Πίνακας 2.1 Χημική Σύσταση αργού πετρελαίου

## 2.3 Ναυτικά Καύσιμα

Το βαρύ (ακατέργαστο) πετρέλαιο γενικά δεν είναι χρήσιμο για απευθείας χρήση σε βιομηχανικές εφαρμογές, αν και υπήρξαν περιπτώσεις όπου αργό πετρέλαιο με χαμηλό ιξώδες και περιεκτικότητα σε θείο, έχει χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή ατμού για πρόωση υπερωκεάνιων πλοίων. Σε ένα διυλιστήριο, το αργό πετρέλαιο μέσω διάφορων διεργασιών διαχωρίζεται σε συστατικά που μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως καύσιμα, λιπαντικά και την παραγωγή προϊόντων.

Η απόσταξη του αργού πετρελαίου (Crude Oil Distillation) είναι διεργασία διαχωρισμού του που βασίζεται στην διαφορά πτητικότητας (σημείο βρασμού) των συστατικών του. Τα κλάσματα είναι αποτέλεσμα της κλασματικής απόσταξης του αργού πετρελαίου. Ο διαχωρισμός πραγματοποιείται σε κυλινδρικές σωλήνες που ονομάζονται στήλες. Στις στήλες, τα προϊόντα της κορυφής αποτελούν τα ελαφρύτερα συστατικά, ενώ αντίθετα τα προϊόντα του πυθμένα τα βαρύτερα. Όλα τα κλάσματα επεξεργάζονται περαιτέρω σε αποστακτικές μονάδες.



Σχήμα 2.5 Κλασματική απόσταξη αργού πετρελαίου και κλάσματα

Τα ναυτιλιακά καύσιμα είναι κλάσματα πετρελαίου που θεωρούνται είτε απόσταγμα είτε υπολείμματα μετά την απόσταξη. Σύμφωνα με το ISO 8217 (Petroleum products -Fuels), τα ναυτιλιακά καύσιμα χωρίζονται σε πετρέλαιο diesel και μαζούτ, με τις δύο κατηγορίες να διαφέρουν ως προς τον τρόπο χρήσης τους και τις φυσικές τους ιδιότητες.

Το πετρέλαιο diesel είναι παράγωγο της κλασματικής απόσταξης του ακατέργαστου πετρελαίου ,σε θερμοκρασίες μεταξύ 200 και 300 C<sup>ο</sup>,σε συνθήκες ατμοσφαιρικής πίεσης και διαθέτει 8-21 άτομα άνθρακα/μόριο. Το diesel που παράγεται από πετρέλαιο ονομάζεται και πετροντίζελ για να διαφοροποιείται από άλλους τύπους καυσίμου ντίζελ όπως τα βιοντίζελ ή τα BTL.

Το μαζούτ είναι το πιο βαρύ καύσιμο της απόσταξης του αργού πετρελαίου και διαθέτει 20-70 άτομα άνθρακα/μόριο. Προκύπτει από σε θερμοκρασίες απόσταξης >370°C. Έχει υψηλή τιμή ιξώδους, γεγονός που καθιστά αναγκαία την προθέρμανση του πριν την χρήση του σε πλοία, αφού αύξηση της θερμοκρασίας ενός ρευστού συνεπάγεται με μείωση του ιξώδους του. Η ανάγκη για εγκατάσταση συστήματος προθέρμανσης αποτελεί αποτρεπτικό παράγοντα χρήσης του σε μικρά πλοία γιατί ένα τέτοιο σύστημα ανεβάζει την τιμή του βάρους του και καταλαμβάνει πολύτιμο χώρο. Περιέχει επίσης αυξημένα σε σχέση με άλλα καύσιμα ποσοστά ρυπογόνων αερίων, με αρνητικό πρωταγωνιστή το θείο. Παρόλες όμως τις αρνητικές πτυχές του, το μαζούτ είναι το πιο φθηνό διαθέσιμο καύσιμο και αποτελεί το 50% περίπου του ακατέργαστου πετρελαίου. Σε συνδυασμό με την ικανότητά του να χρησιμοποιείται σε ναυτικούς λέβητες, το καθιστούν άκρως ελκυστικό στον τομέα των θαλασσιών μεταφορών. Η ποιότητα του αργού πετρελαίου καθορίζει και τις ιδιότητες του μαζούτ, που μερικές φορές αναμιγνύεται με άλλα ελαφρότερα καύσιμα για επίτευξη των διαφόρων προδιαγραφών.



Η οριακή γραμμή ανάμεσα στα διάφορα κλάσματα δεν είναι προκαθορισμένη, αλλά εξαρτάται από τις τεχνικές απαιτήσεις των εφαρμογών για τις οποίες προορίζονται τα προϊόντα. Τα πρώτα κλάσματα δύναται να διωλίζονται περαιτέρω μέσω διαφόρων διεργασιών, έτσι ώστε να μετατραπούν σε προϊόντα πιο εξειδικευμένων εφαρμογών.

Για προσδιορισμό και ταξινόμηση των καυσίμων χρησιμοποιούνται διάφορες ιδιότητές τους, όπως ο αριθμός κετανίων ο οποίος προσδιορίζει την ποιότητα ανάφλεξής τους. Επίσης τα ναυτικά καύσιμα ταξινομούνται παραδοσιακά με βάση το ιξώδες τους, αν και στις μέρες μας το ιξώδες δίνει ελάχιστες πληροφορίες για την ποιότητά του καυσίμου. Η θερμοκρασία αναφοράς του ιξώδους είναι οι 40°C. Άλλες ποιοτικές παράμετροι των καυσίμων είναι η πυκνότητα, το σημείο ροής (σημείο που το πετρέλαιο αρχίζει να ρέει) το οποίο χρησιμοποιείται για υπολογισμό της απαραίτητης θερμοκρασίας προθέρμανσης, η θερμογόνος δύναμη (έκλυση θερμικής ενέργειας ανά μονάδα μάζας KJ/kg) που χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό του βαθμού απόδοσης του κινητήρα, καθώς και διάφορες άλλες δευτερεύουσες ιδιότητες τους.

Οι κύριοι τύποι ναυτικών καυσίμων αναφέρονται επιγραμματικά στα πιο κάτω σημεία:

- **MGO (Marine Gas Oil):**  
Παράγεται μόνο από αποστάγματα πετρελαίου. Είναι παρόμοιο με το πετροντίζελ, ωστόσο έχει μεγαλύτερη πυκνότητα, δεν χρειάζεται προθέρμανσή του. Χρησιμοποιείται σε μικρούς ναυτικούς κινητήρες μεσαίας ή μεγάλης ταχύτητας περιστροφής. Είναι ακριβό καύσιμο σε σχέση με το βαρύ HFO.
- **MDO (Marine Diesel Oil):**  
Είναι μείγμα βαρέων πετρελαιοειδών και αποτελείται από MGO και μαζούτ. Δεν είναι καθαρό απόσταγμα. Πωλείται σε διαφορετικά επίπεδα περιεκτικότητας σε θείο. Είναι και αυτό ακριβότερο από το HFO.
- **IFO (Intermediate Fuel Oil):**  
Είναι μείγμα MGO και μαζούτ με μεγαλύτερη αναλογία μαζούτ και μικρότερη αναλογία MGO σε σχέση με το MDO.
- **HFO (Heavy Fuel Oil):**  
Ο όρος μαζούτ (HFO) περιγράφει καύσιμα που χρησιμοποιούνται για παραγωγή κίνησης και έχουν μεγάλο ιξώδες και πυκνότητα. Είναι αναγκαία η προθέρμανσή του. Είναι χαμηλότερης ποιότητας από τα άλλα καύσιμα και η χρήση του σε κινητήρες που παλαιότερα χρησιμοποιούσαν πιο ποιοτικά καύσιμα, συνοδεύεται με διάφορα μηχανικά προβλήματα. Η περιεκτικότητα σε θείο είναι παράγοντας κατάταξης των μαζούτ με τον αριθμό να υποδηλώνει την περιεκτικότητα σε θείο (HSFO<3.5%, LSFO<1%, ULSFO<0.1%).

Τα διάφορα προβλήματα από την χρήση βαρέων καυσίμων οδήγησαν σε αλλαγές στην ναυτιλία. Μετά την πετρελαϊκή κρίση του 1973, υπήρξε σημαντική μείωση στην ζήτηση των βαρέων καυσίμων HFO, επειδή αναπτύχθηκαν τεχνικές εξοικονόμησης ενέργειας και ένας μεγάλος αριθμός υφιστάμενων πλοίων αποσύρθηκε και έδωσε την θέση του σε νέα οικονομικότερα και ενεργειακά ανώτερα σκάφη. Η προσφορά σε ποιοτικότερα HFO μειώθηκε και λόγω της μετατροπής τους σε ελαφρύτερα προϊόντα, αφού η αγορά είχε μεγαλύτερη ζήτηση σε ελαφρύτερα καύσιμα. Εφόσον το βαρύ καύσιμο χρησιμοποιούνταν για δημιουργία ελαφρύτερων κλασμάτων, οι χρήστες HFO αντιμετώπισαν πρόβλημα γιατί η ποιότητα του βαρέως καυσίμου μειώθηκε.

## 2.4 Διαδικασία της Καύσης σε κινητήρες Diesel

Καύση εξορισμού είναι η εξώθερμη οξειδοαναγωγική αντίδραση μεταξύ ενός (τουλάχιστον) καυσίμου και ενός (τουλάχιστον) οξειδωτικού. Αν και παλαιότερα καύση θεωρούνταν η οποιαδήποτε αντίδραση με το οξυγόνο, σήμερα είναι αποδεκτό ότι και άλλα οξειδωτικά μπορούν να προκαλέσουν το φαινόμενο της καύσης.

Όπως προαναφέρθηκε, για πρόωση των πλοίων χρησιμοποιούνται κυρίως 2X ναυτικοί κινητήρες Diesel. Το καύσιμο μείγμα που καίγεται μέσα στον θάλαμο καύσης αποτελείται από το παράγωγο του πετρελαίου καύσιμο και από ατμοσφαιρικό αέρα, ο οποίος είναι αποτελείται κατά 21% από οξυγόνο.

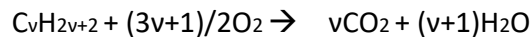
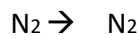
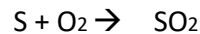
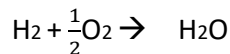
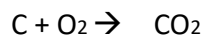
Ο λόγος  $AFR = \frac{ma}{mf}$  ονομάζεται λόγος αέρα-καυσίμου (Air-Fuel Ratio) και δείχνει τον λόγο μάζας αέρα προς μάζα καυσίμου που υπάρχει στον θάλαμο καύσης της μηχανής κατά την καύση.

Στοιχειομετρικός λόγος αέρα-καυσίμου ( $AFR_{st}$ ), είναι ο λόγος αέρα-καυσίμου στον οποίο γίνεται η ιδανική καύση, δηλαδή γίνεται πλήρης καύση του καυσίμου, χωρίς υπολείμματα καυσίμου στα καυσαέρια και χωρίς να υπάρχει περίσσεια οξυγόνου με το πέρας της διαδικασίας. Για καύσιμο Diesel ο  $AFR_{st}$  είναι περίπου 14.5, δηλαδή χρειάζονται 14.5 kg αέρα για πλήρη καύση 1 kg καυσίμου.

Ο λόγος  $\lambda = \frac{(AFR)_{act}}{(AFR)_{st}} = \frac{(\frac{ma}{mf})_{act}}{(\frac{ma}{mf})_{st}}$  ονομάζεται λόγος ισοδυναμίας αέρα-καυσίμου και δείχνει τον λόγο

του πραγματικού (actual) AFR προς το στοιχειομετρικό (stoichiometric) AFR. Για ιδανική-τέλεια καύση πρέπει το  $\lambda=1$ , αν και σε πραγματικές εφαρμογές συνήθως κυριαρχεί  $\lambda < 1$ , σε τιμές κοντινές τιμές της μονάδας. Τιμές του  $\lambda < 1$  καθιστούν την καύση ατελή, καθώς το καύσιμο δεν καίγεται πλήρως και μεταβιβάζεται στην ατμόσφαιρα μέσω των καυσαερίων. Εάν  $\lambda > 1$  τότε υπάρχει περισσότερο οξυγόνο απ' ό τι χρειάζεται το καύσιμο για να καεί πλήρως και αυτή η επιπλέον ποσότητα οξυγόνου μεταβιβάζεται στα καυσαέρια.

Στην θεωρητικά τέλεια καύση, οι χημικές αντιδράσεις είναι:



με παράγωγα το διοξείδιο του άνθρακα ( $CO_2$ ), νερό ( $H_2O$ ), διοξείδιο του θείου ( $SO_2$ ) και το άζωτο ( $N_2$ ).

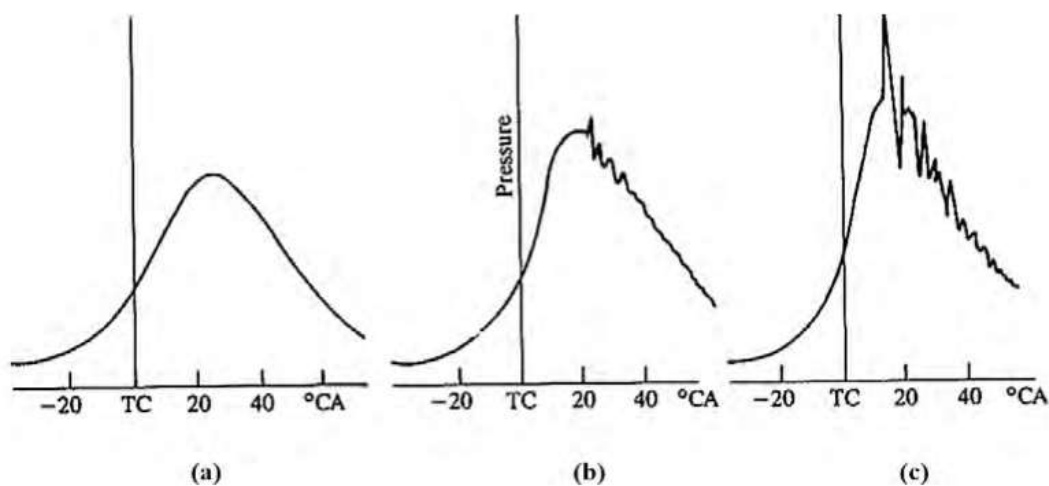
Στους 2X ναυτικούς Diesel, η καύση γίνεται με λόγο αέρα- καυσίμου  $\lambda < 1$ , δηλαδή είναι ατελής με επακόλουθο την εμφάνιση ρύπων όπως οξείδια του αζώτου ( $NO_x$ ), σωματίδια αιθάλης (soot), άκαυστοι υδρογονάνθρακες (HC) και το μονοξείδιο του άνθρακα (CO). Πέραν από τον λόγο ισοδυναμίας αέρα-καυσίμου, στην σύσταση των καυσαερίων επιδρούν οι συνθήκες του περιβάλλοντος όπως η τοπική θερμοκρασία και πίεση.

## 2.5 Προβλήματα κινητήρων λόγω καυσίμων

Η χρήση ορυκτών καυσίμων και ιδιαίτερα ΗFO, έχει διάφορες επιπτώσεις στους κινητήρες και την λειτουργία τους. Μάλιστα επηρεάζει αρνητικά όχι μόνο την κύρια μηχανή, αλλά και βοηθητικά μηχανήματα όπως τους λέβητες καυσαερίων και εναλλάκτες θερμότητας. Φίλτρα, δεξαμενές, η αντλία καυσίμου, εγχυτήρες, τα ελατήρια των εμβόλων, χιτώνια και υπερπληρωτές είναι μερικά από τα τμήματα που το καύσιμο τους δημιουργεί προβλήματα.

Τα βαριά καύσιμα με χαμηλή ποιότητα δύναται να προκαλέσουν προβλήματα κατά την λειτουργία της μηχανής. Η καθυστέρηση ανάφλεξης σε συνδυασμό με μεγάλους χρονικούς ρυθμούς καύσης μετά την ανάφλεξη, οδηγούν στην απότομη ανάπτυξη πιέσεων. Μεγαλύτερη καθυστέρηση ανάφλεξης, μπορεί να οδηγήσει στην συγκέντρωση μεγάλης ποσότητας καυσίμου στον θάλαμο καύσης, με αποτέλεσμα όταν αυτοαναφλεχθεί, να ακολουθήσει μια απότομη, σχεδόν στιγμιαία, μεγάλη μεταβολή της πίεσης η οποία μεταφράζεται ως «κτύπημα» ή «dieselknock». Ο υπερβολικός ρυθμός αύξησης της πίεσης και το φαινόμενο «dieselknock», σε εξαιρετικές περιπτώσεις μπορεί να καταστρέψει τα χιτώνια και τα ελατήρια του εμβόλου. Στο Σχήμα 2.6 παρουσιάζονται 3 διαγράμματα πίεσης-γωνίας στροφαλοφόρου άξονα που δείχνουν το φαινόμενο «dieselknock» σε 3 διαφορετικές καταστάσεις:

- Κανονική καύση
- Ελαφρύ «κτύπημα»
- Έντονο «κτύπημα»



Σχήμα 2.6 Φαινόμενο «dieselknock»

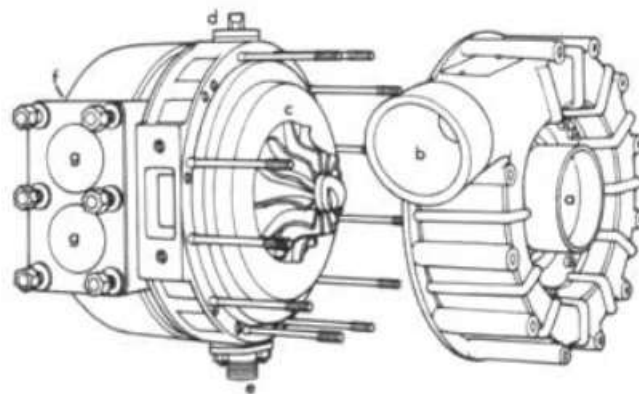
Μια ιδιότητα του βαρέως καυσίμου είναι ο δείκτης αρωματικότητας CCAI (Calculated Carbon Aromaticity Index) ο οποίος δίνει μία εικόνα της ποιότητας. Χρησιμοποιείται επειδή οι διαδικασίες μέτρησης των κετανίων δεν είναι εφαρμόσιμες στο βαρύ καύσιμο και εξαρτάται από το κινηματικό ιξώδες και την πυκνότητα. Υπάρχει σύνδεση μεταξύ CCAI, καθυστέρησης ανάφλεξης και ρυθμού καύσης. Έχει διαπιστωθεί ότι αρωματικοί υδρογονάνθρακες, που βρίσκονται σε καύσιμα με μεγάλο δείκτη CCAI, δημιουργούν καθυστέρηση στην ανάφλεξη επειδή χρειάζεται μεγάλος χρόνος στην διάσπαση των δεσμών τους. Έτσι συστήνεται η επιβολή ενός άνω ορίου της τιμής των 870 στον

δείκτη CCAI του καυσίμου που πρέπει να χρησιμοποιείται, ενώ παράλληλα προσοχή πρέπει να δίνεται και στην τιμή του ιξώδους. Μεγαλύτερη επίδραση ο δείκτης CCAI έχει στους 4X κινητήρες παρά στους 2X.

Ιδιαίτερη σχέση έχει η χρήση βαρέων καυσίμων με την ομαλότητα της λειτουργίας των στροβιλοπληρωτών. Ο στροβιλοπληρωτής χρησιμοποιείται για την ικανοποιητική παροχή αέρα στον θάλαμο καύσης για ομαλή καύση και απόπλυση. Χρησιμοποιεί την ενέργεια των εξερχόμενων καυσαερίων για την κίνηση ενός στροβίλου, ο οποίος συνδέεται και κινεί ένα συμπιεστή που αυξάνει την πυκνότητα του αέρα εισαγωγής. Έτσι επιτυγχάνεται μεγαλύτερη παροχή μάζας αέρα για τον ίδιο όγκο θαλάμου καύσης, εφόσον  $\dot{m} = \rho \cdot \dot{V}$ .

Το βαρύ πετρέλαιο έχει μεγάλη καθυστέρηση ανάφλεξης και έτσι χρειάζεται κατάλληλη πίεση και θερμοκρασία αέρα πληρώσεως, που επιτυγχάνεται με την χρήση υπερπληρωτή. Στους 4X, επιπλοκές παρουσιάζονται στην λειτουργία σε μερικό φορτίο, αφού δημιουργούνται προβλήματα ποιότητας καύσεως, υψηλών θερμοκρασιών και μη επαρκής απόπλυση λόγω μεγαλύτερης πίεσης εξόδου σε σχέση με την είσοδο. Αυτά συμβαίνουν λόγω μειωμένης παροχής αέρα. Στους μεγάλους 2X τα προβλήματα μικρής παροχής αέρα σε χαμηλά φορτία λειτουργίας λύνονται με την χρήση ηλεκτρικών φυσητήρων.

Το μέρος του στροβιλοπληρωτή που επηρεάζεται από το καύσιμο είναι ο στρόβιλος λόγω των καταλοίπων της καύσεως του πετρελαίου. Λόγω ατελούς καύσης σε χαμηλά επίπεδα φορτίου, επικάθεται αιθάλη και άλλες σκληρές επικαθίσεις στα πτερύγια του στροβίλου και στους οχετούς καυσαερίων. Οι σκληρές επικαθίσεις μπορούν να μειώσουν την ενεργό διατομή του στροβίλου και σε 4X να οδηγήσουν με λειτουργία πλήρους φορτίου σε υπερτάχυνση με αύξηση πιέσεων και μηχανικών καταπονήσεων.

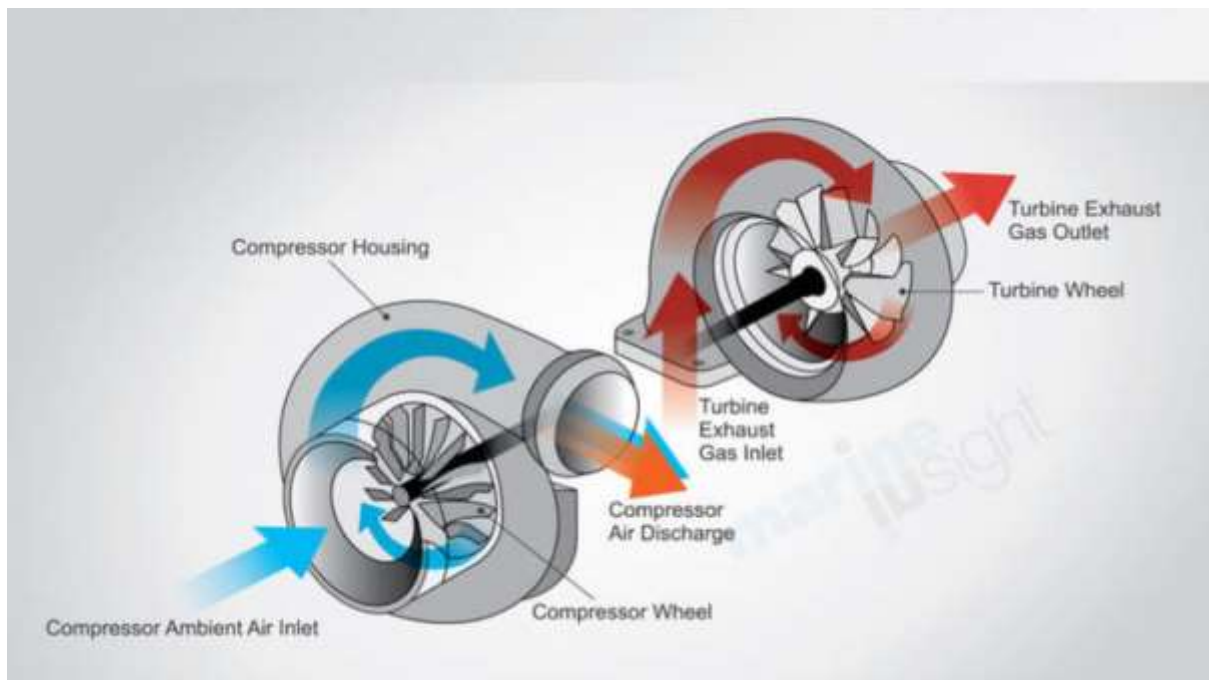


Σχήμα 2.7 Στροβιλοπληρωτής

Στους 2X κινητήρες, οι επικαθίσεις προκαλούν μείωση του βαθμού απόδοσης του στροβίλου, μείωση της παροχής αέρα, αύξηση της θερμικής φόρτισης και αστάθεια του συμπιεστή.

Μεγάλο πρόβλημα είναι τα μικρά σωματίδια και υπολείμματα της καύσης καθώς παρασύρονται από τα καυσαέρια και συγκρούονται με μεγάλη ταχύτητα στα πτερύγια του στροβίλου, δημιουργώντας τους μηχανική διάβρωση και φθορές. Φυσικό επακόλουθο είναι η μείωση του βαθμού απόδοσης του στροβίλου, η μειωμένη παροχή αέρα καύσης, η χειρότερη καύση και η

δημιουργία ενός φαύλου κύκλου διαδικασία επαναλαμβάνεται με αποτέλεσμα την σταδιακή χειροτέρευση λειτουργίας της μηχανής με το πέρας κάθε κύκλου λειτουργίας της.



Σχήμα 2.8 Στροβιλοπληρωτής και λειτουργία του

## 3. ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΚΑΙ ΑΝΘΡΩΠΟΣ

### 3.1 Ατμοσφαιρική Ρύπανση

Η μελέτη εσκεμμένα τοποθετεί την ανάλυση των επιπτώσεων της χρήσης των μηχανών εσωτερικής καύσης ορυκτών καυσίμων στα πρώτα της στάδια, καθώς αποτελεί πρωταρχικό πρόβλημα σε περιβαλλοντικό επίπεδο. Η ατμοσφαιρική ρύπανση είναι η σημαντικότερη παράμετρος που ωθεί την ναυτιλία προς την πιο εκτεταμένη χρήση ηλεκτρικών μηχανών αντί των καθιερωμένων μηχανών diesel.

Η καύση ορυκτών καυσίμων συνδέεται άμεσα με το φαινόμενο του θερμοκηπίου, που ανακαλύφθηκε το 1824 από τον Ζοσέφ Φουριέ («Remarques General es surles Temperatures Du Globe Terrestreet des Espaces Planetaires»). Την ονομασία και τις βάσεις του όμως, έδωσε ο Σουηδός χημικός Σβάντε Αρρένιους στα πλαίσια της διδακτορικής του διατριβής το 1896 («On the Influence of Carbonic Acid in the Air upon the Temperature of the Ground»). Μια απλή διατύπωση του συγκεκριμένου φυσικού φαινομένου είναι: «Το φαινόμενο του θερμοκηπίου είναι η διαδικασία κατά την οποία η ατμόσφαιρα ενός πλανήτη συγκρατεί θερμότητα με αποτέλεσμα την αύξηση της θερμοκρασίας στην επιφάνειά του».



Σχήμα 3.1: Αριστερά ο Ζοσέφ Φουριέ και δεξιά ο Σβάντε Αρρένιους

Η Γη δέχεται ηλιακή ακτινοβολία, της οποίας το 70% απορροφάται από το σύστημα Γη-ατμόσφαιρα, ενώ το υπόλοιπο 30% ανακλάται πίσω στο διάστημα. Επίσης, λόγω της θερμοκρασίας της, η Γη παράγει θερμική ακτινοβολία με μεγάλα μήκη κύματος σε αντίθεση με την ηλιακή ακτινοβολία που χαρακτηρίζεται από μικρά μήκη κύματος. Η ατμόσφαιρα της γης έχει την ικανότητα να απορροφά ακτινοβολία με μεγάλο μήκος κύματος, θερμαίνοντας έτσι την επιφάνεια του πλανήτη. Το συνολικό φαινόμενο έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της μέσης επιφανειακής θερμοκρασίας. Χωρίς την αδιαφάνεια της ατμόσφαιρας (δηλαδή την ικανότητα να απορροφά

ακτινοβολία μεγάλου μήκους κύματος), η θερμοκρασία του πλανήτη μας σε παγκόσμια ετήσια βάση θα ήταν περίπου  $-18^{\circ}\text{C}$ , ενώ τώρα είναι περίπου  $14^{\circ}\text{C}$ .

Ένα αποτέλεσμα από την καύση ορυκτού καυσίμου είναι τα αποκαλούμενα αέρια του θερμοκηπίου (GHG -Green House Gases). Ως αέρια του θερμοκηπίου αναφέρονται στη βιβλιογραφία όλα τα αέρια συστατικά της ατμόσφαιρας που συμβάλουν στο φαινόμενο του θερμοκηπίου. Συμβάλουν δηλαδή στην κλιματική αλλαγή και αύξηση της θερμοκρασίας στην ατμόσφαιρα της Γης. Απορροφούν την μεγάλη κύματος γήινη ακτινοβολία και επανεκπέμπουν θερμική ακτινοβολία, αυξάνοντας έτσι την θερμοκρασία του πλανήτη.

Τα κύρια αέρια του θερμοκηπίου στην ατμόσφαιρα της Γης είναι το διοξείδιο του άνθρακα ( $\text{CO}_2$ ), το μεθάνιο ( $\text{CH}_4$ ), το οξείδιο του αζώτου ( $\text{N}_2\text{O}$ ) και το όζον. Αξίζει να σημειωθεί ότι αυτές οι ουσίες υπάρχουν φυσικά στην ατμόσφαιρα της Γης, ωστόσο οι ανθρωπίνες δραστηριότητες αυξάνουν κατά πολύ τις ποσότητες τους και εντείνουν το φαινόμενο του θερμοκηπίου.

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει το διοξείδιο του άνθρακα  $\text{CO}_2$ , αφού είναι το πιο κοινό αέριο του θερμοκηπίου που παράγεται από τις ανθρωπίνες δραστηριότητες. Μάλιστα πολλές φορές λανθασμένα, το  $\text{CO}_2$  χρησιμοποιείται αντί της έκφρασης «αέρια του θερμοκηπίου», που περιλαμβάνει όλες τις αέριες ουσίες που συντείνουν στο φαινόμενο. Ενδεικτικά η συγκέντρωση του  $\text{CO}_2$  στην ατμόσφαιρα αυξήθηκε κατά 31% από το 1750 έως το 1998, ενώ το 75% περίπου της παραγωγής του από ανθρωπογενείς εργασίες προέρχεται από την χρήση ορυκτού καυσίμου. Εύκολα γίνεται αντιληπτό ότι η συμβολή των μηχανών εσωτερικής καύσης και κατ' επέκταση των ναυτικών μεταφορών στο φαινόμενο του θερμοκηπίου είναι τεράστια.

Με σημείο αναφοράς λοιπόν το διοξείδιο του άνθρακα, δημιουργήθηκε ο δείκτης GWP (Global Warming Potential), οποίος αντιπροσωπεύει την ποσότητα της θερμότητας που προκαλεί ένα αέριο σε μια χρονική περίοδο (συνήθως 100 ετών). Το διοξείδιο του άνθρακα έχει την τιμή 1 στον δείκτη GWP, ενώ το GWP των άλλων αερίων δείχνει πόσες φορές περισσότερη θέρμανση προκαλούν σε σχέση με το  $\text{CO}_2$ . Για παράδειγμα, 1 kg μεθανίου προκαλεί 25 φορές μεγαλύτερη θέρμανση σε σχέση με 1 kg διοξειδίου του άνθρακα σε περίοδο 100 ετών. Έτσι ο δείκτης GWP του μεθανίου είναι 25. Οι τιμές διάφορων GWP αερίων του θερμοκηπίου φαίνονται στον πίνακα 3.1

Greenhouse Gas	Global Warming Potential (GWP)
1. Carbon dioxide ( $\text{CO}_2$ )	1
2. Methane ( $\text{CH}_4$ )	25
3. Nitrous oxide ( $\text{N}_2\text{O}$ )	298
4. Hydrofluorocarbons (HFCs)	124 – 14,800
5. Perfluorocarbons (PFCs)	7,390 – 12,200
6. Sulfur hexafluoride ( $\text{SF}_6$ )	22,800
7. Nitrogen trifluoride ( $\text{NF}_3$ ) <sup>3</sup>	17,200

Πίνακας 3.1 Διάφορες τιμές του δείκτη GWP για GHGs

Λανθασμένα σε διάφορες έρευνες και αναφορές, περιλαμβάνεται μόνο η επίδραση του  $\text{CO}_2$  στο φαινόμενο του θερμοκηπίου, με επακόλουθο την υποεκτίμηση του όλου προβλήματος της

υπερθέρμανσης του πλανήτη και της κλιματικής αλλαγής. Για πιο αντικειμενική προσέγγιση του θέματος, είναι αναγκαία η εισδοχή όλων των GHGs στους διάφορους υπολογισμούς.

Έτσι λόγω της καθιέρωσης του CO<sub>2</sub> ως το κύριο αέριο του θερμοκηπίου, δημιουργήθηκε ο όρος «CO<sub>2</sub>e» (CO<sub>2</sub>equivalent- ισοδύναμο CO<sub>2</sub>), ο οποίος περιγράφει την επίδραση όλων των GHGs, αναγόμενα σε μια κοινή μονάδα μέτρησης. Η ποσότητα ενός GHG μεταφράζεται πολλαπλασιάζοντας την ποσότητα του αερίου επί τον δείκτη GWP που του αντιστοιχεί. Για παράδειγμα 1kg μεθανίου αναλογεί σε 25 kg CO<sub>2</sub>e ( 1 [kg] \* 25 [GWP index]). Η έκφραση CO<sub>2</sub>e μπορεί να συναντηθεί στην βιβλιογραφία και ως «CO<sub>2</sub>eq», «CO<sub>2</sub>equivalent» ή «COE».

Σύμφωνα με πολυετή έρευνα του IMO (Third IMO GHG Study 2014), η οποία έχει χρονικό πλαίσιο την περίοδο 2007-2012, κατά μέσο όρο ο τομέας της ναυτιλίας είναι υπεύθυνος για το 3.1% της ετήσιας παγκόσμιας παραγωγής CO<sub>2</sub> και για το 2.8% της ετήσιας παγκόσμιας παραγωγής αερίων του θερμοκηπίου ανηγμένα σε CO<sub>2</sub>e. Ενδεικτικά για το έτος 2012, η ολική εκπομπή CO<sub>2</sub> από την παγκόσμια ναυτιλία ανέρχεται στους 938 εκατομμύρια τόνους, ενώ η ολική εκπομπή CO<sub>2</sub>e ήταν 961 εκατομμύρια τόννοι. Στον πίνακα 2.2 παρουσιάζονται με χρονική σειρά τα δεδομένα της έρευνας για εκπομπές CO<sub>2</sub> και CO<sub>2</sub>e.

Third IMO GHG Study 2014 CO <sub>2</sub>					
Year	Global CO <sub>2</sub> [1]	Total shipping	% of global	International shipping	% of global
2007	31,409	1,100	3.5%	885	2.8%
2008	32,204	1,135	3.5%	921	2.9%
2009	32,047	978	3.1%	855	2.7%
2010	33,612	915	2.7%	771	2.3%
2011	34,723	1,022	2.9%	850	2.4%
2012	35,640	938	2.6%	796	2.2%
<b>Average</b>	<b>33,273</b>	<b>1,015</b>	<b>3.1%</b>	<b>846</b>	<b>2.6%</b>

Third IMO GHG Study 2014 CO <sub>2</sub> e					
Year	Global CO <sub>2</sub> e[2]	Total shipping	% of global	International shipping	% of global
2007	34,881	1,121	3.2%	903	2.6%
2008	35,677	1,157	3.2%	940	2.6%
2009	35,519	998	2.8%	873	2.5%
2010	37,085	935	2.5%	790	2.1%
2011	38,196	1,045	2.7%	871	2.3%
2012	39,113	961	2.5%	816	2.1%
<b>Average</b>	<b>36,745</b>	<b>1,036</b>	<b>2.8%</b>	<b>866</b>	<b>2.4%</b>

Πίνακας 3.2 Δεδομένα Έρευνας IMO



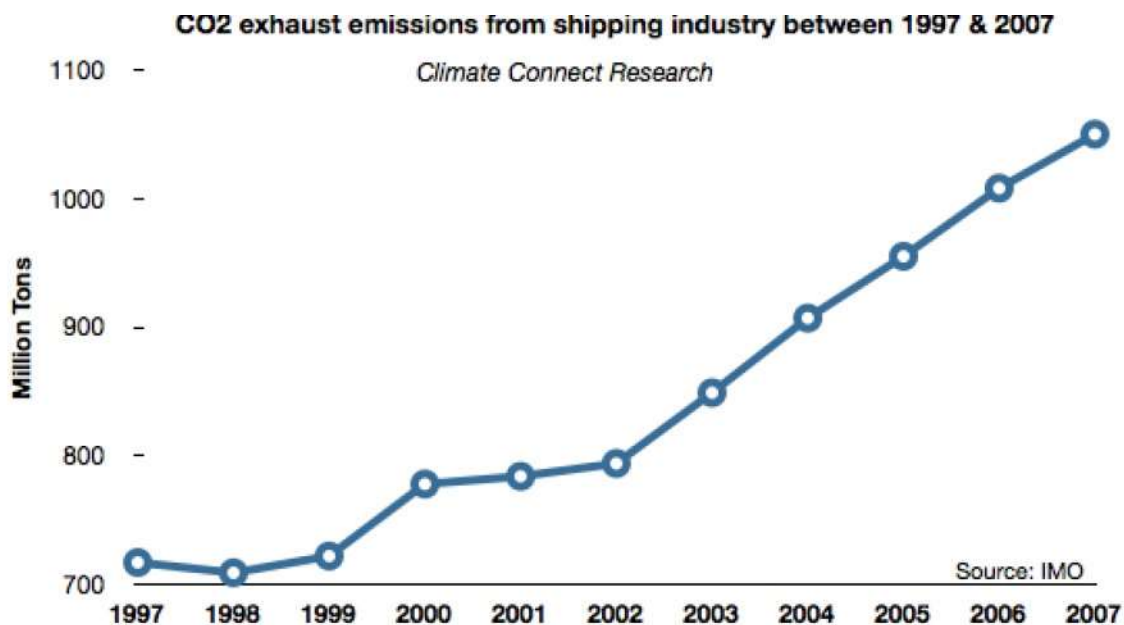
Η ίδια έρευνα έδωσε την εκτίμηση αύξησης της εκπομπής αυτών των αερίων κατά 50-250% έως το 2050. Η αυξητική τάση των εκπομπών CO<sub>2</sub> από τα πλοία ήταν εμφανής και από προηγούμενες έρευνες του IMO, όπως φαίνεται στο Σχήμα 3.2. Ως εκ τούτου η Επιτροπή Προστασίας του Περιβάλλοντος έχει εισάγει από το 2011 ένα πακέτο τεχνικών μέτρων τα οποία σκοπεύουν στον έλεγχο των αερίων του θερμοκηπίου. Τα δύο κύρια μέτρα που υιοθετήθηκαν είναι:

- Ο δείκτης EEDI (Energy Efficiency Design Index -Δείκτης Ενεργειακής Αποδοτικότητας), ο οποίος απαιτεί κάθε πλοίο να συνάδει με το minimum απαραίτητο επίπεδο ενεργειακής απόδοσης. Σκοπός του είναι η σταδιακή βελτίωση της υδροδυναμικής σχεδίασης γάστρας έλικας και η ταυτόχρονη χρήση λιγότερο ενεργοβόρων κυρίων μηχανών και βοηθητικών μηχανημάτων. Εκφράζει την παραγόμενη ποσότητα CO<sub>2</sub> σε γραμμάρια ανά μονάδα μεταφορικής ικανότητας-απόστασης. Η γενικευμένη έκφραση του δείκτη EEDI είναι:

$$\frac{P * t * SFOC * f_{CO2}}{C * V * t}$$

όπου Ρείναι η ισχύς που απαιτείται για κίνηση του πλοίου με ταχύτητα V, SFOC η ειδική κατανάλωση καυσίμου, f<sub>CO2</sub> είναι συντελεστής που δείχνει την ποσότητα CO<sub>2</sub> που παράγεται κατά την καύση ,ενώ t είναι ο χρονικός όρος. Ο δείκτης C εκφράζει την ικανότητα μεταφοράς φορτίου. Με περεταίρω ανάλυση είναι αντιληπτό ότι στον αριθμητή ο όρος P\*t εκφράζει την απαιτούμενη ενέργεια που χρειάζεται το πλοίο για κίνηση του σε χρόνο t, ενώ στον παρονομαστή το γινόμενο V\*t ισούται με την απόσταση που διανύει το πλοίο σε χρόνο t.

Στην πιο επίσημη του μορφή, ο δείκτης EEDI συμπεριλαμβάνει και τα βοηθητικά μηχανήματα λαμβάνοντας υπόψιν και άλλες παραμέτρους.



Σχήμα 3.2 Ετήσια παραγωγή CO<sub>2</sub> από πλοία 1997-2007

- Το Πλάνο Ενεργειακής Αποδοτικότητας Πλοίου, SEEMP (Ship Energy Efficiency Plan) που στοχεύει στην εδραίωση ενός μηχανισμού για τους πλοιοκτήτες ο οποίος βελτιώνει την ενεργειακή αποδοτικότητα των πλοίων αξιοποιώντας λειτουργικά μέτρα όπως το weather routing (μέθοδος κατά την οποία η επιλογή της διαδρομής του πλοίου λαμβάνει υπόψιν τον άνεμο και τα θαλάσσια ρεύματα για λιγότερη κατανάλωση ενέργειας), την βέλτιστη διαγωγή και βύθισμα, την βέλτιστη επιλογή ταχύτητας κλπ.

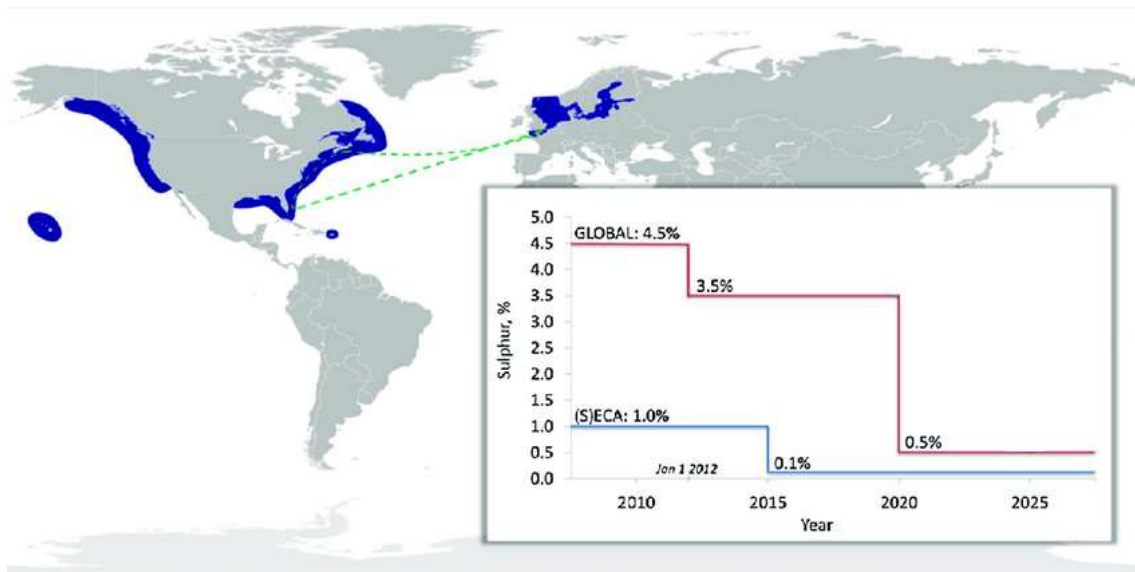
Αξίζει να σημειωθεί ότι τα παραπάνω μέτρα ήταν τα πρώτα που πάρθηκαν σε παγκόσμιο επίπεδο από μια ολόκληρη βιομηχανία.

Πέραν από τα αέρια του θερμοκηπίου, ο IMO έχει λάβει υπόψιν στα Παραρτήματα της σύμβασης MARPOL και άλλες δύο κατηγορίες αερίων ουσιών, το οξείδιο του αζώτου (NOx) και οξείδια του θείου (SOx). Αν και κάποιες από τις ουσίες που ανήκουν σε αυτές τις ομάδες κατατάσσονται και στα GHGs (πχ το N<sub>2</sub>O), η ειδική κατηγοριοποίηση έχει λάβει χώρα λόγω των αρνητικών επιπτώσεων που προκαλούν σε διάφορα επίπεδα.

Τα οξείδια του αζώτου NOx, προκαλούν όχι μόνο περιβαλλοντικές επιπτώσεις, αλλά και προβλήματα υγείας στον άνθρωπο. Όταν υπάρχει ζέση σε συνδυασμό με ηλιοφάνεια, αντιδρούν με οργανικές ενώσεις της ατμόσφαιρας δημιουργώντας όζον κοντά στην επιφάνεια του εδάφους, με αποτέλεσμα την πρόκληση αναπνευστικών προβλημάτων. Το αναπνευστικό πρόβλημα είναι πιο έντονο σε παιδιά και φυσικά σε άτομα που ταλαιπωρούνται με άσθμα. Οι επιπτώσεις αναλύονται περεταίρω στο εδάφιο 2.2. Επίσης εντείνουν το φαινόμενο της όξινης βροχής. Όξινη βροχή είναι όρος που αναφέρεται στην παρουσία όξινων διαλυμένων ρύπων σε αυτήν. Έχει έντονες επιπτώσεις σε φυσικά οικοσυστήματα, την διάβρωση των ιστορικών μνημείων, όπως την διάβρωση των μαρμάρων του Παρθενώνα, και το σημαντικότερο βλάπτει άμεσα την ανθρώπινη υγεία. Μάλιστα έχουν γίνει έρευνες που συνδέουν αυτό το φαινόμενο με την εμφάνιση συγκεκριμένων μορφών καρκίνου. Ένα άλλο φαινόμενο στο οποίο έχουν συμβολή τα οξείδια του αζώτου είναι ο «ευτροφισμός», την δέσμευση δηλαδή του οξυγόνου από το άζωτο, το οποίο υπερσυγκεντρώνεται σε εκβολές ποταμών και λιμνοθάλασσες. Αλλάζει την χημική ισορροπία των υδάτινων μαζών, και η έλλειψη οξυγόνου προκαλεί μείωση του πληθυσμού των ψαριών και των οστρακοειδών. Σε επίπεδο ποιότητας αέρα, τα NOx αντιδρούν με οργανικές ενώσεις και το όζον, σχηματίζοντας έτσι τοξικά προϊόντα που δύναται να προκαλέσουν βιολογικές μεταλλάξεις.

Η περιεκτικότητα του θείου που υπάρχει στο βαρύ πετρέλαιο είναι 2700 φορές μεγαλύτερη σε σχέση με το καύσιμο των αυτοκινούμενων οχημάτων. Τα οξείδια του θείου SOx προκαλούν όξυνση των εδαφών, του αέρα και προκαλούν ζημιές στα διάφορα οικοσυστήματα. Κυριότερος εκπρόσωπος των οξειδίων του θείου είναι το διοξείδιο του θείου (SO<sub>2</sub>), αφού αποτελεί την ουσία που συγκεντρώνει την μεγαλύτερη ανησυχία και πολλές φορές χρησιμοποιείται ως δείκτης για όλη την οικογένεια των οξειδίων του θείου SOx.

Ο IMO καθιέρωσε τις περιοχές ECAs (Emission Control Areas—Περιοχές Ελέγχου Εκπομπών), στις οποίες υπάρχει ένα ανώτατο όριο περιεκτικότητας των δύο πιο πάνω ομάδων ουσιών, ενώ υπάρχει και ένα χαμηλότερο ανώτατο όριο περιεκτικότητας για περιοχές εκτός ECAs. Πιο συγκεκριμένα, για τα οξείδια του αζώτου NOx ορίζονται οι περιοχές «Tier», ενώ για τα οξείδια του θείου SOx ορίζονται οι περιοχές «SECAs» (Sulfur Emission Control Areas). Στο Σχήμα 3.3 φαίνεται ο παγκόσμιος χάρτης με τις περιοχές SECAs μαζί με τα χρονικά πλαίσια για μείωση των εκπομπών οξειδίων του θείου που υιοθέτησε ο IMO. Για να είναι συμβατά τα πλοία με τις απαιτήσεις του διεθνούς οργανισμού (ειδικότερα από το 2020 και μετά) και την μείωση της περιεκτικότητας των καυσαερίων σε θείο, οι πλοιοκτήτες αναγκάστηκαν να εγκαταστήσουν scrubbers ενώ μια άλλη εναλλακτική είναι η χρήση (ακριβότερου) καυσίμου με μικρότερες ποσότητες θείου.



Σχήμα 3.3 Περιοχές SECAs και απαιτήσεις του IMO με το πέρας του χρόνου

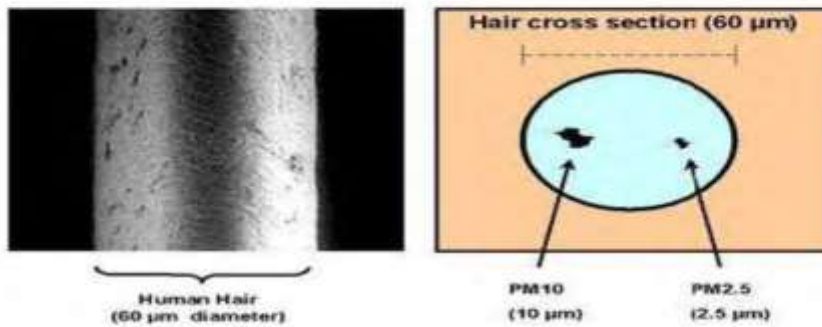
## 3.2 Επιπτώσεις καυσαερίων στην υγεία

Η ήδη βεβαρυσμένη από την αστική δραστηριότητα ατμόσφαιρα των παράκτιων περιοχών επιβαρύνεται και από την κίνηση των λιμανιών της. Η κίνηση των πλοίων αλλά και η παραγωγή της απαιτούμενης ηλεκτρικής ενέργειας μέσω γεννητριών είναι πηγές επιπλέον αερίων.

Οι ρύποι που παράγονται από την καύση πετρελαίου και των παραγώγων του θεωρείται πως έχουν αιτιολογική συσχέτιση με αύξηση της νοσηρότητας και της θνησιμότητας. Πιο συγκεκριμένα το CO<sub>2</sub>, το SO<sub>2</sub>, η ομάδα NO<sub>x</sub> και το όζον έχουν συσχετιστεί με διάφορες επιπτώσεις στην υγεία. Μάλιστα υπάρχουν ενδείξεις συσχέτισης με αποβολές εμβρύων και αρνητικές διαταραχές στην ανθρώπινη αναπαραγωγική δυνατότητα. Έτσι, μέσω διαφόρων μελετών, έχει αποδειχθεί ότι επίπεδα και όρια ρύπων που μέχρι τώρα θεωρούνταν ασφαλή, δεν κρίνονται ως αξιόπιστα και χρειάζεται περαιτέρω μείωση τους. Έχουν γίνει επίσης μελέτες που αποδεικνύουν την επίπτωση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στο ανθρώπινο καρδιο-αναπνευστικό σύστημα. Στο Ηνωμένο Βασίλειο, που ταλανίζεται από την ρύπανση του αέρα, υπολογίζεται ότι το 10% των περιπτώσεων του καρκίνου του πνεύμονα έχει ως πηγή την ατμοσφαιρική ρύπανση, με τις εκτιμήσεις να της αποδίδουν 24000 πρόωρους θανάτους. Άλλες εκτιμήσεις και μελέτες στην κεντρική Ευρώπη (Γαλλία, Ελβετία, Αυστρία) υπολογίζουν ότι το 6% των θανάτων οφείλεται στην ατμοσφαιρική ρύπανση. Η ποιότητα του αέρα συνδέεται άμεσα με την ποιότητα ζωής.

Μια κατηγορία ρύπων η οποία συχνά υποτιμάται είναι τα αιωρούμενα σωματίδια (particulate matter) ή αλλιώς PM. Είναι παράγωγα της καύσης ορυκτής ύλης και χημικών αντιδράσεων που λαμβάνουν χώρα στην ατμόσφαιρα. Μπορούν επίσης να παραχθούν από τις δασικές πυρκαγιές. Τα PM χαρακτηρίζονται από έναν αριθμό ο οποίος δηλώνει την διάμετρο του σε μμ. Τα πιο κοινά είναι PM<sub>2.5</sub> και PM<sub>10</sub>, δηλαδή αιωρούμενα σωματίδια με διάμετρο μικρότερη των 2.5 και 10 μμ αντίστοιχα. Αυτά τα μεγέθη είναι τόσο μικρά, που δεν φαίνονται με γυμνό μάτι και είναι υποπολλαπλάσιο από το μέγεθος μίας ανθρώπινης τρίχας (βλέπε Σχήμα 3.4).

## HOW SMALL IS PM?



Σχήμα 3.4 Μέγεθος αιωρούμενων σωματιδίων

Τα PM10 και ιδίως τα PM2.5 έχουν επικίνδυνο ρόλο στην υγεία αφού το μικρό τους μέγεθος επιτρέπει την είσοδο και την πιθανή εναπόθεσή τους στις κυψελίδες των πνευμόνων. Μακροχρόνια παραμονή τους σε αυτές δύναται να δημιουργήσει σοβαρά προβλήματα στην περιοχή.

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει το μεγάλο Ευρωπαϊκό ερευνητικό πρόγραμμα APHEA (Air Pollution and Health - a European Approach) το οποίο ανέλυσε στοιχεία από 30 πόλεις και είχε ως στόχο την μελέτη των βραχυπρόθεσμων επιδράσεων της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στην υγεία.

Τα αποτελέσματα του προγράμματος συσχέτισαν την αύξηση των επιπέδων αιωρούμενων σωματιδίων με την αύξηση της θνησιμότητας, των καρδιαγγειακών και αναπνευστικών προβλημάτων. Πιο συγκεκριμένα αύξηση των PM10 κατά  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , σχετίζεται με αύξηση στην ολική θνησιμότητα κατά 0.6%, αύξηση κατά 1% στην αναπνευστική θνησιμότητα και 0.8% στην καρδιακή θνησιμότητα. Για την ίδια αύξηση, οι εισαγωγές στα νοσοκομεία λόγω αναπνευστικών προβλημάτων σημείωσαν αύξηση κατά 0.3% στις ηλικίες 15-64 ετών και αύξηση 1% σε άτομα άνω των 65 ετών.

Η ίδια έρευνα έδειξε ότι ίση αύξηση ( $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) στα επίπεδα του  $\text{SO}_2$  οδηγεί στατιστικά σε ημερήσια αύξηση της καρδιαγγειακής θνησιμότητας κατά 0.8% και της αναπνευστικής κατά 1%. Για το  $\text{NO}_2$ , η αύξηση της ολικής θνησιμότητας κυμαίνεται στο 0.3%.

Οι ευπαθείς ομάδες του πληθυσμού είναι επιρρεπείς ακόμα και σε χαμηλά επίπεδα ρύπανσης. Σε ένα γενικό πλαίσιο που θεωρεί την ατμοσφαιρική ρύπανση ως φαινόμενο επιβλαβές για την υγεία, στις ευάλωτες ομάδες συγκαταλέγονται τα παιδιά, οι ηλικιωμένοι και άτομα που πάσχουν από ασθένειες που σχετίζονται με το αναπνευστικό σύστημα. Πιο συγκεκριμένα, οι ηλικιωμένοι και άνθρωποι που πάσχουν από χρόνια αναπνευστικά προβλήματα είναι περισσότερο ευάλωτοι στις τοξικές συνέπειες της ατμοσφαιρικής ρύπανσης, με το χειρίστο σενάριο να είναι πρόωρος θάνατος με αίτιο καρδιακή ή πνευμονική πάθηση.

Στα επόμενα σημεία θα αναλυθούν με μεγαλύτερη λεπτομέρεια οι βλαβερές επιπτώσεις των σημαντικότερων επιμέρους ουσιών που περιέχουν τα καυσαέρια.

- **Διοξείδιο του άνθρακα (CO<sub>2</sub>):**

Η υγεία ατόμων που ζουν σε περιοχές όπου υπάρχουν μεταφορές (συμπεριλαμβανομένης και της ακτοπλοϊκής) με εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα πρέπει να χαρακτηρίζεται από ρίσκο. Το CO<sub>2</sub> έχει πολλές βλάβες που ποικίλουν από ψυχολογικές έως τοξικές, αναισθητικές και θανατηφόρες. Οι επιπτώσεις του διοξειδίου του άνθρακα σε ένα άτομο εξαρτώνται από την συγκέντρωσή του στην ατμόσφαιρα, την διάρκεια έκθεσης καθώς και από τα επιμέρους χαρακτηριστικά του ατόμου όπως την ηλικία, την κατάσταση της υγείας του, την φυσική του δραστηριότητα και την ποιότητα της ζωής του. Σε μεγάλες συγκεντρώσεις, το CO<sub>2</sub> εκτοπίζει το οξυγόνο από την ατμόσφαιρα, δημιουργώντας έτσι τοξικές συνθήκες. Σημάδια ασφυξίας παρουσιάζονται όταν το ποσοστό του ατμοσφαιρικού O<sub>2</sub> είναι ≤16%. Σχεδόν άμεση αναισθησία συμβαίνει όταν αυτό το ποσοστό γίνει 10-13%, ενώ σε μερικές έρευνες αναισθησία επήλθε σε λιγότερα από 30 δευτερόλεπτα σε ασθενείς που ανάπνεαν 30% CO<sub>2</sub> και 70% O<sub>2</sub>. Επιπλέον, έρευνα έχει δείξει ότι η αποδοτικότητα και η ικανότητα λήψης αποφάσεων ενός ατόμου βρίσκεται σε οριακά ή ακόμα και δυσλειτουργικά επίπεδα σε χώρους με υψηλές συγκεντρώσεις CO<sub>2</sub>.

- **Διοξείδιο του θείου (SO<sub>2</sub>):**

Ως κύριος εκπρόσωπος των οξειδίων του θείου, το SO<sub>2</sub> έχει αποτελεί το σημείο αναφοράς αυτής της ομάδας ουσιών. Μακροχρόνια έκθεση σε αυτό δύναται να προκαλέσει χρόνια βρογχίτιδα, να επηρεάσει τον πνευμονικό αμυντικό μηχανισμό και να δυσχεραίνει τυχόν υπάρχουσες καρδιακές ασθένειες. Ιδιαίτερα επικίνδυνο είναι για ασθματικούς, καθώς μπορεί να αυξήσει τις πιθανότητες εμφάνισης δυσάρεστων επεισοδίων. Λόγω της μεγάλης του διαλυτότητας, απορροφάται από τα υγρά τους αναπνευστικού συστήματος, με επακόλουθο την δυσκολία διόδου του ατμοσφαιρικού αέρα στους πνεύμονες και δημιουργία βλέννας. Επίσης προκαλεί δύσπνοια και ρόγχο, ενώ σε υψηλότερες συγκεντρώσεις το SO<sub>2</sub> μπορεί να βλάψει τα μάτια με ερεθισμό και μείωση της ορατότητας. Πέραν από τους ασθματικούς, στις ευπαθείς ομάδες της έκθεσης σε SO<sub>2</sub> ανήκουν καρδιοπαθείς, άτομα με πνευμονολογικά προβλήματα, παιδιά και ηλικιωμένοι. Μάλιστα έρευνα της COMEAP (Βρετανική Επιτροπή για τις Επιπτώσεις των Αερίων Ρύπων στην Υγεία), στην Βρετανία το SO<sub>2</sub> μπορεί να συνδέεται με πρόωρους θανάτους και 3500 έκτακτες εισαγωγές σε νοσοκομεία κάθε χρόνο.

- **Οξείδια του Αζώτου (NO<sub>x</sub>):**

Τα NO, NO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>O<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O<sub>5</sub> αποτελούν οξείδια του αζώτου τα οποία δύναται να προκαλέσουν αιματολογικά και πνευμονικά προβλήματα μετά από μεγάλη έκθεση σε αυτά. Ακόμα το ήπαρ και οι πνεύμονες είναι δύο λειτουργικά όργανα που είναι ευάλωτα σε αυτή την ομάδα οξειδίων. Συμβάλουν στην στεφανιαία νόσο και συνδέονται με τον σπασμό των στεφανιαίων. Στη χειρίστη των περιπτώσεων οδηγούν σε αιφνίδιο θάνατο. Αντιδρούν με την αμμωνία, την υγρασία και άλλες ουσίες δημιουργώντας έτσι το επιβλαβές νιτρικό οξύ. Άμεση επίπτωση αυτής της αντίδρασης είναι η δημιουργία τοξικών προϊόντων που μπορούν να προκαλέσουν βιολογικές μεταλλάξεις. Η αιθαλομίχλη είναι ένα ακόμα προϊόν της χημικής αντίδρασης των NO<sub>x</sub> με πτητικές οργανικές ενώσεις και το ηλιακό φως. Σε συνθήκες απουσίας ή μειωμένης παρουσίας ανέμου, η αιθαλομίχλη μολύνει περιοχές σε μεγάλες αποστάσεις και όταν εισπνέεται δημιουργεί λαχάνιασμα, αναπνευστικό συριγμό και ευπάθεια σε αναπνευστικά προβλήματα. Είναι δυνατόν να προκαλέσει άσθμα και πνευμονικές φλεγμονές. Η αιθαλομίχλη είναι επικίνδυνη ειδικότερα για τα παιδιά, τους ηλικιωμένους και για άτομα με αναπνευστικά προβλήματα.

- **Αιωρούμενα Σωματίδια (PM):**

Έρευνες ανά το παγκόσμιο έχουν ενοχοποιήσει τα μικροσωματίδια για αύξηση της θνησιμότητας και για σοβαρές βλάβες στην υγεία. Η εύκολη μεταφορά τους μέσω των ανέμων και η εγκατάστασή τους σε επιφάνειες και ύδατα μολύνουν το περιβάλλον και την τροφική αλυσίδα, με ανάλογες επιπτώσεις στην υγεία. Οι άνθρωποι σε περιοχές με υψηλή περιεκτικότητα σε αυτά έχουν συνδεθεί με μειωμένη πνευμονική λειτουργία, ανάπτυξη χρόνιας βρογχίτιδας και σε κάποιες περιπτώσεις ακόμα και με πρόωρο θάνατο. Στις ευάλωτες ομάδες όσον αφορά τα PM ανήκουν ασθματικοί, καρδιακοί, τα παιδιά, οι ηλικιωμένοι και άτομα που έχουν προβλήματα αναπνευστικού. Λόγω του μικρού τους μεγέθους τα PM μπορούν να εισέλθουν στους πνεύμονες και να εναποτεθούν στις κυψελίδες. Σε μεγάλα χρονικά διαστήματα, η παραμονή τους στις κυψελίδες μπορεί να επιδεινώσει ή και να δημιουργήσει παθήσεις του αναπνευστικού. Με υπερβολική έκθεση σε αυτά, ο κίνδυνος καρδιακής ανακοπής, πρόωρου θανάτου και δημιουργία χρόνιων αναπνευστικών αυξάνεται.

Ως κύριο υπαίτιο όλων αυτών, οι έρευνες καταδεικνύουν τα σωματίδια διαμέτρου μικρότερης των 10 μm που εισχωρούν πιο βαθιά στο αναπνευστικό σύστημα.

Χαρακτηριστικό της επικινδυνότητας τους είναι το γεγονός ότι ο Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας (ΠΟΥ – WHO) δεν δέχεται πλέον κατώτερο όριο ασφαλείας για τα αιωρούμενα σωματίδια.

## 4. ΜΠΑΤΑΡΙΕΣ

### 4.1 Βολταϊκή στήλη

Από τα πρώτα χρόνια της ανακάλυψης του ηλεκτρισμού και των δυνατοτήτων του γεννήθηκε η ανάγκη αποθήκευσης του. Η πρώτη μπαταρία που αναφέρεται ως «βολταϊκή στήλη» δημιουργήθηκε από τον Ιταλό επιστήμονα Alessandro Volta, τον άνθρωπο που συνέλαβε πριν απ' όλους την έννοια της τάσης και την μεταλαμπάδεψε στην ανθρωπότητα. Έτσι προς τιμήν του η μονάδα μέτρησης της τάσης και της διαφοράς τάσης του ηλεκτρικού ρεύματος ονομάστηκε Volt [V]. Η μπαταρία που δημιούργησε ο Volta πιστώνεται ως το πρώτο ηλεκτροχημικό κελί και ο ίδιος αποδίδει φόρο τιμής στους Γουίλιαμ Νίκολσον, Τιβέριο Καβάλο και Αβραάμ Μπένετ για την συμβολή τους στην μελέτη του συγκεκριμένου επιστημονικού πεδίου που κατέστησαν δυνατή την δημιουργία της μπαταρίας.



Σχήμα 4.1 Alessandro Volta

Η εφεύρεση ήταν έτοιμη λίγο πριν την δύση του 18<sup>ου</sup> αιώνα. Ήταν τόσο σημαντική που ο ίδιος ο Volta την παρουσίασε αυτοπροσώπως σε ένα από τους μεγαλύτερους στρατηλάτες της ιστορίας και τον ισχυρότερο άνδρα εκείνης της εποχής, τον Ναπολέοντα Βοναπάρτη. Μάλιστα η σκηνή αποδόθηκε καλλιτεχνικά μέσω του πίνακα «Alessandro Volta demonstrating his battery to Napoleon» ή «Ο Αλεσάντρο Βόλτα παρουσιάζει την μπαταρία του στον Ναπολέοντα» του Ιταλού ζωγράφου Giuseppe Bertini (1825–1898). Το γεγονός αυτό δείχνει τις δυνατότητες της μπαταρίας, η οποία μπορούσε να χρησιμοποιηθεί σε πάρα πολλές εφαρμογές, συμπεριλαμβανομένων και των στρατιωτικών, στις οποίες την εποχή εκείνη οι αυτοκρατορίες απελευθέρωναν τεράστια κονδύλια.



Σχήμα 4.2 «Ο Αλεσάντρο Βόλτα παρουσιάζει την μπαταρία του στον Ναπολέοντα», Giuseppe Bertini

Εύκολα γίνεται αντιληπτή η μεγάλη σημασία της «βολταϊκής στήλης». Η εφεύρεση αυτή ήταν η αρχή μιας σειράς ανακαλύψεων όπως την αποσύνθεση του νερού σε οξυγόνο και υδρογόνο από τον προαναφερθέντα Γουίλιαμ Νίκολσον στον οποίο ο ίδιος ο Volta επισήμανε τιμητικά για την συμβολή του στις δημοσιεύσεις του για την βολταϊκή στήλη. Επιπρόσθετα συνέβαλε στην επιστήμη της Χημείας, αφού η πρώτη μπαταρία οδήγησε στην ανακάλυψη πολλών στοιχείων αφού σε μια διετία (1807 και 1808) προστέθηκαν στον περιοδικό πίνακα το νάτριο (1807), κάλιο (1807), ασβέστιο (1808), βόριο (1808), βάριο (1808) και στρόντιο (1808).

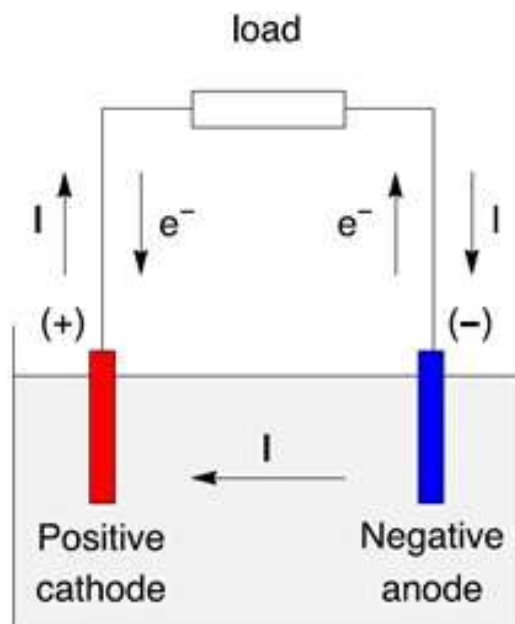


Σχήμα 4.3 Βολταϊκή Στήλη στο Κόμο της Ιταλίας όπου έζησε ο Βόλτα



## 4.2 Αρχή Λειτουργίας

Η φιλοσοφία πίσω από κάθε μπαταρία είναι η μετατροπή χημικής ενέργειας σε ηλεκτρική. Ουσιαστικά κάθε μπαταρία είναι ένα δοχείο με χημικά στοιχεία που παράγουν ηλεκτρόνια. Οι χημικές αντιδράσεις παραγωγής ηλεκτρονίων ονομάζονται ηλεκτροχημικές αντιδράσεις. Όταν δύο ανόμοια υλικά, που ονομάζονται ηλεκτρόδια, εμβαπτίζονται με ηλεκτρολύτη αναπτύσσεται διαφορά τάσης. Ηλεκτρολύτης είναι υδατικό διάλυμα που παρέχει ελεύθερα κινούμενα ιόντα και έτσι καθίσταται ηλεκτρικά αγώγιμο. Ένας τέτοιος ηλεκτρολύτης μπορεί να είναι διάλυμα θειικού οξέος και νερού. Το ένα υλικό συμπεριφέρεται ως άνοδος (χάνει ηλεκτρόνια), ενώ το άλλο σαν κάθοδος (λαμβάνει ηλεκτρόνια), ενώ είναι εμβαπτισμένα στον ηλεκτρολύτη. Εδώ αξίζει να σημειωθεί ότι η φορά του ηλεκτρικού ρεύματος  $I$  είναι αντίθετη από την πραγματική φορά των ηλεκτρονίων, γεγονός που οφείλεται σε ιστορικούς λόγους. Έχει επικρατήσει η παραδοχή ότι φανταστικά θετικά φορτισμένα σωματίδια τα οποία αντιπροσωπεύουν το ηλεκτρικό ρεύμα  $I$  και την φορά του, κινούνται από τον θετικό στον αρνητικό πόλο. Η φορά κίνησης αυτών των φανταστικών θετικά φορτισμένων σωματιδίων ονομάζεται συμβατική φορά. (βλέπε Εικόνα 4.4)



Σχήμα 4.4 Άνοδος και κάθοδος

Ως άνοδος ορίζεται το υλικό το οποίο χάνει ηλεκτρόνια και έτσι λαμβάνει χώρα οξείδωση. Ως κάθοδος ορίζεται το υλικό το οποίο δέχεται ηλεκτρόνια και λαμβάνει χώρα η αναγωγή. Κάθε υλικό μπορεί να λειτουργήσει ως άνοδος ή κάθοδος, ανάλογα με το πόσο ευγενές είναι το άλλο ηλεκτρόδιο. Όταν το άλλο ηλεκτρόδιο είναι πιο ευγενές, το υλικό λειτουργεί ως άνοδος, χάνοντας έτσι ηλεκτρόνια και οδηγείται στην διάβρωση. Όταν το άλλο ηλεκτρόδιο είναι λιγότερο ευγενές, το υλικό συμπεριφέρεται σαν κάθοδος, λαμβάνει ηλεκτρόνια και προστατεύεται από την διάβρωση. Η κατάταξη των μετάλλων με βάση την δραστηρότητά τους παρουσιάζεται στο Σχήμα 4.5.



Σχήμα 4.5 Κατάταξη μετάλλων ανάλογα με την δραστηκότητά τους

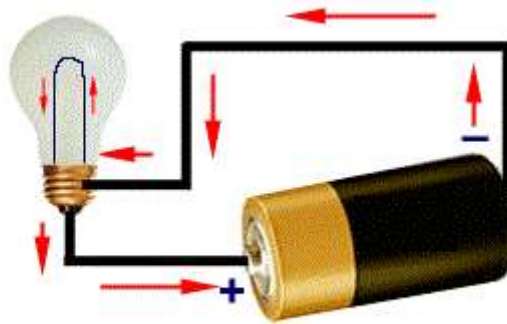
Τα υλικά που χρησιμοποιούνται ως άνοδοι είναι τα λιγότερο ευγενή και τα πιο επιρρεπή στην διάβρωση, αποθέτοντας τα ηλεκτρόνια τους σε μορφή ιόντων με ευκολία. Τα μέταλλα αυτά περιλαμβάνουν κυρίως τον ψευδάργυρο (Zn), τον μόλυβδο (Pb), το κάδμιο (Cd) και το λίθιο (Li).

Όσον αφορά τις καθόδους, τα ηλεκτρόδια τους είναι κατασκευασμένα από πιο ευγενή υλικά όπως διοξείδιο του μαγγανίου ( $MnO_2$ ), το Οξύ-υδροξείδιο του Νικελίου ( $NiO-OH$ ), το οξείδιο του αργύρου ( $Ag_2O$ ), και το οξείδιο του κοβαλτίου-λιθίου ( $LiCoO_2$ ).

Το φαινόμενο αυτό χρησιμοποιείται και για προστασία από διάβρωση κάποιων εξαρτημάτων ή μερών μιας διάταξης σε διαβρωτικά περιβάλλοντα. Χαρακτηριστικό και παρεμφερές με το θέμα αποτελεί η ανοδική προστασία της γάστρας ενός πλοίου, όπου λιγότερο ευγενή θυσιαζόμενες άνοδοι τοποθετούνται στο εξωτερικό της περίβλημα, προστατεύοντας την έτσι από το διαβρωτικό περιβάλλον της θάλασσας.

Κάθε μπαταρία διαθέτει δύο ακροδέκτες ή πόλους. Ο ένας είναι θετικός (+) και ο άλλος αρνητικός. Η μορφή κάθε ακροδέκτη εξαρτάται από το μέγεθος και την εφαρμογή της μπαταρίας. Για παράδειγμα σε μια μικρή μπαταρία οικιακής χρήσης (π.χ για τηλεχειριστήριο, φακούς χειρός κτλ) οι ακροδέκτες βρίσκονται στις δύο άκρες της μπαταρίας, ενώ σε πιο μεγάλου μεγέθους (π.χ αυτοκινήτου) οι ακροδέκτες είναι δύο μεγάλες θέσεις μόλυβδου.

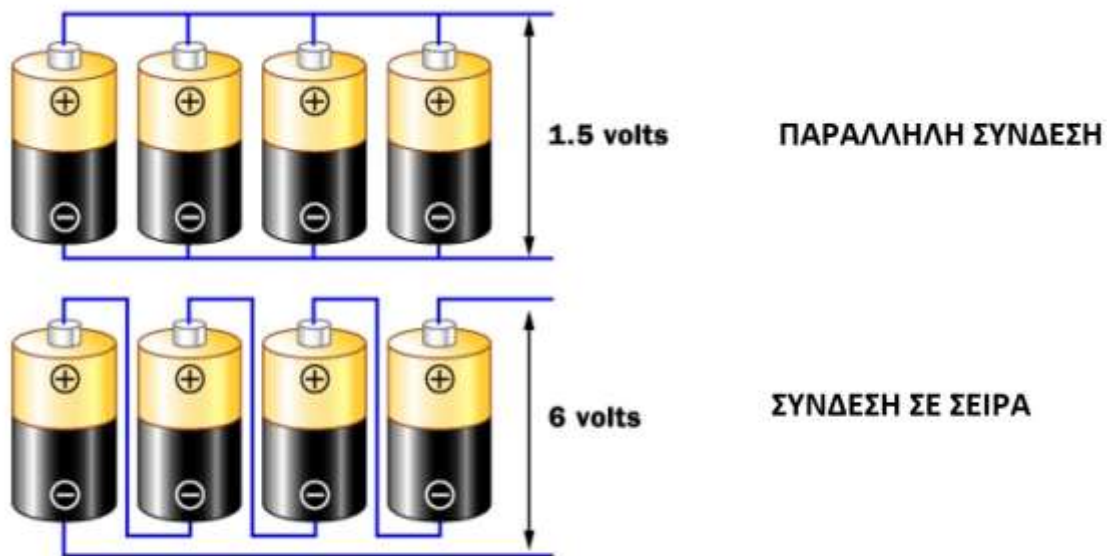
Τα ηλεκτρόνια συσσωρεύονται στον αρνητικό πόλο της μπαταρίας. Ενδεχόμενη σύνδεσή των δύο πόλων χωρίς ενδιάμεσο ηλεκτρικό στοιχείο οδηγεί στην τάχιστα ροή των ηλεκτρονίων προς τον θετικό πόλο, πράγμα που δεν συνίσταται. Συνήθως μεταξύ των δύο πόλων συνδέεται κάποιο στοιχείο το οποίο απαιτεί ενέργεια για να λειτουργήσει μέσω ηλεκτρικού καλωδίου. Το πιο απλό λειτουργικό ίσως κύκλωμα και ταυτόχρονα το πιο γνωστό που μπορεί να υπάρξει με την χρήση μίας μπαταρίας είναι το κύκλωμα ηλεκτροδότησης μιας λάμπας.



Σχήμα 4.6 Ηλεκτρικό κύκλωμα με μπαταρία και λάμπα

Κάθε μπαταρία διαθέτει εσωτερική αντίσταση, ένα μέγεθος που ορίζει την ταχύτητα παραγωγής ηλεκτρονίων που ρέουν στο κύκλωμα. Εάν το κύκλωμα δεν είναι κλειστό, η ροή των ηλεκτρονίων δεν λαμβάνει χώρα, ούτε η χημική αντίδραση, με αποτέλεσμα όλη η χημική ενέργεια να παραμένει στην μπαταρία.

Η μπαταρία αποτελείται από ένα ή περισσότερα κελιά που συνδέονται μεταξύ τους. Το κελί είναι η βασική ηλεκτροχημική μονάδα ικανή να παράγει ηλεκτρική ενέργεια που προέρχεται από χημικές αντιδράσεις που αναφέρθηκαν πιο πάνω. Ο συνδυασμός πολλών ίδιων κελιών ονομάζεται συστοιχία. Ο τρόπος συνδεσμολογίας των κελιών καθορίζει και την τιμή της τάσης και της έντασης του ηλεκτρικού ρεύματος. Οι δυο συνδεσμολογίες είναι «παράλληλα» και «σε σειρά». Η παράλληλη συνδεσμολογία προσφέρεται για άθροιση της τιμής της έντασης του ηλεκτρικού ρεύματος, ενώ η συνδεσμολογία σειράς προσφέρεται για αύξηση της τάσης, όπως φαίνεται στην εικόνα 4.7.



Σχήμα 4.7 «Παράλληλη» σύνδεση και σύνδεση «σειράς»

## 4.3 Κύρια Χαρακτηριστικά Κελιών

Όπως κάθε προϊόν, έτσι και τα κελιά της μπαταρίας έχουν κάποια χαρακτηριστικά μεγέθη που επιτρέπουν την περιγραφή, μοντελοποίηση και βελτίωσή τους.

- **Χωρητικότητα – Capacity (Ah):**

Μέγεθος το οποίο δηλώνει την ποσότητα ηλεκτρικού φορτίου, σε αμπερώρες (Amperehours), που είναι διαθέσιμες όταν η μπαταρία εκφορτίζεται με σταθερό ρυθμό. Έχει μονάδα μέτρησης τα αμπερώρια. Υπολογίζεται πολλαπλασιάζοντας το ρεύμα εκφόρτωσης με τον χρόνο εκφόρτωσης σε ώρες. ( $1 \text{ Ah} = 1 \text{ [C/s]} * 3600 \text{ [s]}$ )

- **Επίπεδο φόρτισης – State Of Charge (SOC):**

Ο λόγος της χωρητικότητας σε Ah σε μία συγκεκριμένη κατάσταση-χρονική στιγμή προς την ονομαστική χωρητικότητα. όταν ένα κελί – μπαταρία είναι πλήρως φορτισμένο, το ποσοστό αυτό ισούται με 100%, ενώ όταν είναι «άδειο», το ποσοστό αυτό είναι ίσο με 0%. Το πιο χαρακτηριστικό παράδειγμα για κατανόηση αυτού του μεγέθους, είναι το σύμβολο που υπάρχει στα κινητά τηλέφωνα και δείχνει το ποσοστό φόρτισης της μπαταρίας του.

- **Κατάσταση Υγείας –State of Health (SOH):**

Ποσοστό το οποίο δηλώνει την κατάσταση – απόδοση ενός κελιού, την ικανότητα του όσον αφορά την αποθήκευση ενέργειας και διατήρησή της για μεγάλα χρονικά διαστήματα, πάντα σε σύγκριση με την αρχική του κατάσταση. Το ιδανικό είναι 100% και αυτό συμβαίνει αμέσως μετά την κατασκευή του, ενώ μειώνεται όσο ο χρόνος ζωής του αυξάνεται. Ένα κελί θεωρείται ότι φτάνει στο τέλος της ζωής του όταν αυτό το ποσοστό φτάσει το 80%.

- **Βαθμός Εκφόρτωσης – Depth Of Discharge (DOD):**

Ποσοστό της χωρητικότητας που έχει αποφορτιστεί ως προς την μέγιστη χωρητικότητα. Ουσιαστικά αποτελεί το συμπλήρωμα του SOC ( $\text{DOD}[\%] = 100 [\%] - \text{SOC} [\%]$ )

- **Δέλτα Επίπεδο φόρτισης – Delta State Of Charge (DSOC, ΔSOC):**

Το μέγεθος του κύκλου είναι μια σημαντική πτυχή στον καθορισμό, λειτουργία και διάρκεια ζωής της μπαταρίας, αλλά συχνά οι κύκλοι δεν φτάνουν το 100% SOC, επομένως η χρήση του όρου DOD είναι ανακριβής και μπορεί να προκαλέσει σύγχυση. Συνιστάται η χρήση του όρου Delta State of Charge (DSOC, ΔSOC) για να δείξει τη διαφορά στο μέγιστο και το ελάχιστο SOC που σχετίζονται με μια δεδομένη λειτουργία ή τον κύκλο ( $\text{DSOC} = \text{SOC}_{\text{MAX}} - \text{SOC}_{\text{MIN}}$ ). Για παράδειγμα, μια μπαταρία που κυκλοφορεί μεταξύ 75% SOC και 25% SOC θα αντιμετωπίζει ένα μέγεθος κύκλου 50% DSOC (= 75% SOC - 25% SOC.)

- **Ρυθμός Εκφόρτωσης/ φόρτωσης – C-rate:**

Ο ρυθμός εκφόρτισης/φόρτισης αφορά το ρεύμα που χρησιμοποιείται για την εκφόρτιση ή την φόρτιση ενός κελιού ή μιας μπαταρίας κανονικοποιημένο σαν πολλαπλάσιο της ονομαστικής χωρητικότητας του. Ρυθμός εκφόρτισης 1C σημαίνει ότι το ρεύμα θα εκφορτίσει το κελί σε μια ώρα με ρεύμα όσο η ονομαστική χωρητικότητα προς τον χρόνο της μιας ώρας ενώ ρυθμός C/2, δηλαδή ρεύμα όσο το μισό της ονομαστικής τιμής θα χρειαστεί δύο ώρες για να εκφορτίσει την μπαταρία.

- **Κύκλοι ζωής – Cycle Life:**  
Ο αριθμός (κατά κανόνα ακέραιος) των κύκλων φόρτωσης – εκφόρτωσης που πραγματοποιεί ένα κελί μέχρι να φτάσει στο τέλος της ζωής του.
- **Ονομαστική Τάση – Nominal Voltage:**  
Η τιμή της τάσης που ένα κελί διατηρεί κατά το μεγαλύτερο κομμάτι της λειτουργίας του.
- **Τάση Αποκοπής – Cut Off Voltage:**  
Η ελάχιστη επιτρεπόμενη τιμή της τάσης.
- **Εσωτερική Αντίσταση – Internal Resistance:**  
Η τιμή της εσωτερικής αντίστασης, διαφέρει κατά την φόρτωση/ εκφόρτωση. Με την πάροδο του χρόνου αυξάνεται, δημιουργώντας έτσι μεγαλύτερες απώλειες.
- **Ειδική Ενέργεια – Specific Energy (Wh/kg):**  
Η διαθέσιμη ενέργεια ανά μονάδα μάζας του κελιού.
- **Ειδική Ισχύς – Specific Power (W/kg):**  
Η διαθέσιμη ισχύς ανά μονάδα μάζας του κελιού.
- **Πυκνότητα Ενέργειας – Energy Density (Wh/L):**  
Η διαθέσιμη ενέργεια ανά μονάδα όγκου του κελιού.
- **Πυκνότητα Ισχύος – Power Density (W/L):**  
Η διαθέσιμη ισχύς ανά μονάδα όγκου του κελιού.
- **Αυτοεκφόρτωση – Self Discharge:**  
Αφορά την σταδιακή μείωση του ποσοστού φόρτισης ενός κελιού μετά το πέρας μεγάλου χρονικού διαστήματος αποθήκευσης της ενέργειας και αποτελεί ένδειξη της προχωρημένης ηλικίας του.

## 4.4 Τύποι Μπαταριών

Οι μπαταρίες χωρίζονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες με κριτήριο το αν είναι επαναφορτιζόμενες ή όχι. Οι μπαταρίες που δεν μπορούν να επαναφορτιστούν ονομάζονται πρωτογενείς, ενώ οι μπαταρίες που μπορούν να επαναφορτιστούν και επομένως έχουν μεγαλύτερη βιομηχανική εφαρμογή ονομάζονται δευτερογενείς.

Οι πρωτογενείς μπαταρίες περιορίζονται σε οικιακές χρήσεις, για συσκευές χαμηλών ενεργειακών αναγκών και χρήσεις της καθημερινής ζωής. Οι περισσότερες είναι κυλινδρικές ή κομβιόσχημες (κουμπιά), μικρές σε μέγεθος και χωρητικότητας κάτω από 20 Ah.



Σχήμα 4.8 Πρωτογενείς Μπαταρίες

Οι κύριοι αντιπρόσωποι των πρωτογενών μπαταριών είναι:

- Ψευδαργύρου – Άνθρακα (Zn- C):**  
 Ο πιο κοινός τύπος μπαταρίας μιας χρήσης. Έχει μικρή διάρκεια ζωής και προορίζεται για τις απλούστερες εφαρμογές οικιακής χρήσης. Παράγει τάση ίση με 1.5 V ανάμεσα στην άνοδο ψευδαργύρου και την κάθοδο όπου είναι μια ράβδος άνθρακα.
- Ψευδαργύρου – Χλωριδίου (Zn-Cl):**  
 Έχει μεγαλύτερη διάρκεια ζωής από τον προηγούμενο τύπο και χρησιμοποιείται σε εφαρμογές μεγαλύτερων ενεργειακών αναγκών.
- Αλκαλικές Μαγγανίου (Zn-MnO<sub>2</sub>):**  
 Έχουν μεγαλύτερη διάρκεια ζωής από τους δύο προηγούμενους τύπους μπαταριών και είναι φιλικότερες όσον αφορά το περιβαλλοντικό κομμάτι. Έχει ως άνοδο τον ψευδάργυρο και ως κάθοδο διοξείδιο του Μαγγανίου. Έχουν επίσης μεγαλύτερη ενεργειακή πυκνότητα. Ονομάζονται αλκαλικές επειδή χρησιμοποιούν αλκαλικό ηλεκτρολύτη, το υδροξείδιο του καλίου, αντί για χλωριούχο αμμώνιο ή χλωριούχο ψευδάργυρο που χρησιμοποιούν οι μπαταρίες Zn-C. Κατέχουν ένα τεράστιο ποσοστό στην παγκόσμια αγορά αφού αποτελούν το 80% της παραγωγής μπαταριών στις ΗΠΑ και το 47% των όλων των πωλήσεων μπαταριών (συμπεριλαμβανομένων και των δευτερογενών) στην Ευρωπαϊκή Ένωση.
- Αργύρου:**  
 Έχουν ως κάθοδο συνήθως οξείδιο του αργύρου Ag<sub>2</sub>O και ως άνοδο τον ψευδάργυρο με επιπλέον ένα αλκαλικό ηλεκτρολύτη. Έχουν πολύ μεγάλη ειδική ενέργεια και είναι διαθέσιμες σε σχήμα κουμπιού (κομβιόσχημες) επειδή σε τέτοια μεγέθη η χρήση του αργύρου περιορίζεται χωρικά και έτσι το κόστος είναι προσιτό στον μέσο καταναλωτή. Η κύρια τους χρήση είναι σε ρολόγια χειρός.
- Λιθίου:**  
 Έχουν ως άνοδο το λίθιο Li και πολλές φορές στην βιβλιογραφία αναφέρονται ως μπαταρίες λιθίου-μέταλλου. Ξεχωρίζουν λόγω της μεγάλης Πυκνότητας Ενέργειας και επομένως της εκτεταμένης ζωής τους. Ανάλογα με το μέταλλο της καθόδου, η τάση στα άκρα της ποικίλει από 1.5V έως 3.7 V. Συχνά συγχέονται με τις δευτερογενείς μπαταρίες Ιόντων Λιθίου οι οποίες είναι επαναφορτιζόμενες και θα γίνει ανάλυση τους στη συνέχεια της μελέτης.

- **Ψευδαργύρου – Αέρα:**

Κομβιόσχημες μπαταρίες με το μεγάλο τους πλεονέκτημα να είναι ότι αντί του θετικού πόλου χρησιμοποιείται το οξυγόνο του ατμοσφαιρικού αέρα.

Όπως είναι εύκολα αντιληπτό, οι πρωτογενείς μπαταρίες δεν μπορούν να έχουν μια βιώσιμη οικονομικά και τεχνικά εφαρμογή σε ένα ηλεκτροκίνητο ή υβριδικό σκάφος. Σε ένα υποθετικό σενάριο όπου εγκαθίστανται πρωτογενείς μπαταρίες σε ένα ηλεκτρικό Ferry, τα προβλήματα είναι πολλά και άλυτα. Πρώτα από όλα η εγκατάσταση των μπαταριών χρειάζεται κάποιο χρόνο, ειδικότερα όταν μιλάμε για διαστάσεις της τάξεως ενός πλοίου. Ο χρόνος που θα χρειαζόταν για αντικατάσταση των καταναλωμένων μπαταριών θα ήταν μεγάλος, θα χρειαζόταν να υπάρξει απόθεμα μπαταριών μίας χρήσης πάνω στο πλοίο χάνοντας έτσι το καράβι πολύτιμο όγκο και ωφέλιμο φορτίο από το Deadweight, ενώ ταυτόχρονα θα χρειαζόταν χρόνος και χώρος για απόθεση των άδειων μπαταριών. Από οικολογικής άποψης, πιθανή απώλεια των μπαταριών στην θάλασσα θα οδηγούσε σε διάβρωση των υδάτων και αλυσιδωτή αντίδραση στην βιοποικιλότητα. Η παραγωγή τους είναι ενεργειακά υψηλή και χρειάζεται μεγάλη κατανάλωση φυσικών πόρων για την κατασκευή τους. Ο πιο αποτρεπτικός παράγοντας χρήσης πρωτογενών μπαταριών στα πλοία είναι ο οικονομικός αφού το κόστος αλλαγής κάθε φορά των άδειων μπαταριών θα ήταν υπέρογκο και οι ενεργειακές απαιτήσεις για ένα τέτοιο εγχείρημα τεράστιες.

Οι δευτερογενείς μπαταρίες αποτελούν μονόδρομο όσον αφορά την ηλεκτρική πρόωση στη θάλασσα. Η έρευνα γύρω απ' αυτές έχει αυξηθεί κατά πολύ, ειδικά τα τελευταία χρόνια όπου προέκυψε η ανάγκη για βελτίωση τους στην αυτοκινητοβιομηχανία, στην εξερεύνηση του διαστήματος και σε μικρότερες εφαρμογές όπως τα κινητά τηλέφωνα και drones.

Οι κύριοι αντιπρόσωποι των δευτερογενών μπαταριών είναι:

- **Μόλυβδου-Οξέος(Lead –Acid):**

Είναι ο πρώτος τύπος επαναφορτιζόμενης μπαταρίας και ο εφευρέτης της είναι ο Γκαστόν Πλαντέ (1859). Παρόλο που είναι η «μητέρα» των επαναφορτιζόμενων μπαταριών, σήμερα έχει ευρεία χρήση καθώς είναι φτηνή, έχει την ικανότητα να τροφοδοτεί υψηλά ρεύματα εισροής και χαρακτηρίζεται από μεγάλη ειδική ενέργεια. Αυτά τα χαρακτηριστικά την καθιστούν ιδανική για ηλεκτρικούς ευκίνητες (Starter Motors). Ωστόσο συνοδεύεται από χαμηλή ειδική ενέργεια και χαμηλή πυκνότητα ενέργειας. Ο μόλυβδος είναι επικίνδυνος για το περιβάλλον και έτσι γίνονται μεγάλες προσπάθειες για ανακύκλωσή τους.

- **Νικελίου -Καδμίου (Ni-Cd ):**

Ένας ακόμα παλιός τύπος επαναφορτιζόμενης μπαταρίας ο οποίος εφευρέθηκε κατά το τέλος του 19<sup>ου</sup> αιώνα και συγκεκριμένα το 1899 στην Σουηδία από τον μηχανικό Waldemar Jungner. Χρησιμοποιεί οξείδιο του Νικελίου και μεταλλικό κάδμιο ως ηλεκτρόδια. Η επιτυχία και η οικονομία της βιομηχανίας αυτού του είδους μπαταρίας άρχισε να πέφτει την δεκαετία του 1990 όταν εμφανίστηκαν νέοι τύποι επαναφορτιζόμενων μπαταριών όπως η μπαταρία ιόντων-λιθίου που θα αναπτυχθεί αργότερα στην παρούσα μελέτη. Έχουν καλή διάρκεια ζωής, ικανοποιητική χωρητικότητα και καλή απόδοση σε χαμηλές θερμοκρασίες. Ωστόσο ο οικονομικός παράγοντας είναι το μεγάλο μειονέκτημα αυτών των μπαταριών, αφού τα υλικά κατασκευής της είναι πιο ακριβά από αντίστοιχους τύπους δευτερογενών μπαταριών, ενώ ταυτόχρονα παρουσιάζουν γοργούς ρυθμούς αυτοεκφόρτισης.

- **Νικελίου –Μετάλλου υδριδίου (NiMH):**

Αποτελεί πιο πρόσφατη πατέντα σε σχέση με τις προηγούμενες επαναφορτιζόμενες μπαταρίες. Η εφεύρεση της το 1967 οδήγησε σε χρηματοδότηση από την Volkswagen για περαιτέρω μελέτη και ανάπτυξη της. Το θετικό ηλεκτρόδιο μπαταρίας Νικελίου – Μετάλλου Υδριδίου χρησιμοποιεί υδροξείδιο οξειδίου του νικελίου ενώ το αρνητικό αποτελείται από ένα κράμα απορρόφησης υδρογόνου. Η συγκεκριμένη μπαταρία δύναται να έχει μέχρι και 3 φορές μεγαλύτερη χωρητικότητα σε σχέση με μια μπαταρία Ni-Cd αντιστοίχου μεγέθους, ενώ η πυκνότητα ενέργειας της προσεγγίζει αυτήν της μπαταρίας ιόντων λιθίου.

- **Ιόντων Λιθίου (Li based batteries):**

Το λίθιο (Li) είναι το ελαφρύτερο μέταλλο που εμφανίζεται στην φύση σε συνθήκες περιβάλλοντος. Αυτή του η ιδιότητα το καθιστά ιδανικό για μπαταρίες που απαιτείται μεγάλη ειδική ενέργεια (Wh/kg). Οι μπαταρίες ιόντων λιθίου χρησιμοποιούν μια παρεμβολόμενη χημική ένωση λιθίου ως υλικό του ενός ηλεκτροδίου, συγκρινόμενες με το μεταλλικό λίθιο που χρησιμοποιείται σε μια μη επαναφορτιζόμενη μπαταρία λιθίου. Οι μπαταρίες με βάση το λίθιο χαρακτηρίζονται από μεγάλη πυκνότητα ενέργειας ενώ το λίθιο κατέχει το την μεγαλύτερη τιμή όσον αφορά το ηλεκτροδιακό δυναμικό στα μέταλλα. Όλες αυτές οι ιδιότητες έδωσαν τεράστια δυναμική στην κατασκευή πολλών τύπου μπαταρίας Li με τεράστιες δυνατότητες. Μάλιστα το 2019 το Νόμπελ Χημείας δόθηκε στους Yoshino, Goodenough, and Whittingham για «την ανάπτυξη των μπαταριών ιόντων λιθίου». Ωστόσο υπάρχουν κίνδυνοι ασφαλείας αφού περιέχουν εύφλεκτους ηλεκτρολύτες που μπορούν να οδηγήσουν σε εκρήξεις και πυρκαγιές. Χαρακτηριστικό παράδειγμα της επικινδυνότητάς τους, αποτελούν τα ακουστικά του Galaxy Note 7, της Samsung.

Με την πάροδο του χρόνου αναπτύχθηκαν διάφορες μπαταρίες με βάση το λίθιο, η κάθε μια με διαφορετικά πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα έναντι των άλλων. Ο όρος «μπαταρία ιόντων λιθίου» περιγράφει την οικογένεια των μπαταριών με κοινή ιδιότητα ότι τα ηλεκτρόδια ανόδου και καθόδου μπορούν να δεχθούν ιόντα λιθίου.

Τα ιόντα λιθίου μετακινούνται από το αρνητικό ηλεκτρόδιο μέσω του ηλεκτρολύτη στο θετικό ηλεκτρόδιο κατά την εκφόρτιση. Το αντίθετο συμβαίνει κατά την φόρτιση. Ως κάθοδος χρησιμοποιείται στις πιο πολλές εφαρμογές ο γραφίτης. Ο κάθε τύπος μπαταρίας γράφεται είτε πλήρως είτε με τα χημικά σύμβολα που τον αποτελούν. Το λίθιο είναι ένα πολύ δραστικό μέταλλο, το ίδιο και οι ενώσεις του. Στον πίνακα 4.1 φαίνονται οι τιμές του ηλεκτροδιακού δυναμικού με στοιχείο αναφοράς το υδρογόνο (He) όπου λαμβάνει την τιμή 0. Όσο αυξάνεται (από τις αρνητικές τιμές στις θετικές) το δυναμικό στον πίνακα, τόσο πιο ευγενές είναι το στοιχείο. Χαρακτηριστικά το Λίθιο (Li) είναι το πιο δραστικό μέταλλο του συγκεκριμένου πίνακα.



Element	Electrode Potential (volts)
Lithium	-3.04
Rubidium	-2.92
Potassium	-2.92
Calcium	-2.87
Barium	-2.80
Sodium	-2.71
Magnesium	-2.37
Beryllium	-1.85
Aluminum	-1.67
Manganese	-1.19
Zinc	-0.76
Chromium	-0.74
Tungsten	-0.58
Iron	-0.44
Cadmium	-0.40
Cobalt	-0.28
Nickel	-0.24
Tin	-0.14
Lead	-0.13
Hydrogen	+0.00
Antimony	+0.10
Copper	+0.34
Iodine	+0.54
Silver	+0.80
Mercury	+0.85
Bromine	+1.07
Platinum	+1.20
Chlorine	+1.36
Gold	+1.50
Fluorine	+2.87

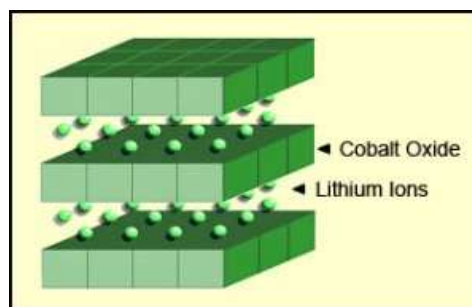
Πίνακας 4.1 Ηλεκτρικό δυναμικό διαφόρων στοιχείων

Πέραν της ονομασίας με βάση τα χημικά στοιχεία που αποτελούν την μπαταρία, έχουν καθιερωθεί για λόγους απλότητας αντίστοιχες συντομογραφίες. Για παράδειγμα το οξείδιο του κοβαλτίου λιθίου γράφεται στην γλώσσα της χημείας ως  $\text{LiCoO}_2$  ενώ η συντομογραφία του είναι LCO.

Οι πιο κοινοί τύποι μπαταριών ιόντων λιθίου είναι:

- **Οξείδιο του κοβαλτίου λιθίου ( $\text{LiCoO}_2$ ) – LCO:**

Το κύριο πλεονέκτημα τους είναι η υψηλή ειδική ενέργεια, η οποία καθιστά τις μπαταρίες αυτές εξαιρετικά δημοφιλείς σε καθημερινές εφαρμογές όπως κινητά τηλέφωνα, laptops και digital κάμερες. Ως υλικό καθόδου χρησιμοποιείται το οξείδιο του κοβαλτίου και ως άνοδος χρησιμοποιείται γραφίτης άνθρακα. Η κάθοδος χαρακτηρίζεται από μια πολυεπίπεδη δομή και κατά την διάρκεια της εκφόρτισης, τα ιόντα λιθίου κινούνται από την άνοδο στην κάθοδο, όπως παρουσιάζεται στην σχήμα 4.9. Η ροή αντιστρέφεται κατά την φόρτιση.

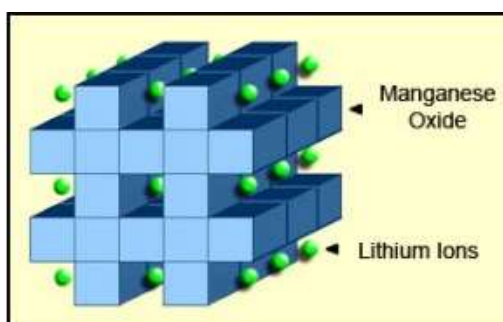


Σχήμα 4.9 Πολυεπίπεδη δομή καθόδου LCO

Η μπαταρία LCO μειονεκτεί όσον αφορά την διάρκεια ζωής της. Επίσης χαρακτηρίζεται από χαμηλή θερμική σταθερότητα.

- **Οξείδιο του μαγγανίου λιθίου (LiMn<sub>2</sub>O<sub>4</sub>) — LMO:**

Η Moil Energy εμπορευματοποίησε το 1996 το πρώτο κελί με οξείδιο του μαγγανίου λιθίου ως κάθοδο. Η δομή της καθόδου χαρακτηρίζεται από ένα τρισδιάστατο κρυσταλλικό σχηματισμό (δομή spinel) ο οποίος βελτιώνει την ροή των ιόντων λιθίου στο ηλεκτρόδιο (βλέπε σχήμα 4.10). Αυτή η βελτιωμένη ροή ιόντων οδηγεί σε χαμηλότερη εσωτερική αντίσταση και καλύτερο χειρισμό του ηλεκτρικού ρεύματος. Η δομή αυτή προσφέρει ενισχυμένη ασφάλεια, ωστόσο περιορίζει την διάρκεια ζωής. Η χαμηλή εσωτερική αντίσταση επιτρέπει γρήγορη φόρτιση και υψηλής έντασης αποφόρτιση. Η LMO έχει χωρητικότητα που είναι περίπου κατά 33% μικρότερη από την χωρητικότητα της LCO και χρησιμοποιεί γραφίτη ως άνοδο.



Σχήμα 4.10 Σχηματισμός καθόδου LMO

- **Οξείδιο κοβαλτίου μαγγανίου νικελίου λιθίου (LiNiMnCoO<sub>2</sub>) — NMC:**

Αποτελεί ένα από τους πιο επιτυχημένους τύπους της οικογενείας ιόντων λιθίου και των επαναφορτιζόμενων μπαταριών γενικότερα. Είναι καθοδικός συνδυασμός νικελίου-μαγγανίου-κοβαλτίου (NMC). Η επιτυχία της NMC οφείλεται στον συνδυασμό νικελίου και μαγγανίου. Το νικέλιο χαρακτηρίζεται από υψηλή ειδική ενέργεια ενώ το μαγγάνιο έχει την δομή spinel η οποία όπως προαναφέρθηκε προσφέρει καλή ροή των ιόντων του λιθίου και χαμηλή εσωτερική αντίσταση. Ο συνδυασμός των δύο προσφέρει στην NMC πλεονεκτικές ιδιότητες. Ένα ανάλογο παράδειγμα, που συνδυάζει τις καλές ιδιότητες των μερών του, είναι τα σύνθετα υλικά. Τα σύνθετα υλικά αποτελούνται από δύο ή περισσότερα διακριτά μέρη που έχουν αισθητά διαφορετικές φυσικές και μηχανικές ιδιότητες που τις εκμεταλλεύεται.

Ο κύριος συνδυασμός της καθόδου αποτελείται από 1/3 νικέλιο, 1/3 κοβάλτιο και 1/3 μαγγάνιο, περιορίζοντας έτσι το κόστος λόγω μειωμένης περιεκτικότητας σε σχετικά ακριβό κοβάλτιο. Άλλοι συνδυασμοί στην περιεκτικότητα των 3 υλικών της καθόδου είναι δυνατοί. Η άνοδος αποτελείται από γραφίτη.

- **Φωσφορικό σίδηρος λιθίου (LiFePO<sub>4</sub>) — LFP:**

Ερευνητική ομάδα του πανεπιστημίου του Τέξας ανακάλυψε το φωσφορικό άλας ως υλικό καθόδων για τις μπαταρίες ιόντων λιθίου το 1996. Προσφέρει χαμηλή αντίσταση, μεγάλο κύκλο ζωής, θερμική σταθερότητα και ασφάλεια. Είναι ανεκτικό σε συνθήκες πλήρους φόρτισης και συμπεριφέρεται καλύτερα σε συνθήκες υψηλής τάσης για μεγάλο χρονικό διάστημα. Ωστόσο έχει μειωμένη ειδική ενέργεια σε σχέση με μπαταρίες ιόντων λιθίου κοβαλτίου. Η καθαριότητα κατά την κατασκευή είναι καθοριστικός παράγοντας για την μακροζωία. Δεν υπάρχει καμία ανοχή όσον αφορά την υγρασία.

- **Οξείδιο αργιλίου κοβαλτίου νικελίου λιθίου (LiNiCoAlO<sub>2</sub>) — NCA:**

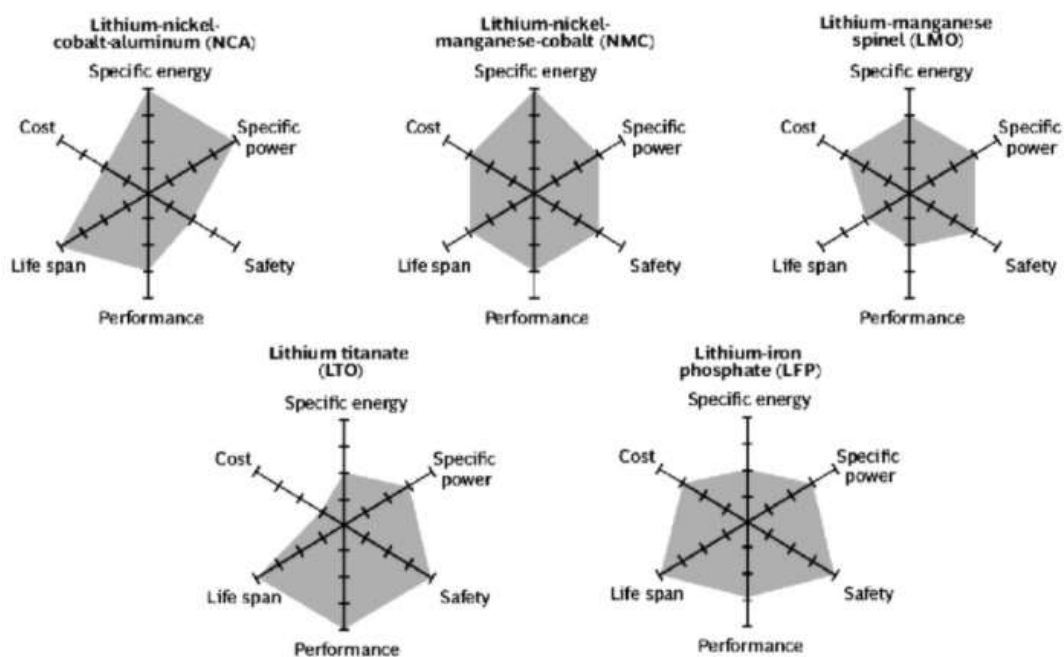
Υπάρχει από τα τέλη του 20<sup>ου</sup> αιώνα και χρησιμοποιείται σε πολύ εξιδανικευμένες εφαρμογές. Μοιράζεται πολλές ιδιότητες με την NMC όπως την υψηλή ειδική ενέργεια, καλή ειδική ισχύ και μεγάλη διάρκεια ζωής. Εντούτοις μειονεκτεί στο οικονομικό κομμάτι και σε θέματα ασφαλείας.

- **Λιθίου Ττανίου (Li<sub>2</sub>TiO<sub>3</sub>) — LTO:**

Είναι γνωστές από την δεκαετία του 1980. Το Li-Ti αντικαθιστά τον γραφίτη στην άνοδο σε μια τυπική διάταξη μπαταρίας ιόντων λιθίου και το υλικό σχηματίζει δομή spinel. Η κάθοδος μπορεί να είναι οξείδιο του μαγγανίου λιθίου ή NMC. Είναι ασφαλές και αποδίδει πολύ καλά σε χαμηλές θερμοκρασίες, ιδίως στην φόρτιση. Όμως την συνοδεύει υψηλό κόστος. Χρησιμοποιείται σε ηλεκτρικά συστήματα κίνησης, σε UPS και σε οδικό φωτισμό με ηλιακή ενέργεια.

Στην εικόνα 4.11 παρουσιάζονται γραφικά οι ιδιότητες των μπαταριών ιόντων λιθίου απλοποιείται η διαδικασία σύγκρισης τους με βάση 6 παραμέτρους:

1. Ειδική Ενέργεια (Specific Energy)
2. Ειδική Ισχύς (Specific Power)
3. Ασφάλεια (Safety)
4. Απόδοση (Performance)
5. Διάρκεια Ζωής (Life Span)
6. Κόστος (Cost)



Εικόνα 4.11 Ιδιότητες Μπαταριών ιόντων λιθίου

## 4.5 Μπαταρίες σε ναυπηγικές εφαρμογές

Διαφορετικοί τύποι πλοίων έχουν διαφορετικές απαιτήσεις ειδικής ισχύος και ειδικής ενέργειας μεταξύ τους και οι μπαταρίες πρέπει να ανταποκρίνονται σε αυτές. Υπόψη πρέπει να λαμβάνεται και ο επιθυμητός κύκλος ζωής της μπαταρίας.

Στον πίνακα 4.2 γίνεται μια ανασκόπηση από την EMSA (European Maritime Safety Agency) σχετικά με την εφαρμογή μπαταριών σε διάφορους τύπους πλοίων. Γίνεται μια ποσοστιαία εκτίμηση της εξοικονόμησης καυσίμου, την περίοδο απόσβεσης, τις κύριες λειτουργίες των μπαταριών στον συγκεκριμένο τύπο πλοίου και παράγοντες που μπορούν να βελτιστοποιήσουν την εφαρμογή.

Υπάρχουν αρκετές δυνατότητες και για όλους τους τύπους πλοίων, όπου η εξοικονόμηση καυσίμου ενδέχεται να φτάσει μέχρι και το 30%. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζουν τα Ferries καθώς υπάρχει δυνατότητα πλήρους εφαρμογής αυτής της τεχνολογίας και πολύ μικρή περίοδος απόσβεσης της επένδυσης που ανέρχεται σε λιγότερο από 5 χρόνια. Οι σχετικά μικρές αποστάσεις που διανύουν σε συνδυασμό με τον χρόνο παραμονής στο λιμάνι καθιστούν την ηλεκτρική πρόωση και πλήρη ηλεκτροδότηση του πλοίου ελκυστική.

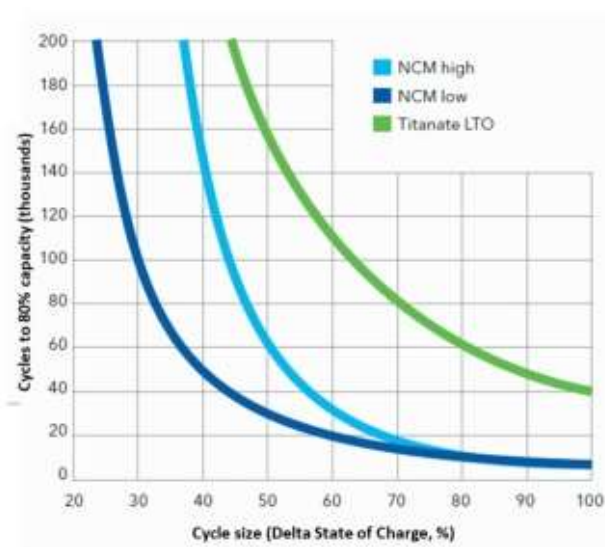
Η Ευρωπαϊκή Ένωση προωθεί τέτοιες τεχνολογίες έμπρακτα με χρηματοδότηση τους. Χαρακτηριστικό project αποτελεί το «Tr.AM: Transport Advanced and Modular» του προγράμματος Horizon 2020 που έχει ως στόχο την ανάπτυξη επιβατηγού πλοίου μηδενικών εκπομπών. Για το συγκεκριμένο εγχείρημα θα γίνει πιο εκτενής αναφορά στην συνέχεια της μελέτης. Αξίζει όμως πρέπει να αναφερθεί ότι την ανάπτυξη ενός τέτοιου πλοίου ανέλαβε η εταιρία Colombus που πέραν της στήριξης της Ευρωπαϊκής Ένωσης, έχει και στο πλάι της την πολιτική σκηνή της Νορβηγίας η οποία προωθεί την ανάπτυξη οχημάτων μηδενικών εκπομπών.

Ο κύριος τύπος μπαταρίας που χρησιμοποιούνται στους πλείστους τύπους πλοίων είναι η επαναφορτιζόμενη ιόντων λιθίου. Πιο συγκεκριμένα οι LFP, NMC και LTO που αναπτύχθηκαν στο εδάφιο 4.4. Η υψηλή τους ειδική ενέργεια τις καθιστά ιδανικές σε εφαρμογές πλοίων όπου η μάζα οποιουδήποτε εξαρτήματος του πλοίου παίζει μεγάλο ρόλο στην επιλογή ή απόρριψή του. Άλλοι παράγοντες επηρεάζουν την επιλογή μπαταρίας

Ship type	Fuel savings potential (%)	Payback time (years)	Main battery function considered	Factors which can maximize benefit
Ferry	Up to 100	Less than 5	All electric where feasible	Low electricity costs, high port time, low crossing distance
Offshore supply vessel	5 - 20	2 - 5	DP - Spinning reserve	Low power and energy needs for backup
Cruise	< 5	Highly variable	Hybrid operating in all electric, ticket to trade	Ability to operate in all electric mode for extended period
Offshore drilling unit	10 - 15	1 - 3	Spinning reserve and peak shaving	Closed bus, large battery size
Fishing vessel	3 - 30+	3 - 7	Hybrid load levelling and spinning reserve	Diesel sizing relative to loads
Fish farm vessel	5-15 %	3-7	Hybrid load levelling and spinning reserve	Diesel sizing relative to loads
Shuttle tanker	5 - 20	2 - 5	DP - spinning reserve	Low power and energy needs for backup
Short sea shipping	Highly variable	Highly variable	All electric or many hybrid uses	Vessel and duty cycle dependent
Deep sea vessels	0 - 14	Highly variable	PTO supplement	Highly variable, detailed duty cycle analysis
Bulk vessels with cranes	0 - 30*	0 - 3	Crane system hybridization	Integration with genset sizing
Tug boats	5 - 15 (100 if all electric)	2 - 8	All electric or many hybrid uses	Detailed duty cycle analysis

Πίνακας 4.2 Τεχνικά και Οικονομικά Δεδομένα ανά τύπο πλοίου (EMSA)

Χαρακτηριστικά στον πίνακα 4.3 της EMSA φαίνεται ότι αυτές οι 3 τεχνολογίες μπαταριών ιόντων λιθίου κυριαρχούν στις ναυτικές εφαρμογές. Παράλληλα παρουσιάζονται οι απαιτήσεις κάθε τύπου σε κύκλους, ενέργεια και C-rate.



Σχήμα 4.12 Μέγεθος Κύκλου Ζωής-Κύκλοι \*10<sup>3</sup>

Όσον αφορά τη διάρκεια ζωής των μπαταριών, αυτή μειώνεται όταν το μέγεθος του κύκλου ή το DSOC αυξάνεται, όπως φαίνεται χαρακτηριστικά στο Σχήμα 4.12. Αυτό οδηγεί στο γεγονός ότι για μια δεδομένη εφαρμογή, η χρήση μεγαλύτερης μπαταρίας θα αυξήσει την διάρκεια ζωής καθώς το DSOC μειώνεται (για δεδομένη εφαρμογή, μεγαλύτερη μπαταρία σημαίνει μικρότερη ποσοστιαία διαφορά μεταξύ μέγιστου SOC και ελάχιστου SOC και αφού  $DSOC = SOC_{MAX} - SOC_{MIN} \Rightarrow$  μείωση  $DSOC \Rightarrow$  μεγαλύτερος αριθμός κύκλων ζωής). Ωστόσο, το αποτέλεσμα θα εξαρτηθεί από το χημικό υπόβαθρο της μπαταρίας και η μεταβολή αυτή διαφέρει από τύπο σε τύπο.

Ship type	C-rate	Cycles	Energy	Technology
Ferry	Very high	Very high	Nominal	NMC, LFP, LTO
OSV	Very high	Very low	Nominal	NMC, LFP, LTO
Cruise	Low	Likely high	Very high	NMC, LFP
Offshore drilling unit	Very high	Variable	Low	NMC, LFP, LTO, supercapacitors
Fishing vessel	Nominal	Nominal	Nominal	NMC, LFP, LTO
Fish farm vessel	Nominal	Nominal	Nominal	NMC, LFP, LTO
Shuttle tanker	Very high	Very low	Nominal	NMC (power), LTO
Short sea shipping	Highly variable	Highly variable	Highly variable	NMC, LFP, LTO
Deep sea vessels	Highly variable	Highly variable	Highly variable	NMC, LFP, LTO
Bulk vessels with cranes	High	High	Low	NMC, LFP, LTO
Tug boats	Highly variable	Highly variable	High (minimal space)	NMC, LFP, LTO
Yachts	Low	Low	High	NMC, LFP, LTO
High speed ferry	High	High	High	NMC, LFP, LTO
Wind farm support vessels	Very high	Very low	Nominal	NMC, LFP, LTO

Πίνακας 4.3

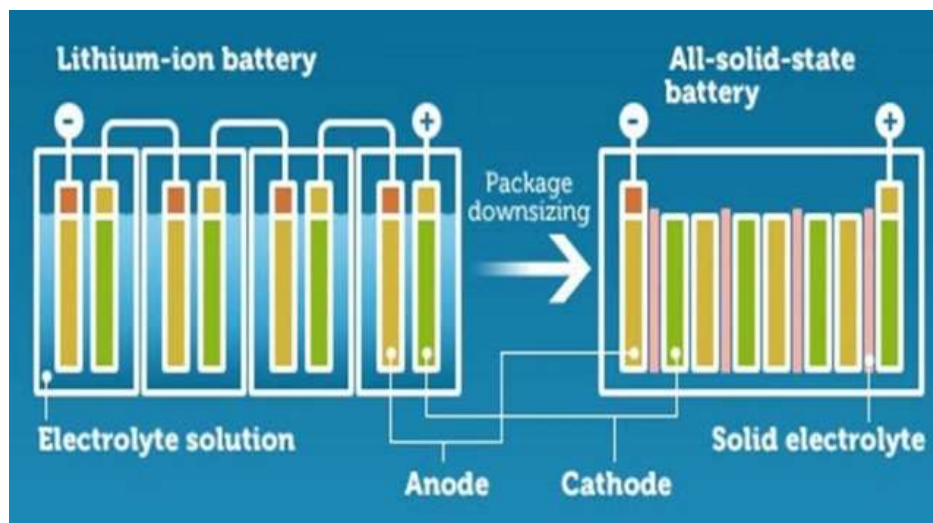
Το μεγαλύτερο κομμάτι της έρευνας όσον αφορά τις μπαταρίες ναυπηγικών εφαρμογών επικεντρώνεται στην εύρεση φθηνότερων υλικών, τα οποία συμβαδίζουν με την υφιστάμενη ειδική ενέργεια και ειδική πυκνότητα. Προσπάθειες βελτίωσης όσον αφορά την ειδική ενέργεια, ειδική πυκνότητα και πυκνότητα ενέργειας πολλές φορές οδηγούν σε δομικές αλλαγές στα ηλεκτρόδια τα οποία επηρεάζουν την διάρκεια ζωής και την ασφάλεια της μπαταρίας. Κατά κανόνα αύξηση της ειδικής ενέργειας συνεπάγεται με αύξηση κόστους και μείωση της ασφάλειας και κύκλων. Η εύρεση της χρυσής τομής μεταξύ αυτών των παραμέτρων και ταυτόχρονα το χαμηλό κόστος παραγωγής αποτελούν τον φάρο για την περαιτέρω ανάπτυξη τους.

Τα χαρακτηριστικά, τα πλεονεκτήματα, μειονεκτήματα και οι εφαρμογές των μπαταριών ιόντων λιθίου συνοψίζονται στον πίνακα 4.4 της EMSA.

Battery technology	Specific energy [Wh/kg]	Advantages	Disadvantages	Applicable for maritime
Nickel manganese cobalt oxide (NMC)	150-220	Combination for High Specific Energy Adjustable power density, energy density cost and safety	Key properties equilibrium may be difficult to ensure for a stable life-span	Flexible design with respect to energy and power capabilities. The most used chemistry in marine applications at present
Lithium iron phosphate (LFP)	90-120	Higher Safety Characteristics Resilient to temperature fluctuations Cathode doping possible for higher power applications	Relatively low Specific Energy Lower Voltage Lower power capabilities	Used in marine applications because of its good safety features.
Lithium Titanate Oxide (LTO)	50-80	Higher safety characteristics Very high cycle life High power capability	Relatively low Specific Energy Initial cost is high, but total life time cost might be cheaper	Suitable for applications that require fast charging, high power or very large amounts of cycling

Πίνακας 4.4

Πέραν των NMC, LFP και LTO, ένας υποσχόμενος τύπος μπαταρίας ιόντων λιθίου έχει αρχίσει να αναπτύσσεται ραγδαία τα τελευταία χρόνια. Πρόκειται για την **μπαταρία στερεάς κατάστασης ιόντων λιθίου (solid state lithium ion battery)** η οποία χρησιμοποιεί στερεά ηλεκτρόδια και στερεούς ηλεκτρολύτες, σε σύγκριση με μια κλασική μπαταρία ιόντων λιθίου που χρησιμοποιεί υγρό ή πολυμερικό gel όπως φαίνεται στο Σχήμα 4.13.



Σχήμα 4.13 Αναπαράσταση Κλασικής Li-ion και Solid State Li-ion

Μεγάλη έρευνα σχετικά με τις solid state batteries γίνεται στην Ιαπωνία και συγκεκριμένα από την αυτοκινητοβιομηχανία Toyota σε συνεργασία με την Panasonic. Έχει πολλές προοπτικές για εφαρμογή σε πλοία, αφού έχουν μεγαλύτερη ειδική ενέργεια, είναι πιο ασφαλείς, έχουν όμως και πολύ μεγαλύτερο κόστος. Για μια πιο ευρεία εμπορευματοποίηση τους χρειάζονται βελτιστοποιήσεις που περιλαμβάνουν το κόστος, την σταθερότητα και την αξιοπιστία.

Στον πίνακα 4.5 φαίνονται τα χαρακτηριστικά της υποσχόμενης αυτής τεχνολογίας

Battery technology	Specific energy [Wh/kg]	Advantages	Disadvantages	Applicable for maritime
Solid state	200-400	Safe: Non-flammable electrolyte and no dendrite formation Potential for higher specific energy and energy density	Low conductivity and high interface resistance Low lifetime High production cost Bad in cold weather	Most promising technology for both increasing safety, specific energy and practical energy density in marine applications.

Πίνακας 4.5

## 5. PROJECTS ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΠΛΟΙΩΝ

Η ανάπτυξη πλήρως ηλεκτρικών και υβριδικών πλοίων είχε τεράστια απήχηση κατά τις αρχές του 21<sup>ου</sup> αιώνα. Η κλιματική αλλαγή με την υπερθέρμανση του πλανήτη αποτέλεσαν το μεγαλύτερο κίνητρο για στροφή προς την υβριδική – ηλεκτρική πρόωση και έτσι διάφοροι οργανισμοί και κράτη προχώρησαν στην χρηματοδότηση έργων που είχαν σκοπό την ανάπτυξη ηλεκτρικών οχημάτων. Στα ηλεκτρικά οχήματα περιλαμβάνονται και τα ηλεκτροκίνητα πλοία, με την μερίδα του λέοντος να καταλαμβάνουν τα επιβατηγά πλοία τύπου ferry, αφού οι μικρές τους ακτοπλοϊκές διαδρομές και η μικρή σχετικά απαίτηση σε ισχύ πρόωσης τα καθιστούν ιδανικά για την επίτευξη του σκοπού.

Μεγάλος αρωγός σε αυτή την προσπάθεια είναι η Ευρωπαϊκή Ένωση που μέσω χρηματοδότησης προγραμμάτων προωθεί την ανάπτυξη ηλεκτρικών πλοίων και τεχνολογιών που βοηθούν στην πρόοδο του τομέα αυτού. Πέραν της ΕΕ, έθνη και κρατικοί οργανισμοί είναι σύμμαχοι σε αυτή την προσπάθεια. Ιδιαίτερα οι Σκανδιναβικές χώρες μέσω της πολιτικής ηγεσίας απελευθερώνουν κονδύλια για αυτό τον σκοπό, αφού η ναυτική τους παράδοση, η τοπογραφία αυτών των χωρών (φιόρδ και λιμνοθάλασσες) και η γενικότερη οικολογική συνείδηση που διακατέχει τους κατοίκους τους αποτελούν τους κύριους λόγους που παράγεται μεγάλο έργο εκεί. Η Ελλάδα με τον τεράστιο εμπορικό της στόλο δεν είναι αμέτοχη σε αυτή την προσπάθεια και συμβάλει σε διάφορα projects μέσω χρηματοδότησης.

Σε αυτό το κεφάλαιο θα παρουσιαστούν μερικά σημαντικά projects που πραγματεύονται την υβριδική /πλήρως ηλεκτρική πρόωση πλοίων και ανοίγουν τον δρόμο του εξηλεκτρισμού στην ναυτιλία. Η σειρά με την οποία παρουσιάζονται δεν είναι χρονολογική, αφού σκοπός δεν είναι η ιστορική καταγραφή και ανάλυση τους, αλλά η παρουσίαση των τεχνικών τους χαρακτηριστικών, των απαιτήσεων, η εικόνα τους από «ναυπηγική σκοπιά» και η παρουσίαση του επιπέδου στο οποίο έφτασε η ναυπηγική βιομηχανία στον τομέα των ηλεκτρικών πλοίων.

### 5.1 E-Ferry project - Ellen

Το E-ferry είναι ένα έργο που συγχρηματοδοτείται από την ΕΕ στο πλαίσιο του προγράμματος Έρευνας και Καινοτομίας Horizon2020 το οποίο περιλαμβάνει το σχεδιασμό, την κατασκευή και την παρουσίαση ενός πλήρως ηλεκτρικού «πράσινου» πλοίου που μπορεί να ταξιδέψει χωρίς ρύπανση και εκπομπές CO<sub>2</sub>. Μέσω του project προωθείται η ενεργειακή απόδοση, η μηδενική εκπομπή αερίων του θερμοκηπίου και μηδενική ατμοσφαιρική ρύπανση. Το τελικό αποτέλεσμα ήταν το πλοίο Ellen (Ro-Ro Passenger ferry που άρχισε τα ταξίδια του το καλοκαίρι του 2019).

Το σκάφος Ellen κόστισε 21.3M €, από τα οποία τα 15M€ προήλθαν από την ΕΕ. Η κατασκευή του είναι κατά 40% ακριβότερη από μια αντίστοιχη συμβατικού πλοίου, ωστόσο τα λειτουργικά του έξοδα είναι μειωμένα κατά 75%. Στο project συμμετείχε το Ελληνικό Ινστιτούτο Μεταφορών, Dansk Brand og Sikringsteknisk, Rådgivende Skipsingeniører Jens Kristensen, Søby, Verft, Søfartsbestyrelsen, TUCO yacht yard, Danfoss.

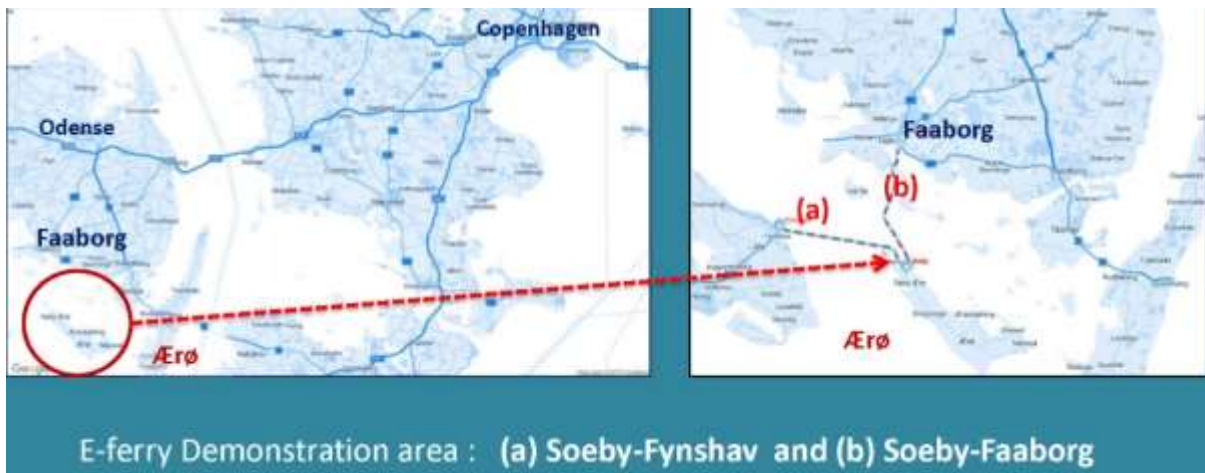


Οι μπαταρίες της Ellen αναπτύχθηκαν από την Leclanché της Ελβετίας και είναι τύπου ιόντων λιθίου NMC. Είναι τοποθετημένες σε δύο δωμάτια μπαταρίας κάτω από το κύριο κατάστρωμα και έχουν χωρητικότητα 4.3 MWh.



Σχήμα 5.1 E-ferry Ellen

Η ακτοπλοϊκή διαδρομή 22 ναυτικών μιλίων που εκτελεί η Ellen είναι Søby - Fynshav μεταξύ των νησιών Ærø και Als της νότιας Δανίας, ενώ έγιναν και δοκιμές για την διαδρομή Søby - Faaborg όπως φαίνεται στην εικόνα 5.2.



E-ferry Demonstration area : (a) Søby-Fynshav and (b) Søby-Faaborg

Εικόνα 5.2

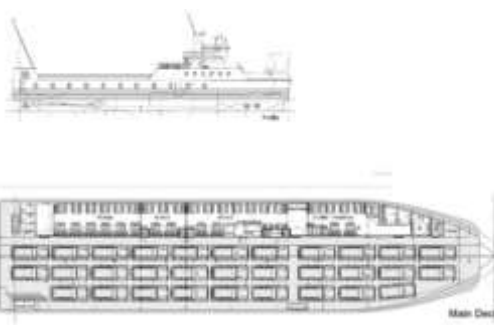
Η Ellen μπορεί να μεταφέρει μέχρι και 30 οχήματα και 200 επιβάτες. Ο χώρος επιβατών βρίσκεται στο ίδιο επίπεδο με το ανοιχτό κατάστρωμα αυτοκινήτων. Η γάστρα είναι φτιαγμένη από χάλυβα, ενώ η γέφυρα από αλουμίνιο, το βάρος του Lightship είναι περίπου 650 t και το πλήρωμα αποτελείται από 3 άτομα. Υπολογίζεται ότι εξοικονομεί 2000 τόνους CO<sub>2</sub> ανά έτος.

Ο στόχος του προγράμματος είναι η κατασκευή τουλάχιστον 100 πανομοιότυπων με το Ellen ferries μέχρι το 2030, τα οποία θα γλιτώνουν την ατμόσφαιρα κατά 100000-300000 τόνους CO<sub>2</sub> ανά έτος.

Τα κύρια χαρακτηριστικά του πλοίου συνοψίζονται στον πίνακα 5.1.

<b>E-Ferry Ellen</b>	
<b>L<sub>OA</sub> [m]</b>	59.4
<b>L<sub>BP</sub> [m]</b>	57
<b>B [m]</b>	12.8
<b>D [m]</b>	3.7
<b>T [m]</b>	2.5
<b>Ταχύτητα Υπηρεσίας [kn]</b>	12.1
<b>Ισχύς [KW]</b>	2x 750 propulsion motors 2x 250 thruster motors
<b>Χωρητικότητα</b>	198 επιβάτες το καλοκαίρι 137 επιβάτες τον χειμώνα 31 αυτοκίνητα

Πίνακας 5.1 Χαρακτηριστικά E-ferry Ellen



Εικόνα 5.3 Προφίλ και Κύριο Κατάστρωμα Ellen

## 5.2 Tr.AM project – Kolombus

Το project Tr.AM: Transport: Advanced and Modular χρηματοδοτείται από την ΕΕ στα πλαίσια του προγράμματος Έρευνας και Καινοτομίας Horizon2020. Την αποστολή κατασκευής ενός πλήρως ηλεκτρικού ferry υψηλής ταχύτητας ανέλαβε η εταιρία Kolombus, η οποία είναι υπεύνηνη για την διοίκηση δημοσίων μεταφορών στο Rogaland της Νορβηγίας. Ο οργανισμός είναι υπεύθυνος για τον προγραμματισμό, το marketing και την οργάνωση των δημόσιων μεταφορών στο Rogaland, συμπεριλαμβανομένων λεωφορείων και επιβατικών ferries, αλλά δεν εκτελεί κανένα δρομολόγιο από μόνη της.

Ο στόχος του project είναι η ανάπτυξη νέων σχεδιαστικών μεθόδων που μειώνουν το κόστος επένδυσης και τον χρόνο παράδοσης πλήρως ηλεκτρισμένων οχημάτων με μηδενικό περιβαλλοντικό αποτύπωμα. Οι πολιτικοί του Rogaland αποφάσισαν όπως συνδράμουν οικονομικά την ναυπήγηση ενός πλήρως ηλεκτρικού γρήγορου ferry στις υπηρεσίες της Kolombus.



Εικόνα 5.4 Kolombus Fast Ferry Design

Πέραν από την Kolombus, άλλοι οργανισμοί που συμμετέχουν στο project είναι το Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο (ΕΜΠ) και συγκεκριμένα ο Τομέας Σχεδίασης Πλοίου της Σχολής Ναυπηγών Μηχανολόγων Μηχανικών, η Wartsila, Fjellstrand, Servogear, HSVA, το πανεπιστήμιο του Strathclyde κ.α.

Η Kolombus υπέγραψε συμβόλαιο με την Fjellstrand με σκοπό την έναρξη κατασκευής του γρήγορου Ferry τον Μάιο του 2021. Το πρώτο δρομολόγιο του προβλέπεται το Storange-Hommelask. Η οικολογική του φύση δεν περιορίζεται στην ηλεκτρική πρόωση και μηδενικές εκπομπές CO<sub>2</sub>, αλλά και στο υλικό κατασκευής του το οποίο είναι το αλουμίνιο, ένα υλικό που πέραν του χαμηλού ειδικού του βάρους, είναι πλήρως ανακυκλώσιμο. Η χωρητικότητα των μπαταριών είναι 2.3MWh.

Διαδικτυακή παρουσίαση του project έγινε στις 22/10/2020 υπό την αιγίδα της SNAME με κύριους ομιλητές τους Mikal Dahle (TrAM project Manager/Kolombus) και Απόστολο Παπανικολάου (Hamburg Ship Model Basin HSVA, national Technical University of Athens). Σύμφωνα με τον Απόστολο Παπανικολάου, χρειάζονται υψηλές ταχύτητες υπηρεσίας έτσι ώστε το ηλεκτρικό

ferry να ανταγωνιστεί τα αντίστοιχα συμβατικά. Ενδεικτικά πρέπει η  $V_s > 20$  [kn]. Η φόρτιση θα γίνεται μέσω συστήματος Cold Ironing και η κατασκευή πρέπει να έχει χαμηλό βάρος. Οι βαριές μπαταρίες δεν ευνοούν την απαίτηση χαμηλού βάρους ενώ παράλληλα πρέπει να υπάρχει επαρκής χωρητικότητα.

Στον πίνακα 5.2 φαίνονται τα κύρια χαρακτηριστικά του πλοίου.

<b>E-Ferry Kolumbus</b>	
<b>LoA [m]</b>	31
<b>B [m]</b>	9
<b>Ταχύτητα Υπηρεσίας [kn]</b>	23
<b>Ισχύς [KW]</b>	2x 550 propulsion motors
<b>Χωρητικότητα</b>	198 επιβάτες το καλοκαίρι 137 επιβάτες τον χειμώνα 31 αυτοκίνητα

Πίνακας 5.2 Χαρακτηριστικά E-ferry Kolombus

### 5.3 YARA BIRKELAND

Το Yara Birkeland είναι το πρώτο αυτόνομο ηλεκτρικό container ship μηδενικών εκπομπών. Το εγχείρημα ανέλαβε ο Νορβηγικός κολοσσός Kongsberg Gruppen.



Σχήμα 5.5 Yara Birkeland

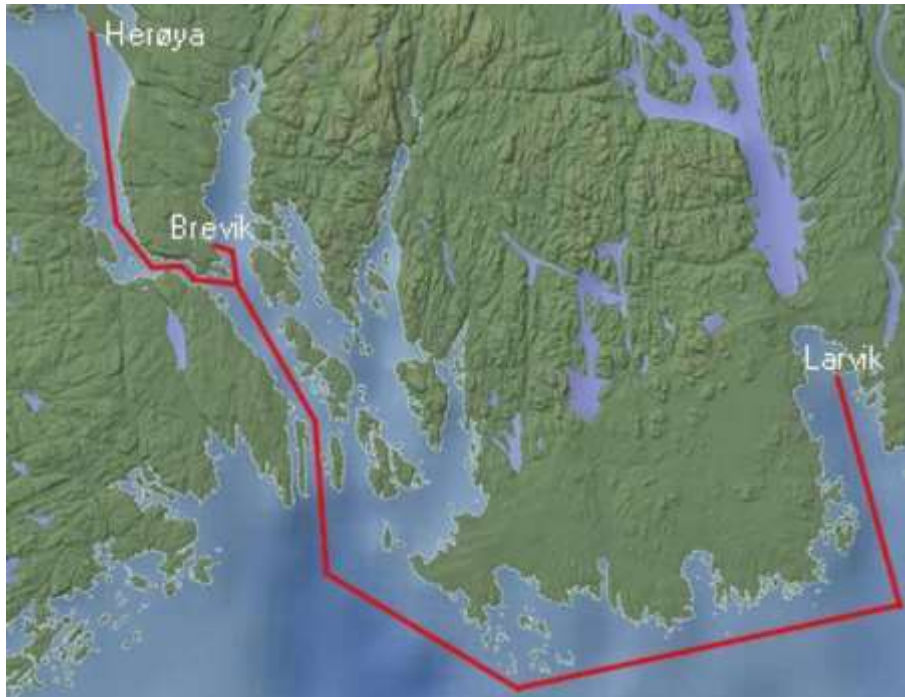
Το πλοίο έχει μεταφορική ικανότητα 120 TEU (Twenty-foot Equivalent Units) και είναι 100% ηλεκτρικό. Αν και η μεταφορική του ικανότητα είναι πολύ περιορισμένη σε σχέση με άλλα container ships, η καινοτομία του φύση το καθιστά ένα πολύ ενδιαφέρον project, εάν λάβει υπόψη κανείς ότι η συντριπτική πλειοψηφία των projects ηλεκτρικών πλοίων αφορούν επιβατηγά – οχηματαγωγά. Για την πρώτη φάση του project υπάρχει δυνατότητα εγκατάστασης γέφυρας εξοπλισμού πλοήγησης και ελιγμών, ωστόσο αυτή είναι προσωρινή αφού όταν το πλοίο είναι έτοιμο για αυτόνομη λειτουργία θα αφαιρεθεί.



Σχήμα 5.6 Δοκιμές γάστρας του Yara Birkeland στην Ρουμανία (Φεβρουάριος 2020)

Η περιοχή λειτουργίας φαίνεται στην εικόνα 5.7. Περιλαμβάνει 3 λιμάνια στην νότια Νορβηγία (Herøya, Brevik, Larvik) με συνολική απόσταση 37 nm. Οι αποστάσεις μεταξύ των λιμένων είναι:

- Herøya – Brevik (approx. 7 nm)
- Herøya – Larvik (approx. 30 nm)



Σχήμα 5.7 Περιοχή Λειτουργίας

Η φόρτωση-εκφόρτωση σχεδιάστηκε να είναι αυτόματη με την χρήση ηλεκτρικών γερανών, ενώ το πλοίο δεν διαθέτει δεξαμενές έρματος αφού οι μπαταρίες του λειτουργούν ως μόνιμο έρμα. Το πλοίο διαθέτει αυτόματο σύστημα πρόσδεσης και έτσι δεν χρειάζεται ανθρώπινη παρέμβαση.

Στον πίνακα 5.3 παρουσιάζονται τα κύρια χαρακτηριστικά του πλοίου

<b>Yara Birkeland</b>	
<b>L<sub>OA</sub> [m]</b>	79.5
<b>L<sub>BP</sub> [m]</b>	72.4
<b>B [m]</b>	14.8
<b>D [m]</b>	10.8
<b>T [m]</b>	6
<b>Ταχύτητα Υπηρεσίας [kn]</b>	6
<b>Μέγιστη Ταχύτητα [kn]</b>	13
<b>Χωρητικότητα Μπαταρίας [MWh]</b>	7-9
<b>Χωρητικότητα</b>	120 TEU
<b>Deadweight [t]</b>	3200

Πίνακας 5.3 Χαρακτηριστικά Yara Birkeland

## 5.4 Zero Emission Ferries a green link across the Öresund - Tycho Brahe & Aurora

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει το project Zero Emission Ferries της ΕΕ επειδή πραγματεύτηκε την μετασκευή δύο υπάρχοντων συμβατικών RoPax (Tycho Brahe και Aurora) που χρησιμοποιούσαν ναυτικό καύσιμο, σε 100% ηλεκτρικά με αποκλειστική χρήση μπαταριών. Η ΕΕ χρηματοδότησε με €13.15Μ το συγκεκριμένο πρόγραμμα και κάλυψε το 50% των συνολικών οικονομικών αναγκών που ανήρθε στα €26.3Μ.



Εικόνα 5.8 MF Tycho Brahe

Το MF Tycho Brahe και το Aurora είναι αδερφικά Ε/Γ-Ο/Γ πλοία που εκτελούν μια μικρή ακτοπλοϊκή σύνδεση 4 km μεταξύ Helsingborg (Σουηδία) και Helsingör (Δανία). Αν και η απόσταση είναι μικρή, τα δύο πλοία συνδυαστικά μεταφέρουν 7.4 εκατομμύρια επιβάτες και 1.9 εκατομμύρια οχήματα κάθε χρόνο. Κάθε ferry μπορεί να μεταφέρει 1250 επιβάτες και 240 αυτοκίνητα σε κάθε διαδρομή.



Σχήμα 5.9 Aurora

Το σύστημα ηλεκτρικής τροφοδοσίας αποτελείται από 640 x 6.5[KWh] μπαταρίες βάρους 57 t, που είναι εγκατεστημένες σε 2 containers σε κάθε πλοίο (Σχήμα 5.10). Τις οι διαδικασίες πρόσδεσης βασίζονται σε τεχνολογία 3D σάρωσης με laser και επικοινωνία μεταξύ πλοίου-ακτής. Κατά τα τελευταία 400mm τις προσέγγισης του ferry, τις ρομποτικός βραχίονας εμφανίζεται και κάνει τις κατάλληλες συνδέσεις καλωδίων φόρτισης των μπαταριών. Η φόρτιση χρειάζεται περίπου 6 λεπτά στην Δανία και 9 λεπτά στην Σουηδία. Σε κάθε ταξίδι καταναλώνονται 1,175 kWh και έχει διάρκεια 20 περίπου λεπτά. Από τις 4 diesel μηχανές Wärtsilä-Vasa 6R32E που διέθετε το κάθε πλοίο, αφαιρέθηκαν οι 2 και οι άλλες 2 παρέμειναν για εφεδρική χρήση εάν κριθεί αναγκαίο.





Σχήμα 5.10 Τα containers που περιέχουν τις μπαταρίες στο Tycho Bahre



Σχήμα 5.11 Σύστημα τροφοδοσίας



Σχήμα 5.13 Ρομποτικός βραχίονας σύνδεσης

Στον πίνακα 5.4 συνοψίζονται τα κύρια χαρακτηριστικά των δύο αδερφών πλοίων

<b>Tycho Brahe &amp; Aurora</b>	
<b><math>L_{BP}</math> [m]</b>	111.20
<b>B [m]</b>	28.20
<b>T [m]</b>	5.50
<b>Ταχύτητα Υπηρεσίας [kn]</b>	14.5
<b>Ισχύς [MW]</b>	4 x 1.5
<b>Χωρητικότητα Μπαταρίας [MWh]</b>	4.1
<b>Χωρητικότητα</b>	1250 επιβάτες, 240 αυτοκίνητα

Πίνακας 5.4 Χαρακτηριστικά Tycho Brahe & Aurora

## 6. ΗΛΕΚΤΡΟΚΙΝΗΤΗΡΕΣ

Οι ηλεκτροκινητήρες, όπως υποδηλώνει και το όνομα, είναι κινητήρες οι οποίοι χρησιμοποιούν ηλεκτρική ενέργεια για παραγωγή κίνησης, μετατρέποντας την ηλεκτρική ενέργεια σε μηχανική. Αποτελούν την πηγή κίνησης σε ένα πλήρως ηλεκτρικό πλοίο (AES) και η σημασία τους είναι τεράστια αφού χωρίς αυτούς δεν θα μπορούσε να γίνει εκμετάλλευση της ενέργειας των μπαταριών.

### 6.1 Αρχή Λειτουργίας

Υπάρχουν διάφορα ήδη ηλεκτροκινητήρων, ωστόσο η αρχή λειτουργίας είναι ίδια και βασίζεται στην ύπαρξη της δύναμης Laplace. Όταν ένας αγωγός διαρρέεται από ηλεκτρικό ρεύμα μέσα σε μαγνητικό πεδίο, αναπτύσσεται η λεγόμενη δύναμη Laplace:

$$F_L = I l \times B$$

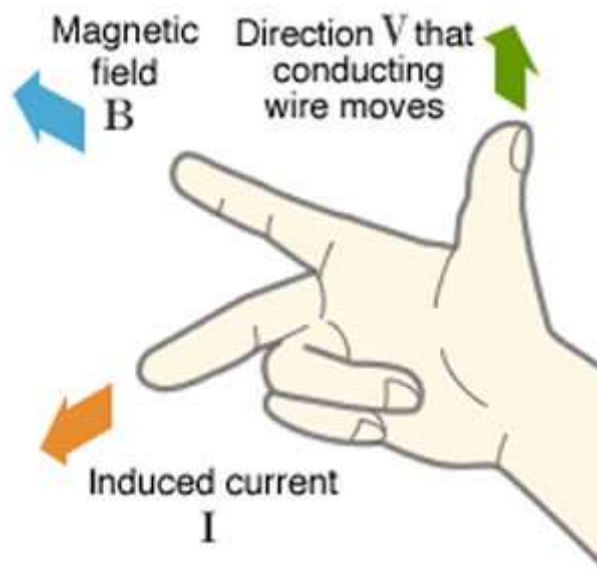
όπου  $I$  = ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος

$l$  = μήκος αγωγού

$B$  = ένταση μαγνητικού πεδίου

Η δύναμη Laplace αποτελεί το άθροισμα των δυνάμεων Λόρεντζ, της δύναμης δηλαδή που ασκείται σε ένα φορτισμένο σωματίδιο που βρίσκεται μέσα σε ένα ηλεκτρομαγνητικό πεδίο.

Η φορά της δύναμης Laplace εβρίσκεται με τον κανόνα των τριών δακτύλων του δεξιού χεριού, γνωστό και ως κανόνα FBI.



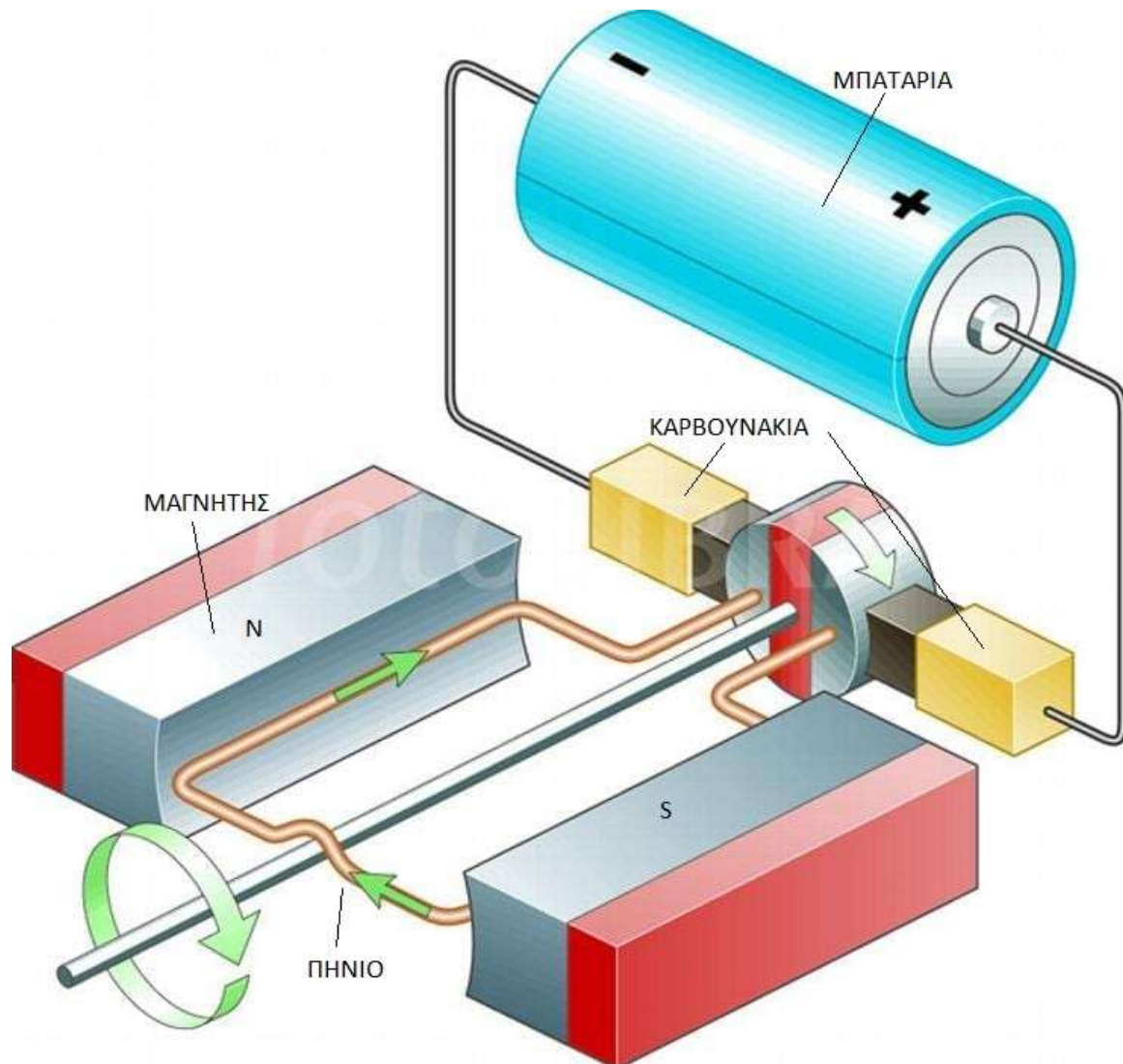
Σχήμα 6.1 Κανόνας FBI

Οι ηλεκτροκινητήρες χωρίζονται σε αυτούς του συνεχούς ρεύματος (DC) και αυτούς του εναλλασσόμενου ρεύματος (AC).

## Ηλεκτροκινητήρας Συνεχούς Ρεύματος (DC):

Το σχήμα 6.2 δείχνει την πιο απλή και βασική διάταξη παραγωγής κίνησης ηλεκτροκινητήρα DC. Τα βασικά μέρη είναι:

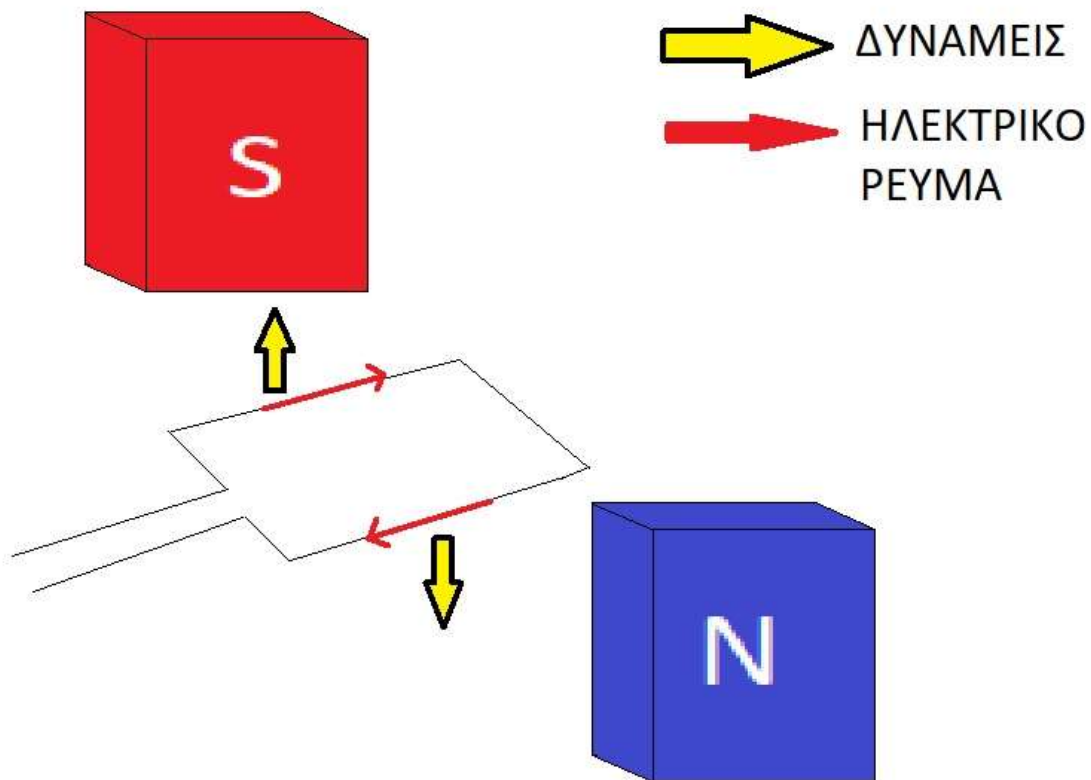
- Μπαταρία
- Καρβουνάκια
- Μαγνήτες (Στάτορας – σταθερό μέρος)
- Πηνίο (Ρότορας – περιστρεφόμενο μέρος)
- Καλώδια



Σχήμα 6.2 Βασική διάταξη ηλεκτροκινητήρα

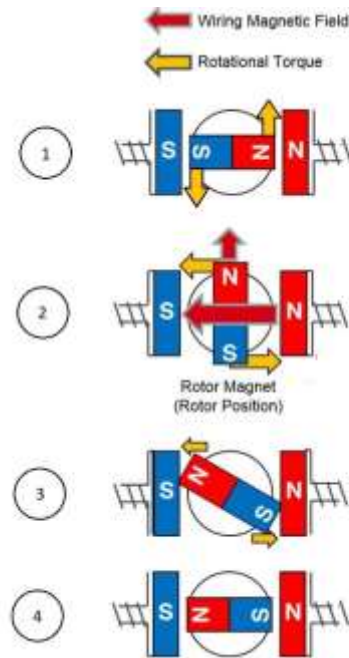
Το πηνίο στην πιο απλή του μορφή είναι ένα λυγισμένο σύρμα που σχηματίζει βρόγχο σχήματος U, έτσι ώστε να υπάρχουν 2 παράλληλα καλώδια. Ο βρόγχος αυτός τοποθετείται ανάμεσα στους πόλους (N-S) ενός ισχυρού, μόνιμου μαγνήτη σε σχήμα πετάλου. Εάν γίνει σύνδεση καλωδίων και μπαταρίας, ηλεκτρικό ρεύμα θα διαπεράσει το πηνίο και σύμφωνα με τον Laplace, αφού υπάρχει το μαγνητικό πεδίο του μόνιμου μαγνήτη, θα αναπτυχθεί δύναμη που θα κινήσει το πηνίο. Αυτό συμβαίνει επειδή η ροή ηλεκτρικού ρεύματος σε αγωγό δημιουργεί γύρω απ' αυτό ένα νέο μαγνητικό πεδίο. Έτσι το μαγνητικό πεδίο του μόνιμου μαγνήτη αλληλοεπιδρά με το προσωρινό

πεδίο του αγωγού που δημιουργείται από την ροή του ηλεκτρικού ρεύματος. Η ύπαρξη δύο μαγνητών τοποθετημένων κοντά ο ένας στον άλλο, οδηγεί σε ελκτικές ή απωθητικές κινήσεις. Τα δύο άκρα του πηνίου λειτουργούν ως θετικός και αρνητικός πόλος του προσωρινού μαγνήτη, αφού το ηλεκτρικό ρεύμα που τα διαπερνά έχει αντίθετη φορά το ένα με το άλλο, όπως φαίνεται στο Σχήμα 6.3, και σύμφωνα με τον Laplace οι δύο δυνάμεις που θα δημιουργηθούν θα έχουν αντίθετη φορά .



Σχήμα 6.3 Δυνάμεις Laplace σύμφωνα με την φορά του ηλεκτρικού ρεύματος

Σκοπός της διάταξης είναι να υπάρχουν συνεχώς απωθητικές δυνάμεις μεταξύ του μόνιμου και του προσωρινού μαγνήτη. Για τον σκοπό αυτό είναι αναγκαία η συνεχής αλλαγή του πόλου του προσωρινού μαγνήτη του πηνίου, έτσι ώστε όταν το ένα άκρο του καλωδίου βρίσκεται στον βόρειο πόλο αυτό να λειτουργεί ως ο βόρειος πόλος του προσωρινού μαγνήτη και το άλλο άκρο του καλωδίου που βρίσκεται στον νότιο πόλο να λειτουργεί ως ο νότιος πόλος του προσωρινού μαγνήτη(ΘΕΣΗ 1) (βλέπε Σχήμα 6.4), με αποτέλεσμα την δημιουργία απωθητικών δυνάμεων που περιστρέφουν τον προσωρινό μαγνήτη. Μετά τις απωθητικές δυνάμεις που κινούν το πηνίο, σειρά παίρνουν οι ελκτικές αφού ο βόρειος πόλος του προσωρινού μαγνήτη κινείται προς τον νότιο πόλο του μόνιμου και ο νότιος πόλος του μαγνήτη κινείται προς τον βόρειο πόλο του μόνιμου μαγνήτη (ΘΕΣΗ 3).

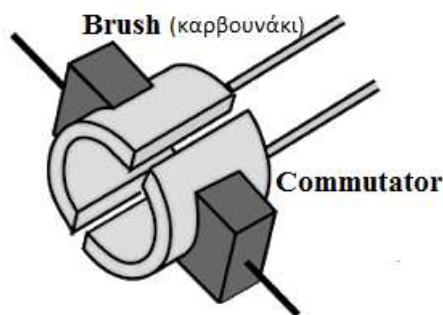


Σχήμα 6.4 Μαγνητικό πεδίο και κίνηση του προσωρινού μαγνήτη (πηνίου)

Όταν το πηνίο περιστραφεί και το σύστημα φτάσει στην ΘΕΣΗ 4, πρέπει να αλλάξουν οι πόλοι ενός από τους δύο μαγνήτες για να επαναληφθεί η διαδικασία.

Σε ένα ηλεκτροκινητήρα συνεχούς ρεύματος αυτό επιτυγχάνεται με την παρακάτω διαδικασία:

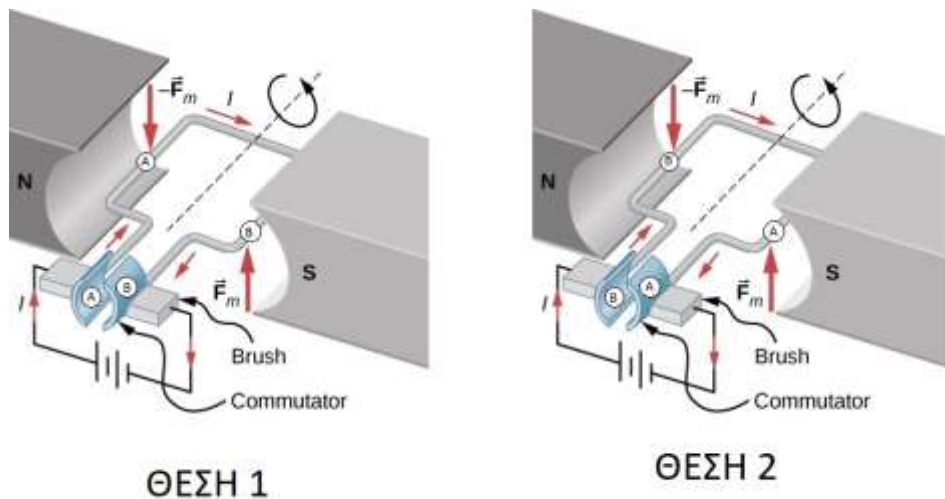
Το πηνίο συνδέεται με ένα μετατροπέα ηλεκτρικού ρεύματος (Commutator), και αυτός με καρβουνάκια, εξαρτήματα δηλαδή με ελατήρια που συνδέουν τα καλώδια τροφοδοσίας και εφάπτονται με τον commutator (Σχήμα 6.5).



Σχήμα 6.5 Commutator

Ουσιαστικά ο commutator είναι ένας δακτύλιος με 2 εγχοπές, ο οποίος επιτρέπει την ροή του ηλεκτρικού ρεύματος μόνο προς μια κατεύθυνση.

Στο Σχήμα 5.7 παρουσιάζεται η διάταξη με τον commutator.



Σχήμα 6.6 Διάταξη με Commuatoor

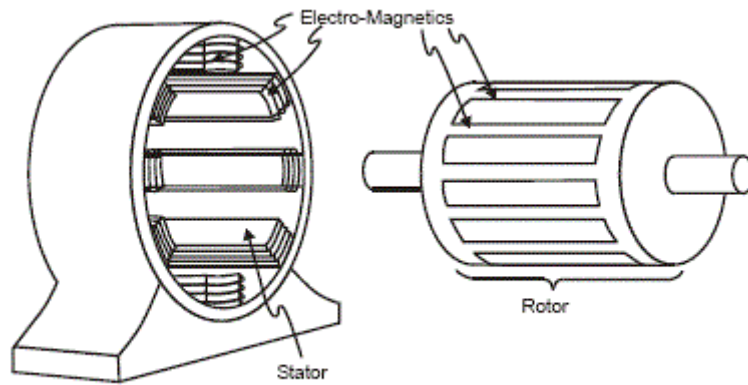
Ως προς την επεξήγηση γίνεται ονομασία των δύο άκρων του πηνίου και της αντίστοιχης πλευράς του commutator με τα γράμματα A και B.

Αρχικά το σύστημα βρίσκεται στην ΘΕΣΗ 1 (βλέπε Σχήμα 6.6) και το ρεύμα ρέει από το μέρος A του commutator στο άκρο A του πηνίου, από εκεί στο άκρο B του πηνίου και φτάνει στο μέρος B του commutator. Στην θέση αυτή το άκρο A του πηνίου λειτουργεί ως ο βόρειος πόλος (N) του προσωρινού μαγνήτη και το άκρο B του πηνίου λειτουργεί ως ο νότιος πόλος (S) του προσωρινού μαγνήτη. Η πολικότητα αυτή σε σχέση με την πολικότητα του μόνιμου μαγνήτη δημιουργεί απωθητικές δυνάμεις. Έτσι η φορά αυτή του ηλεκτρικού ρεύματος δημιουργεί τις δυνάμεις Laplace που φαίνονται στο σχήμα και περιστρέφουν το σύστημα στην ΘΕΣΗ 2.

Όταν το σύστημα φτάσει στην ΘΕΣΗ 2, η πλευρά A αντικαθίσταται από την B και το αντίστροφο. Η ροή του ηλεκτρικού ρεύματος είναι η ακόλουθη: από το μέρος B του commutator στο άκρο B του πηνίου, και από το άκρο A του πηνίου στο μέρος A του commutator. Έτσι πλέον το άκρο B του πηνίου λειτουργεί ως βόρειος πόλος (N) του προσωρινού μαγνήτη λόγω της φοράς του ρεύματος (η οποία είναι ίδια με την αντίστοιχη της πλευράς A στην ΘΕΣΗ 1) και το άκρο A λειτουργεί ως νότιος πόλος (S) λόγω της φοράς του ρεύματος (η οποία είναι ίδια με την αντίστοιχη της πλευράς B στην ΘΕΣΗ 1). Έτσι αναπτύσσονται οι αντίστοιχες δυνάμεις Laplace που περιστρέφουν πάλι αντιρολογιακά το σύστημα με αυτό να επανέρχεται στην ΘΕΣΗ 1. Η διαδικασία επαναλαμβάνεται συνεχώς.

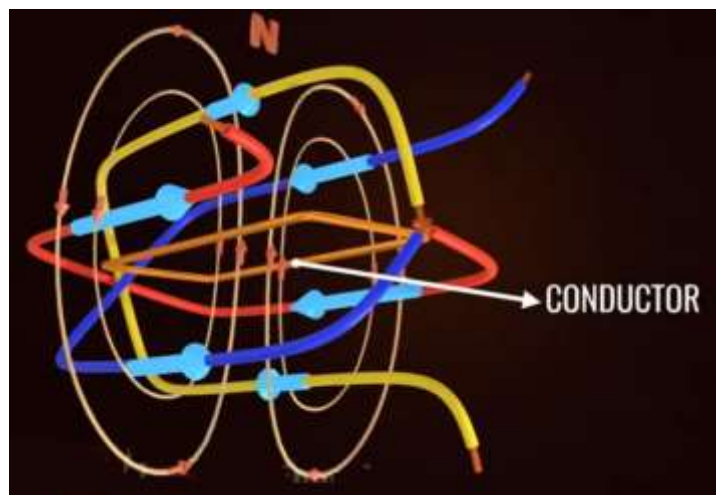
### Ηλεκτροκινητήρας Εναλλασσόμενου ρεύματος (AC):

Σε έναν κινητήρα εναλλασσόμενου ρεύματος, υπάρχει ένας δακτύλιος ηλεκτρομαγνητών που είναι τοποθετημένοι γύρω από το εξωτερικό του (που αποτελούν τον στάτορα), οι οποίοι είναι σχεδιασμένοι να παράγουν ένα περιστρεφόμενο μαγνητικό πεδίο. Μέσα στον στάτορα, υπάρχει ένας συμπαγής μεταλλικός άξονας, ένας βρόχος σύρματος, ένα πηνίο, ένα κλουβί σκίουρου από μεταλλικές ράβδους και διασυνδέσεις (όπως τα περιστρεφόμενα κλουβιά που μερικές φορές οι άνθρωποι έχουν στα ποντίκια) ή κάποιο άλλο ελεύθερα περιστρεφόμενο μεταλλικό μέρος που μπορεί αγωγός ηλεκτρισμού. Σε έναν κινητήρα εναλλασσόμενου ρεύματος παρέχεται ηλεκτρική ισχύς στα εξωτερικά πηνία που αποτελούν τον στάτορα. Τα πηνία ενεργοποιούνται σε ζεύγη, διαδοχικά, παράγοντας ένα μαγνητικό πεδίο που περιστρέφεται γύρω από το εξωτερικό του κινητήρα.



Σχήμα 6.7 Στάτορας και ρότορας ηλεκτροκινητήρα AC

Στην πιο απλή του μορφή, ο ρότορας θα ήταν ένας ορθογωνικός ηλεκτρικά αγώγιμος βρόγχος (βλέπε Σχήμα 6.8), στον οποίο λόγω της συνεχούς εναλλαγής (περιστροφής) του μαγνητικού πεδίου αναπτύσσεται ηλεκτρικό ρεύμα (νόμος Faraday). Η ανάπτυξη ηλεκτρικού ρεύματος προκαλεί την ανάπτυξη νέου μαγνητικού πεδίου που σύμφωνα με τον νόμο του Lenz, αντιτίθεται στην αιτία που το προκαλεί και έτσι ο βρόγχος περιστρέφεται.

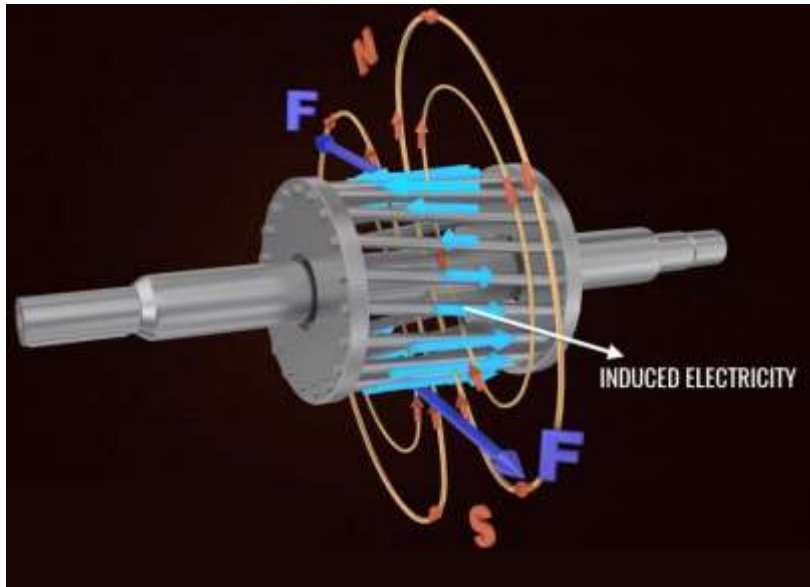


Σχήμα 6.8 Βρόγχος μέσα σε μαγνητικό πεδίο

Το ίδιο φαινόμενο λαμβάνει χώρα αν αντικατασταθεί ο απλός βρόγχος με ένα μεταλλικό κλουβί που χρησιμοποιείται ως ρότορας. Η μόνη διαφορά είναι ότι το ρεύμα που παράγεται βρίσκεται στις μεταλλικές συνδέσεις του πολύπλοκου ρότορα.

Ο ρότορας, αναρτημένος μέσα στο μαγνητικό πεδίο, είναι ένας ηλεκτρικός αγωγός. Το μαγνητικό πεδίο του στάτορα αλλάζει συνεχώς (επειδή περιστρέφεται), έτσι, σύμφωνα με τους νόμους του ηλεκτρομαγνητισμού (νόμος του Faraday), το μαγνητικό πεδίο παράγει (ή προκαλεί, σύμφωνα με τον Faraday) ένα ηλεκτρικό ρεύμα μέσα στο ρότορα. Το επαγόμενο ρεύμα παράγει το δικό του μαγνητικό πεδίο και, σύμφωνα με έναν άλλο νόμο του ηλεκτρομαγνητισμού (νόμος του Lenz) προσπαθεί να σταματήσει αυτό που το προκαλεί (δηλαδή το περιστρεφόμενο μαγνητικό πεδίο του στάτορα) και έτσι ο ρότορας περιστρέφεται. Η ηλεκτρομαγνητική επαγωγή είναι το κλειδί για το γιατί ένας κινητήρας όπως αυτό περιστρέφεται - και γι' αυτό ονομάζεται ένας επαγωγικός κινητήρας.





Σχήμα 6.9 Ρότορας σχήματος κλουβιού, επαγωγικό ρεύμα και ανάπτυξη δυνάμεων περιστροφής

## 6.2 Κατηγοριοποίηση Ηλεκτροκινητήρων

Όπως αναφέρθηκε στο προηγούμενο υποκεφάλαιο, οι ηλεκτροκινητήρες διαχωρίζονται σε δύο κατηγορίες ανάλογα με την φύση του ηλεκτρικού ρεύματος που χρησιμοποιούν :

1. Ηλεκτροκινητήρες Συνεχούς Ρεύματος (DC motors)
2. Ηλεκτροκινητήρες Εναλλασσόμενου Ρεύματος (AC motors)

Οι κινητήρες εναλλασσόμενου ρεύματος διακρίνονται σε μονοφασικούς και πολυφασικούς. Τόσο οι μονοφασικοί όσο και οι τριφασικοί κινητήρες διακρίνονται σε επαγωγικούς ή ασύγχρονους.

Στις πιο πάνω γενικές κατηγορίες αντιστοιχούν διάφοροι τύποι κινητήρα που μπορεί να διαφέρουν σε διάφορες κατασκευαστικές λειτουργίες, στον τρόπο διέγερσης, ακόμα και στην χρήση τους.

### Κατηγορίες Κινητήρων Συνεχούς Ρεύματος (DC):

- Ξένης διέγερσης
- Παράλληλης διέγερσης
- Διέγερσης σειράς
- Μικτής ή σύνθετης διέγερσης

### Κατηγορίες Κινητήρων Εναλλασσόμενου Ρεύματος (AC):

- Μονοφασικοί:
  - Σύγχρονοι
  - Ασύγχρονοι
  - Επαγωγικοί
- Τριφασικοί:
  - Σύγχρονοι
  - Ασύγχρονοι
  - Επαγωγικοί

### Κατηγορίες ειδικών κινητήρων:

- Βηματικοί
- Σερβοκινητήρες

Όλοι οι παραπάνω είναι ηλεκτρομαγνητικοί κινητήρες.

## 6.3 Ηλεκτροκινητήρες σε εφαρμογές ηλεκτροπρόωσης

Οι ηλεκτροκινητήρες χρησιμοποιούνται εδώ και χρόνια για πρόωση πλοίων, στην πλειονότητα τους σε εφαρμογές ηλεκτροπρόωσης. Με τον όρο ηλεκτροπρόωση ορίζουμε το είδος πρόωσης στο οποίο η έλικα συνδέεται απευθείας με ένα ηλεκτροκινητήρα, ο οποίος τροφοδοτείται με ρεύμα που παράγεται από μία ή περισσότερες γεννήτριες. Επειδή συνήθως οι γεννήτριες που τροφοδοτούν τους ηλεκτροκινητήρες καταναλώνουν καύσιμο diesel, για την ηλεκτροπρόωση χρησιμοποιείται και ο όρος Diesel-Electric Propulsion. Το πρώτο πλοίο ηλεκτροπρόωσης ήταν το ρωσικό δεξαμενόπλοιο Vandal που ναυπηγήθηκε στο μακρινό 1903. Έπειτα ακολούθησαν πολλές νέες κατασκευές τέτοιων πλοίων, καθώς η ηλεκτροπρόωση παρουσιάζει πολλά οφέλη. Ενδεικτικά αναφέρονται τα παρακάτω:

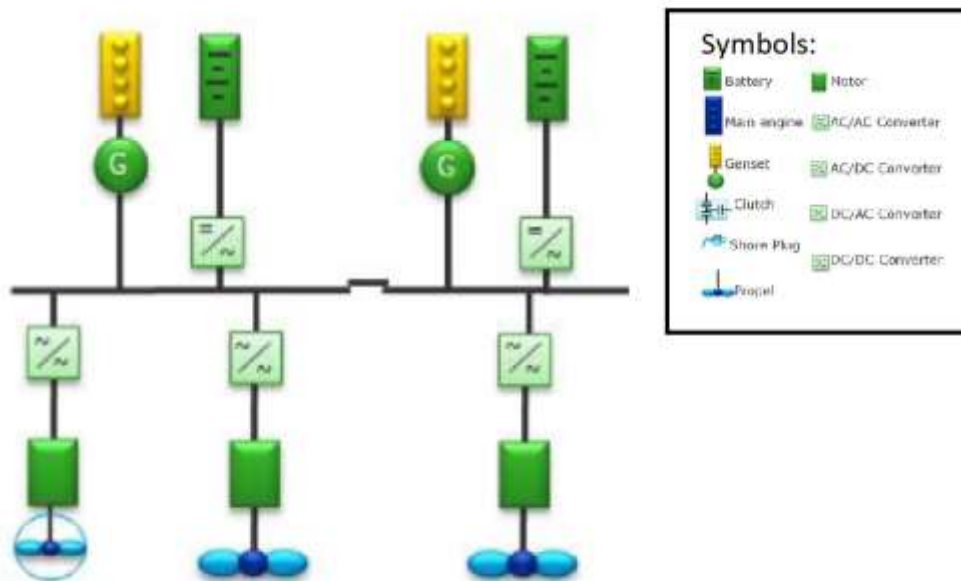
- Άριστες ελικτικές ικανότητες
- Γρήγορη απόκριση κατά την διάρκεια χειρισμών του σκάφους
- Συνεχής μεταβολή της ταχύτητας περιστροφής της έλικας και ταχύτητας του πλοίου σε όλο το πεδίο 0 – 100%.
- Ελαχιστοποίηση δονήσεων και χαμηλή στάθμη θορύβου-κραδασμών
- Ευκολία αυτοματισμού

Με βάση τα παραπάνω πλεονεκτήματα η ηλεκτροπρόωση βρίσκει πολλές εφαρμογές σε πολεμικά πλοία αφού πληροί πολλά από τα απαιτούμενα χαρακτηριστικά ενός επιχειρησιακού σκάφους.

Η Diesel -Electric Propulsion έχει πολλά κοινά με την πλήρως ηλεκτρική πρόωση και την υβριδική πρόωση. Συστήματα Diesel -Electric Propulsion χρησιμοποιούν συστήματα μπαταρίας τα οποία μπορούν να δουλεύουν παράλληλα ή ξεχωριστά με τις γεννήτριες diesel. Το σκάφος δύναται να χρησιμοποιεί αποκλειστικά τα συστήματα μπαταριών, όπως ακριβώς συμβαίνει στα AES. Η δυνατότητα αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί όταν το πλοίο φτάσει κοντά σε λιμένες, απαλλάσσοντας την περιοχή από εκπομπή καυσαερίων που προκαλεί προβλήματα στην τοπική κοινωνία.

Αν και η μελέτη δεν πραγματεύεται την ηλεκτροπρόωση αυτήν καθ' αυτήν, η μεγάλη προϊστορία της μπορεί να βοηθήσει σε πολλές πτυχές της ανάπτυξης πλήρους ηλεκτρικής πρόωσης, ιδίως όσον αφορά τον τομέα των ηλεκτροκινητήρων και την σύζευξή τους με την έλικα.

Μια τοπολογία Diesel -Electric Propulsion φαίνεται στο Σχήμα 6.10



Σχήμα 6.10 Τοπολογία Diesel -Electric Propulsion

## 6.4 Επιλογή Ηλεκτροκινητήρα για AES

Η πλειοψηφία ηλεκτροκινητήρων μεταφορών είναι εναλλασσόμενου ρεύματος καθώς προσφέρουν μεγαλύτερη ισχύ σε σχέση με ένα ηλεκτροκινητήρα συνεχούς ρεύματος του ίδιου μεγέθους. Το μέγεθος και το βάρος του ηλεκτροκινητήρα είναι βασικές παράμετροι προτίμησης ή απόρριψης ενός συγκεκριμένου μοντέλου καθώς το πλοίο επιβάλλει ισχυρούς χωρικούς περιορισμούς στα μηχανήματά του και το βάρος τους. Οι AC motors έχουν υψηλό βαθμό απόδοσης και είναι οικονομικοί όσον αφορά την κατανάλωση ενέργειας.

Οι κινητήρες συνεχούς ρεύματος πλεονεκτούν στο κομμάτι του ελέγχου της ταχύτητας του άξονά τους, με αποτέλεσμα να προσφέρουν μεγαλύτερη ευκολία χειρισμού σε σχέση με του ηλεκτροκινητήρες εναλλασσόμενου ρεύματος. Επιπλέον μπορούν να αναπτύξουν μεγαλύτερη μηχανική ροπή στον άξονα τους για δεδομένη ισχύ, με αποτέλεσμα την δυνατότητα διαχείρισης μεγαλύτερων εξωτερικών φορτίων. Ωστόσο αυτά τα προτερήματα δεν καθιστούν τον DC motor πρώτο στην προτίμηση σε εφαρμογές ηλεκτρικής πρόωσης λόγω του μεγάλου τους σχετικού βάρους.

Η επιλογή του ηλεκτροκινητήρα πρέπει να λαμβάνει υπόψη τις παρακάτω παραμέτρους:

- Τροφοδοσία:
  - Μονοφασικό ή Τριφασικό ρεύμα παροχής
  - Τάση του ρεύματος παροχής ( συνήθως 220V ή 380V)
  - Συχνότητα ρεύματος παροχής (50Hz ή 60Hz)
  - Διακύμανση Τάσης
- Λειτουργικά χαρακτηριστικά:
  - Αποδιδόμενη ισχύς
  - Απορροφημένη ένταση ρεύματος και αντίστοιχες στροφές λειτουργίας

- Ένταση ρεύματος κατά την εκκίνηση
  - Χρόνος επανεκκίνησης
  - Παραμένουσα Τάση
  - Αριθμός πόλων
  - Βαθμός απόδοσης
  - Συντελεστής Ισχύος  $\cos\phi$
  - Σημείο υπερφόρτωσης
  - Παραγόμενος θόρυβος σε dB
- Κατασκευαστικά στοιχεία:
    - Κύριες Διαστάσεις
    - Βάρος
    - Μέθοδος ψύξης και λίπανσης
    - Προδιαγραφές IP
    - Τύπος ρουλεμάν κιβωτίου μετάδοσης

# 7. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΕΞΗΛΕΚΤΡΙΣΜΟΥ Ε/Γ-Ο/Γ ΠΛΟΙΟΥ

Η μετατροπή ενός Ε/Γ-Ο/Γ από συμβατικό σε πλήρως ηλεκτρικό, απαιτεί την υλοποίηση ενός πλάνου που είναι συμβατό με τους κανόνες των διαφόρων φορέων-οργανισμών και την ορθή λειτουργία του πλοίου. Για τον σκοπό αυτό είναι αναγκαία η οριοθέτηση μιας μεθοδολογίας η οποία θα προσφέρει όλες τις τεχνικές κατευθύνσεις που χρειάζονται για την επιλογή του κατάλληλου προς μετασκευή πλοίου και αποτελεί οδηγό για το εγχείρημα του εξηλεκτισμού του. Πέραν της βέλτιστης επιλογής του πλοίου και μετασκευής του, η μεθοδολογία περιλαμβάνει τις απαιτούμενες μετατροπές στους λιμένες λειτουργίας του πλοίου και οικονομικές – περιβαλλοντικές πτυχές του θέματος.

Αν και αναγράφεται στην βιβλιογραφία, ιδιαίτερη αναφορά αξίζει στην Διπλωματική Εργασία του Χ. Μπακίρτζογλου και Φίνου Άγγελου από την οποία αντλήθηκαν μερικά δεδομένα για την ανάπτυξη αυτής της ,διαφοροποιημένης σύμφωνα με μια άλλη οπτική ,μεθοδολογίας.

## 7.1 Προϋποθέσεις υποψήφιου πλοίου για μετασκευή

Η ζωή ενός πλοίου ορίζεται συνήθως στα 25 χρόνια, ωστόσο η πραγματική ηλικία ενός πλοίου μικρών ακτοπλοϊκών αποστάσεων μπορεί να φτάσει και να ξεπεράσει τα 35 έτη. Ο κύκλος ζωής όμως μερικών συστημάτων και καίριων μερών του πλοίου είναι πολύ μικρότερη λόγω της ταχείας τεχνολογικής ανάπτυξης. Επιπλέον, οι κανονισμοί που επιβάλλει ο ΙΜΟ πολλές φορές καθιστά αναγκαία την προσαρμογή ή και αντικατάσταση των συστημάτων του πλοίου έτσι ώστε το σκάφος να εναρμονίζεται με την νομοθεσία. Χαρακτηριστικό παράδειγμα της ανάγκης εκσυγχρονισμού των συστημάτων αποτελεί η νομοθεσία που τέθηκε σε εφαρμογή το 2020 και απαιτεί την μείωση των εκπομπών SOx. Οι πλοιοκτήτες αναγκάστηκαν να εγκαταστήσουν συστήματα scrubbers ή να χρησιμοποιήσουν ακριβότερα καύσιμα με μικρότερη περιεκτικότητα σε θείο. Έτσι με την πάροδο 10-15 ετών μετά την καθέλκυση του πλοίου, πολλά από τα λειτουργικά μέρη του πλοίου θεωρούνται τεχνολογικά ξεπερασμένα.

Στις περισσότερες ακτοπλοϊκές γραμμές, τα πλοία που εκτελούν το δρομολόγιο είναι περισσότερα από 1. Επομένως η επιλογή του πλοίου που πρόκειται να μετασκευαστεί από συμβατικό σε ηλεκτρικό, ανάγεται σε πρόβλημα βελτιστοποίησης. Το πρόβλημα αυτό ενδέχεται να απασχολεί εταιρίες που έχουν πολλά πλοία σε διάφορες ακτοπλοϊκές γραμμές καθώς και διάφορους εμπλεκόμενους φορείς. Καθώς η ταυτόχρονη μετασκευή πολλών πλοίων της ίδιας εταιρίας τις περισσότερες φορές δεν είναι δυνατή για πρακτικούς – οικονομικούς λόγους, η ανάγκη για την επιλογή του υποψήφιου πλοίου με τις καλύτερες προοπτικές είναι καίριας σημασίας.

Πέραν όμως του προβλήματος βελτιστοποίησης, πολλές φορές εγείρεται και το ερώτημα εάν ένα συγκεκριμένο υποψήφιο πλοίο αξίζει την οικονομική και τεχνική επένδυση μετατροπής του σε ηλεκτρικό. Η απάντηση στο ερώτημα αυτό δεν μπορεί να απαντηθεί μονόπλευρα, καθώς υπάρχει και το περιβαλλοντικό κομμάτι, όμως μερικές προϋποθέσεις που πρέπει να έχει το σκάφος είναι μη διαπραγματεύσιμες.

Έτσι είναι απαραίτητη η οριοθέτηση μερικών παραμέτρων για την επιλογή ή απόρριψη ενός υποψήφιου Ε/Γ – Ο/Γ πλοίου για μετασκευή από συμβατικό σε ηλεκτρικό. Τέτοιες είναι:

#### **I. Οικονομικός ανταγωνισμός:**

Αποτελεί το πρώτο κίνητρο και κριτήριο για την επιλογή εξηλεκτρισμού ενός υποψηφίου πλοίου. Πέραν της οικονομικής βιωσιμότητας του έργου, ο οικονομικός ανταγωνισμός σε σχέση με υφιστάμενα συμβατικά πλοία κρίνεται ως καθοριστική προϋπόθεση που πρέπει να πληροί ένα υποψήφιο πλοίο. Όπως με κάθε επένδυση, έτσι και στην μετασκευή ενός Ε/Γ-Ο/Γ πλοίου αναμένεται η οικονομική απόσβεση και κέρδος, σε ένα ιδιαίτερα ανταγωνιστικό περιβάλλον όπως η ναυτιλία με ταυτόχρονη άρτια εξυπηρέτηση της λογιστικής αλυσίδας.

#### **II. Συμμόρφωση με Κανονισμούς:**

Αποτελεί καθοριστικό λόγο για την μετασκευή ενός πλοίου. Οι κανονισμοί που θέτει ο ΙΜΟ, και διάφοροι άλλοι φορείς ψηφίζονται και τίθενται σε εφαρμογή μετά το πέρας ενός προκαθορισμένου λογικού χρονικού διαστήματος. Σε αυτό το διάστημα οι πλοιοκτήτες είναι αναγκασμένοι να κάνουν τις ανάλογες μετατροπές-μετασκευές έτσι ώστε το πλοίο να είναι έτοιμο και συμμορφωμένο με τους κανονισμούς μέχρι την καταλυτική ημερομηνία.

Η εφαρμογή της τεχνολογίας ηλεκτρικής πρόωσης αποτελεί μια εναλλακτική λύση για πολλούς κανονισμούς όπως αυτούς που θέτουν όρια για την εκπομπή διαφόρων ενώσεων και για την ποιότητα καυσίμων και λιπαντικών.

#### **III. Ηλικία:**

Όπως αναφέρθηκε πιο πάνω, η ζωή ενός Ε/Γ-Ο/Γ πλοίου μικρών αποστάσεων, όπως συμβαίνει στα ελληνικά ύδατα, κυμαίνεται από 30 έως 40 χρόνια, ενώ τα συστήματα του θεωρούνται περασμένης τεχνολογίας μετά από 10 - 15 χρόνια. Ο εξηλεκτρισμός τέτοιου πλοίου πρέπει να αποφεύγεται όταν ξεπεράσει μία ηλικία όπου δεν θα μπορεί να γίνει οικονομική απόσβεση της επένδυσης, ενώ ταυτόχρονα μετασκευή πριν το πλοίο συμπληρώσει το 10<sup>ο</sup> έτος της ηλικίας του πρέπει να θεωρείται πρόωρη.

#### **IV. Διάταξη χώρων:**

Η απαίτηση επιπλέον χώρων για την εγκατάσταση του νέου συστήματος πρόωσης είναι μείζονος σημασίας και μια προϋπόθεση που χαρακτηρίζεται από τα φυσικά μεγέθη και διάταξη του πλοίου. Το σύστημα μπαταριών καταλαμβάνει αρκετό χώρο και προσθέτει αρκετό βάρος στο πλοίο. Το βάρος αυτό μπορεί να αφαιρεθεί από το έρμα, όμως χρειάζεται λεπτομερής ανάλυση της νέας τάξης πραγμάτων ώστε το πλοίο να συμμορφώνεται με τους κανονισμούς ασφαλείας. Η ανάγκη χώρου δεν πρέπει να υποτιμάται, όπως χαρακτηριστικά φαίνεται στο Σχήμα 7.1, όπου η Maersk εγκατέστησε ένα σύστημα μπαταριών μέσα σε 2 containers ,χωρητικότητας 600 KWh στο πλοίο μεταφοράς εμπορευτοκιβωτίων Maersk Cape Town 4500 TEU.



Σχήμα 7.1 Σύστημα Μπαταριών σε containers

## 7.2 Ανάλυση Δεδομένων

Όπως συμβαίνει με κάθε τεχνική μελέτη, απαραίτητη είναι η γνώση των δεδομένων που πραγματεύεται η μελέτη. Στην συγκεκριμένη μελέτη εξηλεκτρισμού Ε/Γ – Ο/Γ είναι αναγκαία η εμπλοκή διαφόρων παραμέτρων στην μετασκευή για την επιτυχία του project. Τέτοιες παράμετροι είναι:

- I. Βασικά Γεωμετρικά Μεγέθη Πλοίου:**
  - Μήκος  $L[m]$
  - Πλάτος  $B[m]$
  - Βύθισμα  $T[m]$
- II. Απόσταση ακτοπλοϊκής γραμμής [nm]**
- III. Χρόνος παραμονής στο λιμάνι [min]**
- IV. Μεταφορική ικανότητα:**
  - Σε επιβάτες
  - Σε οχήματα
  - Σε φορτηγά οχήματα
- V. Ταχύτητα Υπηρεσίας [kn]**
- VI. Υφιστάμενο σύστημα πρόωσης:**
  - Τύπος μηχανών πρόωσης
  - Αριθμός μηχανών πρόωσης
  - Ισχύς μηχανών πρόωσης [KW]
  - Αριθμός Thrusters
  - Ισχύς Thrusters [KW]
  - Αριθμός ελίκων
  - Περιοχή στροφών Κινητήρα [RPM]
- VII. Ηλεκτρογεννήτριες**
- VIII. Χαρακτηριστικά Υφιστάμενου Ηλεκτρικού Δικτύου**



Σχήμα 7.2 Τυπικό Ferry που πλέει στα Ελληνικά ύδατα

Στα ελληνικά ύδατα η παρουσία Ε/Γ-Ο/Γ πλοίων είναι έντονη λόγω της τοπολογίας, της ύπαρξης μεγάλου αριθμού νησιών και του τουρισμού. Στον πίνακα 7.1 γίνεται μια συγκεντρωτική παρουσίαση των πιο πάνω παραμέτρων για τα ελληνικά δεδομένα.

ΕΛΛΗΝΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ			
I.	Βασικά γεωμετρικά Μεγέθη	Μήκος L[m]	70-140
		Πλάτος Β[m]	14-22
		Βύθισμα Τ[m]	2.3-4.7
II.	Απόσταση Ακτοπλοϊκής Γραμμής [nm]	>10	
III.	Χρόνος Παραμονής στο Λιμάνι [min]	5-30	
IV.	Μεταφορική Ικανότητα	Επιβάτες	600-1915
		Οχήματα	50-400
		Φορτηγά	10-40
V.	Ταχύτητα Υπηρεσίας [kn]	15-28	
VI.	Υφιστάμενο Σύστημα Πρόωσης	Τύπος Μηχανών Πρόωσης	Μεσόστροφη Diesel
		Αριθμός Μηχανών Πρόωσης	1 ή 2
		Συνολική Ισχύς [KW]	3000-7000
VII.	Ηλεκτρογεννήτριες	Αριθμός Ηλεκτρογεννητριών	2 ή 3
		Ισχύς κάθε Ηλεκτρογεννήτριας [eKW]	150-450
		Ισχύς Ηλεκτρογεννήτριας Έκτακτης Ανάγκης [eKW]	50-90
VIII.	Χαρακτηριστικά Υφιστάμενου Δικτύου	Τύπος Ρεύματος	Εναλλασσόμενο AC
		Συχνότητα (Hz)	60

Πίνακας 7.1 Ελληνικά Δεδομένα για Ε/Γ-Ο/Γ πλοία (Φίνος Άγγελος)

Τα πλοία αυτά χρησιμοποιούν όλους τους στου κινητήρες και προπέλες, με τις περισσότερες φορές λόγω των μικρών αποστάσεων η συνολική ισχύς να είναι πολύ χαμηλότερη από την MCR (Μέγιστη Συνεχής Ισχύς). Κατά την μετασκευή, όλες οι ενεργειακές ανάγκες πρέπει να καλύπτονται από κατάλληλο αριθμό μπαταριών οι οποίες θα φορτίζονται κατά την ολιγόλεπτη παραμονή του πλοίου στο λιμάνι. Έτσι είναι αναγκαία η παράλληλη αναβάθμιση του λιμένα ενδιαφέροντος, όπου θα σχολιαστεί αναλυτικότερα στην συνέχεια.



## 7.3 Νομικό Πλαίσιο

Εφόσον αναλυθούν τα επιμέρους δεδομένα μιας πιθανής μετασκευής, απαραίτητη είναι η γνώση του νομικού πλαισίου που την περιβάλλει. Εφόσον η Ελλάδα είναι μέλος του IMO και άλλων οργανισμών, το νέο πλοίο νομοθετικά είναι αναγκασμένο να πληροί τις προδιαγραφές που έχουν θέσει. Πέραν του πλοίου, οι συσχετιζόμενες εγκαταστάσεις ξηράς πρέπει επίσης να ικανοποιούν τις ελάχιστες απαιτήσεις των κανονισμών.

Οι κύριοι οργανισμοί που θέτουν τις προδιαγραφές κανονισμούς είναι:

- IMO (International Maritime Organisation)
- Flag State Authority (Αρχή της Σημαίας)
- Νηογνώμονες

Για πλήρως ηλεκτρικά πλοία ο IMO και οι επιτροπές του δεν θέτουν ειδικούς κανονισμούς. Δεν παύουν όμως να ισχύουν οι κανόνες που διέπουν όλα τα πλοία με βάση την κατηγορία τους όσον αφορά την ασφάλεια και την προστασία του περιβάλλοντος. Αναμένεται να υπάρξουν τροποποιήσεις και εξελίξεις λόγω των στόχων που θέτει ο IMO σχετικά με τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου. Μέχρι τώρα η περισσότερη πρόοδος όσον αφορά την νομοθεσία για αποκλειστική χρήση μπαταριών περιορίζεται ξεχωριστά σε μερικές Αρχές Σημαίας. Με απόλυτο στόχο την πλήρη απαλλαγή από αέρια των θερμοκηπίων μέχρι το τέλος του 20<sup>ου</sup> αιώνα και μείωση της ετήσιας εκπομπής GHGs τουλάχιστον κατά 50% μέχρι το 2050 που έθεσε ο IMO, η ηλεκτρική πρόωση σίγουρα βρίσκεται στα πλάνα του οργανισμού. Έμμεσα, τα ηλεκτρικά πλοία ευνοούνται και από το Annex VI της σύμβασης MARPOL του IMO που θέτει περιορισμούς στην εκπομπή διοξειδίων του θείου.

Στον πίνακα 7.2 συνοψίζονται οι κανονισμοί του IMO που πρέπει να πληροί το μετασκευασμένο πλοίο.

Κανονισμοί IMO	Σύντομη Περιγραφή
MARPOL Annex VI	-Θέτει όριο στις εκπομπές SOx και NOx, απαγορεύει τις εκπομπές ουσιών που καταστρέφει το όζον -Θέτει υποχρεωτικά τεχνικά και λειτουργικά μέτρα ενεργειακής απόδοσης με στόχο στη μείωση των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου από πλοία
SOLAS	-Ορίζει ως διεθνής συμφωνία τις ελάχιστες απαιτήσεις για την κατασκευή, τον εξοπλισμό και τη λειτουργία πλοίων. Τα κράτη σημαίας πρέπει να διασφαλίζουν ότι πληρούνται οι απαιτήσεις. -Υποδιαίρεση και σταθερότητα, μηχανήματα και ηλεκτρικές εγκαταστάσεις, προσδιορίζει μεταξύ άλλων τις απαιτήσεις για γεννήτριες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας -Πυρασφάλεια και αντιμετώπιση πυρκαγιών
MSC.1Circ.1455	-Κατευθυντήριες γραμμές για την έγκριση εναλλακτικών και ισοδύναμων, όπως προβλέπονται σε διάφορα μέσα του IMO -προορίζεται για εφαρμογή κατά την έγκριση εναλλακτικής λύσης και / ή σχεδίαση ισοδυναμίας γενικά και συγκεκριμένα σύμφωνα με τις διατάξεις που δίνονται για εναλλακτικό σχεδιασμό και ρυθμίσεις στο ισχύον νόμιμο του IMO.

## Πίνακας 7.2 Σχετικοί κανονισμοί IMO

Σύμφωνα με την EUROSOLAS, τα Επιβατικά πλοία κατατάσσονται σε 4 κατηγορίες με βάση την θαλάσσια περιοχή στην οποία εκτελούν δρομολόγια. Τα πλοία, συμπεριλαμβανομένων και αυτών υπό ανακατασκευή, που εκτελούν δρομολόγια στις Ελληνικές θάλασσες ανήκουν στην «Κατηγορία Γ» και πρέπει να συμμορφώνονται με όλους τους ανάλογους κανονισμούς.

Η γεννήτρια έκτακτης ανάγκης προτείνεται να παραμείνει ως έχει, αφού η χρήση της προβλέπεται μόνο σε εξαιρετικές περιπτώσεις, έχει διαστασιολογηθεί, τοποθετηθεί και είναι μια υφιστάμενη λύση ασφάλειας.

Οι μπαταρίες αποτελούν εκ φύσεως ένα περίπλοκο τεχνολογικό εξάρτημα και εγείρονται πολλά θέματα ασφαλείας. Οι νηογνώμονες είναι υπεύθυνοι για αποδοχή, επιθεώρηση και προπαντός κατηγοριοποίηση του πλοίου με μπαταρίες. Αυτό το επίπεδο αξιολόγησης εξασφαλίζει υψηλό επίπεδο εμπιστοσύνης στον σχεδιασμό και ασφάλειας μιας τέτοιας νέας και ταχέως μεταβαλλόμενης τεχνολογίας, και επιτρέπει περαιτέρω χρήση της από πελάτες και ιδιοκτήτες σκαφών που δεν έχουν μεγάλη εμπειρία ή γνώση. Ωστόσο, αυτή η εμπιστοσύνη αποκτάται μόνο εάν ο νηογνώμονας έχει επενδύσει για την οικοδόμηση της τεχνικής ικανότητας και γνώσης για την αποτελεσματική αξιολόγηση της συγκεκριμένης τεχνολογίας. Ένας νηογνώμονας μπορεί να είναι ενεργός συνεργάτης στη διαδικασία ολοκλήρωσης εγκαταστάσεων των μπαταριών και αυτό μπορεί να αυξήσει σημαντικά το επίπεδο ασφαλείας.

Στον πίνακα 7.3 γίνεται επισκόπηση των απαιτήσεων κλάσης διαφόρων νηογνωμόνων για εγκαταστάσεις μπαταρίας και την κατάστασή τους.

Νηογνώμονας	Έγγραφο	Τύπος
ABS	Use of Lithium Batteries in the Marine and Offshore Industries	Guideline
BV	Rules for Classification of Ships -Electric Hybrid	Rules - Pt F, Ch 11, Sec 22
DNV GL	Rules for Classification of Ships -Battery Power	Rules - Pt 6, Ch 2, Sec 1
LR	Large Battery Installations	Guideline

Πίνακας 7.3 Κανονισμοί που αφορούν τις μπαταρίες ανά Νηογνώμονα

Ειδικότερα, ο νηογνώμονας DNV GL έχει θέσει κανόνες για την χρήση ενέργειας μπαταριών για υβριδική ή αποκλειστικά ηλεκτρική πρόωση. Η αρχή έγινε το 2012 με την δημοσίευση κανόνων για την χρήση μπαταριών ιόντων λιθίου σε σκάφη το 2012 και ακολούθησε αναβάθμιση τους τον Οκτώβριο του 2015. Έπειτα επήλθε αναθεώρηση τους τον Ιούλιο του 2018.

Οι κανόνες επικεντρώνονται κυρίως στην ασφάλεια της όλης εγκατάστασης των μπαταριών και στην πλήρωση των απαιτήσεων του συστήματος. Οι σχετικοί κανόνες βρίσκονται στο Part 6, Chapter 2, Section 1 του DNV GL Rules for Classification of Ships (DNV GL, 2018).

Οι 2 κατευθύνσεις των σχετικών κανόνων του DNV GL παρουσιάζονται ως εξής:

### I. Ασφάλεια:

- Η μπαταρία είναι υποχρεωτική για όλα τα πλοία DNV GL όπου η εγκατάσταση χρησιμοποιείται ως πρόσθετη πηγή ισχύος και έχει συνολική χωρητικότητα άνω των 20 KWh. Μπαταρία μπορεί επίσης να επιλεγεί (δεν είναι υποχρεωτικό) για συστήματα μπαταρίας με χωρητικότητα μικρότερη των 20 KWh.
- Καλύπτονται απαιτήσεις ασφαλείας της εγκατάστασης με βάση την διάταξη του πλοίου και περιβαλλοντικούς παράγοντες (θερμοκρασία κτπλ)
- Για αποφυγή θερμικών ατυχημάτων, θέτονται απαιτήσεις για πυρασφάλεια και πυρανίχνευση στους χώρους εγκατάστασης.

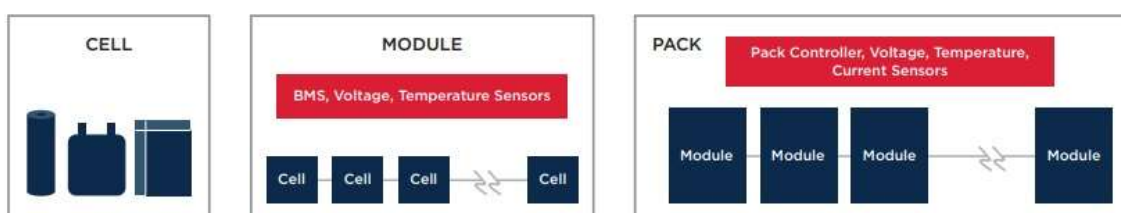
## II. Ισχύς:

- Οι μπαταρίες είναι υποχρεωτικές σε σκάφη όπου η μπαταρία χρησιμοποιείται ως αποκλειστική/συμπληρωματική πηγή ισχύος πρόωσης
- Οι κανόνες θέτουν απαιτήσεις την τοποθεσία. Επιπλέον, ο χρόνος ή το εύρος που η μπαταρία μπορεί να παρέχει ενέργεια υπολογίζεται με βάση την προγραμματισμένη λειτουργία ή το ταξίδι.

## 7.4 Σύστημα μπαταριών

Με την επιλογή του υποψηφίου πλοίου, το επόμενο φυσικό βήμα είναι η επιλογή συστήματος μπαταριών. Το σύστημα αυτό είναι το σημαντικότερο κομμάτι της μετασκευής και θα πρέπει να χαρακτηρίζεται από υψηλά επίπεδα ασφαλείας καθώς και να παρέχει στο Ε/Γ -Ο/Γ πλοίο πλήρη ενεργειακή ανεξαρτησία για όλες τις απαιτούμενες λειτουργίες.

Το βασικό ζωτικό μέρος του όλου συστήματος είναι τα κελιά, με βάση τα οποία δημιουργούνται μονάδες (modules), υποσυστοιχίες (sub racks) και συστοιχίες (racks). Ένα κελί είναι το μικρότερο ηλεκτροχημικό στοιχείο το οποίο μπορεί αυτόνομα να μετατρέψει την χημική ενέργεια σε ηλεκτρική.

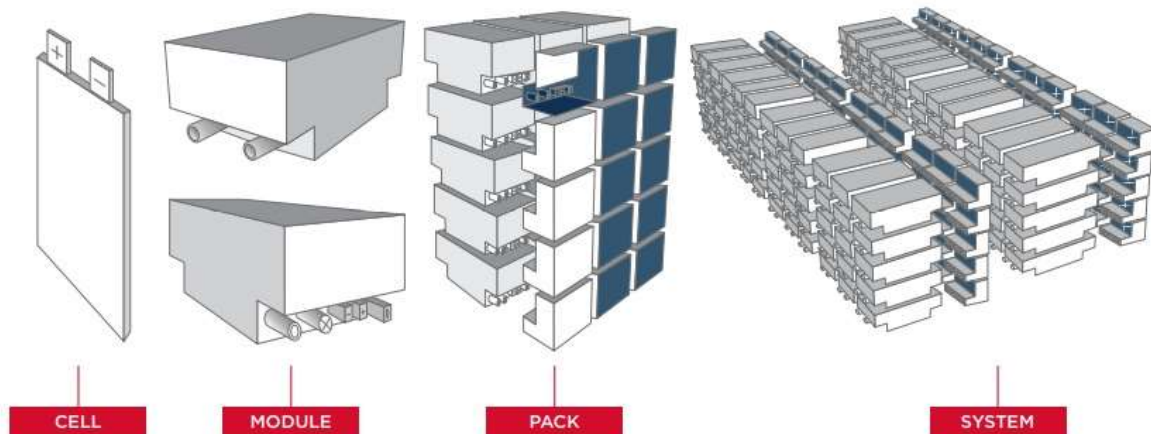


Σχήμα 7.2 Δημιουργία μονάδων και συστοιχιών από κελιά (ABS classification society)

Η σύνδεση πολλών κελιών παράλληλα ή σε σειρά δημιουργεί την μονάδα (module). Η επιλογή συνδεσμολογίας σε σειρά ή παράλληλα γίνεται με βάση την τιμή της επιθυμητής τάσης και έντασης της μονάδας.

Η συστοιχία αποτελείται από πολλές παράλληλα συνδεδεμένες υποσυστοιχίες ή μονάδες. Η παράλληλη σύνδεση δίνει την ίδια τιμή τάσης με αυτή των μονάδων που την αποτελούν. Η ένωση όλων αυτών των στοιχείων γίνεται μέσω καλωδίων και μπορεί να διαθέτουν ρελέ ή διακόπτες

ανάμεσά τους. Οι συστοιχίες μπορούν να δουλέψουν και ως αυτόνομες μονάδες και αποτελούν το σύστημα μπαταριών.



Σχήμα 7.3 Τρισδιάστατη αναπαράσταση μερών και συστημάτων μπαταρίας

Πέραν των κελιών, απαραίτητη είναι και η χρήση διαφόρων άλλων συστημάτων θερμικής διαχείρισης, ασφαλείας, θερμικών αισθητήρων και αισθητήρων τάσης και όλα τα απαραίτητα καλώδια.

Ο Αμερικάνικος νηογνώμονας ABS (American Bureau of Shipping), έχει δημοσιεύσει σχετικό οδηγό που αφορά την χρήση μπαταριών ιόντων λιθίου σε ναυτικές εφαρμογές τον Φεβρουάριο 2020. Οι σχετικές κατευθυντήριες γραμμές και οδηγίες ασφαλείας συνοψίζονται πιο κάτω.

#### Γενικά:

- Το εκτεθειμένο περίβλημα της μπαταρίας (για κελιά και συστοιχίες) πρέπει να είναι κατασκευασμένο από πυρίμαχα υλικά, ανθεκτικά στην υγρασία, τα οποία δεν υπόκεινται σε φθορά στο θαλάσσιο περιβάλλον και στη θερμοκρασία στην οποία είναι πιθανό να εκτεθούν.
- Τα περιβλήματα της μονάδας μπαταρίας πρέπει να έχουν βαθμό προστασίας όχι μικρότερο από το IP44. Εφόσον μιλάμε για ηλεκτρικό κύκλωμα, απαιτείται πιστοποίηση προστασίας IP (Ingress Protection) και συγκεκριμένα ο ελάχιστος βαθμός είναι IP44. Αυτό σημαίνει ότι χρειάζεται η τοποθέτηση συστήματος πυρόσβεσης με νερό στον χώρο μπαταριών.
- Το σύστημα μπαταρίας πρέπει να διαθέτει μηχανισμό απενεργοποίησης έκτακτης ανάγκης δίπλα, αλλά και έξω από τον χώρο της μπαταρίας. Το κύκλωμα απενεργοποίησης έκτακτης ανάγκης πρέπει να είναι ενσύρματο και ανεξάρτητο από οποιοδήποτε κυκλώματα ελέγχου, παρακολούθησης και συναγερμού. Εάν το σύστημα μπαταρίας χρησιμοποιείται για την παροχή ενέργειας πρόωσης του πλοίου, θα πρέπει να υπάρχει μια πρόσθετη ρύθμιση έκτακτης ανάγκης για το κλείσιμο από την γέφυρα πλοήγησης και τον κεντρικό σταθμό ελέγχου (CCS) ή κλειστό σταθμό λειτουργίας (EOS).

- Οι μπαταρίες διαφορετικών φυσικών-χημικών χαρακτηριστικών και ηλεκτρικών παραμέτρων δεν συστήνεται να χρησιμοποιηθούν στο ίδιο ηλεκτρικό κύκλωμα.
- Το σύστημα μπαταριών πρέπει να διαθέτει μέσα με τα οποία μπορεί να απομονωθεί ηλεκτρικά για σκοπούς συντήρησης. Αυτός ο μηχανισμός ηλεκτρικής απομόνωσης πρέπει να είναι ανεξάρτητος από τη διάταξη τερματισμού λειτουργίας έκτακτης ανάγκης.
- Το περίβλημα κελιών, μονάδων, μπαταρίας και συστημάτων μπαταρίας πρέπει να εφοδιάζονται με μηχανισμό / διάταξη μείωσης πίεσης για την αποφυγή ρήξης ή έκρηξης. Οι μεμονωμένες μονάδες συστήνεται επίσης να έχουν ρυθμιστεί προς αποφυγή διαρροής ηλεκτρολύτη.
- Όλα τα εξερχόμενα κυκλώματα του συστήματος μπαταριών πρέπει να προστατεύονται από υπερφόρτωση και βραχυκύκλωμα, εξαιρουμένων των μπαταριών έκτακτης ανάγκης που χρησιμοποιούνται για την εκκίνηση του κινητήρα.

#### **Συστήματα ελέγχου, παρακολούθησης, συναγερμού και ασφάλειας:**

- Τα συστήματα ελέγχου, παρακολούθησης και ασφάλειας πρέπει να διαθέτουν εγκαταστάσεις αυτοελέγχου. Σε περίπτωση αποτυχίας συστημάτων, πρέπει να ενεργοποιείται ένας συναγερμός.
- Το σύστημα ασφαλείας πρέπει να σχεδιαστεί έτσι ώστε να περιορίζει τις συνέπειες των βλαβών. Πρέπει να είναι κατασκευασμένο με βάση την αρχή της αστοχίας.
- Οι αισθητήρες για λειτουργίες ασφαλείας πρέπει να είναι ανεξάρτητοι από τους αισθητήρες που χρησιμοποιούνται για άλλους σκοπούς (π.χ. για σύστημα συναγερμού).
- Οι αισθητήρες πρέπει να είναι σχεδιασμένοι ώστε να αντέχουν στο τοπικό περιβάλλον. Το περίβλημα του αισθητήρα και η είσοδος καλωδίου πρέπει να είναι κατάλληλη για το χώρο στον οποίο βρίσκονται. Οποιαδήποτε δυσλειτουργία στους αισθητήρες πρέπει να είναι ανιχνεύσιμη.

#### **Σύστημα Διαχείρισης Μπαταρίας - Battery Management System (BMS):**

- Το σύστημα μπαταρίας συστήνεται να διαθέτει Σύστημα Διαχείρισης Μπαταρίας (BMS)
- Το BMS πρέπει, κατ' ελάχιστο, να παρακολουθεί την τάση της μπαταρίας, τη θερμοκρασία των κελιών και την ένταση του ρεύματος.
- Το BMS πρέπει να τροφοδοτείται συνεχώς και πρέπει να ενεργοποιείται συναγερμός σε περίπτωση βλάβης ή διακοπής τροφοδοσίας.
- Το σύστημα ασφαλείας πρέπει να ενεργοποιείται αυτόματα σε περίπτωση εντοπισμένων συνθηκών που θα μπορούσαν να οδηγήσουν σε βλάβη του συστήματος μπαταρίας λιθίου. Ενεργοποίηση οποιωνδήποτε αυτόματων ενεργειών ασφαλείας, πρέπει οδηγεί σε ταυτόχρονη ενεργοποίηση ενός συναγερμού σε μια συνεχώς επανδρωμένη τοποθεσία.

## 7.5 Ενεργειακές απαιτήσεις

Οι ενεργειακές απαιτήσεις λειτουργίας του Ε/Γ- Ο/Γ πλοίου καθορίζουν την χωρητικότητα του συστήματος μπαταριών που πρέπει να εγκατασταθούν στο σκάφος. Η αξιοπιστία του συστήματος μπαταριών είναι ζήτημα μεγάλης σημασίας όσον αφορά τον ανταγωνισμό με άλλα συμβατικά ντιζελοκίνητα πλοία.

Η χωρητικότητα του συστήματος πρέπει να καλύπτει πλήρως τις ανάγκες πρόωσης, λειτουργίας βοηθητικών συστημάτων (μηχανοστασίου, χώρων ενδιαίτησης, μαγειρείου), φωτισμού και οργάνων ναυσιπλοΐας. Ένα περιθώριο ασφαλείας (μεγαλύτερο ή ίσο 10%) πρέπει να προστεθεί στην χωρητικότητα, με σκοπό να καλύπτονται πιθανές ενεργειακές ανάγκες πρόωσης σε περίπτωση δυσμενών καιρικών συνθηκών. Σε μεταγενέστερο στάδιο της συγκεκριμένης μελέτης θα αναλυθεί ένα μαθηματικό – προγραμματιστικό μοντέλο υπολογισμού των ενεργειακών αναγκών.

Η ύπαρξη γεννήτριας ντίζελ έκτακτης ανάγκης θεωρείται δεδομένη σύμφωνα με τους κανονισμούς της σημαίας.

## 7.6 Επιλογή και διαρρύθμιση χώρου τοποθέτησης του συστήματος μπαταριών

Με βάση τις ενεργειακές ανάγκες προκύπτει το μέγεθος του συστήματος και πρέπει να επιλεγεί ο απαιτούμενος χώρος του στο πλοίο. Ο χώρος περιλαμβάνει το δάπεδο, οροφή, τοίχους και όλα τα στοιχεία που περιορίζουν φυσικά το σύστημα μπαταριών. Ο χώρος επιλέγεται με βάση την ασφάλεια, λειτουργικότητα και την καλύτερη απόδοση για το πλοίο και γίνονται οι ανάλογες μετατροπές.

Στην συνέχεια δίνονται μερικές κατευθυντήριες γραμμές για την επιλογή, τοποθέτηση, προσαρμογή και διαρρύθμιση του συστήματος:

- Συστήνεται η τοποθέτηση του συστήματος μπαταριών στο μηχανοστάσιο, εφόσον οι συμβατικές μηχανές εσωτερικής καύσης θα αντικατασταθούν απ' αυτό.
- Εφόσον η μεθοδολογία αφορά μετασκευή, ο χώρος και το ύψος καταστρώματος της εγκατάστασης πρέπει να επιλέγεται έτσι ώστε να ικανοποιούνται πλήρως οι απαιτήσεις ευστάθειας. Επίσης, αφού το σύστημα έχει μεγάλο βάρος, απαιτείται ανάλογη προσαρμογή στις διάφορες ομάδες βαρών του σκάφους και ιδιαίτερα στο βάρος έρματος.

Οδηγίες από τον νηογνώμονα ABS:

- Τουλάχιστον, δύο ανεξάρτητα συστήματα μπαταριών πρέπει να παρέχονται και να βρίσκονται σε ξεχωριστούς χώρους.

- Οι χώροι μπαταρίας δεν πρέπει να βρίσκονται μπροστά από την πρωραία φρακτή σύγκρουσης του σκάφους. Μπορούν να ληφθούν υπόψη ειδικές περιπτώσεις για την τροφοδοσία φορτίων που βρίσκονται μπροστά από την πρωραία φρακτή σύγκρουσης.
- Οι χώροι της μπαταρίας δεν πρέπει να περιέχουν πηγές θερμότητας ή αντικείμενα υψηλού κινδύνου πυρκαγιάς εκτός εκείνου του συστήματος μπαταρίας.
- Οι χώροι μπαταριών δεν πρέπει να περιέχουν εξοπλισμό (συμπεριλαμβανομένων καλωδίων και σωλήνων) που υποστηρίζει βασικές υπηρεσίες, ώστε να αποφεύγεται η απώλεια τέτοιων βασικών υπηρεσιών σε περίπτωση ατυχούς συμβάντος.
- Σε περίπτωση υψηλής θερμοκρασίας περιβάλλοντος στο χώρο της μπαταρίας, αυτή πρέπει να παρακολουθείται και να ειδοποιεί κάποιον σε μια συνεχώς επανδρωμένη τοποθεσία.
- Ο χώρος της μπαταρίας πρέπει να διαθέτει κατάλληλα μέσα για εξαερισμό αερίων, τα οποία μπορεί να δημιουργηθούν κατά τη διάρκεια μιας ανώμαλης κατάστασης, από το χώρο της μπαταρίας έως το ανοιχτό κατάστρωμα.
- Ο χώρος της μπαταρίας πρέπει να είναι εφοδιασμένος με ανιχνευτή εύφλεκτων αερίων, κατάλληλο για τη χημεία της μπαταρίας που χρησιμοποιείται. Ο ανιχνευτής αερίων πρέπει να εκπέμπει συναγερμό σε συνεχώς επανδρωμένη θέση και αποσυνδέει αυτόματα το σύστημα μπαταρίας εάν η συγκέντρωση αερίου στο χώρο της μπαταρίας φτάσει επικίνδυνο ποσοστό συγκέντρωσης.
- Η τοποθεσία και το σχέδιο διάταξης του Συστήματος Μπαταρίας, θα πρέπει να δείχνουν σαφώς την μπαταρία σε σχέση με τον χώρο στον οποίο εγκαθίσταται, καθώς και το μέγεθος της απόστασης μεταξύ οποιουδήποτε άλλου εξοπλισμού στο δωμάτιο και της μπαταρίας.
- Εάν η μπαταρία χρησιμοποιείται στο σε συνδυασμό με μια πηγή ενέργειας έκτακτης ανάγκης (π.χ., γεννήτρια ντίζελ έκτακτης ανάγκης), δεν πρέπει να είναι βρίσκεται στον ίδιο χώρο με την πηγή ενέργειας έκτακτης ανάγκης. Και οι δύο χώροι πρέπει να είναι εύκολα προσβάσιμοι.

Απαραίτητη είναι και η ασφάλεια του χώρου έναντι πυρκαγιάς. Αναλυτικές οδηγίες παρέχει ο νηογνώμονας ABS:

- Ο χώρος της μπαταρίας πρέπει να θεωρείται Βοηθητικός Χώρος Μηχανημάτων ή Χώρος Μηχανημάτων εκτός της κατηγορίας Α όπως ορίζεται στον Κανονισμό II-2 της SOLAS και υπόκειται στις απαιτήσεις δομικής πυροπροστασίας που αναφέρονται σε αυτόν.
- Ο χώρος της μπαταρίας πρέπει να είναι εφοδιασμένος με ένα κατάλληλο Σύστημα Πυρόσβεσης Πυρκαγιάς (Fixed Fire Extinguishing System - FFES) που συνιστά ο προμηθευτής και κατάλληλο για τη χημεία της μπαταρίας που χρησιμοποιείται. Ένα σταθερό σύστημα πρέπει να διαθέτει διατάξεις (δηλαδή, επιλογή κατάλληλου μεταλλικού

υλικού για ακροφύσια, μεθόδους γείωσης) για να αποτρέψει τη συσσώρευση στατικού ηλεκτρισμού στο ακροφύσιο κατά την απελευθέρωση του πυροσβεστικού μέσου.

- Πρέπει να παρέχονται φορητοί πυροσβεστήρες στον χώρο.
- Ο χώρος της μπαταρίας πρέπει να είναι εφοδιασμένος με αεροστεγή πόρτα για την αποφυγή διαφυγής καύσιμων αερίων και να μην βρίσκεται δίπλα σε χώρους με εύφλεκτα υλικά και διαμερίσματα ελλιμενισμού.

## 7.7 Απαιτούμενο σύστημα διασύνδεσης ξηράς

Το σύστημα διασύνδεσης ξηράς –πλοίου μπορεί να είναι εναλλασσόμενου ρεύματος (AC) ή συνεχούς ρεύματος(DC).

Το διεθνές πρότυπο IEC / ISO / IEEE 80005-1 καθορίζει τις απαιτήσεις για συνδέσεις ξηράς υψηλής τάσης (HVSC) και εφαρμόζεται σε πλοία που απαιτούν 1 MW ή περισσότερο ή σε πλοία με κύρια τροφοδοσία HV, ενώ IEC / ISO / IEEE 80005-3 ( pre-standard) ασχολείται με συνδέσεις ξηράς χαμηλής τάσης (LVSC) (Διεθνής Ηλεκτροτεχνική Επιτροπή, 2014) για πλοία με χαμηλότερη ζήτηση ισχύος. Τα πρότυπα προτείνουν παρόμοιες διαμορφώσεις τόσο για τα συστήματα HVSC όσο και για τα συστήματα LVSC.

Όσον αφορά σύνδεση με συνεχές ρεύμα δεν υπάρχει ακόμα κάποιο πρότυπο για αυτό η ανάλυση που ακολουθεί αφορά μόνο συστήματα εναλλασσόμενου ρεύματος με βάση τα ανάλογα πρότυπα.

Τα πρότυπα έχουν ως απώτερο σκοπό την διασφάλιση της συμβατότητας μεταξύ πλοίου και συστήματος ξηράς έτσι ώστε να μεγιστοποιείται ο αριθμός των πλοίων που μπορεί να χρησιμοποιήσει στον εξοπλισμό ξηράς σε όσο το δυνατόν περισσότερα λιμάνια. Εφαρμογή των προτύπων οδηγεί σε άμεση απλή διασύνδεση με τον εξοπλισμό της ξηράς, απαλλάσσοντας έτσι το πλήρωμα από διαδικασίες προσαρμογής του συστήματος επί του πλοίου σε διαφορετικά λιμάνια, εξοικονομώντας χρόνο και χρήμα. Μη συμμόρφωση των πλοίων με τα πρότυπα οδηγεί σε δυσκολίες διασύνδεσης σε διάφορους σταθμούς ξηράς και ενδέχεται να μην καλύπτονται απαιτήσεις ασφαλείας και περιβαλλοντικών πτυχών.

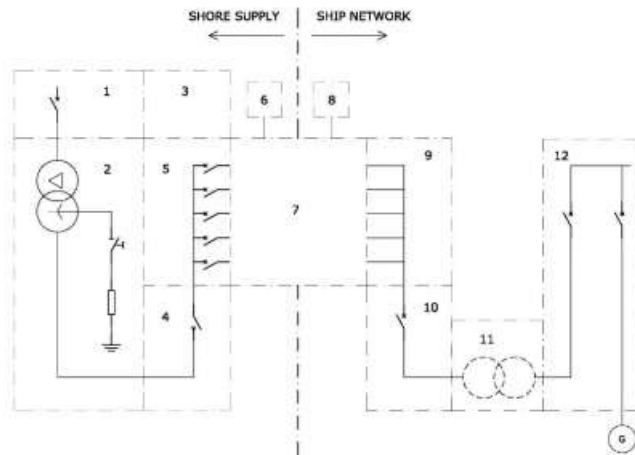
Έτσι η μεθοδολογία που αναπτύχθηκε στην παρούσα μελέτη υιοθετεί πλήρως τις απαιτήσεις των προτύπων αυτών.

Αξίζει να σημειωθεί ότι στοιχεία για ανάπτυξη αυτού του εδαφίου αντλήθηκαν από την δημοσίευση «Furthering the Electricity to Ships and Ports: the ELEMED Project» από ομάδα ακαδημαϊκών της Σχολής Ναυπηγών Μηχανολόγων Μηχανικών του ΕΜΠ, σχετικά με το ευρωπαϊκό πρόγραμμα ELEMED, που έχει ως σκοπό την ηλεκτρική αναβάθμιση των λιμένων στην ανατολική Μεσόγειο.

### **Εξοπλισμός Διασύνδεσης Ξηράς:**

Η κύρια διαφορά μεταξύ των HVSC - LVSC αποτελείται από τον εξοπλισμό γείωσης και τις σχετικές συνδέσεις που χρησιμοποιούνται στα συστήματα υψηλής τάσης για την αποφυγή υπολειπόμενων φορτίων.





Σχήμα 7.4 Διαμόρφωση Port Side για σύστημα LVSC που παρουσιάζεται στο IEC / ISO / IEEE 80005-3

Τόσο τα συστήματα HVSC όσο και τα συστήματα LVSC χρησιμοποιούν έναν αποκλειστικό απομονωμένο μετασχηματιστή ως το τελευταίο εξάρτημα ισχύος πριν από τη διασύνδεση μεταξύ του πλοίου και του λιμένα.

Ο όρος αποκλειστικός μετασχηματιστής σημαίνει μόνο μία σύνδεση πλοίου με έναν μετασχηματιστή για να ικανοποιήσει τις απαιτήσεις γαλβανικής απομόνωσης, προκειμένου να προστατεύσει το σύστημα ισχύος του πλοίου από ανωμαλίες στο σύστημα ισχύος ξηράς. Πολλά προβλήματα γείωσης του συστήματος ισχύος και άσχετα ρεύματα που σχετίζονται με άλλες λιμενικές εγκαταστάσεις μπορούν να επηρεάσουν την προστασία από το σφάλμα τροφοδοσίας του πλοίου, εκτός εάν το σύστημα ισχύος στην ξηρά διαθέτει τη δική του ζώνη γείωσης που παρέχεται από έναν ειδικό μετασχηματιστή με ουδέτερη αντίσταση γείωσης. Η συνέχεια της ουδέτερης αντίστασης γείωσης παρακολουθείται συνεχώς. Σε περίπτωση απώλειας της συνέχειας, ο διακόπτης ασφαλείας από την ξηρά πρέπει να ενεργοποιηθεί.

Κατά την σχεδίαση ενός αποτελεσματικού συστήματος διασύνδεσης ξηράς, είναι σημαντικό να λαμβάνονται υπόψη τα σωστά κριτήρια διαστασιολόγησης και η επιλογή της καλύτερης αρχιτεκτονική.

Οι τυπικές αρχιτεκτονικές των συστημάτων σύνδεσης ξηράς μπορούν να ταξινομηθούν σύμφωνα με διαφορετικά κριτήρια όπως:

- Το επίπεδο τάσης της σύνδεσης ξηράς. Τα συστήματα LVSC (συνήθως 440 V) είναι κατάλληλα για συστήματα με ζήτηση ισχύος μικρότερη από 1 MW, ενώ τα συστήματα HVSC (συνήθως 6,6 ή 11 kV) είναι πιο κατάλληλα για πλοία με υψηλότερες απαιτήσεις ισχύος ή με κύρια τροφοδοσία HV
- Συστήματα με ή χωρίς μετατροπή συχνότητας. Τα συστήματα χωρίς μετατροπή συχνότητας είναι κατάλληλα για λιμένες της Βόρειας Αμερικής, ενώ συστήματα με μετατροπείς συχνότητας είναι κατάλληλα για λιμένες που βρίσκονται στην Ευρώπη ή την Ασία.

### Εξοπλισμός Διασύνδεσης Πλοίου:

Τα πρότυπα έχουν οδηγίες και για την πλευρά διασύνδεσης του πλοίου, έτσι ώστε να διασφαλίζεται η ασφάλεια και η συμβατικότητα με την πλευρά της ξηράς. Με βάση το πρότυπο IEC/ISO/IEEE80005-3 προτείνονται οι ακόλουθες κατευθυντήριες γραμμές :

- Το σύστημα μπαταριών θα πρέπει να διαθέτει το δικό του σύστημα φόρτισης μπαταρίας
- Ο φορτιστής του συστήματος θα πρέπει να σχεδιαστεί για λειτουργία στην σωστή χωρητικότητα με βάση την εφαρμογή μπαταριών
- Ο φορτιστής θα πρέπει να σχεδιαστεί ώστε να αποφεύγονται υψηλές τιμές της τάσης και της έντασης του ηλεκτρικού ρεύματος.
- Το σύστημα φόρτισης πρέπει να διαθέτει αισθητήρες θερμοκρασίας με σκοπό την ανίχνευση υπερθερμάνσεων.
- Η διασύνδεση με το σύστημα της ξηράς προτείνεται να γίνεται αυτόματα, αλλιώς θα πρέπει το προσωπικό να εκπαιδευτεί για αυτή την διαδικασία.
- Ο φορτιστής θα πρέπει να είναι σχεδιασμένος έτσι ώστε να αποφεύγεται η υπέρβαση της καθορισμένης στάθμης ρεύματος (C-rate) και τάσης.
- Ανωμαλίες στην φόρτιση θα πρέπει να σημάνουν συναγερμό σε μία συνεχώς επανδρωμένη θέση.

Επίσης πέραν του συστήματος φόρτισης, οι σημαντικότερες οδηγίες που ορίζουν τα πρότυπα ISO είναι:

- Θα πρέπει να υπάρχει εγκατεστημένος πίνακας σύνδεσης ξηράς επί του πλοίου, σε κατάλληλη θέση, δηλαδή όσο το δυνατόν πλησιέστερη προς το σημείο παραλαβής/υποδοχής.
- Η απόσταση μεταξύ του σημείου παροχής και του σημείου υποδοχής πρέπει να είναι όσο το δυνατόν μικρότερη.
- Ο πίνακας θα πρέπει να διαθέτει ένα διακόπτη προστασίας για διασφάλιση των ηλεκτρικών εξαρτημάτων του σκάφους.
- Ο πίνακας σύνδεσης της ξηράς θα πρέπει να είναι εφοδιασμένος με:
  1. βολτόμετρο : και τις τρεις φάσεις
  2. συσκευές βραχυκυκλώματος : ενεργοποίηση και συναγερμός
  3. συσκευές υπερέντασης (overcurrent) : ενεργοποίηση και συναγερμός
  4. ένδειξη σφάλματος γείωσης : συναγερμός
  5. προστασία ανισορροπίας για συστήματα με περισσότερα από ένα καλώδια

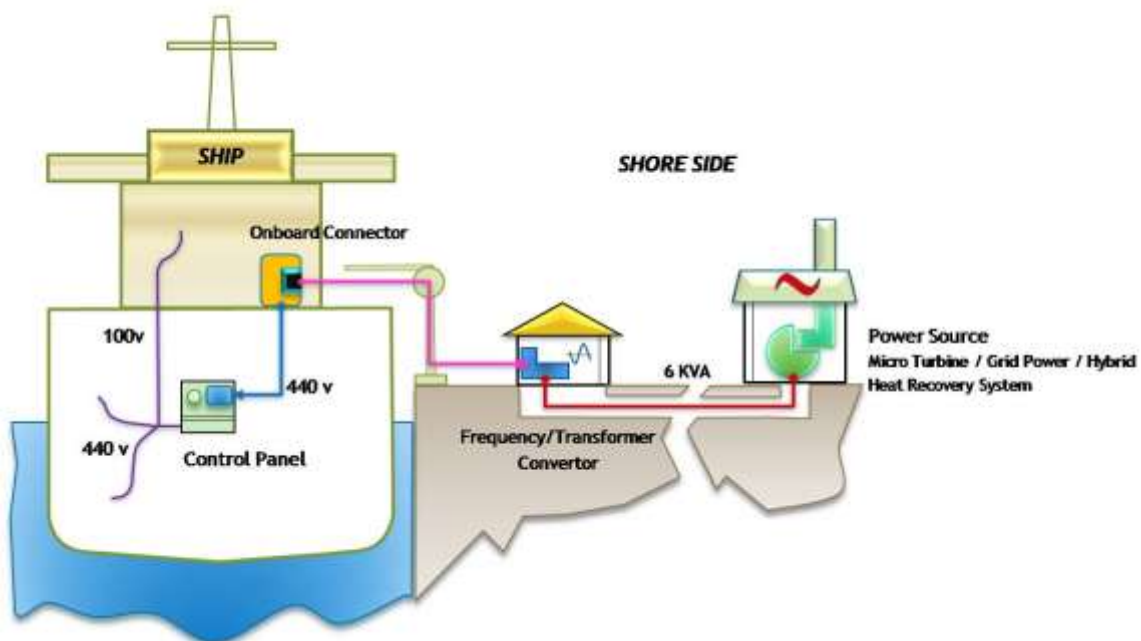
- Τα συστήματα προστασίας θα πρέπει να διαθέτουν εφεδρική μπαταρία με επαρκήδ ιάρκεια (τουλάχιστον 30 λεπτά), όπως αναφέρεται IEC60092-504: 2001, 9.6.2.5. Σε περίπτωση βλάβης της φόρτισης της μπαταρίας ή της ενεργοποίησης του εφεδρικού συστήματος, θα πρέπει να ενεργοποιείται συναγερμός που να προειδοποιεί το αρμόδιο προσωπικό.
- Ο γαλβανικός διαχωρισμός μεταξύ ξηράς και πλοίου θα πρέπει να παρέχεται στην ξηρά.
- Δεν θα πρέπει να υπάρχουν εύφλεκτα υλικά κοντά στο βύσμα τροφοδοσίας ξηράς, ώστε να αποφευχθεί η διάδοση πιθανής φωτιάς από το βύσμα στοπεριβάλλον και στο σκάφος.

Οι παραπάνω οδηγίες αποτελούν τις σημαντικότερες από τα ανάλογα πρότυπα ISO. Λεπτομερής ανασκόπηση των κανονισμών των προτύπων βρίσκεται στην ιστοσελίδα του ISO: [www.iso.org](http://www.iso.org) (EC/IEEE 80005-1:2019 Utility connections in port — Part 1: High voltage shore connection (HVSC) systems — General requirements) και (IEC/PAS 80005-3:2014 Utility connections in port — Part 3: Low Voltage Shore Connection (LVSC) Systems — General requirements)

# ΜΕΡΟΣ Β

## 8. COLD IRONING

Με τον όρο Cold Ironing εννοείται η απευθείας ηλεκτρική σύνδεση του πλοίου με το τοπικό δίκτυο ηλεκτροδότησης της εκάστοτε περιοχής του λιμένα. Μέσω αυτής της μεθόδου ηλεκτροδότησης, το σκάφος θέτει τις ηλεκτρογεννήτριές του εκτός λειτουργίας και όλες οι συσκευές-μηχανήματα στο πλοίο που απαιτούν ηλεκτρική ενέργεια για την λειτουργία τους, χρησιμοποιούν την ενέργεια που παρέχει το σύστημα Cold Ironing. Στις ΗΠΑ, το σύστημα είναι γνωστό και ως AMP (Alternative Maritime Power), ενώ στην Ευρώπη χρησιμοποιείται ευρέως ο όρος 'shore-side electricity', που σε ελεύθερη μετάφραση σημαίνει 'ηλεκτρισμός ακτής-πλευράς'.



Σχήμα 8.1 Τυπική διάταξη συστήματος Cold Ironing

Τα μεγάλα πλεονεκτήματα του Cold Ironing αφορούν το περιβαλλοντικό μέρος και τα οφέλη στην υγεία που προσφέρει στις τοπικές κοινωνίες. Οι ηλεκτρογεννήτριες του πλοίου χρησιμοποιούν ορυκτό καύσιμο για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Η καύση του ορυκτού καυσίμου προκαλεί διάφορα περιβαλλοντικά προβλήματα, καθώς και διάφορα προβλήματα υγείας, όπως αυτά περιγράφονται στο κεφάλαιο 2 της παρούσας εργασίας.

Επειδή η ανάγκη για ηλεκτρική ενέργεια στα αγκυροβολημένα σκάφη εντός του λιμένα είναι αδιαπραγμάτευτη, το σύστημα Cold Ironing αποτελεί μια ελκυστική λύση όσον αφορά την ταυτόχρονη ηλεκτροδότηση των πλοίων και την εξασφάλιση υγιούς περιβάλλοντος για τις τοπικές κοινωνίες. Μέσω της απευθείας σύνδεσης με το σύστημα ηλεκτροδότησης της περιοχής, η ανάγκη ηλεκτρικής ενέργειας καλύπτεται πλήρως από το τοπικό δίκτυο και έτσι οι ηλεκτρογεννήτριες μπορούν να μείνουν εκτός λειτουργίας, αποφεύγοντας έτσι όλες τις αρνητικές πτυχές της καύσης του πετρελαίου και των παραγώγων του.

Όταν ένα πλοίο βρίσκεται εντός του λιμένα, χρησιμοποιεί την ηλεκτρική ενέργεια για:

- Τροφοδότηση τηλεπικοινωνιακών μέσων
- Χρήση Γερανών για φόρτωση – εκφόρτωση
- Φωτισμό
- Κλιματισμό και θέρμανση χώρων
- Ψύξη φορτίου
- Ανάγκες πληρώματος
- Τροφοδότηση ηλεκτρικών συσκευών

Ένα τέτοιο εγχείρημα απαιτεί την υπέρβαση πολλών τεχνικών, καθώς και οικονομικών εμποδίων. Πρέπει να προηγηθεί αναλυτική τεχνικό – οικονομική μελέτη η οποία περιλαμβάνει και τα περιβαλλοντικά οφέλη της τοπικής κοινωνίας και στοχεύει στην βέλτιστη διάταξη του συστήματος. Οι ενεργειακές ανάγκες ενός πλοίου στον λιμένα δεν είναι αμελητέες και πρέπει να λαμβάνονται σοβαρά υπόψη σε ενδεχόμενες επενδύσεις που αφορούν Cold Ironing. Ο λιμένας στις πλείστες περιπτώσεις καλείται να τροφοδοτήσει περισσότερα από ένα πλοία ταυτόχρονα, γεγονός που πρέπει να συνυπολογιστεί στην σχεδίαση του όλου συστήματος. Ενδεχόμενες αναβαθμίσεις του τοπικού δικτύου για να ανταπεξέλθει στις προβλεπόμενες ενεργειακές ανάγκες είναι αναγκαίο να μελετηθούν, ενώ είναι απαραίτητη χρήση μετασχηματιστών επειδή πλοία από όλο τον πλανήτη δύναται να χρησιμοποιούν διαφορετική τάση ηλεκτρικού ρεύματος από αυτήν του τοπικού δικτύου.

Ενώ μπορεί να υπάρχει πρωτοβουλία από την πλευρά διαχείρισης του λιμένα για αναβάθμισή του με σύστημα Cold Ironing, για υλοποίηση του εγχειρήματος απαιτείται η ταυτόχρονη συναίνεση των πλοιοκτητών, καθώς είναι αναγκαία η μετασκευή των σκαφών τους έτσι ώστε να γίνει εγκατάσταση κάποιων υποδοχών στα σημεία διασύνδεσης. Πέραν της αναβάθμισης του σκάφους, στο ‘παιχνίδι’ μπαίνει και το οικονομικό κομμάτι. Ο πλοιοκτήτης καλείται να πληρώνει ένα ποσό στον πάροχο ηλεκτρικής ενέργειας ανάλογη με την κατανάλωσή του. Ενδέχεται η παραγωγή ενέργειας μέσω των βοηθητικών μηχανημάτων να είναι φθηνότερη από την αγορά της μέσω του τοπικού δικτύου. Εννοείται ότι για την μετασκευή του σκάφους χρειάζεται η πλοιοκτήτρια εταιρία να επενδύσει κάποια χρήματα. Αυτά αποτελούν εμπόδια τα οποία οι αρχές του λιμένα και οι πλοιοκτήτες πρέπει να αντιμετωπίσουν.

Η ναυτιλία αποτελεί μια από τις μεγαλύτερες βιομηχανίες στον πλανήτη και απασχολεί όλα σχεδόν τα κράτη. Εφόσον ο παγκόσμιος στόλος αποτελείται από πλοία από όλη την Γη, είναι φυσική ανάγκη να υπάρχει μια κοινή γραμμή όσον αφορά τις τεχνικές πτυχές. Κύριος φορέας για την χάραξη αυτής της κοινής γραμμής είναι ο οργανισμός ISO (International Organization of Standardization), ο οποίος είναι ένας μη κερδοσκοπικός οργανισμός που θέτει πρότυπα της αγοράς. Η εμπλοκή του ISO σε συστήματα Cold Ironing ήταν μονόδρομος. Ανάλυση των προτύπων ISO έγινε στο υποκεφάλαιο 7.7, ‘Απαιτούμενο σύστημα διασύνδεσης ξηράς’, ωστόσο θα ακολουθήσει μια πιο περιεκτική παρουσίαση των επιμέρους εξαρτημάτων που απαιτούνται για ομαλή λειτουργία του συστήματος.

## 8.1 Μετασχηματιστής

Μέχρι την δεκαετία του 1940, οι ηλεκτρολογικές εγκαταστάσεις των πλοίων ήταν συνεχούς ρεύματος (DC) με τάση 110 V ή 220 V. Στην σύγχρονη εποχή, χρησιμοποιείται εναλλασσόμενο ρεύμα (AC), ενώ το συνεχές ρεύμα στα πλοία αποτελεί πλέον την εξαίρεση. Η συχνότητα και τάση στα πιο διαδεδομένα συστήματα AC είναι:

- 60 Hz/440V ή 50Hz/380V για ηλεκτροπαραγωγή και κίνηση
- 60 Hz/110V ή 50Hz/220V για φωτισμό

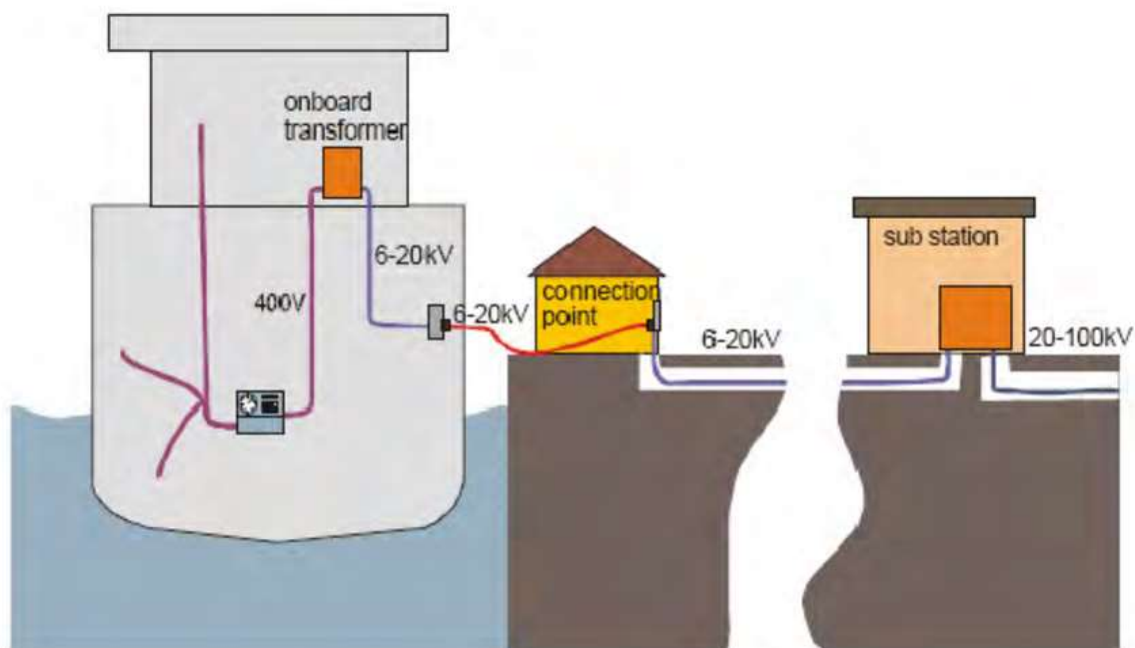
Σε μερικές εφαρμογές πλοίων με μεγάλη απαίτηση σε ηλεκτρισμό, η τάση λειτουργίας ξεπερνά τα 1000V και παίρνει μια από τις παρακάτω τιμές:

3 kV, 3.3 kV, 4.17 kV, 6 kV, 6.6 kV, 11 kV, 15 kV στα 60 Hz κατά κανόνα.

Η πλέον διαδεδομένη από τις παραπάνω τάσεις, είναι αυτή των 6.6 kV. Η υψηλή τάση προτιμάται από πολλούς μηχανικούς για τους 2 παρακάτω λόγους:

- Υψηλή τάση οδηγεί σε μικρότερη ένταση ρεύματος, με αποτέλεσμα οι καλωδιώσεις να είναι μικρότερης διατομής και ελαφρύτερες. Έτσι μειώνεται το κόστος κτήσης των καλωδίων.
- Με την αύξηση της τάσης μειώνονται οι απώλειες ενέργειας στο ηλεκτρικό δίκτυο.

Εν πάση περιπτώσει, η ύπαρξη ενός μετασχηματιστή στο σύστημα διασύνδεσης πλοίου ξηράς είναι απαραίτητη αφού το τοπικό δίκτυο ξηράς έχει μεγαλύτερη τάση, της τάξεως των 20kV -100kV, η οποία πρέπει να μειωθεί. Κατά την λειτουργία του, ο μετασχηματιστής χρησιμοποιεί δύο πηνία τα οποία με τις ανάλογες περιτυλίξεις, μειώνουν ή αυξάνουν την τάση.



Σχήμα 8.2 Τυπικές τιμές της τάσης σε διάφορα σημεία της σύνδεσης πλοίου – ξηράς

Στον πίνακα 8.1 παρουσιάζονται ενδεικτικές τιμές της τάσης και συχνότητας ανάλογα με το μέγεθος και τον τύπο κάθε πλοίου.

Vessel types	<= 999	1000 – 4999 GT	5000 – 9999 GT	10000 – 24999 GT	25000 – 49999 GT	50000 – 99999 GT	>= 100000 GT
Oil tankers	230/400/440V – 50/60hz	400/440/690V – 50/60hz	690V/6.6/11kV – 50/60hz	690V/6.6/11kV – 50/60hz	690V/6.6/11kV – 50/60hz	6.6/11kV – 50/60hz	6.6/11kV – 50/60hz
Chemical/product tankers	400/440/690V – 50/60hz	400/440/690V – 50/60hz	690V/6.6/11kV – 50/60hz	6.6/11kV – 50/60hz	6.6/11kV – 50/60hz		
Gas tankers	400/440/690V – 50/60hz	400/440/690V – 50/60hz	6.6/11kV – 50/60hz	6.6/11kV – 50/60hz	6.6/11kV – 50/60hz	6.6/11kV – 50/60hz	6.6/11kV – 50/60hz
Bulk carriers	230/400/440V – 50/60hz	400/440/690V – 50/60hz	400/440/690V – 50/60hz	400/440/690V – 50/60hz	400/440/690V – 50/60hz	690V/6.6/11kV – 50/60hz	
General cargo	230/400/440V – 50/60hz	400/440/690V – 50/60hz	400/440/690V – 50/60hz	400/440/690V – 50/60hz	690V/6.6/11kV – 50/60hz		
Containers vessels		400/440/690V – 50/60hz	400/440/690V – 50/60hz	690V/6.6/11kV – 50/60hz	6.6/11kV – 50/60hz	6.6/11kV – 50/60hz	6.6/11kV – 50/60hz
Ro Ro vessels	230/400/440V – 50/60hz	400/440/690V – 50/60hz	400/440/690V – 50/60hz	690V/6.6/11kV – 50/60hz	690V/6.6/11kV – 50/60hz	6.6/11kV – 50/60hz	
Reefers	230/400/440V – 50/60hz	400/440/690V – 50/60hz	400/440/690V – 50/60hz	690V/6.6/11kV – 50/60hz			
Passengers vessels	230/400/440V – 50/60hz	400/440/690V – 50/60hz	400/440/690V – 50/60hz	690V/6.6/11kV – 50/60hz	6.6/11kV – 50/60hz	6.6/11kV – 50/60hz	6.6/11kV – 50/60hz
Offshore supply vessel	230/400/440V – 50/60hz	400/440/690V – 50/60hz	6.6/11kV – 50/60hz				
Other offshore service vessels	230/400/440V – 50/60hz	400/440/690V – 50/60hz	690V/6.6/11kV – 50/60hz	690V/6.6/11kV – 50/60hz	690V/6.6/11kV – 50/60hz	690V/6.6/11kV – 50/60hz	690V/6.6/11kV – 50/60hz
Other activities	230/400/440V – 50/60hz	400/440/690V – 50/60hz	690V/6.6/11kV – 50/60hz	6.6/11kV – 50/60hz	6.6/11kV – 50/60hz	6.6/11kV – 50/60hz	6.6/11kV – 50/60hz
Fishing vessels	230/400/440V – 50/60hz	400/440/690V – 50/60hz	6.6/11kV – 50/60hz				

Πίνακας 8.1 Τυπικές τιμές τάσης και συχνότητας για διάφορους τύπους πλοίων

## 8.2 Διακόπτης

Όπως σε πολλές ηλεκτρολογικές εφαρμογές, έτσι και σε ένα σύστημα Cold Ironing που διαθέτει πολλές καλωδιώσεις είναι αναγκαία η χρήση διακοπών, οι οποίοι εξασφαλίζουν την ασφάλεια του συστήματος.

Η πτώση της τάσης οδηγεί σε απότομη αύξηση της έντασης του ηλεκτρικού ρεύματος, γεγονός που μπορεί να οδηγήσει σε αστραπιαία αύξηση της θερμοκρασίας των καλωδίων και την έκρηξη πυρκαγιάς. Όταν συμβεί αυτό, οι διακόπτες ενεργούν και ανοίγουν το κύκλωμα, σταματώντας έτσι την ροή του ηλεκτρικού ρεύματος.

Η ύπαρξη των διακοπών συμβάλει επίσης και στον καθορισμό ενδεχόμενων βλαβών στο σύστημα. Συνήθως υπάρχει ένα switchgear box, το οποίο προστατεύει τους διακόπτες από τα καιρικά φαινόμενα.

### 8.3 Καλώδια

Οι 'αρτηρίες' ενός ηλεκτρικού κυκλώματος, είναι τα καλώδια. Αποτελούνται από ένα αγωγίμο μέσο και προστατεύονται περιμετρικά από ένα θερμομονωτικό υλικό. Σε εφαρμογές Cold Ironing προτείνεται η εγκατάσταση καλωδίων οπτικών ινών αντί χαλκού, αφού οι πρώτες είναι πιο εύχρηστες. Είναι δόκιμο να χρησιμοποιούνται διπλοί αγωγοί για λόγους ευχρηστίας, όπου ο καθένας μπορεί να μεταφέρει ισχύ μέχρι 4 MVA. Έτσι με παράλληλη σύνδεση δύο ομοίων τέτοιων αγωγών, η συνολική ισχύς φτάνει μέχρι και 8 MVA.



Σχήμα 8.3 Σύνδεση καλωδίων με το πλοίο

### 8.4 Σημεία υποδοχής καλωδίων

Οι εγκαταστάσεις υποδοχής των καλωδίων ή receptacle pits, βρίσκονται στην αποβάθρα, στο σημείο ελλιμενισμού του κάθε πλοίου. Έτσι απαιτείται μεγάλος αριθμός υποδοχών, όσα και τα σημεία ηλεκτρικής σύνδεσης των πλοίων. Όταν το καλώδιο από το πλοίο συνδεθεί στην υποδοχή της αποβάθρας, αυτό κλειδώνει έτσι ώστε να μην μπορεί να αφαιρεθεί. Τα καλώδια της υποδοχής συνδέονται με το switchgear box, το οποίο τροφοδοτείται με ρεύμα από τον σχηματιστή. Τέλος, όταν τα καλώδια ασφαλιστούν, μπορεί να γίνει συγχρονισμός ρεύματος πλοίου δικτύου.





Σχήμα 8.4 Σημείο υποδοχής στην αποβάθρα

## 8.5 Τρόποι σύνδεσης πλοίου - ξηράς

Ένα φυσικό πρόβλημα που προκύπτει είναι η σύνδεση των καλωδίων της ξηράς με το πλοίο. Αυτό μπορεί να συμβεί με τους ακόλουθους τρόπους:

- **Γερανοφόρο όχημα**

Ένα γερανοφόρο όχημα με ειδική διάταξη η οποία φέρει τα καλώδια σύνδεσης σπείδει στο σημείο αγκυροβολισμού του πλοίου. Το όχημα διαθέτει ανυψωτικό μέσο έτσι ώστε να είναι εφικτή η σύνδεση των καλωδίων της ξηράς με το πλοίο. Ο συγκεκριμένος τρόπος σύνδεσης απαιτεί την παρουσία του προσωπικού και του οχήματος αρκετή ώρα πριν την άφιξη του πλοίου, γι' αυτό και αποφεύγεται.



Σχήμα 8.5 Γερανοφόρο όχημα σύνδεσης καλωδίων

- **Σταθερός Γερανός**

Αποτελεί τον συνηθέστερο τρόπο σύνδεσης των καλωδίων με τα πλοία. Ένας μόνιμος γερανός στην άκρη της αποβάθρας σύνδεσης φέρει τα καλώδια υποδοχής από την εγκατάσταση της ξηράς στο πλοίο.



Σχήμα 8.6 Σταθερός Γερανός

- **Καλώδια πλοίου**

Σε αντίθεση με τις δύο προηγούμενες μεθόδους, η συγκεκριμένη μέθοδος σύνδεσης απαιτεί από το πλοίο να φέρει αυτό τα απαραίτητα καλώδια και μια διάταξη η οποία επιτρέπει την κάθοδο τους από το κατάστρωμα στην ξηρά για σύνδεσή τους με την υποδοχή του λιμένα. Έτσι μειώνεται η πιθανότητα ατυχήματος λόγω ύπαρξης καλωδίων στον λιμένα.



Σχήμα 8.7 Διάταξη καλωδίων πάνω στο κατάστρωμα του πλοίου

- **Ρομποτικός βραχίονας**

Παράδειγμα της συγκεκριμένης μεθόδου παρουσιάστηκε στο υποκεφάλαιο 5.4, 'Zero Emission Ferries a green link across the Öresund - Tycho Brahe & Aurora', όπου ένας ρομποτικός βραχίονας συνδέει αυτόματα την ξηρά με το πλοίο. Ο συγκεκριμένος τρόπος είναι πρωτοποριακός και ο αριθμός εφαρμογής του είναι περιορισμένος.



Σχήμα 8.8 Ρομποτικός βραχίονας σύνδεσης καλωδίων

## 8.6 Εξοπλισμός πλοίου

Για να μπορεί ένα πλοίο να τροφοδοτηθεί με ρεύμα από το σύστημα Cold Ironing, είναι απαραίτητη μία ειδική διαμόρφωση σε αυτό. Η διαμόρφωση αυτή είναι μικρής έκτασης και αποτελείται κυρίως από τα δύο παρακάτω εξαρτήματα:

- **Πρίζα**  
Πρέπει να τοποθετηθεί σε ευνοϊκό σημείο το οποίο εξασφαλίζει ταυτόχρονα εύκολη σύνδεση με την αποβάθρα στην στεριά και να είναι κοντά στον ηλεκτρονικό πίνακα του μηχανοστασίου.
- **Μετασχηματιστής**  
Αν και η τάση μειώνεται μέσω ενός ξεχωριστού μετασχηματιστή στον υποσταθμό στεριάς, χρειάζεται περεταίρω μείωση της τάσης στο πλοίο καθώς η τιμή της είναι συνήθως αρκετά υψηλή και ενδέχεται να δημιουργηθούν προβλήματα όπως η πτώση τάσης. Η περεταίρω μείωση συμβαίνει μέσω ενός μετασχηματιστή στο πλοίο, οποίος ρίχνει την τάση στην απαραίτητη τιμή για ομαλή λειτουργία του ηλεκτρικού δικτύου του σκάφους.

Στον πίνακα 8.2 παρουσιάζεται ένα προσεγγιστικό κόστος για εγκατάσταση του συστήματος εντός του πλοίου, για κάθε τύπο.

<b>Investment cost for vessel (USD)</b>	<b>1000 – 4999 GT</b>	<b>5000 – 9999 GT</b>	<b>10000 – 24999 GT</b>	<b>25000 – 49999 GT</b>	<b>50000 – 99999 GT</b>	<b>&gt;= 100000 GT</b>
Crude tankers	\$50 000 – \$350 000	\$100 000 – \$400 000	\$100 000 – \$400 000	\$100 000 – \$400 000	\$300 000 – \$750 000	\$300 000 – \$750 000
Chemical / product tankers	\$50 000 – \$350 000	\$100 000 – \$400 000	\$300 000 – \$750 000	\$300 000 – \$750 000		
Gas tankers	\$50 000 – \$350 000	\$300 000 – \$750 000	\$300 000 – \$750 000	\$300 000 – \$750 000	\$300 000 – \$750 000	\$300 000 – \$750 000
Bulk carriers	\$50 000 – \$350 000	\$50 000 – \$350 000	0,5 – 3 Mill	0,5 – 3 Mill	\$100 000 – \$400 000	
General cargo	\$50 000 – \$350 000	\$50 000 – \$350 000	0,5 – 3 Mill	\$100 000 – \$400 000		
Container vessels	\$50 000 – \$350 000	\$50 000 – \$350 000	\$100 000 – \$400 000	\$300 000 – \$750 000	\$300 000 – \$750 000	\$300 000 – \$750 000
Ro Ro vessels	\$50 000 – \$350 000	\$50 000 – \$350 000	\$100 000 – \$400 000	\$100 000 – \$400 000	\$300 000 – \$750 000	
Reefer	\$50 000 – \$350 000	\$50 000 – \$350 000	\$100 000 – \$400 000			
Passenger ship	\$50 000 – \$350 000	\$50 000 – \$350 000	\$100 000 – \$400 000	\$300 000 – \$750 000	\$300 000 – \$750 000	\$300 000 – \$750 000
Offshore supply ship	\$50 000 – \$350 000	\$100 000 – \$400 000				
Other offshore service ships	\$50 000 – \$350 000	\$100 000 – \$400 000	\$100 000 – \$400 000	\$100 000 – \$400 000	\$100 000 – \$400 000	\$100 000 – \$400 000
Other activities	\$50 000 – \$350 000	\$100 000 – \$400 000	\$300 000 – \$750 000	\$300 000 – \$750 000	\$300 000 – \$750 000	\$300 000 – \$750 000
Fishing vessels	\$50 000 – \$350 000	\$100 000 – \$400 000				

Πίνακας 8.2 Εκτιμώμενο κόστος εγκατάστασης στο σκάφος

## 8.7 Ανάγκες Ισχύος

Η ανάγκη για περιορισμό των ρύπων σε κατοικημένες περιοχές καθιστά το Cold Ironing την πιο ελκυστική λύση σήμερα. Ωστόσο η τεχνολογία αυτή είναι σχετικά καινούργια και απαιτείται περεταίρω έρευνα, ιδίως όσον αφορά τις ανάγκες ισχύος του συστήματος.

Οι ανάγκες ισχύος καθορίζουν τον αριθμό των υποσταθμών, μετασχηματιστών, διακοπών, των μέσων σύνδεσης καλωδίων, τους γερανούς καθώς και το προσωπικό που απαιτείται για λειτουργία και συντήρηση του συστήματος. Έτσι η γνώση των ενεργειακών αναγκών μεταφράζονται σε χρηματικό ποσό, οπότε είναι ιδιαίτερα σημαντική για την σωστή οργάνωση της επένδυσης. Ενδεικτικά ένας υποσταθμός ισχύος 1-4 MW, μαζί με όλα του τα εξαρτήματα κοστίζει περίπου €2.000.000.

Ειδικότερα σε μεγάλα λιμάνια, όπου κατά βάση τα δρομολόγια δεν είναι σταθερά, η ακριβής πρόβλεψη των αναγκών ηλεκτρικής ισχύος είναι δύσκολη υπόθεση. Στην συνέχεια της παρούσας εργασίας, στο κεφάλαιο 9, ακολουθεί η ανάπτυξη ενός διαδραστικού χάρτη με τους λιμένες της Ε.Ε και του Η.Β. Ο χάρτης παρουσιάζει διάφορα δεδομένα που προσπαθούν να δώσουν μια πιο πλήρη εικόνα για τα τεχνικά χαρακτηριστικά και τις απαιτήσεις ισχύος σε όλη την Ήπειρο. Επίσης παρουσιάζονται και οι εκπομπές ρύπων ηλεκτρογεννητριών σε κάθε λιμένα, προβάλλοντας έτσι την έκταση του οικολογικού προβλήματος που δημιουργείται στην κάθε τοπική κοινότητα.

## 9. ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΔΙΑΔΡΑΣΤΙΚΟΥ ΧΑΡΤΗ

Το πρακτικό μέρος της Διπλωματικής είναι και το πιο ενδιαφέρον, καθώς αποτελεί προϊόν προγραμματιστικού κώδικα, ο οποίος οδηγεί στην ανάπτυξη ενός διαδραστικού χάρτη στον οποίο αναγράφονται χρήσιμες πληροφορίες για ανάπτυξη συστημάτων Cold Ironing και γενικότερα για ηλεκτροδότηση λιμένων -πλοίων.

Τα στοιχεία που παρουσιάζονται, αφορούν λιμένες της Ευρωπαϊκής Ένωσης και πάρθηκαν από την εργασία **“The CO2 reduction potential of shore-side electricity in Europe” (B. Stolz, M. Held, G. Georges, K. Boulouchos)**, στην οποία αναπτύχθηκε μια μέθοδος η οποία υπολογίζεται η απαίτηση ισχύος βοηθητικών μηχανών σε 714 λιμένες της Ευρωπαϊκής Οικονομικής Περιοχής (European Economic Area - EEA) και του Ηνωμένου Βασιλείου (UK). Πέραν των ενεργειακών αναγκών, η πιο πάνω εργασία υπολογίζει δεδομένα εκπομπών αερίων από το σύστημα παρακολούθησης, αναφοράς και επαλήθευσης της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Η βάση δεδομένων της εργασίας είναι αναλυτική και περιέχει πληροφορία ενεργειακών αναγκών και εκπομπών ρύπων για κάθε τύπο πλοίου, για κάθε ώρα, για κάθε λιμένα της EEA για το 2018.

Στον διαδραστικό χάρτη που αναπτύχθηκε στην παρούσα εργασία, γίνεται παρουσίαση- ανάλυση των δεδομένων της προαναφερθείσας εργασίας σε γλώσσα Python. Αναπτύχθηκαν διάφορα scripts, που το καθένα έχει ως στόχο την ανάπτυξη γραφημάτων και δεδομένων με σκοπό την τελική παρουσίαση αυτών στον τελικό κώδικα που δημιουργεί τον χάρτη.

Είναι αξιοσημείωτο ότι ο χάρτης δεν περιορίζεται σε λιμένες εντός των γεωγραφικών ορίων της ΕΕ και του ΗΒ, αλλά επεκτείνεται και εκτός αυτών μέχρι την Κεντρική και Νότιο Αμερική, καθώς και ανατολικά της Μαδαγασκάρης στην νήσο Saint-Leu, Réunion στον Ινδικό Ωκεανό. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι η Γαλλία διαθέτει ακόμα μικρές αποικίες, περιοχές που θεωρούνται Γαλλικό και επομένως Ευρωπαϊκό Έδαφος.



Σχήμα 9.1 Στιγμιότυπο διαδραστικού χάρτη

## 9.1 Δομή και επεξήγηση κώδικα

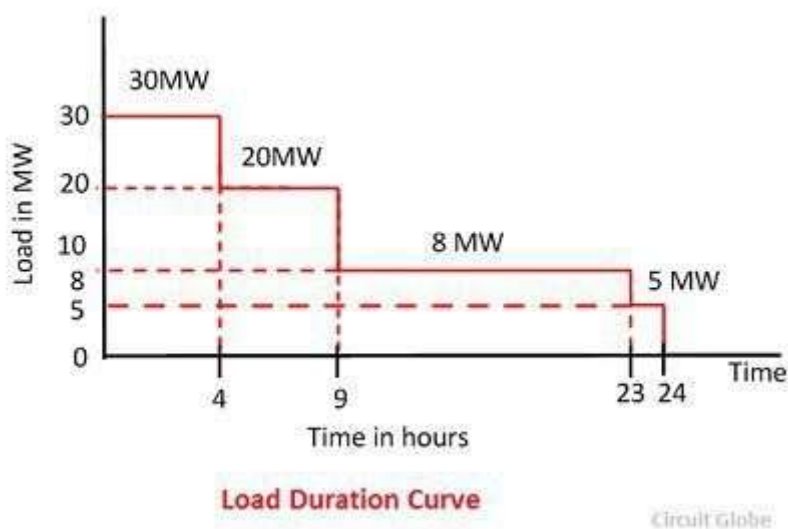
Ο τελικός χάρτης μορφής html είναι αποτέλεσμα 3 scripts (σεναρίων), δηλαδή αρχείων κώδικα Python που γράφτηκαν στην διάσημη πλατφόρμα PyCharm. Τα scripts είναι τα ακόλουθα:

1. Load\_Demand\_Duration\_Curves.py
2. TOTAL\_Load\_Demand\_Duration\_Curves.py
3. Multilayer\_Ports\_Map.py

### Load Demand Duration Curves

Αναγκαία είναι για την συνέχεια η επεξήγηση των Load Duration Curves. Τα διαγράμματα αυτά έχουν στον γ άξονα το μέτρο της ηλεκτρικής ισχύος που απαιτεί ο καταναλωτής και στον x άξονα τον χρόνο. Στην συγκεκριμένη περίπτωση οι μονάδες μέτρησης του γ είναι η ισχύς σε [KW] και στον x ο χρόνος σε ώρες [hours], από 0 έως 8760 που είναι οι συνολικές ώρες ενός έτους. Σε άλλες εργασίες συνήθως ο άξονας x έχει ως μονάδες μέτρησης ποσοστό [%] του συνολικού χρόνου που μελετάται.

Η καμπύλη του διαγράμματος είναι φθίνουσα και κάθε σημείο της δείχνει την ελάχιστη απαίτηση ισχύος για τον συγκεκριμένο αριθμό ωρών ή για το συγκεκριμένο ποσοστό του συνολικού χρόνου μελέτης στον άξονα x. Η μεγαλύτερη απαίτηση ισχύος βρίσκεται στο αριστερότερο τμήμα της καμπύλης, ενώ η μικρότερη απαίτηση ισχύος βρίσκεται στο δεξιότερο τμήμα της καμπύλης. Εδώ πρέπει να τονιστεί ότι η καμπύλη δεν τοποθετείται χρονολογικά, αλλά με βάση το μέτρο της απαίτησης ισχύος. Η επιφάνεια κάτω από την καμπύλη δείχνει το ποσό της ενέργειας που χρειάζεται για αυτό το χρονικό διάστημα ο καταναλωτής.



Σχήμα 9.2 Τυπικό Διάγραμμα LDC

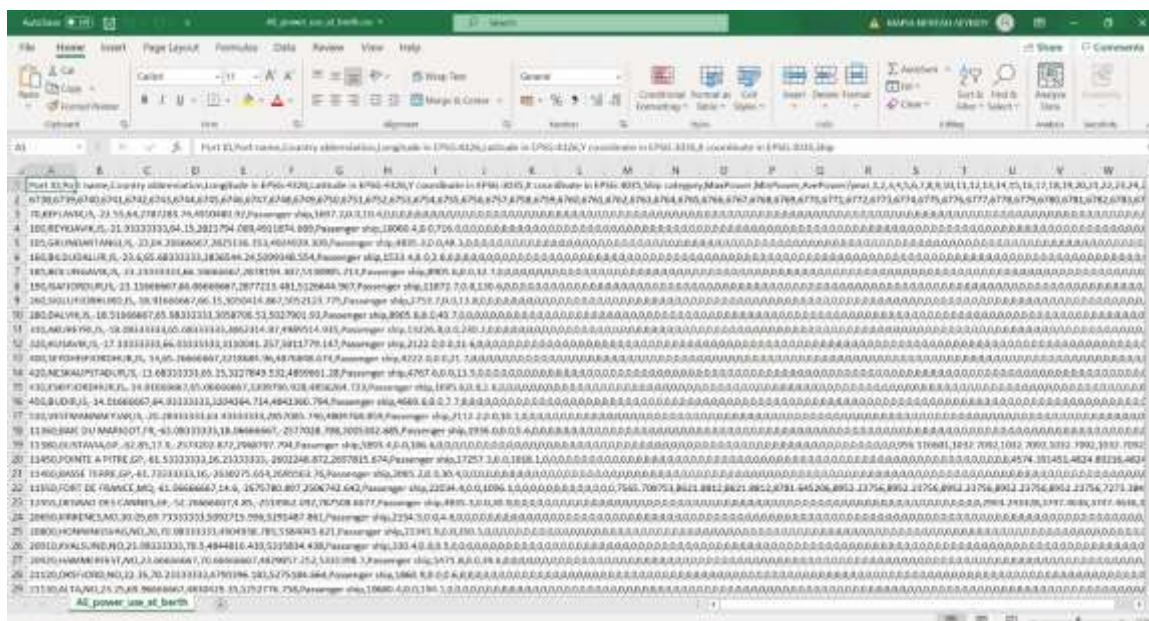
Στη συνέχεια θα γίνει ανάλυση του κάθε script κώδικα. Σημειώνεται εδώ ότι η χρονολογική σειρά με την οποία πρέπει να δημιουργηθούν τα παρακάτω scripts δεν είναι ίδια με την σειρά που ακολουθεί, καθώς πρώτα πρέπει να δημιουργηθούν τα Load Duration Curves και μετά το Multilayer\_Ports\_Map.



## Κώδικας Δημιουργίας Διαδραστικού χάρτη ‘Multilayer\_Ports\_Map.py’

Ο χάρτης είναι σε μορφή html, δημιουργείται και αποθηκεύεται στο ίδιο directory με εκτέλεση του κώδικα γλώσσας Python ‘Multilayer\_Ports\_Map.py’. Εφόσον δημιουργηθεί το αρχείο html, μπορεί να ανοίξει σε οποιοδήποτε πρόγραμμα περιήγησης (browser) γρήγορα και εύκολα, ενώ καταναλώνει σχετικά μικρό χώρο αποθήκευσης (76244 KB).

Τα στοιχεία που αντλήθηκαν από την εργασία των B. Stolz, M. Held, G. Georges, K. Boulouchos βρίσκονται σε μορφή csv της Excel. Η μορφή csv επιτρέπει την ‘συρρίκνωση’ μεγάλων αρχείων Excel που περιέχουν μεγάλο όγκο δεδομένων, σε αρχεία μικρότερου μεγέθους όπου τα στοιχεία κάθε column διαχωρίζονται με **κόμμα (,)** αντί σε columns όπως συμβαίνει σε ένα κλασσικό αρχείο Excel.



Σχήμα 9.3 Μορφή δεδομένων σε csv file

Εδώ αξίζει να σημειωθεί ότι για να τρέξει ο συγκεκριμένος κώδικας, είναι αναγκαίο τα στοιχεία να διαχωρίζονται με κόμμα(,) και όχι με **semi column(;)** όπως συμβαίνει σε πολλά άλλα αρχεία. Εάν τα στοιχεία διαχωρίζονται με semi column(;), ο χρήστης πρέπει να ανοίξει το αρχείο με το πρόγραμμα Notepad και να κάνει Find and Replace το σύμβολο semi column(; ) με το κόμμα (,). Το μεγάλο πλεονέκτημα της μορφής csv έναντι της μορφής xlsx είναι η ταχύτερη ανάγνωση των δεδομένων και έτσι πέραν της οικονομίας χώρου προτιμάται στην συγκεκριμένη εργασία.

Τα αρχεία csv τα οποία χρησιμοποιούνται είναι τα ακόλουθα και για την πρόσβαση τους βοήθησε ο κύριος Ιωάννης Προυσαλίδης:

- **‘AE\_power\_use\_at\_berth.csv’**: Δεδομένα ενεργειακών αναγκών πλοίων σε λιμένα. Πιο συγκεκριμένα υπάρχουν για κάθε λιμένα μετρήσεις, για κάθε τύπο πλοίου, για κάθε ώρα του 2018.
- **‘AE\_emissions\_at\_berth.csv’**: Δεδομένα εκπομπών CO2 σε κάθε λιμένα. Πιο συγκεκριμένα υπάρχουν για κάθε λιμένα μετρήσεις, για κάθε τύπο πλοίου, για κάθε ώρα του 2018.

Επομένως υπάρχουν 8760 μετρήσεις για κάθε ώρα του έτους. Στα αρχεία αυτά αναγράφεται επίσης το PORT ID, το όνομα, η χώρα, οι συντεταγμένες (Longitude in EPSG & Latitude in EPSG), ο τύπος

πλοίου που μελετάται, καθώς και οι μέγιστες, ελάχιστες και μέσες τιμές ενεργειακών καταναλώσεων ή εκπομπών αντίστοιχα.

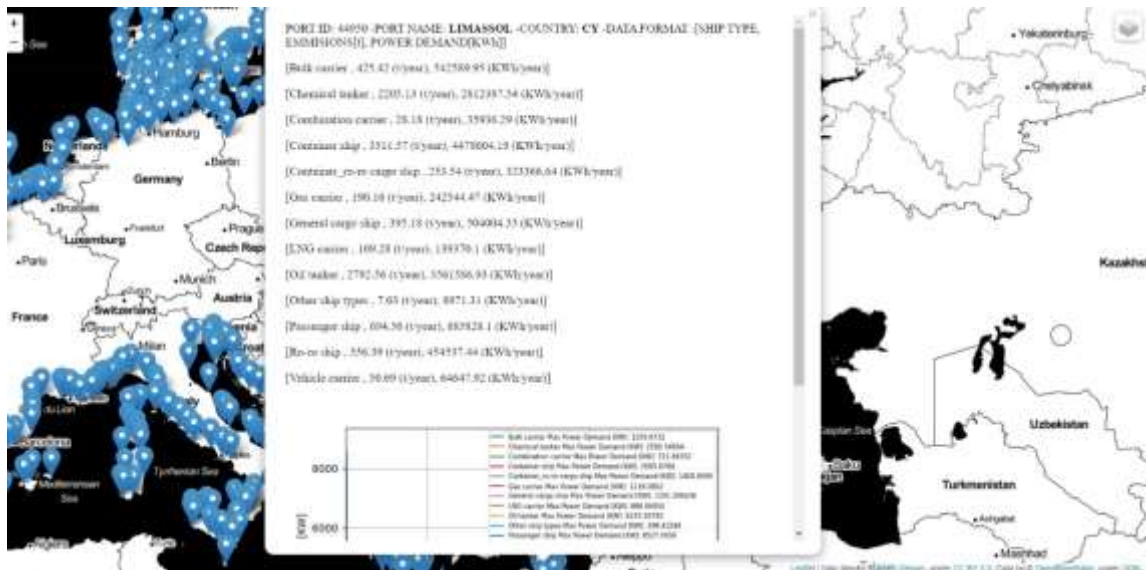
Σχήμα 9.4 Άνοιγμα των αρχείων δεδομένων σε Notepad και σωστή μορφή

Για την κατασκευή του, στον κώδικα Pytho χρησιμοποιήθηκαν οι πιο κάτω βιβλιοθήκες (libraries):

- **folium:** Βιβλιοθήκη η οποία επιτρέπει την κατασκευή και διαμόρφωση χάρτη.
- **csv:** Βιβλιοθήκη η οποία επιτρέπει την ανάγνωση και καταχώρηση δεδομένων από αρχεία csv
- **pybase64:** Βιβλιοθήκη που κωδικοποιεί και αποκωδικοποιεί τα διαγράμματα (θα γίνει εξήγηση για αυτά στην πορεία) έτσι ώστε αυτά να μπορούν να ενταχθούν στο τελικό χάρτη html.

Ο λόγος που ονομάζεται ‘Multilayer’, ελληνιστί ‘Πολύστρωματικός’, είναι τα 2 στρώματα (layers) που διαθέτει:

- **1<sup>ο</sup> layer, “Emissions, Power Demand and LDC for each Ship Type”**  
Περιέχει τις παρακάτω πληροφορίες για κάθε λιμένα:
  - Port ID
  - Port Name
  - Country
  - Συνολικές Ετήσιες Εκπομπές CO<sub>2</sub> ανά τύπο πλοίου [tones/year]
  - Συνολικές Ενεργειακές Απαιτήσεις ανά τύπο πλοίου [KWh/year]
  - Διάγραμμα Load Duration Curve με όλους τους τύπους πλοίων να αποτυπώνονται σε αυτό ξεχωριστά

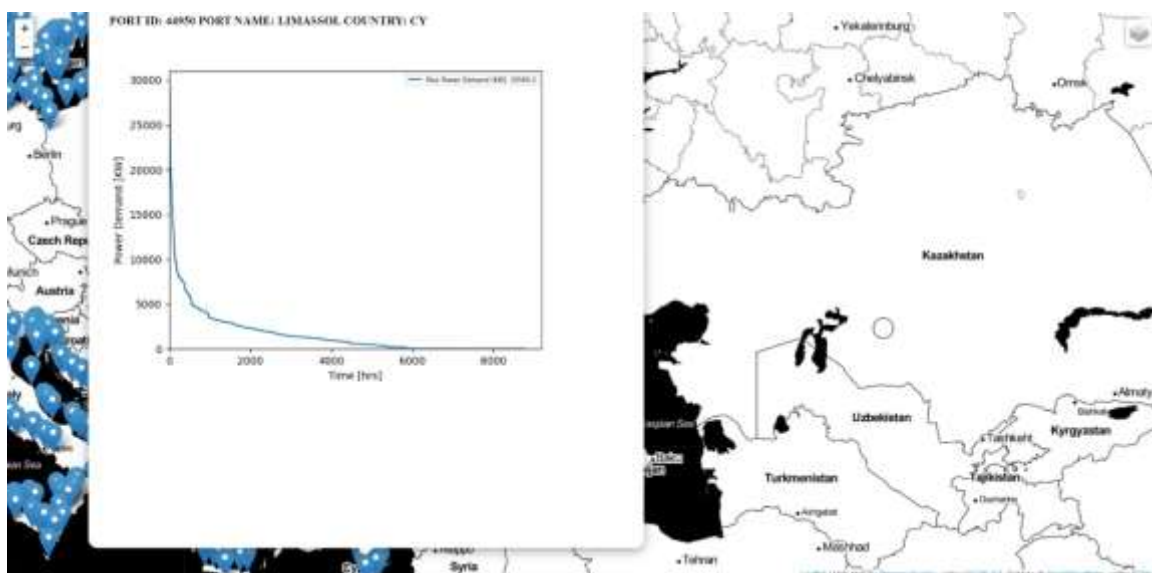


Σχήμα 9.5 Πρώτο layer με στοιχεία λιμένα, ετήσιες εκπομπές CO<sub>2</sub>, ετήσιες απαιτήσεις ενέργειας και διάγραμμα LDC για κάθε τύπο πλοίου (Λιμάνι Λεμεσού)

- **2<sup>ο</sup> layer, “Total Load Demand Duration Curves”**

Περιέχει τις παρακάτω πληροφορίες:

- Port ID
- Port Name
- Country
- Διάγραμμα Load Duration Curve για όλους τους τύπους πλοίων αθροιστικά, δηλαδή την συνολική LDC και ανάγκες ισχύος του λιμένα.



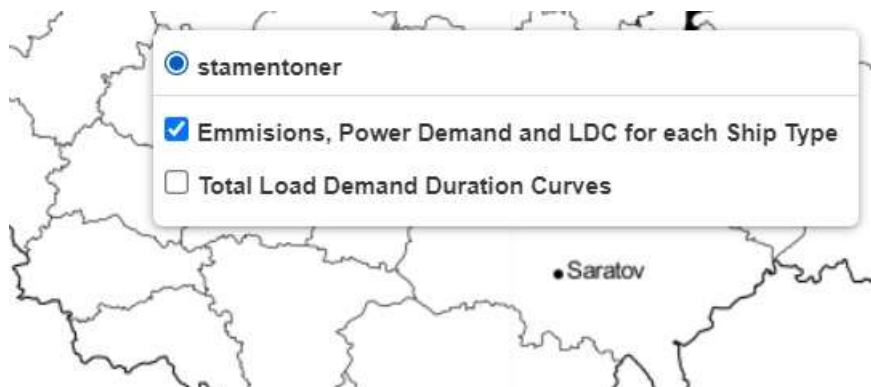
Σχήμα 9.6 Δεύτερο layer με στοιχεία λιμένα και αθροιστικό διάγραμμα LDC για όλους τους τύπους πλοίων μαζί (Λιμάνι Λεμεσού)

Αλλαγή του layer μπορεί να γίνει εύκολα με ένα εργαλείο στο πάνω δεξιό μέρος του χάρτη, όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα, όταν ο χρήστης πατήσει το εικονίδιο που δείχνει το κόκκινο βελάκι .



Σχήμα 8.7 Εργαλείο που επιτρέπει στον χρήστη να επιλέξει layer

Εφόσον ο χρήστης πατήσει το εικονίδιο, εμφανίζεται το menu του σχήματος . Έτσι δίνεται η ευχέρεια επιλογής του ανάλογου layer. Σημειώνεται ότι πρέπει μόνο ένα layer να είναι επιλεγμένο.



Σχήμα 9.8 Επιλογή layer

### Πως δουλεύει ο κώδικας:

Για να μπορούν να δημιουργηθούν τα 2 layers και γενικότερα για να τρέξει ο κώδικας είναι απαραίτητο στο ίδιο directory με το αρχείο rython να βρίσκονται:

- Τα διαγράμματα LDC του 1<sup>ου</sup> στρώματος
- Τα διαγράμματα LDC του 2<sup>ου</sup> στρώματος
- Τα αρχεία δεδομένων csv που περιέχουν την πληροφορία για τις ενεργειακές ανάγκες και εκπομπές

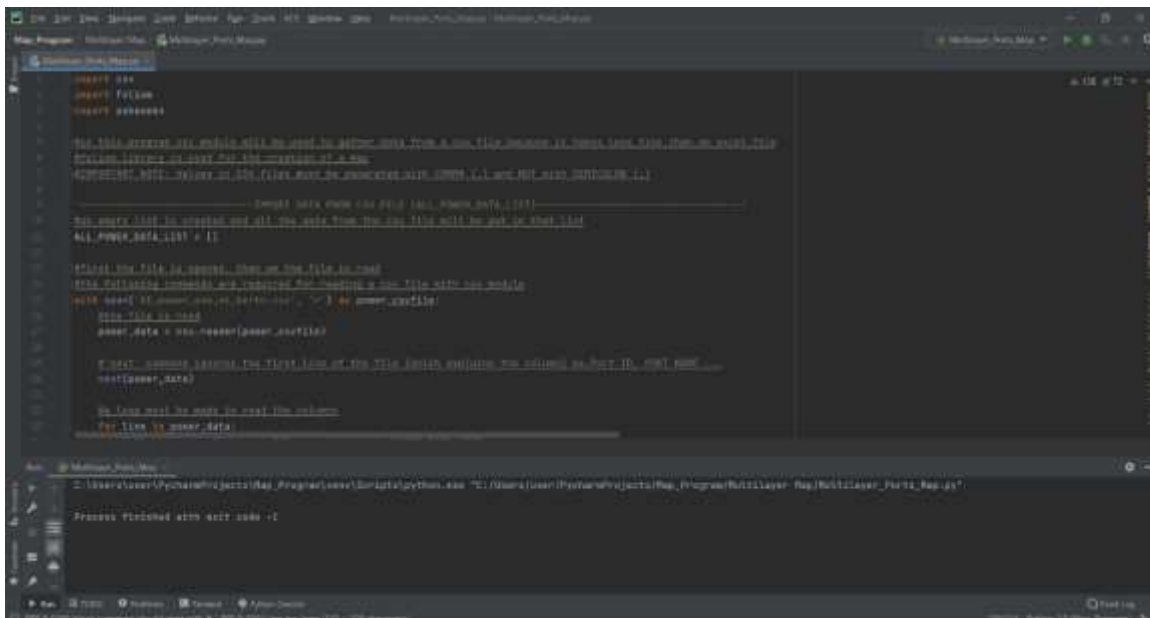
Αρχικά το πρόγραμμα διαβάζει τα 2 αρχεία csv και τοποθετεί την πληροφορία σε 2 nested lists (μια για τα δεδομένα Ισχύος και μια για τα δεδομένα εκπομπών CO<sub>2</sub>), όπου κάθε τύπος πλοίου για κάθε λιμένα αποτελεί μια λίστα μέσα στην αντίστοιχη nested list. Επομένως κάθε nested list περιέχει

4563 λίστες, αφού υπάρχουν 714 λιμένες με πολλούς τύπους πλοίων να εξυπηρετούν τον κάθε λιμένα.

Οι επόμενες γραμμές του κώδικα βρίσκουν το άθροισμα (απαιτήσης ενέργειας και εκπομπών CO<sub>2</sub> αντίστοιχα) των 8760 ωρών του έτους και το τοποθετούν στην αντίστοιχη λίστα του αντίστοιχου nested list, ενώ στην συνέχεια οι δύο αυτές nested λίστες ταξινομούνται με αύξουσα σειρά κατά το PORT ID της κάθε "υπολίστας" τους.

Μια κοινή λίστα δημιουργείται έτσι ώστε να περιέχει τις πληροφορίες (PORT ID, Port Name, Port Country, ...), τις ετήσιες εκπομπές CO<sub>2</sub> και τις ετήσιες απαιτήσεις ενέργειας που περιέχουν οι 2 παραπάνω λίστες ξεχωριστά. Η νέα αυτή λίστα ταξινομείται με αύξουσα σειρά κατά το PORT ID της κάθε "υπολίστας" της. Με την ταξινόμηση οι τύποι πλοίων κάθε λιμένα μπαίνουν σε σειρά, γεγονός χρήσιμο για την τοποθέτηση τους στον χάρτη. Εφόσον υπάρχει αυτή η λίστα και τα διαγράμματα LDC είναι έτοιμα στο ίδιο directory (δημιουργούνται με τα άλλα δυο scripts που θα εξηγηθούν στην συνέχεια), μένει η τοποθέτησή τους στον χάρτη.

Για τον κατασκευή του χάρτη χρησιμοποιείται η βιβλιοθήκη folium. Υπάρχουν και άλλες βιβλιοθήκες που μπορούν να χρησιμοποιηθούν, ωστόσο η συγκεκριμένη είναι απλή και εύχρηστη.



Σχήμα 9.9 Ο κώδικας σε περιβάλλον PyCharm

Γίνεται κατασκευή των δύο layers και με ένα loop που με βάση το PORT ID, αφού για ίδιο λιμένα διαφορετικοί τύποι πλοίων έχουν το ίδιο PORT ID. Στο loop μπαίνουν και συνθήκες if, else όπου και ελέγχει το PORT ID έτσι ώστε να γίνει διαχωρισμός των λιμένων (αφού ένας λιμένας διαθέτει πληροφορίες για πολλούς τύπους πλοίων, επομένως ένας λιμένας αποτελείται από πολλές lists μέσα στο nested list). Μέσα στο loop γίνεται διαδικασία άντλησης των παρακάτω δεδομένων για κάθε layer:

- **1<sup>ο</sup> layer:** Από λίστα δεδομένων αντλούνται πληροφορίες (Port Id, Port Name, Port Country, Συντεταγμένες), συνολικές ετήσιες εκπομπές CO<sub>2</sub>/τύπο πλοίου, συνολικές ενεργειακές ανάγκες/τύπο πλοίου και από directory τα έτοιμα διαγράμματα LDCs (που έχουν ως όνομα εικόνας το 'PORT\_ID.png') για κάθε τύπο πλοίου να αποτυπώνεται ξεχωριστά σε κοινό διάγραμμα λιμένα. Εφόσον αντληθούν τα στοιχεία, δημιουργείται ένα porup, δηλαδή μια ταμπέλα η οποία περιέχει της πληροφορίες και το διάγραμμα (αφού κωδικοποιηθεί μέσω

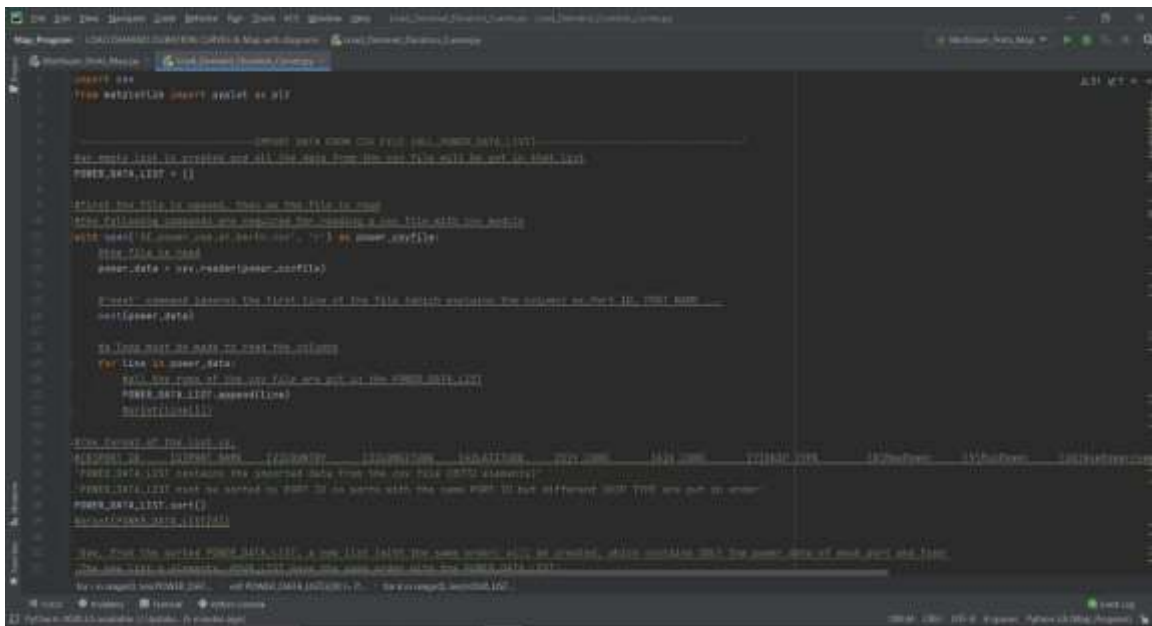
της βιβλιοθήκης `rybase64`). Ακολούθως τοποθετείται `marker` (σημείο) στο `layer`, όπου αντιπροσωπεύει τον λιμένα με όλα τα παραπάνω δεδομένα.

- **2<sup>ο</sup> layer:** Από λίστα δεδομένων αντλούνται πληροφορίες (`Port Id`, `Port Name`, `Port Country`, `Συντεταγμένες`) και από `directory` τα έτοιμα αθροιστικά για όλους τους τύπους πλοίων διαγράμματα LDCs (που έχουν ως όνομα εικόνας `'TOTAL_PORT ID.png'`) με για κάθε λιμένα. Εφόσον αντληθούν τα στοιχεία, δημιουργείται ένα `porup`, δηλαδή μια ταμπέλα η οποία περιέχει της πληροφορίες και το διάγραμμα (αφού κωδικοποιηθεί μέσω της βιβλιοθήκης `rybase64`). Ακολούθως τοποθετείται `marker` (σημείο) στο `layer`, όπου αντιπροσωπεύει τον λιμένα με όλα τα παραπάνω δεδομένα.

Τελικά τα `layers` τοποθετούνται στον χάρτη και αυτός αποθηκεύεται στο ίδιο `directory` με τον κώδικα.

## Κώδικας Δημιουργίας Load Demand Duration Curves 'Load\_Demand\_Duration\_Curves.py'

Ο κώδικας αυτός δημιουργεί τα Load Demand Duration Curves με όλους τους τύπους πλοίων ξεχωριστά σε ένα κοινό διάγραμμα για κάθε λιμένα. Τα διαγράμματα αυτά αντλεί ο κώδικας `'Multilayer_Ports_Map.py'` και τα τοποθετεί στο 1<sup>ο</sup> `layer` όπως περιεγράφηκε πιο πάνω.



Σχήμα 9.10 Γραμμές κώδικα `'Load_Demand_Duration_Curves.py'` στο περιβάλλον PyCharm

Ο κώδικας χρησιμοποιεί τις παρακάτω βιβλιοθήκες:

- **csv:** Βιβλιοθήκη η οποία επιτρέπει την ανάγνωση και καταχώρηση δεδομένων από αρχεία `csv`
- **matplotlib:** Βιβλιοθήκη η οποία επιτρέπει την δημιουργία γραφικών παραστάσεων και διαγραμμάτων

Όταν τρέξει ο κώδικας, παράγει στο ίδιο `directory` με το αρχείο `python` 714 διαγράμματα LDC, τα οποία αποθηκεύονται ως εικόνες τύπου `png`. Το όνομα κάθε εικόνας είναι `PORT_ID.png`, όπου

PORT ID αντικαθίσταται με το αριθμητικό αντίστοιχο Κωδικό του κάθε λιμένα που χρησιμοποιείται από το World Port Index.

Απαραίτητο είναι στο ίδιο directory με τον κώδικα να βρίσκεται το αρχείο 'AE\_power\_use\_at\_berth.csv'.

#### **Πως δουλεύει ο κώδικας:**

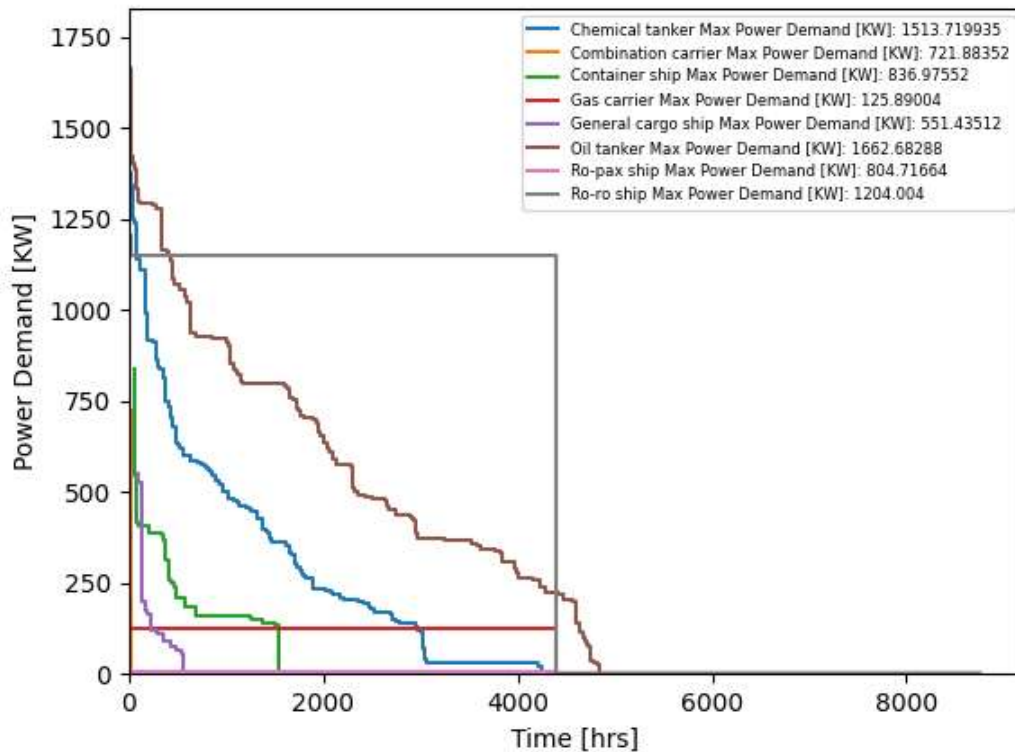
Αρχικά ο κώδικας διαβάζει το csv αρχείο 'AE\_power\_use\_at\_berth.csv' και όπως και στον προηγούμενο πρόγραμμα, δημιουργεί μια nested list η οποία περιέχει μέσα της κάθε τύπο πλοίου κάθε λιμένα ως λίστα. Έτσι δημιουργείται μια nested list με 4563 λίστες οι οποίες αντιπροσωπεύουν και ένα τύπο πλοίου από τους 714 λιμένες. Κάθε 'υπολίστα' περιέχει πληροφορίες (PORT ID, Port Name, Country, Coordinates, Ship Type,..) και δεδομένα από την χρήση ηλεκτρικής ενέργειας στο λιμάνι για κάθε μια από τις 8760 ώρες του 2018.

Η nested list (POWER\_DATA\_LIST) ταξινομείται με βάση το PORT ID έτσι οι λίστες με ίδιους λιμένες αλλά με διαφορετικό τύπο πλοίου να μπου σε σειρά.

Μόλις γίνει η ταξινόμηση δημιουργείται μια νέα λίστα (HOUR\_LIST) με βάση την προηγούμενη (POWER\_DATA\_LIST) η οποία περιέχει μόνο τις μετρήσεις της κάθε ώρας του 2018 και όχι τις πληροφορίες. Έτσι για κάθε λίστα των δύο nested lists (POWER\_DATA\_LIST & HOUR\_LIST) υπάρχει αντιστοιχία στην σειρά, αφού η λίστα j της nested POWER\_DATA\_LIST αντιστοιχεί στην j nested HOUR\_LIST, όπου  $j = 0, 1, 2, \dots, N$  και  $N =$  Συνολικός Αριθμός Λιστών.

Εφόσον εξασφαλίζεται η αντιστοιχία στον δείκτη των δύο nested lists, η κάθε 'υπολίστα' (που αντιστοιχεί σε κάθε τύπο πλοίου κάθε λιμένα) της HOUR\_LIST που περιέχει τις μετρήσεις των 8760 ωρών ταξινομείται με φθίνουσα σειρά, έτσι ώστε οι μεγαλύτερες μετρήσεις να βρίσκονται στην αρχή της κάθε υπολίστας και οι μικρότερες να βρίσκονται στο τέλος. Έτσι επιτυγχάνεται η φθίνουσα ταξινόμηση των χρονικών δεδομένων και ο διαχωρισμός τους με βάση το μέτρο τους. **Ο διαχωρισμός των δεδομένων σε φθίνουσα σειρά με βάση το μέτρο τους, και ΟΧΙ με βάση την χρονολογική σειρά που πάρθηκαν, επιτρέπει την μετέπειτα κατασκευή των Load Demand Duration Curves (βλέπε ορισμό 'Load Demand Duration Curves' στην αρχή του κεφαλαίου).**

Στην συνέχεια δημιουργείται ένα loop με τις κατάλληλες συνθήκες if - else το οποίο τρέχει τις 2 nested lists (POWER\_DATA\_LIST & HOUR\_LIST), διαχωρίζει τους λιμένες με βάση το PORT ID και αντλεί τα αντίστοιχα στοιχεία από κάθε λίστα για δημιουργία των διαγραμμάτων. Από την POWER\_DATA\_LIST ελέγχεται το PORT ID έτσι ώστε διαφορετικοί τύποι πλοίων του ίδιου λιμένα να αποτυπώνονται στο ίδιο διάγραμμα, ενώ από την HOUR\_LIST αντλούνται τα δεδομένα που ταξινομήθηκαν με φθίνουσα σειρά. Στο loop τοποθετούνται επίσης οι κατάλληλες εντολές έτσι ώστε για κάθε τύπο πλοίου για κάθε διάγραμμα λιμένα να παρουσιάζεται η μέγιστη απαίτηση σε ηλεκτρική ισχύ.



Σχήμα 9.11 Χαρακτηριστικό Διάγραμμα Load Demand Duration Curve που παράγει ο κώδικας

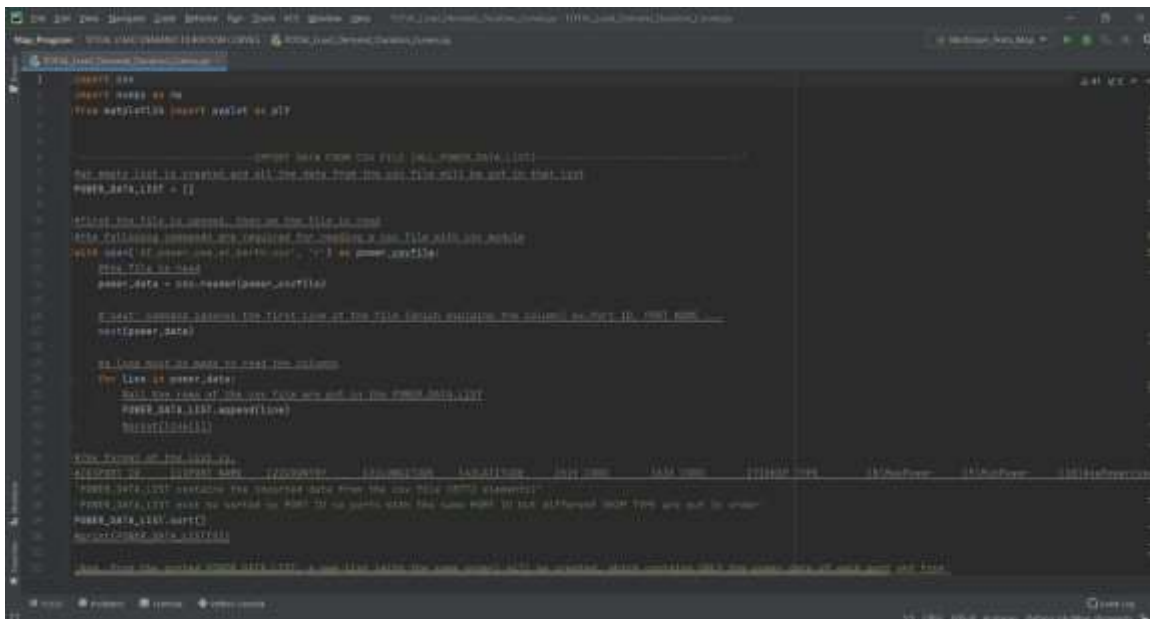
Τέλος, τα διαγράμματα που παράγονται αποθηκεύονται στο ίδιο directory με τον κώδικα.

## Κώδικας Δημιουργίας Total Load Demand Duration Curves

### ‘Total\_Load\_Demand\_Duration\_Curves.py’

Ο συγκεκριμένος κώδικας είναι υπεύθυνος για την δημιουργία του LDC κάθε λιμένα με το άθροισμα όλων των τύπων πλοίων σε μία καμπύλη. Ουσιαστικά αποτελεί το συνολικό Load Demand Duration Curve του λιμένα, αφού όλες οι ανάγκες ισχύος των πλοίων του λιμένα αποτυπώνονται σε μια κοινή καμπύλη.





Σχήμα 9.12 Γραμμές κώδικα ‘Total\_Load\_Demand\_Duration\_Curves.py’ στο περιβάλλον PyCharm

Ο κώδικας χρησιμοποιεί τις παρακάτω βιβλιοθήκες:

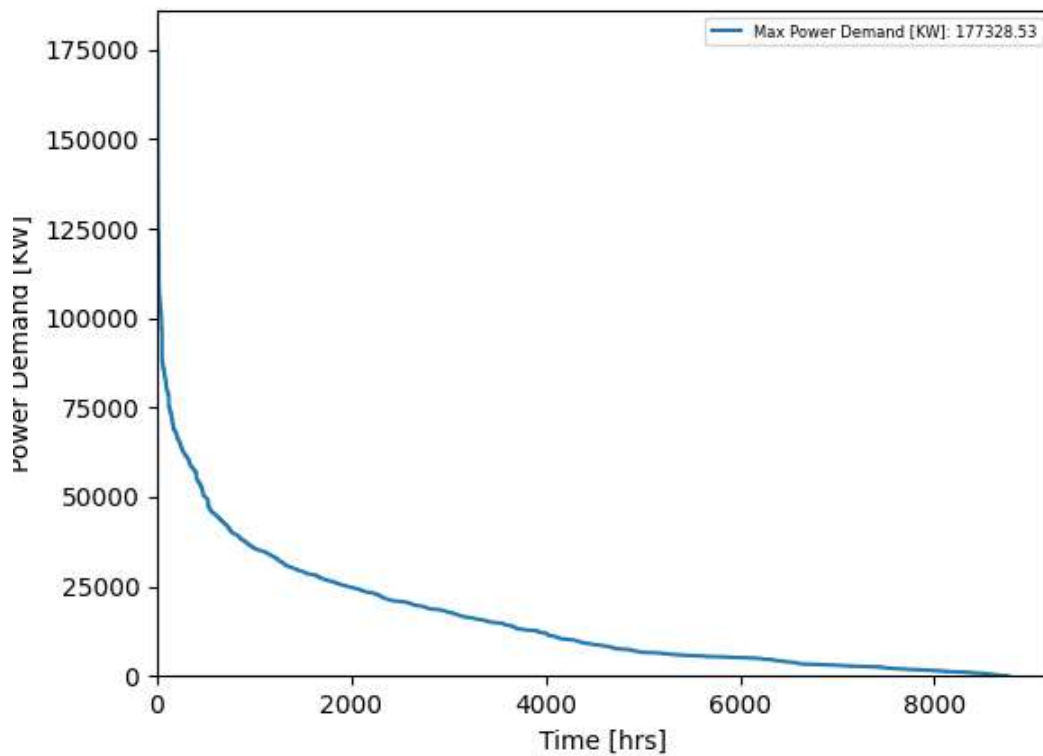
- **csv:** Βιβλιοθήκη η οποία επιτρέπει την ανάγνωση και καταχώρηση δεδομένων από αρχεία csv
- **matplotlib:** Βιβλιοθήκη η οποία επιτρέπει την δημιουργία γραφικών παραστάσεων και διαγραμμάτων
- **numpy:** Βιβλιοθήκη η οποία επιτρέπει την εκτέλεση μαθηματικών πράξεων, χρήση σταθερών (π.χ ln,πi,..) και γενικότερα την χρήση των μαθηματικών, πέραν των βασικών τελεστών που αναγνωρίζει η γλώσσα Python. Αξίζει να σημειωθεί ότι η numpy διαθέτει διάφορα functions που επιτρέπουν τις πράξεις μεταξύ λιστών ή πινάκων.

Όταν τρέξει ο κώδικας, παράγει στο ίδιο directory με το αρχείο pyhton 714 διαγράμματα LDC, τα οποία αποθηκεύονται ως εικόνες τύπου png. Το όνομα κάθε εικόνας είναι ‘TOTAL\_PORT\_ID.png’, όπου PORT ID αντικαθίσταται με το αριθμητικό αντίστοιχο Κωδικό του κάθε λιμένα που χρησιμοποιείται από το World Port Index.

Απαραίτητο είναι στο ίδιο directory με τον κώδικα να βρίσκεται το αρχείο ‘AE\_power\_use\_at\_berth.csv’.

### Πως δουλεύει ο κώδικας:

Η φιλοσοφία και δομή του κώδικα είναι η ίδια όπως με τον προηγούμενο κώδικα, ‘Load\_Demand\_Duration\_Curves.py’, με την διαφορά ότι γίνεται άθροιση της απαίτησης ισχύος όλων των τύπων πλοίων.



Σχήμα 9.13 Χαρακτηριστικό Διάγραμμα Load Demand Duration Curve που παράγει ο κώδικας

Τα παραγόμενα διαγράμματα αποτελούνται από μια μόνο αθροιστική καμπύλη και αποθηκεύονται στο ίδιο directory με τον κώδικα.

Όλα τα διαγράμματα LDC (Total LDCs Λιμένα & Ξεχωριστά ανά τύπο Πλοίου LDCs Λιμένα) είναι απαραίτητο να μεταφερθούν – αντιγραφούν στο directory του 'Multilayer\_Ports\_Map.py' έτσι ώστε να τα αντλήσει και να τα ενσωματώσει στον χάρτη.

# ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Όσον αφορά τον εξηλεκτρισμό πλοίων:

- Η μέθοδος εξηλεκτρισμού βρίσκεται ακόμα σε αρκετά αρχικό στάδιο.
- Ο μετασκευή ή κατασκευή AES αποτελεί μια δελεαστική λύση στη μείωση των εκπομπών CO<sub>2</sub> και άλλων επικίνδυνων ρύπων
- Εφαρμογές AES προς το παρόν περιορίζονται σε μικρά Ε/Γ -Ο/Γ σκάφη που εκτελούν δρομολόγια μικρού σχετικά μήκους.
- Η τεχνολογία των μπαταριών προβλέπεται να αναπτυχθεί ραγδαία στα επόμενα χρόνια, γεγονός που μπορεί να ανοίξει νέους ορίζοντες στην αναβάθμιση και βελτιστοποίηση των ηλεκτρικών πλοίων.
- Σε αυτό το στάδιο, οι μηχανές εσωτερικής καύσης, μπορούν να χρησιμοποιηθούν παράλληλα με τους ηλεκτρικούς κινητήρες για υβριδική κίνηση του πλοίου. Επιπρόσθετα, η έρευνα που γίνεται αυτή την στιγμή ανά το παγκόσμιο όσον αφορά πιο οικολογικά καύσιμα (αιθανόλη, βιοντίζελ, ...) προωθεί την πράσινη ναυτιλία και ένα πιο υγιές μέλλον στην βιομηχανία.
- Στην Ευρώπη και κυρίως στις Σκανδιναβικές χώρες, υπάρχει πρωτοβουλία για ανάπτυξη της ηλεκτρικής πρόωσης. Η Ε.Ε στηρίζει έμπρακτα τέτοιες ενέργειες μέσω χρηματοδοτήσεων και η συνεργασία πολλών πανεπιστημίων, συμπεριλαμβανομένου και του ΕΜΠ, είναι ελπιδοφόρα για περαιτέρω ανάπτυξη συστημάτων ηλεκτρικής πρόωσης.
- Η ισχύς των ηλεκτρικών κινητήρων είναι περιορισμένη και προς το παρόν δεν μπορεί να συγκριθεί με αυτή των μεγάλων ΜΕΚ. Ωστόσο τα πολλά πλεονεκτήματα που διαθέτουν οι ηλεκτροκινητήρες, προωθούν την έρευνα και ανάπτυξή τους ανά το παγκόσμιο.
- Οι εκπομπές ρύπων και αερίων του θερμοκηπίου από την ναυτική βιομηχανία αποτελούν ένα σημαντικό ποσοστό στην παγκόσμια παραγωγή αυτών των ουσιών. Αποτελεί επιτακτική ανάγκη η μείωσή τους, γεγονός που αντιλαμβάνεται ο ΙΜΟ ο οποίος προσανατολίζεται προς μια πιο πράσινη ναυτιλία.
- Η ανάπτυξη και χρήση ηλεκτρικών πλοίων σε δρομολόγια που έχουν μικρή απόσταση από κατοικημένες περιοχές, βοηθά στον περιορισμό των καυσαερίων και συμβάλει στην βελτίωση του βιοτικού επιπέδου των κατοίκων, αφού τα οφέλη για την υγεία των πολιτών είναι πολλαπλά.

Όσον αφορά την ηλεκτρική αναβάθμιση του λιμένα:

- Τα συστήματα Cold Ironing αποτελούν την πιο δελεαστική λύση όσον αφορά την ηλεκτρική αναβάθμιση του λιμένα.
- Τα συστήματα Cold Ironing προσφέρουν ένα πιο υγιές περιβάλλον στην τοπική κοινότητα πέριξ του λιμένα.
- Με σωστό επενδυτικό πλάνο, το Cold Ironing μπορεί να επιφέρει και οικονομικά οφέλη.
- Η έρευνα για Cold Ironing βρίσκεται ακόμα σε αρκετά αρχικό στάδιο.

Όσον αφορά τον διαδραστικό χάρτη:

- Η παρούσα διπλωματική, κυρίως μέσω του διαδραστικού χάρτη ο οποίος είναι προϊόν προγραμματισμού, μπορεί να συμβάλει στην έρευνα που συμβαίνει αυτή την στιγμή. Η παρουσίαση των οικολογικών συνεπειών (εκπομπές CO<sub>2</sub>) δύναται να δώσει μια πιο

ολοκληρωμένη εικόνα για τις εκπομπές ρύπων σε κάθε λιμένα, αθροιστικά ή ανά κάθε τύπο πλοίου.

- Η παρουσίαση της ισχύος σε διαγράμματα, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για μελέτη επαύξησης ισχύος και για κοστολόγηση του συστήματος σε κάθε λιμένα της Ε.Ε και του Η.Β.

# ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ ΒΟΛΟΓΙΑΝΝΗΣ Διπλωματική Εργασία: «ΝΑΥΤΙΚΟΙ ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ ΚΑΙ ΝΑΥΤΙΛΙΑΚΑ ΚΑΥΣΙΜΑ», Τμήμα Ναυτιλιακών Σπουδών του Πανεπιστημίου Πειραιώς
2. ΜΕΚ, απόπλυση, p-V διάγραμμα, Παρουσίαση κεφαλαίου 5 μαθήματος ΜΕΚ
3. ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ: Ανάλυση και συγκριτική αξιολόγηση δεδομένων από εργοστασιακές δοκιμές και δοκιμές θαλάσσης μεγάλων δίχρονων ναυτικών κινητήρων Diesel ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ Α. ΛΟΥΡΑΝΤΟΣ
4. ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ: Μελέτη και βελτιστοποίηση φαινομένων καύσης σε δίχρονο ναυτικό κινητήρα Diesel, Ανδρέας – Μίνως Γ. Ζομπανάκης
5. Σύσταση αργού πετρελαίου, Εργαστήριο Τεχνολογίας Καυσίμων και Λιπαντικών ΕΜΠ
6. Απόσταξη αργού πετρελαίου, Εργαστήριο Τεχνολογίας Καυσίμων και Λιπαντικών ΕΜΠ
7. AFR, λ: <https://x-engineer.org/automotive-engineering/internal-combustion-engines/performance/air-fuel-ratio-lambda-engine-performance/>
8. DIESEL KNOCK COMBUSTION AND ITS DETECTION USING ACOUSTIC EMISSION, DAVID P. LOWE<sup>1</sup>, TIAN RAN LIN<sup>1,2</sup>, WEILIANG WU<sup>1</sup> and ANDY C. C. TAN<sup>1</sup>
  1. School of Engineering Systems, Queensland University of Technology, GPO Box 2434, Brisbane, QLD 4001, Australia
  2. CRC for Infrastructure and Engineering Asset Management
9. Έρευνα IMO για GHG:  
<http://www.imo.org/en/OurWork/Environment/PollutionPrevention/AirPollution/Pages/GHG-Emissions.aspx>  
<http://www.imo.org/en/OurWork/Environment/PollutionPrevention/AirPollution/Pages/Greenhouse-Gas-Studies-2014.aspx>
10. CO<sub>2</sub> and CO<sub>e</sub> difference:  
<https://ecometrica.com/assets/GHGs-CO2-CO2e-and-Carbon-What-Do-These-Mean-v2.1.pdf>
11. Δείκτης EEDI: ΜΕΛΕΤΗ ΙΙ, ΕΚΔΟΣΕΙΣ ΕΜΠ
12. Γενικά NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub>: ΜΕΛΕΤΗ ΙΙ, ΕΚΔΟΣΕΙΣ ΕΜΠ
13. Επιπτώσεις υγείας NO, SO, PM:  
<https://ir.lib.uth.gr/xmlui/bitstream/handle/11615/45101/10443.pdf?sequence=1>  
(Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας)
14. Επιπτώσεις CO<sub>2</sub>:  
[https://www.researchgate.net/profile/Susan\\_Rice/publication/228863103\\_Human\\_Health\\_Risk\\_Assessment\\_of\\_CO2\\_Survivors\\_of\\_Acute\\_High-Level\\_Exposure\\_and\\_Populations\\_Sensitive\\_to\\_Prolonged\\_Low-Level\\_Exposure/links/5526bb3b0cf229e6d635bcbf/Human-Health-Risk-Assessment-of-CO2-Survivors-of-Acute-High-Level-Exposure-and-Populations-Sensitive-to-Prolonged-Low-Level-Exposure.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Susan_Rice/publication/228863103_Human_Health_Risk_Assessment_of_CO2_Survivors_of_Acute_High-Level_Exposure_and_Populations_Sensitive_to_Prolonged_Low-Level_Exposure/links/5526bb3b0cf229e6d635bcbf/Human-Health-Risk-Assessment-of-CO2-Survivors-of-Acute-High-Level-Exposure-and-Populations-Sensitive-to-Prolonged-Low-Level-Exposure.pdf)
15. 'Impact of CO<sub>2</sub> on human decision making and productivity', Usha Satish, William B. Fisk, Mark J. Mendell, Katia Eliseeva, Toshifumi Hotchi, Douglas Sullivan, Lisa B. Cleckner, Krishnamurthy Shekhar and Kaeling Teng, SUNY Upstate Medical University, Syracuse, NY, Lawrence Berkeley National Laboratories, Berkeley, CA, Syracuse Center of Excellence, Syracuse, NY
16. Russell, Colin (August 2003). «Enterprise and electrolysis...». *ChemistryWorld*.

17. ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ: «ΜΠΑΤΑΡΙΕΣ ΛΙΘΙΟΥ», Δαφνομήλης Στάυρος
18. ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ: «ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥ ΓΙΑ ΤΟΝ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ
19. ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟ ΤΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΜΠΑΤΑΡΙΑΣΛΙΘΙΟΥ ΠΟΛΥΜΕΡΟΥΣ», Κοχρονά Παρασκευή
20. ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ: «ΑΝΑΚΛΥΚΛΩΣΗ ΜΠΑΤΑΡΙΩΝ», Κλεισθένης Ματσούκας, Νικόλαος Νικολούλης, Τ.Ε.Ι Καβάλας
21. Types of Lithium-ion, [https://batteryuniversity.com/learn/article/types\\_of\\_lithium\\_ion](https://batteryuniversity.com/learn/article/types_of_lithium_ion)
22. ΔΙΑΒΡΩΣΗ ΚΑΙ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΝΑΥΠΗΓΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ, Δ.Ι. Παντελής ,Δ. Τσιούρβα, ΕΜΠ
23. Ultrafast Charging Compatibility of Electric Vehicles, Martel Tsininomeny, Hardi Hõimoja, Alfred Rufer, EPFL - Swiss Federal Institute of Technology Lausanne, Lausanne, Switzerland
24. Study on Electrical Energy Storage for Ships, European Maritime Safety Agency (EMSA), May 2020
25. <http://e-ferryproject.eu/>
26. [www.kongsberg.com](http://www.kongsberg.com)
27. <https://tramproject.eu/>
28. <https://trimis.ec.europa.eu/project/zero-emission-ferries-green-link-across-%C3%B6resund#tab-outline>
29. <https://new.abb.com/>
30. <https://www.explainthatstuff.com/electricmotors.html>
31. ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ: «ΒΗΜΑΤΙΚΟΙ ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ, ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΕΛΕΓΧΟΥ», Πάντης Γρηγόριος
32. <https://www.motorsystems.org/>
33. ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ: «ΜΕΛΕΤΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΕΙΔΙΚΟΥ ΤΥΠΟΥ ΠΛΟΙΟΥ, ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ ΚΑΙ ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ ΗΛΕΚΤΡΟΠΡΩΣΤΗΡΙΑΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ», Χονδροδήμος Ευάγγελος
34. Επίσημη Εφημερίδα των Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων, ΟΔΗΓΙΑ 98/18/ΕΚ ΤΟΥ ΣΥΜΒΟΥΛΙΟΥ της 17<sup>ης</sup> Μαρτίου 1998 για τους κανόνες και τα πρότυπα ασφαλείας για τα επιβατηγά πλοία
35. RETROFITting ships with new technologies for improved overall environmental footprint, European Commission
36. GUIDE FOR USE OF LITHIUM BATTERIES IN THE MARINE AND OFFSHORE INDUSTRIES FEBRUARY 2020, American Bureau of Shipping (ABS)
37. Furthering the Electricity to Ships and Ports: the ELEMED Project, P. Mertikas, S.E. Dallas, Spathis Dimos, Thodoris Kourmpelis, I.P. Georgakopoulos, J.M. Prousalidis, Dimitrios V. Lyridis, L. Nakos ,P. Mitrou ,V. Georgiou
38. [www.iso.org](http://www.iso.org)
39. (IEC/IEEE 80005-1:2019 Utility connections in port — Part 1: High voltage shore connection (HVSC) systems — General requirements)
40. (IEC/PAS 80005-3:2014 Utility connections in port — Part 3: Low Voltage Shore Connection (LVSC) Systems — General requirements)
41. DNV GL Handbook for Maritime and Offshore Battery Systems
42. “The CO2 reduction potential of shore-side electricity in Europe” (B. Stolz, M. Held, G. Georges, K. Boulouchos)
43. Σημειώσεις ‘Ενεργειακά Συστήματα Πλοίου’, Ιωάννης Προυσαλίδης ΕΜΠ
44. [glomeep.imo.org/technology/shore-power](http://glomeep.imo.org/technology/shore-power)