



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΙΣΧΥΟΣ

Μικροδίκτυα Πλοίου και Κυψέλες Καυσίμου

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΕΛΕΝΗ Α. ΑΒΡΑΑΜ

Επιβλέπων : ΓΕΩΡΓΙΟΣ ΚΟΡΡΕΣ
ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ ΕΜΠ

Αθήνα, Οκτώβριος 2023



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΙΣΧΥΟΣ

Μικροδίκτυα Πλοίου και Κυψέλες Καυσίμου

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΕΛΕΝΗ Α. ΑΒΡΑΑΜ

Επιβλέπων : ΓΕΩΡΓΙΟΣ ΚΟΡΡΕΣ
ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ ΕΜΠ

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την 26^η Οκτωβρίου 2023.

.....
ΓΕΩΡΓΙΟΣ ΚΟΡΡΕΣ
ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ ΕΜΠ

.....
ΑΡΗΣ ΔΗΜΕΑΣ
ΕΠΙΚΟΥΡΟΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ ΕΜΠ

.....
ΓΕΩΡΓΙΟΣ ΚΙΟΚΕΣ
ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ ΑΕΝ/Α

Αθήνα, Οκτώβριος 2023

.....
Ελένη Α. Αβραάμ

Διπλωματούχος Ηλεκτρολόγος Μηχανικός και Μηχανικός Υπολογιστών Ε.Μ.Π

Copyright

©

Ελένη

Αβραάμ

2023

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τον συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

Περίληψη

Η παρούσα διπλωματική εργασία εστιάζετε στην ανάπτυξη και τη βελτιστοποίηση των μικροδικτύων των πλοίων με έμφαση στα πλοία τα οποία χρησιμοποιούν ανανεώσιμες πηγές ενέργειας για την πρόωση τους όπως είναι και οι κυψέλες καυσίμου, οι μπαταρίες αλλά και οι υπερπυκνωτές. Ο κύριος στόχος είναι η προώθηση της βιωσιμότητας και της περιβαλλοντικής συνείδησης στον τομέα της ναυτιλίας.

Αρχικά γίνεται μια σύντομη περιγραφή των μικροδικτύων, με ιδιαίτερη έμφαση στον τομέα της ναυτιλίας και τη σημασία τους. Έπειτα γίνεται μια εκτεταμένη περιγραφή των στοιχείων που χρειάζονται για την υλοποίηση ενός τέτοιου συστήματος. Αυτά τα στοιχεία είναι η κυψέλη καυσίμου, οι υπερπυκνωτές, οι μπαταρίες/συσσωρευτές, και οι DC/DC μετατροπείς. Εξηγείται τι είναι το κάθε ένα από τα στοιχεία, πως λειτουργεί και ποιος είναι ο ρόλος του σε ένα σύστημα υβριδικής πρόωσης. Η συγκεκριμένη διπλωματική εργασία βασίστηκε στο ήδη υπάρχων πλοίο με όνομα “FCS Alsterwasser”. Είναι ένα πλοίο με μηδενικές εκπομπές που εδρεύει στο λιμάνι του Αμβούργου, μεταφέρει ως και 100 επιβάτες τη φορά. Η πλοιοκτήτρια εταιρία ATG (Alster-Touristik GmbH) ανέπτυξε το 2009 ένα λεγόμενο μόνο-κύτος πλοίο με ισχύ κινητήρα 100kW και χωρητικότητα επιβατών:100. Το πλοίο λειτουργεί σε τακτική υπηρεσία στον ποταμό Άλστερ και σε εσωτερικές πλωτές οδούς της πόλης.

Βασική αναφορά για τη δόμηση της κυκλωματικής απεικόνισης του μοντέλου του πλοίου αποτελεί το άρθρο “ Optimization of sizing and frequency control in battery/supercapacitor hybrid energy storage system for fuel cell ship” των Hui Chen, Zehui Zhang, Cong Guan, Haibo Gao, δημοσιευμένο στη σελίδα Elsevier το 2020.

Λέξεις Κλειδιά

Κυψέλη καυσίμου, Υπερπυκνωτής, DC/DC μετατροπέας, Πλοίο, Μικροδίκτυα, Λιμάνι, Μπαταρία, Συσσωρευτής.

Abstract

This thesis focuses on the development and optimization of ship microgrids with an emphasis on ships that use renewable energy sources for their propulsion such as fuel cells, batteries and supercapacitors. The main objective is to promote sustainability and environmental awareness in the shipping sector.

First, a brief description of microgrids is given, with special emphasis on the shipping sector and their importance. Then there is an extensive description of the components needed to implement such a system. These components are the fuel cell, supercapacitors, batteries, and DC/DC converters. Then, it is explained what each component is, how it works and what its role is in a hybrid propulsion system

This particular thesis was based on the already existing ship named "FCS Alsterwasser". It is a zero-emission ship based in the port of Hamburg, carrying up to 100 passengers at a time. The shipowner ATG (Alster-Touristik GmbH) developed in 2009 a so-called single-hull ship with an engine power of 100kW and passenger capacity: 100. The ferry operates a regular service on the river Alster and inland waterways of the city

A basic reference for building the circuit diagram of the ship model is the article "Optimization of sizing and frequency control in battery/supercapacitor hybrid energy storage system for fuel cell ship" by Hui Chen, Zehui Zhang, Cong Guan, Haibo Gao, published in Elsevier page in 2020.

Key Words

Fuel Cell, Supercapacitor, DC/DC converter, Ship, Microgrid, Port, Battery

Ευχαριστίες

Η Παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε στο εργαστήριο Ηλεκτρικών Ισχύος της σχολής Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου. Με την ολοκλήρωση της, θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους όσους με βοήθησαν κατά την εκπόνηση της.

Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω αρχικά την ερευνήτρια κα. Εριέττα Ζουντουρίδου για το ενδιαφέρον θέμα που μου ανάθεσε αλλά και την καθοδήγηση που μου πρόσφερε, καθ' όλη τη διάρκεια ενασχόλησης μου την διπλωματική εργασία.

Επιπλέον, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον καθηγητή κο. Γεώργιο Κιόκε για την πολύτιμη βοήθεια του στην εκπόνηση της διπλωματικής μου εργασίας.

Επιπρόσθετα, θα ήθελα να ευχαριστήσω τα αξιότιμα μέλη της εξεταστικής μου επιτροπής για τις γνώσεις που μου πρόσφεραν στα μαθήματα του προπτυχιακού κύκλου σπουδών και για το χρόνο που διέθεσαν για την εξέταση της διπλωματικής μου εργασίας.

Στο σημείο αυτό, θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω τους γονείς μου, αλλά και όλη μου την οικογένεια για την στήριξη που μου πρόσφεραν κατά τη διάρκεια των σπουδών μου.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους τους συμφοιτητές και φίλους μου που ήταν πάντα δίπλα μου και με βοήθησαν σε κάθε μου βήμα.

Περιεχόμενα

1	Μικροδίκτυα	15
1.1	Εισαγωγή.....	15
1.2	Βασικά Μέρη Μικροδικτύου	16
1.3	Πλεονεκτήματα των Μικροδικτύων	17
1.4	Εφαρμογές Μικροδικτύων	18
1.5	Προηγμένες Εφαρμογές Μικροδικτύων.....	19
1.6	Προκλήσεις που αντιμετωπίζει η ενσωμάτωση μικροδικτύων	20
1.7	Μικροδίκτυα πλοίων	21
1.8	Μικροδίκτυα Λιμανιών	22
1.9	Ομοιότητες και οι διαφορές μεταξύ των μικροδικτύων πλοίων και στεριάς:.....	27
1.10	Διαχείριση λειτουργίας και ενεργειακός Σχεδιασμός Μικροδικτύου Θαλάσσιων Λιμένων	28
1.11	Προκλήσεις που παρουσιάζονται ως τροχοπέδη στην ανάπτυξη μικροδικτύων σε πλοία και λιμάνια	28
2	Πλοία.....	29
2.1.1	Εισαγωγή	29
2.2	Σημασία των Πλοίων στην καθημερινή ζωή	29
2.3	Τύποι Πλοίων	30
2.4	Ο ρόλος των κυκλωμάτων στα πλοία.....	39
2.5	Οι διάφοροι κινητήρες που μπορεί να χρησιμοποιήσουν τα πλοία	40
2.5.1	Ο κινητήρας ντίζελ	42
2.6	Η ανάγκη για εξηλεκτρισμό των πλοίων	47
3	Ευρωπαϊκές πολιτικές που αφορούν την ναυτιλία.....	50
3.1	Εισαγωγή.....	50
3.2	Κύριοι Στόχοι.....	50
3.3	Πράσινη Συμφωνία (Green Deal)	51
3.3.1	Τι είναι η ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.....	52
3.4	Fit for 55.....	57
3.5	REPower Eu: Σχέδιο για την μείωση της εξάρτησης της Ευρωπαϊκής Ένωσης από τα καύσιμα που εισάγονται από τη Ρωσία και η μετάβαση σε πράσινες πηγές ενέργειας.....	64
3.6	Οδηγία 2010/75/ΕΕ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου για τις βιομηχανικές εκπομπές.....	70
3.7	Άρθρο 191 «Συνθήκη για τη λειτουργία της Ευρωπαϊκής Ένωσης».....	70
3.7.1	Έκδοση πιστοποιητικών	71
3.7.2	Οι ρύποι που εκπέμπονται στην Ελλάδα λόγω βιομηχανικών εγκαταστάσεων	75

3.7.3	Έκθεση της Επιτροπής στο Συμβούλιο και το Ευρωπαϊκό κοινοβούλιο Σχετικά με την εφαρμογή της 2010/75/ΕΕ	76
3.8	Οδηγία ΕΕ 2015/2193 του Ευρωπαϊκού κοινοβουλίου και του Συμβουλίου	79
3.9	Μηδενικές Εκπομπές Μέχρι το 2050	84
4	Κυψέλες καυσίμου.....	86
4.1	Εισαγωγή.....	86
4.2	Τι είναι κυψέλες καυσίμου.....	86
4.3	Πως λειτουργούν οι κυψέλες καυσίμου	87
4.4	Τύποι κυψελών καυσίμου	88
4.5	Κυψέλες PEM	91
4.6	Η παραγωγή του υδρογόνου που παρέχεται στην κυψέλη.....	92
4.7	Τύποι Υδρογόνου	93
4.8	Στόχοι της Ευρωπαϊκής ένωσης σχετικά με το υδρογόνο και τις μεταφορές	96
4.9	Αποθήκευση του υδρογόνου	96
4.10	Χρήση Κυψελών καυσίμου σε πλοία.....	97
4.11	Παραδείγματα Πλοίων που χρησιμοποιούν τεχνολογία κυψέλης καυσίμου για την λειτουργία τους.....	98
5	Υπερπυκνωτές.....	101
5.1	Εισαγωγή.....	101
5.2	Ιστορική Αναδρομή:.....	101
5.3	Πλεονεκτήματα έναντι μπαταριών.....	101
5.4	Διαφορές με τους συμβατικούς πυκνωτές.....	102
5.5	Τύποι Υπερπυκνωτών	104
5.6	Κατασκευή Υπερπυκνωτών	106
5.7	Διάφοροι Παράγοντες που επηρεάζουν την απόδοση των Υπερπυκνωτών	110
5.8	Εξισώσεις που περιγράφουν τη λειτουργία των Υπερπυκνωτών	111
5.9	Εφαρμογές Υπερπυκνωτών.....	112
5.10	Εφαρμογές Υπερπυκνωτών σε πλοία.....	113
6	Μπαταρίες.....	114
6.1	Εισαγωγή.....	114
6.2	Αναλυτικά Μοντέλα μπαταριών	114
6.2.1	Μοντέλο κινητικής μπαταρίας.....	114
6.2.2	Το μοντέλο διάχυσης του Rakhmatov και του Vrudhula	115
6.3	Τύποι μπαταριών.....	116
6.4	Η Χημεία του κάθε τύπου μπαταρίας και αρχές λειτουργίας τους.....	118

6.5	Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα του κάθε τύπου μπαταριών.....	119
6.6	Η απόδοση της μπαταρίας.....	121
6.7	Κόστος μπαταριών	123
6.8	Εφαρμογές μπαταριών σε Ηλεκτρικά Πλοία	124
6.9	Κάποια παραδείγματα Πλοίων Που χρησιμοποιούν μπαταρίες ως κύρια πηγή ενέργειας.	124
7	DC-DC Μετατροπείς	129
7.1	Εισαγωγή.....	129
7.2	Χρησιμότητα	129
7.3	Κύριοι τύποι Μετατροπέων	130
7.4	Μαθηματικό υπόβαθρο των DC-DC μετατροπέων:	131
7.5	Μέθοδοι ελέγχου Μετατροπέων	143
7.6	Σχεδιασμός ενός DC-DC μετατροπέα.....	144
7.7	Εφαρμογές των μετατροπέων	145
7.8	Οι τύποι των DC-DC μετατροπέων που χρησιμοποιούνται σε υβριδικό σύστημα πρόωσης πλοίου υπερπυκνωτή μπαταρίας και κυψέλης καυσίμου.....	146
8	Θεωρητικός Σχεδιασμός ενός Υβριδικού πλοίου	148
8.1	Πως λειτουργεί το κάθε στοιχείο	158
8.2	Τι συμβαίνει κατά τη διάρκεια του ταξιδιού.....	159
9	Βιβλιογραφία	161

Κατάλογος Σχημάτων

Σχήμα 1.1 Ροή ενέργειας στο μικροδίκτυο	16
Σχήμα 1.2 Μονογραμμικό διάγραμμα ενός συστήματος ισχύος AC/DC	22
Σχήμα 1.3 Το συνολικό πλαίσιο της δομής με χρήση συμβατικών καυσίμων.....	24
Σχήμα 1.4 Εκπομπές GHG ανά τομέα το 2020	25
Σχήμα 1.5 Επιλογές τοπολογίας μικροδικτύων σε λιμάνια	26
Σχήμα 2.1 Πλοία Εμπορευματοκιβωτίων	30
Σχήμα 2.2 Δεξαμενόπλοια	31
Σχήμα 2.3 Μεταφορείς χύδην φορτίου	32
Σχήμα 2.4 Επιβατηγά Πλοία.....	32
Σχήμα 2.5 Πλοία Ro-Ro	33
Σχήμα 2.6 Ρυμουλκά.....	34
Σχήμα 2.7 Αλιευτικά σκάφη	35
Σχήμα 2.8 Πολεμικά Πλοία	36
Σχήμα 2.9 Ερευνητικά Πλοία	37
Σχήμα 2.10 Υπεράκτιες Πλατφόρμες	38
Σχήμα 2.11 SEAVICTORY	44
Σχήμα 2.12 Χαρακτηριστικά Πλοίου	44
Σχήμα 2.13 Μοτέρ βραδείας περιστροφής	45
Σχήμα 2.14 Εύφλεκτος Αγωγός.....	45
Σχήμα 2.15 Βασιλικός SPM	46
Σχήμα 2.16 Μηχανή Πλοίου.....	46
Σχήμα 2.17 Εκπομπές αερίου θερμοκηπίου στην ΕΕ από το 1990	48
Σχήμα 3.1 Ευρωπαϊκή Πράσινη Συμφωνία	51
Σχήμα 3.2 Κύριες πηγές ΑΠΕ	53
Σχήμα 3.3 Είδη υπό εξαφάνιση	55
Σχήμα 3.4 Μείωση εκπομπών διοξειδίου άνθρακα 2012-2020.....	57
Σχήμα 3.5 Τιμές ενέργειας μετά τον πόλεμο στην Ουκρανικά	65
Σχήμα 3.6 Εισαγωγές ενέργειας στην ΕΕ	66
Σχήμα 3.7 Αποθήκευση αερίου για το 2022-2023.....	68
Σχήμα 3.8 Χρηματοδότηση του REPower EU	69
Σχήμα 3.9 Απλοποιημένο διάγραμμα ροής που δείχνει πώς τα BREF ταιριάζουν σε ένα ρυθμιστικό καθεστώς.....	72
Σχήμα 3.10 Εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα στη Ελλάδα λόγω αυτοκινήτων, πλοίων και αεροπλάνων	76

Σχήμα 3.11 Μεριδία ανά τομέα σε βιομηχανικές εκπομπές εγκαταστάσεων το 2018.....	77
Σχήμα 3.12 Εξέλιξη των συμπερασμάτων ΒΔΤ και των εγκαταστάσεων που καλύπτονται	78
Σχήμα 3.13 ερωτήσεις και απαντήσεις σε αυτές από τη ΓΔ.....	79
Σχήμα 3.14 όρια εκπομπών.....	81
Σχήμα 3.15 Μείωση θανάτων λόγω καθαρού αέρα σε χώρες της ΕΕ.....	82
Σχήμα 3.16 Όρια τιμής εκπομπών σε ήδη υπαρχων εγκαταστάσεις	83
Σχήμα 3.17 Όρια τιμής εκπομπών σε καινούργιες εγκαταστάσεις.....	83
Σχήμα 3.18 Στόχος μέχρι το 2030.....	85
Σχήμα 4.1 Κυψέλη Καυσίμου.....	87
Σχήμα 4.2 Παραγόμενη Ισχύς και απόδοση διάφορων στοιχείων.....	87
Σχήμα 4.3 Τύποι Υδρογόνου	94
Σχήμα 4.4 Περισσότεροι Τύπο Υδρογόνου	95
Σχήμα 4.5 Αποθήκευση Υδρογόνου	97
Σχήμα 4.6 Huseas III.....	99
Σχήμα 4.7 Διάγραμμα Alsterwasser	100
Σχήμα 5.1 (α) Δομή συμβατικού πυκνωτή(β)δομή υπερπυκνωτή (γ)κυκλωματικό διάγραμμα	103
Σχήμα 5.2 Ενέργεια Πηγών	103
Σχήμα 5.3 Δημιουργία Υπερπυκνωτή.....	107
Σχήμα 5.4 Υπερπυκνωτής.....	109
Σχήμα 5.5 Φόρτιση Υπερπυκνωτών	110
Σχήμα 6.1 Μοντέλο δύο πηγαδιών του μοντέλου κινητικής μπαταρίας	115
Σχήμα 6.2 μοντέλο διάχυσης του Rakhmatov και του Vrudhula	116
Σχήμα 6.3 Μπαταρία Λιθίου.....	117
Σχήμα 6.4 Τύποι Χημείας Μπαταρίας και η Ισχύς τους.....	123
Σχήμα 6.5 Πλοίο Sas Zero	125
Σχήμα 6.6 Yara Birkeland.....	126
Σχήμα 6.7 Ellen ηλεκτρικό πλοίο	127
Σχήμα 7.1 Κυκλωματική Περιγραφή DC/DC μετατροπέων	129
Σχήμα 7.2 Μετατροπέας Buck.....	131
Σχήμα 7.3 Ρεύμα τροφοδοσίας, ρεύμα διόδου, ρεύμα επαγωγής, τάση επαγωγής με σειρά για τον μετατροπέα Buck	133
Σχήμα 7.4 Μετατροπέας boost	134
Σχήμα 7.5 Ρεύμα τροφοδοσίας, ρεύμα διόδου, ρεύμα επαγωγής, τάση επαγωγής με σειρά για τον μετατροπέα Boost	136
Σχήμα 7.6 Μετατροπέας Buck Boost	136

Σχήμα 7.7 Ρεύμα τροφοδοσίας, ρεύμα διόδου, ρεύμα επαγωγής, τάση επαγωγής με σειρά για τον μετατροπέα Buck Boost.....	138
Σχήμα 7.8 Μετατροπέας Cuk	139
Σχήμα 7.9 Τάση διακόπτη (S), τάση πυκνωτή (C), ρεύμα επαγωγέα (L), ρεύμα πηνίου (LO), τάση πυκνωτή (CO), ρεύμα πυκνωτή (C) και ρεύμα μετατροπέα Cuk	141
Σχήμα 7.10 Μετατροπέας Flyback	142
Σχήμα 7.11 Κυματομορφές Flyback.....	143
Σχήμα 8.1 Διάγραμμα υβριδικού συστήματος πρόωσης	148
Σχήμα 8.2 Τοπολογία στοιχείων Πλοίου	149
Σχήμα 8.3 Τοπολογία υβριδικού συστήματος Πρόωσης.....	150
Σχήμα 8.4 Παθητική τοπολογία.....	151
Σχήμα 8.5 Πλήρως Ενεργή τοπολογία.....	151
Σχήμα 8.6 Ημιενεργή τοπολογία	152
Σχήμα 8.7 Προφίλ ζήτησης.....	153
Σχήμα 8.8 Διακύμανση ζήτησης.....	156
Σχήμα 8.9 Μοντέλο στην MATLAB/Simulink	157

Κατάλογος πινάκων

Table 1. Αλλαγές στο όριο Θείου του καυσίμου. Πηγή: Marpol 2018 Annex VI	23
Table 2 Διαφορές Δίχρονου και Τετράχρονου κινητήρα.....	43
Table 3 τιμές ορίων.....	71
Table 4 Χαρακτηριστικά διάφορων τύπων κυψελών καυσίμου.....	90
Table 5 Τύποι μπαταριών και τα χαρακτηριστικά τους.....	119
Table 6 Χαρακτηριστικά Διάφορων τύπων μπαταρίας	122
Table 7 Πληροφορίες σχετικά με τα χαρακτηριστικά διαφορών τύπων μπαταριών.....	128

1^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ

1 Μικροδίκτυα

1.1 Εισαγωγή

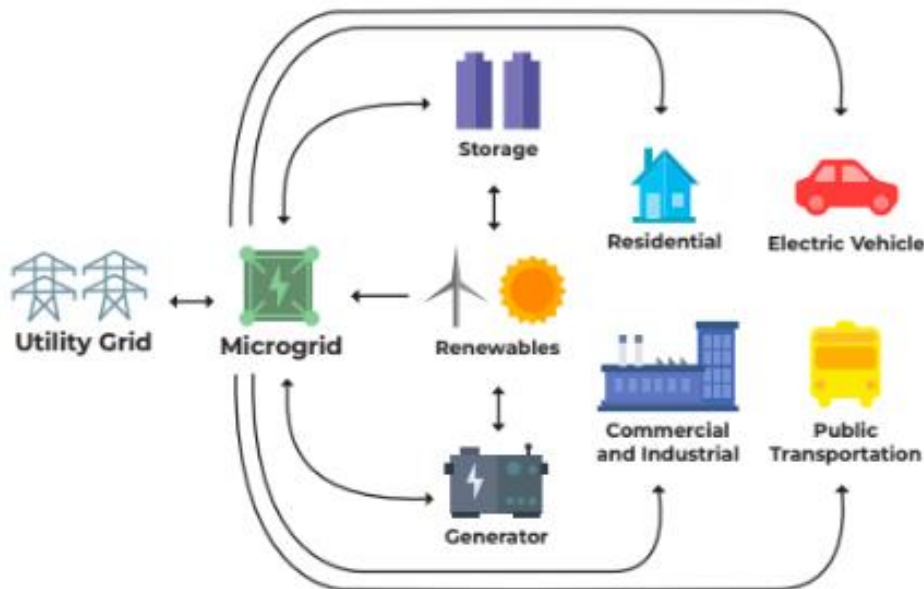
Τα μικροδίκτυα αντιπροσωπεύουν μια επαναστατική προσέγγιση στα σύγχρονα ενεργειακά συστήματα. Είναι τοπικά, αυτόνομα δίκτυα διάφορων κατανεμημένων ενεργειακών πόρων που έχουν την ικανότητα να παράγουν, να αποθηκεύουν αλλά και να διαχειρίζονται διάφορα είδη ηλεκτρικής ενέργειας ανεξάρτητα ή σε σύνδεση με το κύριο δίκτυο. Τα μικροδίκτυα απασχολούν όλο και περισσότερο τον τομέα της ενέργειας, αφού το ενεργειακό μας τοπίο συνεχώς εξελίσσεται, λόγω της ικανότητάς τους να ενισχύουν την ενεργειακή ανθεκτικότητα, τη βιωσιμότητα και για το γεγονός ότι παρέχουν αυξημένη αξιοπιστία.

Σε μια εποχή που χαρακτηρίζεται από συνεχείς αυξανόμενες ανησυχίες για την κλιματική αλλαγή, τη σταθερότητα του δικτύου και την ενεργειακή ασφάλεια, τα μικροδίκτυα αποτελούν μια αρκετά υποσχόμενη λύση. Καθιστούν ικανές τις κοινότητες, τις επιχειρήσεις και τους θεσμούς να αναλάβουν τον έλεγχο των ενεργειακών τους αναγκών, να μειώσουν τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου και να εξασφαλίσουν την συνεχόμενη, χωρίς αποκοπές παροχή ρεύματος, ειδικά κατά τη διάρκεια των πολλών διακοπών του δικτύου ή σε περίπτωση έκτακτης ανάγκης.

Ο όρος “μικροδίκτυο” αναφέρεται στην έννοια ενός μικρού αριθμού κατανεμημένων ενεργειακών πόρων που συνδέονται με ένα ενιαίο υποσύστημα ισχύος. Οι κατανεμημένοι ενεργειακοί πόροι συμπεριλαμβάνουν τόσο ανανεώσιμες πηγές ενέργειας όσο και διάφορες πηγές ενέργειας που χρησιμοποιούν συμβατικά καύσιμα. Το ηλεκτρικό δίκτυο, δεν είναι πλέον ο αποκλειστικός τρόπος για το σχεδιασμό ενός συστήματος μετά την πάροδο του 20^ο αιώνα. Μια πληθώρα τεχνολογιών κατανεμημένης ενέργειας ανοίγει το δρόμο για τα μικροδίκτυα. Αυτά μπορούν να λειτουργήσουν ως μια καλά ρυθμισμένη οντότητα μεμονωμένου επιπέδου δικτύου για να παρέχουν λειτουργία είτε σε νησί (απομονωμένα από το κεντρικό δίκτυο) είτε σε σύνδεση με το κεντρικό δίκτυο. Έχουν τη δυνατότητα να βελτιώσουν την ποιότητα της ενέργειας, να την ενισχύσουν, να αυξήσουν την ενεργειακή ασφάλεια για κρίσιμα φορτία και να μεγιστοποιήσουν την καθολική απόδοση του συστήματος.

Τα μικροδίκτυα έγιναν πιο δημοφιλή τα τελευταία χρόνια λόγω της ραγδαίας αύξησης των τεχνολογικών βελτιώσεων όσο αφορά την παραγωγή ενέργειας μικρής κλίμακας. [1]

Movement of Energy in a Microgrid



Σχήμα 1.1 Ροή ενέργειας στο μικροδίκτυο

1.2 Βασικά Μέρη Μικροδικτύου

Τα βασικά μέρη τα οποία απαρτίζουν ένα μικροδίκτυο αναφέρονται τα πιο κάτω [2]:

- Παραγωγή

Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας σε ένα μικροδίκτυο μπορεί να προσφέρεται από συμβατική παραγωγή όπως γεννήτριες φυσικού αερίου και συνδυασμένου κύκλου παραγωγής αλλά και από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας όπως αιολική, ηλιακή, κυψέλες καυσίμου, βιομάζα κ.ο.κ.

- Σύστημα αποθήκευσης ενέργειας:

Το σύστημα αποθήκευσης ενέργειας (Energy Storage System - ESS) εκτελεί πολλαπλές λειτουργίες σε μικροδίκτυα, όπως διασφάλιση ποιότητας ισχύος, αποσύνδεσης φορτίου, ρύθμιση συχνότητας, εξομάλυνση της εξόδου των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (ΑΠΕ) και παροχή εφεδρικής ενέργειας.

- Σύστημα διαχείρισης ενέργειας (Energy Management System - EMS):

Το EMS διασφαλίζει την έξυπνη διαχείριση του μικροδικτύου με τη βοήθεια μετρητών ενέργειας και εργαλείων επικοινωνίας. Ελέγχει την παραγωγή τους και την αποστολή φορτίου με βάση οικονομικά κριτήρια και κριτήρια αξιοπιστίας.

- Φορτία: Τα (Micro Grids) MG παρουσιάζουν δύο κύριους τύπους φορτίων:

- Κρίσιμα φορτία που πρέπει να εξυπηρετηθούν υπό όλες τις προϋποθέσεις

- Με αναβολή φορτία, που θα μπορούσαν να ρυθμιστούν για εξισορρόπηση φορτίου μικροδικτύων και ως εκ τούτου, επιτυγχάνοντας την πιο οικονομική παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.
- Ελεγκτής:
Ο ελεγκτής MG επιβλέπει τη στιγμιαία λειτουργία του συστήματος.
- Σημείο κοινής σύζευξης:
Το σημείο κοινής σύζευξης (Point of Common Couple - PCC) είναι ένα κρίσιμο συστατικό καθώς λειτουργεί ως ένα φυσικό σημείο που συνδέει το μικροδίκτυο με το κύριο σύστημα. Χρησιμεύει ως διεπαφή όπου η ηλεκτρική ενέργεια ανταλλάσσεται μεταξύ του μικροδικτύου και του κεντρικού συστήματος διανομής ηλεκτρικής ενέργειας. Το PCC ενσωματώνει διάφορους εξοπλισμούς και συσκευές που διευκολύνουν τη σύνδεση, την ανταλλαγή ισχύος, τον έλεγχο και την προστασία μεταξύ του MG και του κύριου δικτύου. Αυτό περιλαμβάνει εξαρτήματα όπως διακόπτες κυκλώματος, προστατευτικά ρελέ, και εξαρτήματα συγχρονισμού. Τα απομονωμένα μικροδίκτυα δεν περιλαμβάνουν PCC.

1.3 Πλεονεκτήματα των Μικροδικτύων

Τα κύρια Πλεονεκτήματα των Μικροδικτύων αναγράφονται πιο κάτω [3] :

- Σταθερότητα τιμών:
Η επένδυση στο μικροδίκτυο μπορεί να μειώσει τον κίνδυνο αύξησης τιμής. Λειτουργεί ως ένα δίκτυο ασφαλείας έναντι των διάφορων απρόβλεπτων και δυνητικά υπερβολικών δαπανών ενέργειας έκτακτης ανάγκης. Προσφέρει επίσης προστασία από αυξανόμενους λογαριασμούς ρεύματος.
- Οικονομικό όφελος:
Ανάλογα με τους νόμους και τις πρωτοβουλίες της τοπικής αγοράς, τα MG μπορούν να μειώσουν τις τιμές φορτίου αιχμής, να ανταποκριθούν στην αγορά ζήτησης (Demand Response - DR) όπως και να παρέχουν υπηρεσίες διαχείρισης συχνότητας στο μεγαλύτερο δίκτυο. Μπορούν επίσης να κερδίσουν χρήματα μειώνοντας το φορτίο αιχμής, συμμετέχοντας σε αγορές DR και μέσω προσφορών υπηρεσιών ρύθμισης συχνότητας στο υπόλοιπο δίκτυο.
- Συνεχής παροχή:
Ενώ το ηλεκτρικό σύστημα στις περισσότερες ανεπτυγμένες χώρες είναι συνήθως σταθερό, οποιαδήποτε τυχόν διακοπή ρεύματος μπορεί να είναι δαπανηρή και αρκετά επικίνδυνη. Οι ακραίες καιρικές συνθήκες, η γήρανση του συστήματος και του εξοπλισμού, οι επιθέσεις στις φυσικές εγκαταστάσεις και οι επιθέσεις στον κυβερνοχώρο θέτουν αυξανόμενους κινδύνους για την ηλεκτρική υποδομή του έθνους σήμερα. Η απομονωμένη λειτουργία του μικροδικτύου μπορεί να εξασφαλίσει συνεχή λειτουργία του συστήματος σε περίπτωση μιας τέτοιας αποκοπής.
- Ένταξη ανανεώσιμων πηγών ενέργειας:
Οι ΑΠΕ συμβάλλουν σημαντικά στην ικανοποίηση ορισμένων από τις συνεχώς αυξανόμενες ενεργειακές απαιτήσεις του όλου του κόσμου. Η συνεχιζόμενη παγκόσμια ενεργειακή κρίση έχει δημιουργήσει απaráμιλλη ώθηση για τις ΑΠΕ. Η προβλεπόμενη επέκταση της δυναμικότητας ανανεώσιμων πηγών ενέργειας τα επόμενα πέντε χρόνια αναμένεται να ξεπεράσει την οποιαδήποτε προηγούμενη προσδοκία. Σύμφωνα με τον ΔΟΕ (Διεθνής

Οργανισμός Ενέργειας), οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας αναμένεται να αυξηθούν κατά περίπου 2400 GW μεταξύ 2022 και 2027. Αυτό αντιπροσωπεύει μια σημαντική επιτάχυνση 85% σε σύγκριση με την ανάπτυξη που σημειώθηκε στα προηγούμενα πέντε χρόνια. Επιπλέον, η προβλεπόμενη ανάπτυξη είναι σχεδόν 30% υψηλότερη από ό,τι είχε αρχικά προβλεφθεί στην τελευταία έκθεση, σηματοδοτώντας την πιο ουσιαστική ανοδική αναθεώρηση μέχρι σήμερα. Ως αποτέλεσμα, τα MG γίνονται όλο και πιο σημαντικά για τα συγκομιδή οφέλη των ΑΠΕ.

- Αυξημένη αξιοπιστία και ανθεκτικότητα:

Η ικανότητα των MGs για απομονωμένη λειτουργία, τους επιτρέπει να συνεχίσουν να παρέχουν ρεύμα στους πελάτες τους στην δυσμενή περίπτωση διακοπής ρεύματος. Η ικανότητα απομόνωσης μπορεί επίσης να είναι σημαντική για απομόνωση σφαλμάτων με διαχωρισμό των τροφοδοσιών διανομής.

- Αύξηση της ποιότητας ισχύος:

Τα συστήματα ενδέχεται να απαιτούν υψηλότερο επίπεδο ηλεκτρικής ενέργεια από αυτή που μπορεί να παρέχει το ηλεκτρικό δίκτυο. Η εγκατάσταση MG επιτρέπει καλύτερο έλεγχο των παραμέτρων τους, κάτι που είναι σημαντικό για ευαίσθητους εξοπλισμούς στην υγειονομική περίθαλψη, εξελιγμένη κατασκευή, εργαστήρια και άλλα ιδρύματα.

- Σχέση του MG με το δίκτυο κοινής ωφέλειας:

Τα MG μπορούν να θεωρηθούν ως το βασικό δομικό στοιχείο για έξυπνα δίκτυα. Δηλαδή τα μελλοντικά δίκτυα κοινής ωφέλειας μπορεί να είναι μια συλλογή διασυνδεδεμένων MGs που διαχειρίζονται τη ζήτηση και την προσφορά ενέργειας στα μικρά και μακροεπίπεδα.

- Υποστήριξη δικτύου:

Τα MG μειώνουν τη «συμφόρηση» του δικτύου και τα φορτία αιχμής. Αποθηκεύουν ενέργεια κατά τις ώρες εκτός αιχμής και είναι σε θέση να την ελευθερώσουν στο δίκτυο κατά τις ώρες αυξημένης αιχμής. Επίσης, προσφέρουν πολλές υπηρεσίες δικτύου όπως: ενέργεια, αποθήκευση και βοηθητικές υπηρεσίες.

1.4 Εφαρμογές Μικροδικτύων

Οι κύριες εφαρμογές των μικροδικτύων αναφέρονται πιο κάτω [3]

1. MG ιδρυμάτων και πανεπιστημιούπολεων

Τα MG των ιδρυμάτων και της πανεπιστημιούπολης αποτελούνται συνήθως από ένα ορισμένο αριθμό κτιρίων που βρίσκεται σε κάποια περιορισμένη γεωγραφική περιοχή. Ανάλογα με τον τύπο του ιδρύματος, οι απαιτήσεις για την ποιότητα τροφοδοσίας μπορεί να διαφέρουν. Οι περισσότερες κρατικές και κολεγιακές εγκαταστάσεις μπορεί να ικανοποιούνται με ένα μέτριο επίπεδο αξιοπιστίας τροφοδοσίας, ενώ τα ερευνητικά ιδρύματα ενδέχεται να απαιτούν τροφοδοτικό αρκετά υψηλότερης ποιότητας. Σε αυτή την περίπτωση MG, όλα τα κτίρια και οι συμμετέχοντες ανήκουν συχνά σε μια ενιαία οντότητα, και εκεί υπάρχει ένας μόνος υπεύθυνος λήψης αποφάσεων. Αυτή η δομή επιτρέπει γρήγορες αποφάσεις, και ο ιδιοκτήτης της κάθε εγκατάστασης είναι σε θέση να λάβει μέτρα εάν υπάρχουν εμφανή οφέλη.

2. Εμπορικά και βιομηχανικά MG

Αυτός ο τύπος MG είναι παρόμοιος με αυτόν που αναφέρθηκε παραπάνω, στο σημείο 1, στην περίπτωση που υπάρχει μια ενιαία ιδιοκτησία. Όταν ένα MG αναπτύσσεται σε μια ήδη υπάρχον

εμπορική ή βιομηχανική περιοχή με μια πληθώρα συμμετεχόντων, η περιπλοκότητα αυτού του σεναρίου μπορεί να αυξηθεί σημαντικά. Όταν ένα «εμπορικό - βιομηχανικό πάρκο» είναι ένα πράσινο έργο τόσο με υψηλές, όσο και με κανονικές δυνατότητες τροφοδοσίας, ο επενδυτής είναι σε θέση να επιλέξει μια δομή MG που να ταιριάζει σε όλες τις απαιτήσεις των πελατών διαφοροποιώντας τις πηγές ενέργειας τους, και να μπορεί να εκμεταλλευτεί την ώρα της ημέρας τιμολόγησης ηλεκτρικής ενέργειας, έχοντας εφεδρική ισχύ σε ετοιμότητα όποτε χρειαστεί. Οι εγκαταστάσεις που συνδέονται με τα δημόσια δίκτυα μπορούν να ελαχιστοποιήσουν το ενεργειακό κόστος και να ενισχύσουν την αυτόνομη.

3. MG της κοινότητας και της κοινής ωφέλειας

Όταν οι ιδιώτες είναι οι τελικοί πελάτες σε κυρίως κατοικημένες περιοχές, αλλά υπάρχουν και περιστασιακά διάφοροι επιχειρηματικοί όπως και βιομηχανικοί πελάτες, θα σχηματίσουν το λεγόμενο «μικροδίκτυο της κοινότητας και κοινής ωφέλειας». Μπορούν να συμπεριληφθούν αστικές περιοχές, κοινότητες όπως και αγροτικοί τροφοδότες. Συνδεδεμένα στο μεγάλο δίκτυο κοινής ωφέλειας, τέτοια MG μπορούν να προσφέρουν ισχύ σε αστικές όπως και διάφορες αγροτικές περιοχές. Αυτό το είδος MG μπορεί να περιέχει ένα ευρύ φάσμα ανανεώσιμων πηγών ή ορυκτών καυσίμων και πηγές καταναεμημένης ενέργειας. Τα διάφορα εθνικά ή και τα διεθνή πρότυπα και κανονισμοί θα διαδραματίσουν αποφασιστικό ρόλο στην εμπορική αποδοχή αυτού του τύπου MG. Οι αποφάσεις αυτές θα είναι πιο δύσκολες λόγω του μεγάλου όγκου και της πληθώρας των συμμετεχόντων σε τέτοιου είδους MG.

4. Απομονωμένα MG «εκτός δικτύου».

Ένα MG κοινότητας είναι συνήθως αρκετά παρόμοια με ένα απομονωμένο MG. Η βασική διάκριση είναι ότι δεν θα υπάρχει δεν θα είναι δυνατή η σύνδεση με το δίκτυο στις περισσότερες περιπτώσεις. Αν η απόσταση μεταξύ του απομονωμένου MG και της ηπειρωτικής χώρας το επιτρέπει, μια καλωδιακή σύνδεση με το δίκτυο κοινής ωφέλειας στην ηπειρωτική χώρα μπορεί να είναι δυνατή σε λίγες περιπτώσεις. Από την άλλη, ανάλογα με την υποδομή τροφοδοσίας του απομονωμένου δικτύου, η διαδικασία λήψης αποφάσεων θα μπορούσε να είναι πιο γρήγορη. Για γεωγραφικά απομονωμένες/απομακρυσμένες κοινότητες και αναπτυσσόμενες χώρες, τα MG «εκτός δικτύου» τονίζουν ότι είναι καταναεμημένες σε διαφορετικές πηγές ενέργειας. Πολλά απομακρυσμένα MG δημιουργούν τελικά επαφή σε ένα μεγαλύτερο. Έχουν σχεδιαστεί και άλλα απομακρυσμένα MG έτσι ώστε να είναι αυτόνομη για τη διατήρηση της ενεργειακής ασφάλειας.

1.5 Προηγμένες Εφαρμογές Μικροδικτύων

Εκτός των συνηθισμένων εφαρμογών τους, τα μικροδίκτυα βρίσκουν εφαρμογή και σε πιο Προηγμένα πεδία όπως αυτά που αναφέρονται πιο κάτω [3]:

- **Ναυτιλία:** Ναυτιλιακά συστήματα ισχύος, όπως αυτά που είναι εγκατεστημένα σε πλοία, πορθμεία, καράβια και άλλες θαλάσσιες συσκευές, λειτουργούν συνήθως απομονωμένα στη θάλασσα, κατά τη διάρκεια του ταξιδιού, και σε λειτουργία σύνδεσης στο δίκτυο κατά τη διάρκεια που παραμένουν στο λιμάνι. Επομένως, τα ναυτιλιακά MG είναι πραγματικά εμπορικά μικροδίκτυα που είναι προσιτά και έχουν μια προοπτική στην αγορά. Τα ναυτιλιακά MG αυξάνονται όλο και περισσότερο καθώς η ανάγκη για εξηλεκτρισμό των πλοίων αυξάνεται.

- Αεροδιαστημική: Η ιδέα των Aerospace MG έχει αποκτήσει αυξημένη σημασία τα τελευταία χρόνια. Σε αρκετές αεροδιαστημικές εφαρμογές, ηλεκτρικές πηγές αντικαθιστούν τελικά μηχανικές, υδραυλικές ή πνευματικές πηγές ενέργειας, όπως MG αεροδρομίων και ηλεκτρονικών αεροσκαφών.
- Διάστημα: Η αξιοπιστία των στοιχείων του συστήματος ισχύος ενός διαστημόπλοιου ή δορυφόρου είναι ζωτικής σημασίας για την επιτυχία ενός εξαιρετικά δαπανηρής διαστημικής αποστολής. Τα διαστημικά MGs έχουν αναδειχθεί ως βιώσιμη λύση για την κάλυψη των ενεργειακών απαιτήσεων των διαστημικών εφαρμογών κατά τη διάρκεια της αποστολής, όταν η σύνδεση με το κύριο δίκτυο προφανώς δεν είναι δυνατή.
- Βιολογικά: Τα τεχνητά οικοσυστήματα μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως συστήματα υποστήριξης ζωής (Life Support Systems - LSS) για την υποστήριξη μακράς διάρκειας ανθρώπινων διαστημικών αποστολών. Δεν υπάρχει πρόβλεψη για παραγωγή τροφίμων ή χώρος για διάθεση απορριμμάτων. Επομένως, ένα ανοιχτό LSS απαιτεί επεξεργασία τροφίμων και απορριμμάτων από τη Γη. Τα οικοσυστήματα που δεν συμμετέχουν σε καμία μορφή ανταλλαγής ύλης με το γύρω περιβάλλον αναφέρονται ως κλειστά οικολογικά συστήματα (Closed Ecologic Systems - CESS). Οι μακροχρόνιες επανδρωμένες διαστημικές αποστολές απαιτούν CES για την ελαχιστοποίηση της υποστήριξης από τη Γη. Περιλαμβάνουν πολλαπλά διακριτά διαμερίσματα που αναπαράγουν τις βασικές λειτουργίες ενός οικολογικού συστήματος συνεχώς και υπό μεταβαλλόμενες ρυθμίσεις.
- Νερό: Καθώς η εξάρτησή μας από την ηλεκτρική ενέργεια έχει αυξηθεί με την πάροδο των χρόνων, οι παρατεταμένες διακοπές ρεύματος μπορεί να έχουν σοβαρές επιπτώσεις στις κοινότητες. Επιπλέον, οι διακοπές ρεύματος μπορούν να εμποδίσουν τη λειτουργία των εγκαταστάσεων επεξεργασίας νερού, με αποτέλεσμα την έλλειψη καθαρισμού νερού, το οποίο είναι ζωτικής σημασίας ιδιαίτερα για τις προσπάθειες ανάκτησης μετά από καταστροφή. Η προσωρινή αναδιαμόρφωση των δικτύων ηλεκτρισμού και ύδρευσης σε τοπικά δίκτυα, όπως ηλεκτρικά MG και μικροδίκτυα νερού, που χρησιμοποιούν τοπικούς πόρους για την κάλυψη της τοπικής ζήτησης εκτός από το πρωτεύον δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας και/ή το δίκτυο ύδρευσης, αποτελεί μια στρατηγική για να αντιμετωπιστεί αυτό το φαινόμενο.

1.6 Προκλήσεις που αντιμετωπίζει η ενσωμάτωση μικροδικτύων

Παρά τα πιθανά οφέλη που προσφέρει η ενσωμάτωση των μικροδικτύων, υπάρχουν αρκετές προκλήσεις που αποτελούν τροχοπέδη στην περαιτέρω ανάπτυξη τους όπως [3]:

- Τεχνικές Προκλήσεις
- Προκλήσεις εξαρτημάτων και συμβατότητας
- Οικονομικές προκλήσεις
- Ενσωμάτωση καταναμημένων πηγών ενέργειας
- Προστασία
- Οικονομικές προκλήσεις

1.7 Μικροδίκτυα πλοίων

Ο εξηλεκτρισμός των πλοίων ξεκίνησε από τις αρχές του 20ου αιώνα. Στα ακόλουθα χρόνια, τα συστήματα ισχύος του πλοίου έχουν εξελιχθεί σε μεγάλο βαθμό τόσο σε μέγεθος όσο και σε επίπεδο ισχύος.

Πρόσφατα, λόγω της ραγδαίας αύξησης των τιμών των ορυκτών καυσίμων καθώς και της ολοένα και αυστηρότερης ρύθμισης των εκπομπών από την κυβέρνηση και τους διεθνείς οργανισμούς (δηλαδή τον International Maritime Organization - IMO), η χρήση πλοίων που χρησιμοποιούν συστήματα ηλεκτρικής πρόωσης και ολοκληρωμένα συστήματα ισχύος έχει τραβήξει μεγάλη προσοχή από την παγκόσμια βιομηχανία ναυπήγησης. Σε πρόσφατες μελέτες, οι ειδικοί βρήκαν ότι υπάρχει αυξανόμενο ενδιαφέρον για την ενσωμάτωση συστημάτων αποθήκευσης ενέργειας και ανανεώσιμων πηγών ενέργειας σε συστήματα πρόωσης για μείωση του κόστους ιστιοπλοΐας, φτιάχνοντας έτσι ένα συστήματα που αποτελούνται από ολοένα και περισσότερα μικροδίκτυα. [4]

Κατά την πάροδο των τελευταίων δεκαετιών η παγκόσμια οικονομία έχει αυξηθεί ραγδαία λόγω της ακόμη πιο μεγάλης ανάπτυξης του διεθνούς εμπορίου και της ανάγκης για παγκοσμιοποίηση. Το θαλάσσιο εμπόριο διαδραματίζει ένα σημαντικό ρόλο αφού διασφαλίζει μικρότερο κόστος μεταφοράς από άλλες μορφές μεταφοράς (για παράδειγμα αερομεταφορά) και την δυνατότητα να υποστηρίξει τη μεταφορά αρκετά μεγαλύτερου όγκου φορτίων (όπως αυτοκίνητα, έπιπλα και διάφορα καύσιμα). Το δίκτυο θαλάσσιων μεταφορών είναι υπεύθυνο για το 90% του παγκόσμιου εμπορίου σύμφωνα με τον Διεθνή Ναυτιλιακό Οργανισμό (IMO) και η ετήσια αναφορά του προβλέπει ότι θα τριπλασιαστεί μέχρι το 2050.

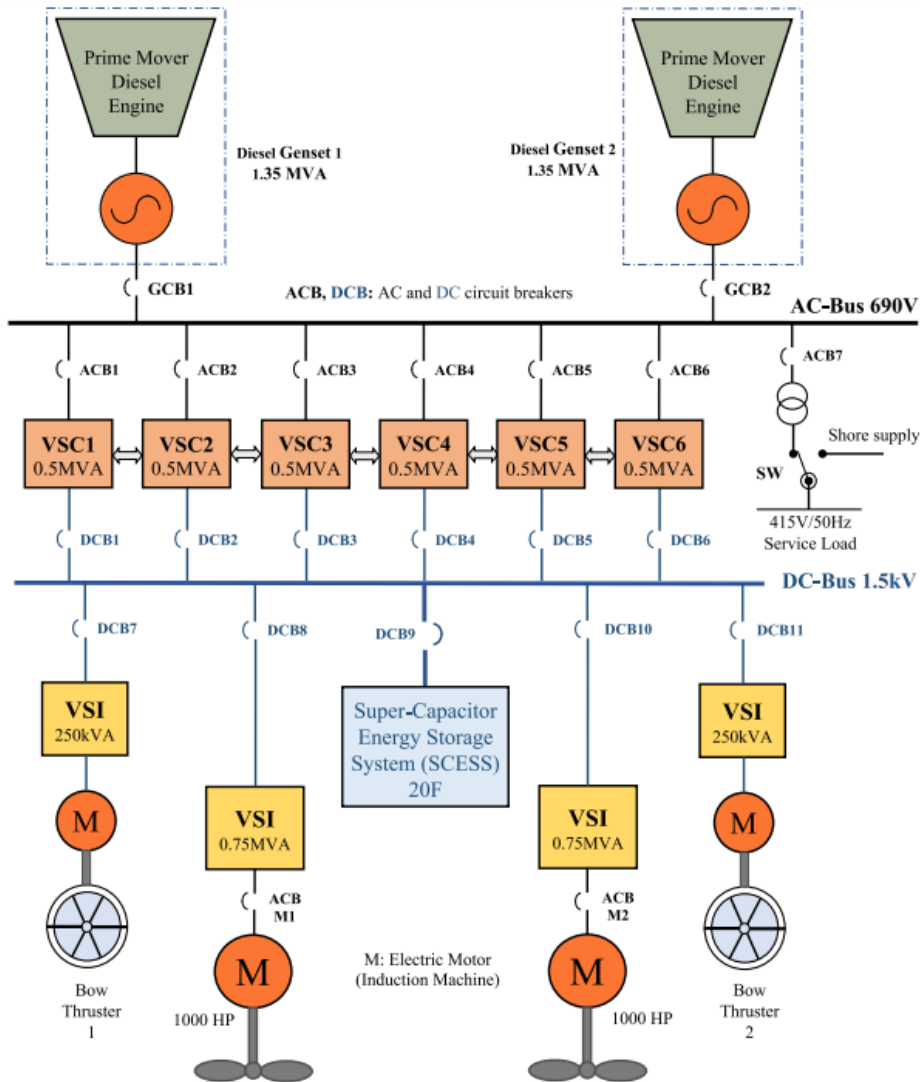
Η ανάπτυξη των συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας σε ναυτιλιακές εφαρμογές όπως πλοία, πορθμεία, και λιμάνια έχει ανάγκη πιο προηγμένες τεχνολογίες που ενσωματώνουν την ηλεκτρονική ισχύ σε συσκευές αποθήκευσης ενέργειας, συστήματα ελέγχου και εποπτείας και επί του σκάφους επικοινωνίες. Οι προκλήσεις αυτών των ηλεκτρικά απομονωμένων συστημάτων επιλύονται με άλλες εφαρμογές επίγειων μικροδικτύων, έτσι ώστε πολλές ιδέες και έννοιες να μπορούν να μετατοπιστούν και να προσαρμοστούν ώστε να μειώνεται η κατανάλωση καυσίμου σε θαλάσσιες εφαρμογές.

Για την εξυπηρέτηση διαφόρων τύπων πηγών ενέργειας, τα μικροδίκτυα μπορεί να επεκταθούν με δίκτυα συνεχούς ρεύματος που διασυνδέονται με τα δίκτυα εναλλασσόμενου ρεύματος μέσω μετατροπέων ηλεκτρονικών ισχύος (Power Electronics - PE), κυρίως μετατροπείς πηγών τάσης (Vehicle Stability Control - VSC). Το δίκτυο συνεχούς ρεύματος παρέχει επίσης στο μικροδίκτυο μεγαλύτερη ευελιξία όσον αφορά την προσαρμογή των συστημάτων αποθήκευσης ενέργειας μπαταρίας (Battery Energy Storage System - BESS). Τέτοια μικροδίκτυα είναι σήμερα γνωστά ως AC/DC (Alternating Current/ Direct Current)(Συνεχές Ρεύμα/ Εναλλασσόμενο Ρεύμα) μικροδίκτυα [5]. Στα σύγχρονα ηλεκτρικά πλοία, η εφαρμογή και λειτουργία μόνο με συνεχές ρεύμα είναι πιο κοινή και η σύνδεση τους στο κυρίως δίκτυο κατά την περίοδο του ελλιμενισμού και η τροφοδοσία σε διάφορα φορτία επί του πλοίου γίνεται με DC/AC μετατροπείς.

Η ευελιξία και η δυνατότητα σχεδιασμού και διαμόρφωσης για αυτόνομες και συνδεδεμένες στο δίκτυο εφαρμογές, τα μικροδίκτυα AC/DC, έχουν καταστήσει κατάλληλα για εφαρμογή σε πλοία με διαφορετικές υβριδικές αρχιτεκτονικές.

Το μικροδίκτυο πλοίου είναι εγγενώς απομονωμένο όταν παρέχει ρεύμα στο σκάφος στη θάλασσα κατά τη διάρκεια της πρόωσης, και τροφοδοτείται κυρίως μέσω των βασικών κινητήρων του, συνήθως γεννητριών κινητήρων ντίζελ (Diesel Engine Generator - DEG), που καθορίζουν τη συχνότητα λειτουργίας της τροφοδοσίας AC επί του σκάφους και τη ρύθμιση αυτής της συχνότητας επιτυγχάνεται μέσω του ελέγχου της ταχύτητας των στροφών της γεννήτριας. Η ικανότητα ελιγμών του πλοίου απαιτεί υψηλή δυναμική απόκριση και, για πλοία με ηλεκτρική πρόωση, τα ανακλώμενα

φορτία στις γεννήτριες μπορεί να είναι ψηλά και παλλόμενη φύσης, που μπορεί να προκαλέσει σημαντική πτώση στην ταχύτητα της γεννήτριας εκτός εάν υπάρχει πρόσθετη γεννήτρια στο δίκτυο.



Σχήμα 1.2 Μονογραμμικό διάγραμμα ενός συστήματος ισχύος AC/DC

1.8 Μικροδίκτυα Λιμανιών

Τα λιμάνια αποτελούν πολύπλοκους κόμβους λόγω των πολλών νόμων που καλούνται να ακολουθήσουν όπως θαλάσσιοι κανονισμοί, τεχνολογίες μεταφοράς αλλά και επιχειρησιακές όπως και πολιτικές απαιτήσεις. Ως εκ τούτου απαιτούνται υψηλές επενδύσεις για την επέκταση των λιμενικών εγκαταστάσεων και υποδομών για την ενίσχυση της διατήρησης και συντήρησης τους προκειμένου ενισχυθούν όλες οι θαλάσσιες δραστηριότητες. [6]

Ο αυξημένος αριθμός πλοίων, γερανών φορτηγών και πολλών άλλων εξαρτημάτων ζωτικής σημασίας για την ομαλή λειτουργία του λιμένα απαιτεί υψηλή κατανάλωση ενέργειας. Επιπρόσθετα, το μέγεθος των πλοίων έχει αυξηθεί κατά πολύ στις μέρες μας, και αυξάνεται όλο και περισσότερο, με πλοία να φτάνουν μέχρι εκατοντάδες μέτρα και κιλοτόνων, έτσι ώστε να ικανοποιούνται οι σύγχρονες ανάγκες του ανθρώπου για την μεταφορά εμψύχου και άψυχου δυναμικού. Όλοι αυτοί οι παράγοντες έχουν ως

αποτέλεσμα την καύση ενός τεράστιου όγκου ορυκτών καυσίμων προκειμένου να μπορούν να καλυφθούν οι ανάγκες του λιμανιού.

Η υπερβολική χρήση ενέργειας οδηγεί σε ενεργειακά ζητήματα ανισορροπίας τα οποία καθιστούν το υπάρχον ενεργειακό σύστημα μη αποτελεσματικό και επιρρεπές σε συχνές διακοπές ρεύματος και ως εκ τούτου τεράστιες οικονομικές απώλειες.

Έρευνες για ανάπτυξη ενός πιο αποδοτικού συστήματος ενέργειας για λιμάνια ελκύουν το ενδιαφέρον πολλών τα τελευταία χρόνια. Οι τεχνολογίες ενσωμάτωσης των ΑΠΕ και συστημάτων αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας (ESS) μέσω συστημάτων μικροδικτύων θεωρούνται πλέον αναγκαίες. Με τη χρήση μικροδικτύων η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας δεν περιορίζεται στα ορυκτά καύσιμα αλλά το δίκτυο είναι ευέλικτο να αφομοιώσει διάφορες μορφές ΑΠΕ όπως ανεμογεννήτριες, φωτοβολταϊκά, βιομάζα, ενέργεια ωκεανών, κυψέλες καυσίμου και γεωθερμία. Με τη χρήση ESS σε λιμάνια θα γίνεται καλύτερη κατανομή ενέργειας και θα μπορούν να λειτουργήσουν σε περίπτωση αποκοπής και να αποθηκεύσουν την επιπλέον ενέργεια.

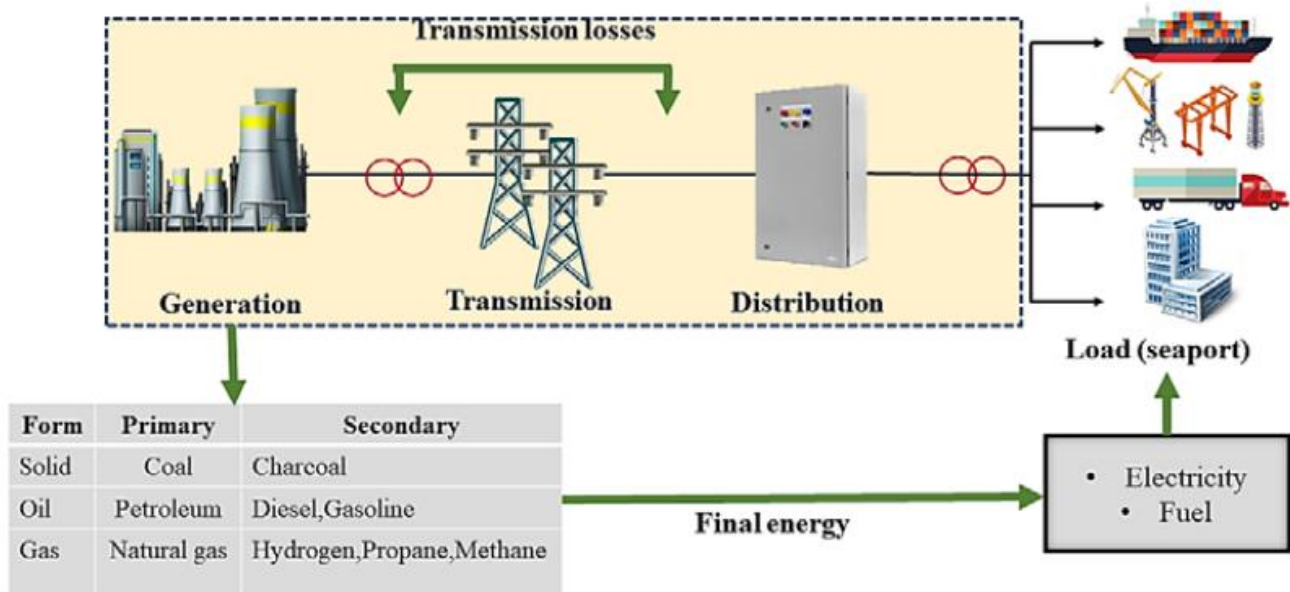
Η στρατηγική του Διεθνούς Ναυτιλιακού Οργανισμού - International Maritime Organization (IMO) προβλέπει τη μείωση των εκπομπών αερίου θερμοκηπίου, συγκεκριμένα την μείωση του άνθρακα σε διεθνή ναυτιλία (μείωση εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα – CO₂ ανά μέσο όρο σε όλη τη διεθνή ναυτιλία κατά τουλάχιστον 40% μέχρι το 2030, συνεχίζοντας τις προσπάθειες για 70% σε σύγκριση με το 2008) και ότι η συνολική ετήσια εκπομπή GHG από τη διεθνή ναυτιλία θα πρέπει να μειωθούν τουλάχιστον κατά 50% έως το 2050 σε σύγκριση με το 2008 [7].

Table 1. Αλλαγές στο όριο Θείου του καυσίμου. Πηγή: Marpol 2018 Annex VI

Ημερομηνία	Sulfur Limit in Fuel (% m/m)	
	SO _x ECA	Global
2000	1.5	4.5
2010	1.0	
2012		0.1
2015	0.5	
2020		

Οι στόχοι του IMO για το 2030 είναι:

Η αρχική στρατηγική για την μείωση των Αερίων Θερμοκηπίου GHG (Greenhouse Gas) προβλέπει, ειδικότερα, μείωση της έντασης άνθρακα της διεθνούς ναυτιλίας (για μείωση των εκπομπών CO₂ ανά μεταφορικό έργο, κατά μέσο όρο στη διεθνή ναυτιλία, κατά τουλάχιστον 40% έως το 2030, συνεχίζοντας τις προσπάθειες προς 70% έως το 2050, σε σύγκριση με το 2008)· και ότι οι συνολικές ετήσιες εκπομπές GHG από τη διεθνή ναυτιλία θα πρέπει να μειωθούν τουλάχιστον κατά 50% έως το 2050 σε σύγκριση με το 2008.

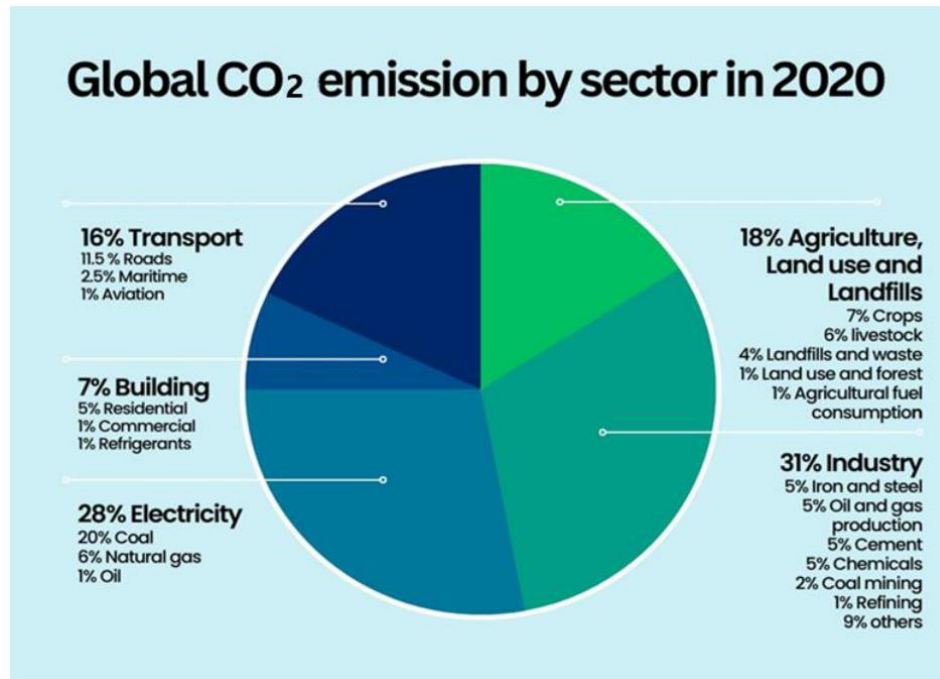


Σχήμα 1.3 Το συνολικό πλαίσιο της δομής με χρήση συμβατικών καυσίμων.

Από μεριάς λιμανιών, ο εξηλεκτρισμός είναι η αντικατάσταση της ενέργειας που παράγεται μέσω ορυκτών καυσίμων με πιο εξελιγμένες τεχνολογίες που χρησιμοποιούν ηλεκτρισμό και είναι πιο φιλικές προς το περιβάλλον. Οι θαλάσσιες μεταφορές συμβάλλουν αρκετά στην ατμοσφαιρική ρύπανση και την κλιματική αλλαγή για 2 κύριους λόγους:

- Το λιμάνι είναι η περιοχή όπου οι εκπομπές στην ατμόσφαιρα ελέγχονται λιγότερο
- Μεγάλη εξάρτηση του στα ορυκτά καύσιμα.

Με τον αριθμό πλοίων να αυξάνεται συνεχώς οι διαχείριση ενέργειας των λιμανιών καλείται να εφοδιάσει επαρκώς τα πλοία κατά τη διάρκεια που παραμένουν σε αυτά. Τα πλοία κατά τη διάρκεια παραμονής τους στο λιμάνι τροφοδοτούνται με ενέργεια από αυτό αλλά και εφοδιάζονται επαρκώς μέσω του λιμανιού για το ταξίδι τους το οποίο διαρκεί αρκετό καιρό, πριν τον επόμενο σταθμό τους στο επόμενο λιμάνι. Τα μεγάλα πλοία έχουν ισχύ μεταξύ 1MW και 6MW. Οι κύριες μηχανές παραμένουν εκτός λειτουργίας κατά την περίοδο ελλιμενισμού, αλλά οι βοηθητικές μηχανές παραμένουν ενεργές έτσι ώστε να προμηθεύουν επαρκώς τα φορτία του σκάφους όπως φωτισμό, εξαερισμό, ψύξη και άλλα. Σύμφωνα με έρευνα σε διάφορου τύπους σκαφών, ο μέσος χρόνος ελλιμενισμού είναι μεταξύ 21 και 52 ωρών. Η καύση ντίζελ κατά τη διάρκεια αυτών των ωρών εγχείει σοβαρές εκπομπές αερίου θερμοκηπίου – Greenhouse Gas (GHG).



Σχήμα 1.4 Εκπομπές GHG ανά τομέα το 2020

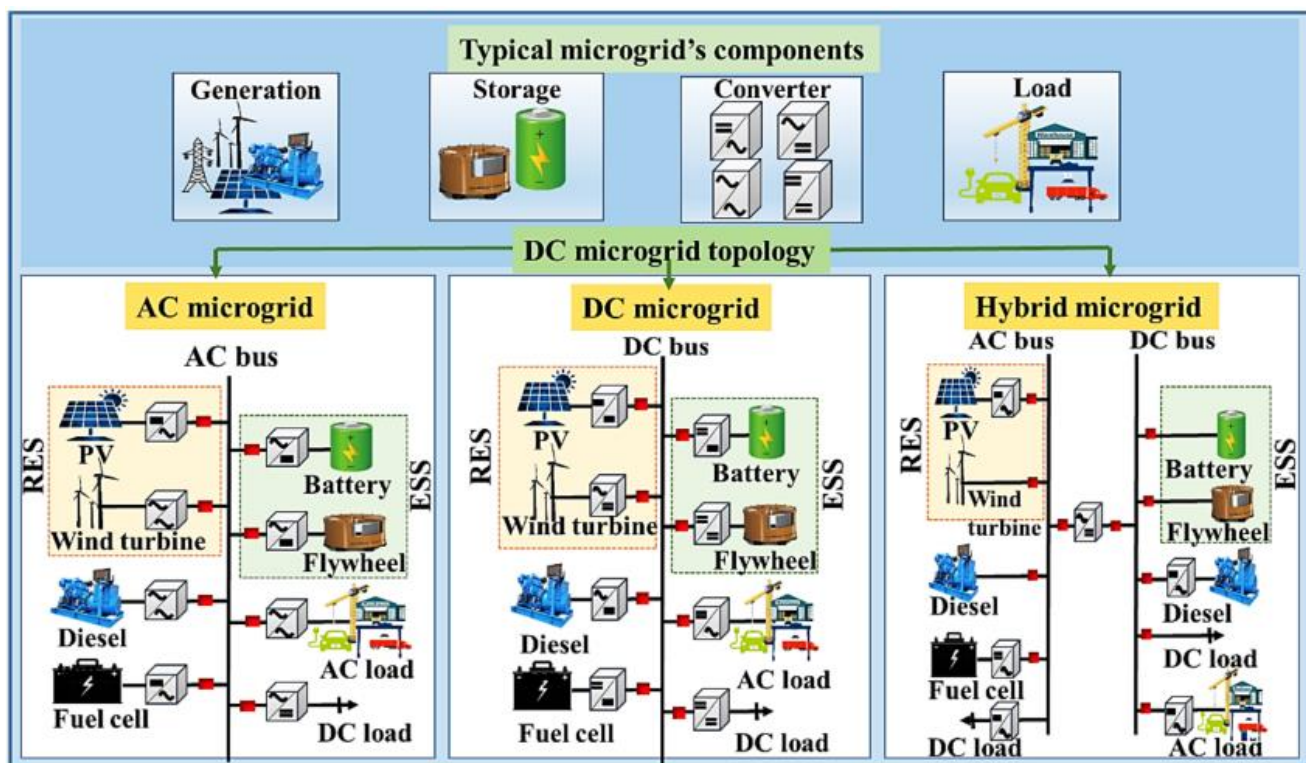
Στο Σχήμα 1.4 Εκπομπές GHG ανά τομέα το 2020 παρατηρείται ότι ο τομέας της ναυτιλίας ευθύνεται για το 16% των εκπομπών GHG

Μία λύση αυτού του προβλήματος αποτελεί η χρήση ηλεκτρικής ενέργειας στη στεριά. Αυτή η τεχνολογία γνωστή ως cold ironing. Cold ironing είναι η διαδικασία παροχής ηλεκτρικής ενέργειας στην ξηρά σε ένα πλοίο που βρίσκεται αγκυροβολημένο ενώ οι κύριες και βοηθητικές του μηχανές παραμένουν απενεργοποιημένες. Παρέχει σημαντικά πλεονεκτήματα με τη μείωση της εξάρτησης από ορυκτά καύσιμα και την ελαχιστοποίηση των εκπομπών αερίου θερμοκηπίου. Η ενέργεια που απαιτείται μπορεί να παρέχεται κατευθείαν από το δίκτυο, μέσω ΑΠΕ η να ληφθεί μέσω ESS (energy storage systems). Μερικά λιμάνια, ειδικά τα πιο μικρά δεν υιοθετούν αυτή την τεχνική λόγω περιορισμών. Για να επιλυθεί αυτό το πρόβλημα σχηματίζονται εναλλακτικές πηγές ενέργειας με τη χρήση μικροδικτύου πλοίου. Αυτή η μέθοδος λειτουργεί ως φορητό cold ironing με κοινή χρήση ενέργειας από πολλά πλοία στο λιμάνι. Ακόμη μια καινοτόμα λύση με που βασίζεται στην ίδια ιδέα είναι γνωστή και ως vehicle-to-grid και boat-to-grid. [8]

Με τις τελευταίες βιομηχανικές εξελίξεις και καινοτομίες στα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας, οι μεταφορές μέσω πλοίων τείνουν επίσης προς την ιδέα του να λειτουργούν αμιγώς ηλεκτρικά – All-Electric ship (AES). Συμβατικά, τα πλοία χρησιμοποιούσαν τον ατμοστρόβιλο ως κύριο μηχανισμό κίνησης αλλά αυτός εξελίχθηκε σε κινητήρες με πιστόνι ατμού το 1850. Ο εξηλεκτρισμός του πλοίου ξεκίνησε με ένα IPS (Integrated propulsion system) που είναι που χρησιμοποιούσε ηλεκτρική πρόωση. Εξελίχθηκε σε υβριδικό σύστημα (Hybrid Propulsion System - HPS) με την ενσωμάτωση στοιχείων αποθήκευσης και μελετάται η μοντελοποίηση της επόμενης έκδοσης AES με χρήση φωτοβολταϊκών. Στόχος τους είναι η παροχή καλύτερης ενέργειας μέσω υβριδικού μοντέλου που συνδυάζει κινητήρα ντίζελ και ΑΠΕ.

Λόγω της γεωγραφικής τους τοποθεσίας, ευνοείται η χρήση ΑΠΕ αφού υπάρχει μεγάλη επιφάνεια για εγκατάσταση φωτοβολταϊκών και ανεμογεννητριών αλλά και άλλων μορφών όπως ενέργεια κυμάτων (π.χ. Port Kembla in Australia), ενέργεια παλίρροιας (Port of Digby, Nova Scotia) και γεωθερμική ενέργεια. [9] [10]

Στο AC μικρόδίκτυο ο πιο κοινός ζυγός είναι ο AC αλλά AC/DC μετατροπείς χρησιμοποιούνται για ESS και γεννήτριες που παράγουν DC ρεύμα όπως φωτοβολταϊκά και κυψέλες καυσίμου. Οι μετατροπείς AC-to-DC βρίσκουν εφαρμογή για την παροχή φορτίων DC. Ωστόσο για τα μικροδίκτυα συνεχούς ρεύματος ο κοινός διάυλος είναι σε DC και απαιτεί μετατροπείς AC-to-DC για εξαρτήματα παραγωγής AC και τα φορτία τροφοδοτούνται μέσω μετατροπέων DC-to-AC. Στην περίπτωση υβριδικών μικροδικτύων υπάρχουν και οι δύο τύποι ζυγών στο ίδιο δίκτυο. Επιτρέπει την ευέλικτη σύνδεση εξαρτημάτων DC και AC με τους διάυλους ανάλογα και μειώνει τους περιττούς μετατροπείς. Πιο κάτω φαίνονται οι 3 τοπολογίες και οι βασικές τους συνδέσεις στο δίκτυο.



Σχήμα 1.5 Επιλογές τοπολογίας μικροδικτύων σε λιμάνια

Η AC τοπολογία χρησιμοποιείται πιο συχνά και έχει γίνει πρότυπη επιλογή από τα πρώιμα στάδια ανάπτυξης των μικροδικτύων λόγω της ικανότητας της να συνδέεται στο κεντρικό δίκτυο AC μεταφοράς ρεύματος, της απλής της δομής και της οικονομικής της βιωσιμότητας. Υπό κανονικές συνθήκες όταν ένα μικρόδίκτυο είναι συνδεδεμένο με το κεντρικό δίκτυο, τα AC μικροδίκτυα αποτελούν μια ιδανική επιλογή. Έχουν την δυνατότητα να μεταφέρουν ενέργεια σε μεγάλες αποστάσεις, να προσαρμόσουν την τάση εύκολα σε διαφορετικά επίπεδα για πολλές εφαρμογές και εφαρμόζεται σε επαγωγικούς κινητήρες. Παρ όλα αυτά οι γραμμές μεταφοράς μεγάλων αποστάσεων είναι ένα από τα εμπόδια που το καθιστούν μη επικερδές οικονομικά και μη πρακτικό σε πολλές περιπτώσεις.

Εάν το μικρόδίκτυο είναι τελείως αποκομμένο από το κεντρικό δίκτυο το DC είναι η προτιμότερη επιλογή. Η ανάπτυξη της τεχνολογίας των ηλεκτρονικών ισχύος αποτέλεσε στην αύξηση των DC φορτίων γεγονός που υποδεικνύει ότι ο εκσυγχρονισμός του υπάρχοντος ενεργειακού συστήματος είναι αναπόφευκτος. Η συνεχής AC διαμόρφωση απαιτεί πολλούς μετατροπείς γεγονός που μειώνει την αποδοτικότητα του μικροδικτύου. Ως αποτέλεσμα, τα DC μικροδίκτυα έχουν ελκύσει το ενδιαφέρον στην ερευνητική κοινότητα ψάχνοντας τρόπους για άμεση συνδεσιμότητα με DERs, EESs

και DC φορτία μέσω του DC ζυγού μειώνοντας την εξάπλωση των AC δικτύων. Τα DC συστήματα διανομής σταδιακά ξεκινούν να βρίσκουν εφαρμογή σε κατασκευές αεροσκαφών, αυτοκινήτων και πλοίων. Στον ναυτιλιακό τομέα, η υιοθέτηση DC τοπολογίας επιφέρει πληθώρα πλεονεκτημάτων στο επί του σκάφους σύστημα ισχύος εξαλείφοντας συχνότητες περιορισμού και επιτρέποντας τη χρήση υψηλής ταχύτητας γεννητριών και προσφέροντας σχηματική διαχείριση. Τα συστήματα DC κυριάρχησαν έναντι των AC στον ναυτιλιακό τομέα για τους εξής λόγους [12]:

1. Βελτιώσεις στην απόδοση του βασικού κινητήρα και στην εξοικονόμηση κόστους καυσίμου.
2. Μείωση σε βάρος και χώρο
3. Συντελεστής ισχύος μονάδας για γεννήτριες
4. Χαμηλές απώλειες μετάδοσης
5. Γρηγορότερη και πιο εύκολη παράλληλη σύνδεση γεννητριών
6. Ευέλικτη και απλή εφαρμογή συστημάτων αποθήκευσης ενέργειας

Ωστόσο, τα AC αλλά και τα DC μικροδίκτυα βασίζονται στους μετασχηματιστές όταν αλληλοεπιδρούν με το άλλο είδος δικτύου μέσω ζυγών με αποτέλεσμα να υπάρχουν απώλειες κατά τον μετασχηματισμό. Μια ευέλικτη λύση είναι ένα υβριδικό AC/DC μικρόδίκτυο για την ενσωμάτωση εξαρτημάτων που βασίζονται σε AC αλλά και DC ρεύμα που μειώνει την εξάρτηση από μετασχηματιστές. Η μείωση σε εξοπλισμό μετασχηματισμού βελτιώνει την αποδοτικότητα και αξιοπιστία μειώνοντας και το κόστος.

Με την ύπαρξη δύο τύπων ζυγών ο έλεγχος, η λειτουργία και η διαχείριση του γίνονται πιο πολύπλοκα.

Εξ ορισμού, ένα μικροδικτύου λιμανιού αναφέρεται σε ένα λιμάνι που χρησιμοποιεί τεχνολογίες μικροδικτύου για την κάλυψη των αναγκών του. Στόχος είναι η βελτίωση της αποδοτικότητας του λιμανιού, η μεγιστοποίηση της διείσδυσης των ΑΠΕ, η παροχή ευελιξίας για αποθήκευση ενέργειας και η να επιτραπεί σε περισσότερες πωλήσεις ενέργειας στην αγορά μέσω του κύριου δικτύου.

1.9 Ομοιότητες και οι διαφορές μεταξύ των μικροδικτύων πλοίων και στεριάς:

Ομοιότητες: Τα πλαίσια μικροδικτύου λιμένων έχουν τα ίδια στοιχεία με τα επίγεια όπως ΑΠΕ ESS μετατροπείς και φορτίο. Και τα δύο έχουν την δυνατότητα λειτουργίας κατά τη διάρκεια που αυτά είναι συνδεδεμένα με στο κυρίως δίκτυο αλλά και απομονωμένα από αυτό. Από αυτή τη μεριά ο βασικός τους έλεγχος και τα πλαίσια λειτουργίας τους είναι παρόμοια.

Διαφορές: η κύρια διαφορά μεταξύ των δύο είναι ότι τα χερσαία δίκτυα συνήθως λειτουργούν με στόχο την παραγωγή ενέργειας η οποία θα αναλωθεί σε φωτισμό ή θέρμανσης, ενώ όσο αφορά τα πλοία, στην ανάλωση ενέργειας θα πρέπει να ληφθεί υπόψιν η υλικοτεχνική αλλά και ηλεκτρική πλευρά. Για την υλικοτεχνική μεριά πρέπει να υπολογιστούν πολλοί παράγοντες όπως η κατανομή του αγκυροβόλιου, ο προγραμματισμός γερανού λιμένα, η διαδρομή και διάρκεια του ταξιδιού αλλά και οι μεταφορές των φορτίων. Για την ηλεκτρική μεριά, κάθε εφαρμογή χρειάζεται διαφορετικό επίπεδο ενέργειας η οποία είναι ασταθής και εξαρτάται από πόλους παράγοντες.

Επιπλέον, οι εφαρμογές cold ironing σε μικροδίκτυα θαλάσσιων λιμένων θα προκαλέσουν συχνές στάσεις στα λιμάνια, κάτι που θα επηρεάσει την απόδοση του μικροδικτύου. Ακόμα, το λιμάνι περιορίζεται και από τις αυστηρές πολιτικές που αλλάζουν με συνεχώς. Πολλά εμπλεκόμενα μέρη όπως λιμενικές οντότητες, ενδιαφερόμενοι φορείς, φορείς χάραξης πολιτικής, λιμενικές αρχές, και η κυβέρνηση δυσκολεύουν την οποιαδήποτε απόφαση για σχεδιασμό των λιμανιών. Όλες αυτές οι

συνθήκες καθιστούν τα μικροδίκτυα θαλάσσιων λιμένων πιο πολύπλοκα σε σύγκριση με τα χερσαία μικροδίκτυα.

Η εφεύρεση της ηλεκτρικής πρόωσης επέφερε την δυνατότητα για πλήρη εξηλεκτρισμό των συστημάτων πλοίων (AES). Αυτή η καινοτομία μπορεί να επιφέρει πολλά πλεονεκτήματα όπως μείωση του ανθρώπινου δυναμικού, ελαχιστοποίηση του φόρτου εργασίας συντήρησης, βελτίωση της κατανάλωσης καυσίμων, γρηγορότερη εκκίνηση πλοίων και μείωση των εκπομπών λόγω ντίζελ.

1.10 Διαχείριση λειτουργίας και ενεργειακός Σχεδιασμός Μικροδικτύου Θαλάσσιων Λιμένων

Η πολυπλοκότητα του συγχρονισμού διάφορων πηγών ενέργειας σε ένα μικρόδίκτυο, η διαχείριση του φορτίου, ο συγχρονισμός με το κυρίως δίκτυο, η εκπλήρωση των πολιτικών υποχρεώσεων και τα περιβαλλοντικά κριτήρια αναγνωρίζουν την επιτακτική σημασία χρήσης ενός συστήματος διαχείρισης ενέργειας (PMS/EMS) στο μικρόδίκτυο. Τα συστήματα διαχείρισης ενέργειας στέλνουν σήμα στο συγκεκριμένο εξάρτημα μέσω του συστήματος επικοινωνίας αφού προσδιοριστεί το κατάλληλο αποτέλεσμα για τις γεννήτριες και τις μπαταρίες. Οι τεχνικές που βασίζονται στη βελτιστοποίηση της λειτουργίας του συστήματος γίνονται όλο και πιο διαδεδομένες αφού είναι ικανές να παρέχουν μια καλύτερη λύση με τη χρήση αναλύσεων και αλγορίθμων βελτιστοποίησης.

Η κατανάλωση ενέργειας σε ένα πλοίο είναι διαφορετική ανάλογα με την ταχύτητα και την απόσταση που διανύει το κάθε ένα. Με τη βοήθεια των ηλεκτροκινητήρων τα AES έχουν την δυνατότητα να ρυθμίσουν την ταχύτητά τους με σκοπό την εξοικονόμηση ενέργειας. Οι προσομοιώσεις δείχνουν ότι με τη βελτιστοποίηση του προγραμματισμού των ενσωματωμένων πηγών ενέργειας μπορεί να αποφευχθεί η χαμηλή απόδοση και να ενισχυθεί η εξοικονόμηση καυσίμου στο έπακρο.

1.11 Προκλήσεις που παρουσιάζονται ως τροχοπέδη στην ανάπτυξη μικροδικτύων σε πλοία και λιμάνια

Τεχνικές δυσκολίες

Η εξάρτηση μόνο από τη χρήση του δικτύου κοινής ωφέλειας δεν είναι αποτελεσματική για τα μεγάλα όγκου εξαρτήματα του λιμανιού. Τα δίκτυο θα πρέπει να είναι αρκετά κοντά στο λιμάνι αλλιώς η τιμή των καλωδίων είναι αρκετά αυξημένη. Για αυτό το λόγο η χρήση ΑΠΕ καθίσταται πιο οικονομική λόγω αφού μπορούν να εγκατασταθούν σε αρκετά βολικές τοποθεσίες. Παρ' όλα αυτά, τα λιμάνια διαθέτουν περιορισμένο χώρο που δυσκολεύει την εγκατάστασή τους {28}. Η εγκατάσταση φωτοβολταϊκών είναι μια λύση αλλά χρειάζονται μεγάλα μερίδια γης και δεν είναι δυνατή η εγκατάστασή τους για μεγάλης κλίμακας εκμετάλλευση. Πολλά από τα εμπορικά AES χρησιμοποιούν γεννήτριες ντίζελ και μπαταρίες για πρόωση και παροχή φορτίων επί του σκάφους. Η χρήση φωτοβολταϊκών σε πλοία είναι δύσκολη λόγω του ότι έχουν περιορισμένο χώρο και αυτός χρησιμοποιείται για την κάλυψη των αναγκών του ταξιδιού όπως για φορτία που μεταφέρουν. Επιπλέον, ο συγχρονισμός τους θα είναι δύσκολος εξαιτίας του ότι κινούνται διαρκώς και είναι απομονωμένα στην μέση του ωκεανού.

Όσο αφορά τις ανεμογεννήτριες, η εγκατάστασή τους χρειάζεται ογκώδη κομμάτια γης τα οποία θα πρέπει να απογυμνωθούν από τα είδη χλωρίδας και πανίδας που επιβιώνουν στην περιοχή. Επιπλέον απαιτεί μεγάλα κεφάλαια και πολλές φορές προκαλεί οπτική και ακουστική ρύπανση.

Επίσης, η παραγωγή δεν είναι βέβαιη αφού εξαρτώνται κυρίως από τα καιρικά φαινόμενα άρα πρέπει να συνδυάζονται και με συσκευές αποθήκευσης ή κάποια άλλη μορφή παραγωγής μέσω συμβατικών καυσίμων.

Διαχείριση

Κατά τη φάση σχεδιασμού, η εύρεση του βέλτιστου σχεδιασμού του μικροδικτύου με τα κατάλληλα στοιχεία είναι αρκετά δύσκολη. Οι έρευνες που διεξήχθησαν δεν έχουν επαρκή πραγματικά δεδομένα και δεν μπορεί να προσδιοριστεί κατά πόσο οι προσομοιώσεις θα μπορούν να ανταποκριθούν στην πραγματικότητα και να εφαρμοστούν σε πραγματικό χρόνο.

Λαμβάνοντας υπόψιν ότι τα μικροδίκτυα πλοίων είναι σχετικά καινούριο θέμα, το ανθρώπινο δυναμικό που κατέχει τις απαιτούμενες γνώσεις είναι περιορισμένο και ως αποτέλεσμα οι καινοτομίες είναι δύσκολο να χειριστούν και αποφασίζουν να μην λάβουν ρίσκο για αλλαγή του ήδη υπάρχοντος συστήματος. Εκτός από αυτό, ο σχεδιασμός και εκτέλεση χρειάζονται αρκετό χρόνο πριν να πραγματοποιηθούν.

Ασφάλεια και κανονισμοί λειτουργίας

Κατά τη διάρκεια όπου το σύστημα είναι απομονωμένο, η αστάθεια του συστήματος αποτελεί μεγάλη πηγή ανησυχίας. Όσο αφορά την ασφάλεια, η έλλειψη επαρκούς συστήματος παρακολούθησης αφήνει τα μικροδίκτυα εξαιρετικά ευάλωτα σε κινδύνους όπως κυβερνοαπειλές.

2^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ

2 Πλοία

2.1.1 Εισαγωγή

Τα πλοία αποτελούν αναπόσπαστο κομμάτι της ανθρώπινης ιστορίας για χιλιάδες χρόνια, λειτουργώντας ως οχήματα για εξερεύνηση, μεταφορά και εμπόριο. Από τα αρχαία πλοία που κινούνται με κουπιά και πανιά μέχρι τα σύγχρονα πλοία μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων και πολεμικά πλοία ναυτικού, έχουν διαδραματίσει κρίσιμο ρόλο στην διαμόρφωση του σύγχρονου κόσμου. Σήμερα η ναυτιλία είναι η ραχοκοκαλιά του παγκόσμιου εμπορίου, μεταφέροντας αγαθά και πρώτες ύλες σε τεράστιες αποστάσεις και συνδέοντας χώρες και ηπείρους. Επιπλέον, χρησιμοποιούνται για άμυνα, επιστημονική έρευνα και τουρισμό, καθιστώντας τα απαραίτητα για τη σύγχρονη κοινωνία.

2.2 Σημασία των Πλοίων στην καθημερινή ζωή

Η ναυτιλία επωμίζεται το ενενήντα τοις εκατό της παγκόσμιας μεταφοράς φορτίου, ωστόσο, το πετρελαιοκίνητο πλοίο παράγει μεγάλες ποσότητες αερίων του θερμοκηπίου και ρύπων όπως οξείδια του θείου και οξείδια του αζώτου. Για να λύσει τα θέματα αυτά, ο International Maritime Organization (IMO) έχει προτείνει «Μέτρα Ενεργειακής Απόδοσης». Ως εκ τούτου, η βιομηχανία και η ακαδημαϊκή κοινότητα δίνουν μεγαλύτερη προσοχή στο συστήματα ηλεκτρικής πρόωσης. Όλο και περισσότερα ηλεκτρικά πλοία ενσωματώνουν πράσινες πηγές ενέργειας και συστήματα αποθήκευσης ενέργειας (ESS) στη λειτουργία τους.

Πιο κάτω δίνονται κάποια στατιστικά που αποδεικνύουν αυτή τους τη σημασία [13]:

1. Σύμφωνα με Διεθνές Ναυτιλιακό Εμπόριο, περίπου το 90% του παγκόσμιου εμπορίου εκτελείται μέσω πλοίων.

2. Το Παγκόσμιο Συμβούλιο Ναυτιλίας εκτιμά ότι ο παγκόσμιος εμπορικός στόλος, ο οποίος περιλαμβάνει όλα τα εμπορικά πλοία άνω των 100 μικτών τόνων αποτελείται από περισσότερα από 50 000 πλοία.
3. Το 2020, ο συνολικός όγκος του θαλάσσιου εμπορίου έφτασε τους 11,5 δισεκατομμύρια τόνους, σύμφωνα με τη Διάσκεψη των Ηνωμένων Εθνών για το Εμπόριο και Ανάπτυξη.
4. Η παγκόσμια βιομηχανία κρουαζιέρας παράγει πάνω από 150 δισεκατομμύρια δολάρια σε οικονομική δραστηριότητα και υποστηρίζει περισσότερες από 1,2 εκατομμύρια θέσεις εργασίας σύμφωνα με την Cruise Lines International Association.
5. Το Πολεμικό Ναυτικό των Ηνωμένων Πολιτειών, το οποίο είναι μια από τις μεγαλύτερες δυνάμεις παγκοσμίως, διαθέτει στόλο με περισσότερα από 300 πλοία συμπεριλαμβανομένων αεροπλανοφόρων, αντιτορπιλικών και υποβρύχιων.

2.3 Τύποι Πλοίων

Οι ωκεανοί και οι πλωτές οδοί του κόσμου φιλοξενούν μια τεράστια ποικιλία διαφορετικών τύπων πλοίων, το καθένα σχεδιασμένο για συγκεκριμένους σκοπούς και εργασίες. Από τεράστια φορτηγά πλοία μέχρι κομψά πολεμικά πλοία και από πολυτελή κρουαζιερόπλοια μέχρι ευκίνητα ερευνητικά πλοία, διατίθενται σε όλα τα σχήματα και μεγέθη και διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στη διαμόρφωση του σύγχρονου κόσμου μας. Σε αυτό το πλαίσιο, η κατανόηση των διαφορετικών τύπων πλοίων και των μοναδικών χαρακτηριστικών τους είναι ζωτικής σημασίας για όποιον θέλει να κατανοήσει την περίπλοκη αλληλεπίδραση οικονομικών, πολιτικών και κοινωνικών δυνάμεων που διαμορφώνουν τον κόσμο μας. Πιο κάτω, αναφέρονται μερικοί από τους πιο συνηθισμένους τύπους πλοίων, οι σκοπούς τους και τα διακριτικά τους χαρακτηριστικά καθώς και οι ανάγκες του κάθε ενός όσο αφορά την ενέργεια αλλά και την ισχύ [14].

1. Πλοία εμπορευματοκιβωτίων (Container Ships):



Σχήμα 2.1 Πλοία Εμπορευματοκιβωτίων

Αυτά τα πλοία έχουν σχεδιαστεί για την μεταφορά φορτίου σε διάφορα τυποποιημένα εμπορευματοκιβώτια μεταφοράς, τα οποία επιτρέπουν την αποτελεσματική φόρτωση όπως και εκφόρτωση των εμπορευμάτων. Είναι συνήθως αρκετά ογκώδη, με χωρητικότητες που κυμαίνονται από μερικές χιλιάδες έως πάνω από 660,000 κυβικά μέτρα. Τα πλοία εμπορευματοκιβωτίων μπορούν περαιτέρω να κατηγοριοποιηθούν σε διαφορετικούς τύπους με βάση το μέγεθος, όπως Panamax, Post-

Panamax και New Panamax. Χρησιμοποιούνται συνήθως για το διεθνές εμπόριο. Είναι από τα μεγαλύτερα πλοία και τα πλοία που καταναλώνουν την περισσότερη ενέργεια. Συνήθως απαιτούν σημαντική ποσότητα ενέργειας για να τροφοδοτήσουν τους κινητήρες τους αλλά και να διατηρήσουν την ταχύτητά τους. Σύμφωνα με την έκθεση του Διεθνούς Συμβουλίου για τις Καθαρές Μεταφορές, ένα τυπικό πλοίο μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων 330000 κυβικά μέτρα καταναλώνει περίπου 300-350 μετρικούς τόνους καυσίμου την ημέρα. Συνήθως απαιτούν ισχύ μεταξύ 30MW και 100MW ανάλογα με το μέγεθος και την ταχύτητα τους. Για παράδειγμα, ένα μεγάλο πλοίο μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων όπως το Emma Maersk, ένα από τα 511,500 κυβικά μέτρα και απόδοση ισχύος περίπου 109.000 ίππων (81 MW).

2. Δεξαμενόπλοια (Tankers)



Σχήμα 2.2 Δεξαμενόπλοια

Αυτά τα πλοία έχουν σχεδιαστεί για τη μεταφορά διάφορων υγρών φορτίων, όπως πετρέλαιο, φυσικό αέριο και άλλα χημικά σε πολύ μεγάλες αποστάσεις. Μπορούν να κυμαίνονται σε μέγεθος από μικρά παράκτια πλοία έως πολύ μεγάλα πλοία αργού (VLCCs) που μπορούν να μεταφέρουν πάνω από 300.000 τόνους φορτίου. Τα δεξαμενόπλοια μπορούν να κατηγοριοποιηθούν περαιτέρω με βάση τον τύπο του φορτίου που μεταφέρουν, όπως δεξαμενόπλοια αργού πετρελαίου, δεξαμενόπλοια προϊόντων και δεξαμενόπλοια χημικών. Είναι ένας άλλος τύπος μεγάλων σκαφών που απαιτούν σημαντικές ποσότητες ενέργειας για να λειτουργήσουν. Οι ενεργειακές ανάγκες των δεξαμενόπλοιων μπορεί να ποικίλλουν ανάλογα με τον τύπο του φορτίου που μεταφέρουν και την απόσταση που διανύουν. Τα δεξαμενόπλοια μπορούν να απαιτούν παρόμοιες ποσότητες ισχύος με τα πλοία μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων, με τυπικές απαιτήσεις ισχύος που κυμαίνονται από 30 έως 80 MW. Ωστόσο, μερικά από τα μεγαλύτερα δεξαμενόπλοια στον κόσμο, όπως το Seawise Giant, το οποίο ήταν το μεγαλύτερο πλοίο που κατασκευάστηκε ποτέ, μπορούσαν να παράγουν έως και 109 MW.

3. Μεταφορείς Χύδην φορτίου (Bulk Carriers)



Σχήμα 2.3 Μεταφορείς χύδην φορτίου

Αυτά τα πλοία έχουν σχεδιαστεί για τη μεταφορά ξηρού φορτίου χύδην¹, όπως άνθρακα, σιδηρομετάλλευμα και σιτηρά. Μπορεί να κυμαίνονται σε μεγέθη από μικρά πλοία handysize έως μεγάλα πλοία capesize που μπορούν να μεταφέρουν έως και 400.000 τόνους φορτίου. Τα φορτηγά μεταφοράς χύδην φορτίου μπορούν να κατηγοριοποιηθούν περαιτέρω με βάση το φορτίο το οποίο μεταφέρουν, όπως μεταφορείς μεταλλευμάτων, κάρβουνα αλλά και μεταφορείς σιτηρών. Οι ανάγκες σε ενέργεια ενός μεταφορέα χύδην φορτίου μπορεί να ποικίλλουν ανάλογα με διάφορους παράγοντες όπως το μέγεθος όπως και η ταχύτητα του πλοίου, ο τύπος του φορτίου που μεταφέρεται και οι διάφορες συνθήκες της θάλασσας. Ωστόσο, για παράδειγμα, ένα τυπικό φορτηγό χύδην μεγέθους Panamax (περίπου 75.000-100.000 DWT) με ταχύτητα 14 κόμβων μπορεί να απαιτεί περίπου 8-12 μεγαβάτ (MW) ισχύος για να λειτουργήσει κανονικά. Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι αυτοί οι αριθμοί είναι κατά προσέγγιση και μπορεί να ποικίλλουν ανάλογα με διάφορους παράγοντες, όπως ο σχεδιασμός και η ηλικία του πλοίου, η συγκεκριμένη διαδρομή και οι συνθήκες του ταξιδιού και η απόδοση των κινητήρων και των συστημάτων του πλοίου.

4. Επιβατηγά πλοία (Passenger ships):



Σχήμα 2.4 Επιβατηγά Πλοία

¹ Χαρακτηρίζονται τα αποτελούμενα από το ίδιο προϊόν και μεταφέρονται χωρίς συσκευασία, όπως λέμε "χύμα".

Αυτά τα πλοία έχουν σχεδιαστεί έτσι ώστε να μεταφέρουν ανθρώπους και να προσφέρουν διάφορες ανέσεις αλλά και καταλύματα στους πολλούς επιβάτες που μπορεί να μεταφέρουν, για διάφορες μικρές όπως και μεγάλες αποστάσεις. Μπορούν να κυμαίνονται από μικρά πορθμεία που μεταφέρουν επιβάτες μέσω ενός ποταμού έως μέχρι και μεγάλα υπερωκεάνια που προσφέρουν πολυτελή ταξίδια για αρκετά μεγάλα χρονικά διαστήματα. Τα κρουαζιερόπλοια, τα οποία είναι ένας τύπος επιβατηγού πλοίου, είναι σχεδιασμένα για ταξίδια αναψυχής και προσφέρουν ψυχαγωγία, φαγητό και ψυχαγωγικές δραστηριότητες. Οι ανάγκες σε ενέργεια ενός επιβατηγού πλοίου μπορεί να ποικίλλουν ανάλογα με το μέγεθος και την χωρητικότητα του πλοίου, καθώς και την ταχύτητα, τη διαδρομή και τις επιχειρησιακές απαιτήσεις. Γενικά, τα επιβατηγά πλοία έχουν υψηλότερες απαιτήσεις ενέργειας και ισχύος σε σύγκριση με τα φορτηγά πλοία λόγω της ανάγκης για ανέσεις όπως φωτισμό, κλιματισμό και άλλες υπηρεσίες επιβατών. Μερικά μπορεί να έχουν πολλαπλά εστιατόρια, πάρκα, ακόμη και μεγάλα εμπορικά κέντρα. Για παράδειγμα, ένα σύγχρονο μεγάλο κρουαζιερόπλοιο με χωρητικότητα επιβατών περίπου 4.000 και ταχύτητα εξυπηρέτησης 20 κόμβων μπορεί να απαιτεί έως και 30 μεγαβάτ (MW) ισχύος για να λειτουργήσει, με μέση κατανάλωση καυσίμου περίπου 3.000-4.000 τόνους την εβδομάδα. . Αυτό μεταφράζεται σε κατανάλωση ενέργειας περίπου 15-20 megajoules ανά επιβάτη-χιλιόμετρο. Ωστόσο, είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι αυτοί οι αριθμοί είναι εξαιρετικά μεταβλητοί και μπορεί να εξαρτώνται από πολλούς παράγοντες, όπως ο σχεδιασμός του πλοίου, η απόδοση του κινητήρα, οι επιχειρησιακές πρακτικές και ο τύπος καυσίμου.

5. Πλοία Ro-Ro (Roll-on/Roll-off):



Σχήμα 2.5 Πλοία Ro-Ro

Αυτά τα πλοία έχουν σχεδιαστεί για τη μεταφορά οχημάτων, όπως αυτοκίνητα και φορτηγά, που μπορούν να οδηγηθούν εντός και εκτός πλοίου. Έχουν συνήθως μεγάλα, ανοιχτά καταστρώματα φορτίου και εξειδικευμένα συστήματα φόρτωσης και εκφόρτωσης. Οι απαιτήσεις ενέργειας και ισχύος ενός σκάφους Roll-on/Roll-off (RoRo) μπορεί να ποικίλλουν ανάλογα με το μέγεθος και την χωρητικότητα του σκάφους, καθώς και την ταχύτητα, τη διαδρομή και τις επιχειρησιακές απαιτήσεις. Τα σκάφη RoRo σχεδιάζονται συνήθως για τη μεταφορά φορτίου με τροχούς, όπως αυτοκίνητα, φορτηγά και ρυμουλκά. Για παράδειγμα, ένα σύγχρονο σκάφος RoRo με χωρητικότητα περίπου 2.000 αυτοκινήτων και ταχύτητα 20 κόμβων μπορεί να απαιτεί έως και 10-15 μεγαβάτ (MW) ισχύος για να λειτουργήσει, με μέση κατανάλωση καυσίμου περίπου 120-150 τόνους την ημέρα. . Αυτό

μεταφράζεται σε κατανάλωση ενέργειας περίπου 20-25 megajoules ανά τονοχιλίμετρο. Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι αυτοί οι αριθμοί είναι εξαιρετικά μεταβλητοί και μπορεί να εξαρτώνται από πολλούς παράγοντες, όπως ο σχεδιασμός του πλοίου, η απόδοση του κινητήρα, οι επιχειρησιακές πρακτικές και ο τύπος καυσίμου. Επιπλέον, τα σκάφη RoRo ενδέχεται να απαιτούν πρόσθετη ισχύ για εργασίες κατά τη διάρκεια της φόρτωσης και της εκφόρτωσης των οχημάτων, γεγονός που μπορεί να αυξήσει περαιτέρω τις απαιτήσεις ενέργειας και ισχύος.

6. Ρυμουλκά (Tugboats):



Σχήμα 2.6 Ρυμουλκά

Αυτά τα σκάφη είναι σχεδιασμένα για να ρυμουλκούν άλλα σκάφη ή να τα βοηθούν κατά τον ελλιμενισμό και την αποδέσμευση τους από το λιμάνι. Είναι αρκετά μικρά αλλά και ευέλικτα, με ισχυρούς κινητήρες και εξειδικευμένο εξοπλισμό ρυμούλκησης. Τα ρυμουλκά, έχουν σχετικά χαμηλότερες απαιτήσεις ενέργειας και ισχύος σε σύγκριση με μεγαλύτερα φορτηγά ή επιβατηγά πλοία. Οι ανάγκες ενέργειας και ισχύος ενός ρυμουλκού εξαρτώνται από το μέγεθος, τον τύπο του κινητήρα και τους τύπους λειτουργιών για τις οποίες έχει σχεδιαστεί. Για παράδειγμα, ένα σύγχρονο ρυμουλκό λιμανιού με έλξη δέσμης περίπου 70-80 τόνων και ταχύτητα 12-14 κόμβων μπορεί να απαιτεί εγκατεστημένη ισχύ έως και 5-6 μεγαβάτ (MW) για να λειτουργήσει όπως πρέπει, με μέση κατανάλωση καυσίμου περίπου 5-7 τόνους την ημέρα. Αυτό μεταφράζεται σε κατανάλωση ενέργειας περίπου 50-70 megajoules ανά τονοχιλίμετρο. Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι αυτά τα στοιχεία είναι μόνο ενδεικτικά και μπορεί να διαφέρουν ανάλογα με πολλούς παράγοντες, όπως ο σχεδιασμός του πλοίου, η απόδοση του κινητήρα, οι επιχειρησιακές πρακτικές και ο τύπος καυσίμου.

7. Αλιευτικά σκάφη (Fishing vessels):



Σχήμα 2.7 Αλιευτικά σκάφη

Αυτά τα πλοία είναι σχεδιασμένα για τη χρήση σε εμπορική αλιεία και είναι εξοπλισμένα με κάποια πιο εξειδικευμένο εξοπλισμό με σκοπό την αλίευση και την αποθήκευση ψαριών. Όσο αφορά το μέγεθος τους, μπορούν να κυμαίνονται από μικρές βάρκες που χρησιμοποιούνται για παράκτιο ψάρεμα, που δεν απομακρύνονται πολύ από τη στεριά, μέχρι μεγάλες μηχανότρατες που ψαρεύουν σε πιο βαθιά νερά, αρκετά πιο μακριά από τη στεριά. Οι απαιτήσεις της ενέργειας αλλά και της ισχύος των αλιευτικών σκαφών μπορεί να ποικίλλουν σημαντικά ανάλογα με τον τύπο της αλιείας και το μέγεθος του σκάφους. Γενικά, τα μικρότερα αλιευτικά σκάφη τείνουν να έχουν χαμηλότερες ανάγκες σε ισχύ και ενέργεια σε σύγκριση με τα μεγαλύτερα βιομηχανικά αλιευτικά σκάφη. Για παράδειγμα, ένα μικρού έως μεσαίου μεγέθους αλιευτικό σκάφος μήκους περίπου 10-20 μέτρων και ολικής χωρητικότητας 10-30 τόνων μπορεί να απαιτεί εγκατεστημένη ισχύ περίπου 50-200 κιλοβάτ (kW) για να λειτουργήσει, με μέσο όρο κατανάλωσης καυσίμου 10-20 λίτρα την ώρα. Αυτό μεταφράζεται σε κατανάλωση ενέργειας περίπου 40-100 megajoules ανά τονοχίometro. Από την άλλη πλευρά, τα μεγαλύτερα βιομηχανικά αλιευτικά σκάφη που χρησιμοποιούνται για αλιεία βαθιών υδάτων ή με παραγάδια μπορεί να απαιτούν πολύ υψηλότερες εισροές ενέργειας και ισχύς. Για παράδειγμα, μια σύγχρονη εργοστασιακή τράτα με μήκος περίπου 100 μέτρα και ολική χωρητικότητα 5.000-7.000 τόνων μπορεί να απαιτεί εγκατεστημένη ισχύ έως και 15-20 μεγαβάτ (MW) για να λειτουργήσει, με μέση κατανάλωση καυσίμου περίπου 60- 100 τόνους την ημέρα. Αυτό μεταφράζεται σε κατανάλωση ενέργειας περίπου 300-500 megajoules ανά τονοχίometro. Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι αυτά τα στοιχεία είναι μόνο ενδεικτικά και μπορεί να διαφέρουν ανάλογα με πολλούς παράγοντες, όπως ο σχεδιασμός του πλοίου, η απόδοση του κινητήρα, οι επιχειρησιακές πρακτικές και ο τύπος καυσίμου.

8. Πολεμικά πλοία (Warships):



Σχήμα 2.8 Πολεμικά Πλοία

Αυτά τα πλοία είναι σχεδιασμένα για στρατιωτικούς σκοπούς και μπορούν να κυμαίνονται από μικρά περιπολικά μέχρι και αρκετά πιο μεγάλα αεροπλανοφόρα. Είναι εξοπλισμένα με διάφορα είδη όπλων όπως και άλλο πιο εξειδικευμένο εξοπλισμό για ναυτικό πόλεμο. Οι απαιτήσεις ενέργειας και ισχύος των πολεμικών πλοίων μπορεί να διαφέρουν σημαντικά ανάλογα με τον τύπο του σκάφους και την προβλεπόμενη αποστολή του, τον σκοπό για τον οποίο δημιουργήθηκε το κάθε ένα από αυτά τα πολεμικά πλοία. Γενικά, τα πολεμικά πλοία έχουν σχεδιαστεί για να είναι εξαιρετικά ευέλικτα και ικανά για υψηλές ταχύτητες, γεγονός που μπορεί να οδηγήσει σε υψηλότερη κατανάλωση ενέργειας σε σύγκριση με άλλους τύπους πλοίων. Για παράδειγμα, ένα τυπικό αντιτορπιλικό στο Ναυτικό των Ηνωμένων Πολιτειών έχει εγκατεστημένη ισχύ περίπου 100.000-120.000 ίππων (74-89 MW), με μέση κατανάλωση καυσίμου περίπου 500-700 γαλόνια την ώρα (1.893-2.650 λίτρα την ώρα). Αυτό μεταφράζεται σε κατανάλωση ενέργειας περίπου 200-250 megajoules ανά τονοχίλιτρο. Τα υποβρύχια, από την άλλη, έχουν πολύ μικρότερες απαιτήσεις ισχύος λόγω του μικρότερου μεγέθους τους όπως και της υποβρύχιας πρόωσής τους. Ένα τυπικό πυρηνικό υποβρύχιο στο Ναυτικό των Ηνωμένων Πολιτειών έχει εγκατεστημένη ισχύ περίπου 35.000-40.000 ίππων (26-30 MW), με μέση κατανάλωση καυσίμου περίπου 2-3 γαλόνια την ώρα (7,6-11,4 λίτρα την ώρα). Αυτό μεταφράζεται σε κατανάλωση ενέργειας περίπου 30-40 megajoules ανά τονοχίλιτρο. Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι αυτά τα στοιχεία είναι μόνο ενδεικτικά και μπορεί να διαφέρουν ανάλογα με πολλούς παράγοντες, όπως ο σχεδιασμός του πλοίου, το σύστημα πρόωσης, οι επιχειρησιακές πρακτικές και ο τύπος καυσίμου.

9. Ερευνητικά πλοία (Research vessels):



Σχήμα 2.9 Ερευνητικά Πλοία

Αυτά τα πλοία έχουν σχεδιαστεί για επιστημονική έρευνα και εξερεύνηση και μπορούν να περιλαμβάνουν ωκεανογραφικά ερευνητικά σκάφη, παγοθραυστικά και διάφορα σκάφη έρευνας. Είναι εξοπλισμένα με εξειδικευμένο εξοπλισμό για τη συλλογή δεδομένων και τη διεξαγωγή έρευνας. Τα ερευνητικά πλοία ποικίλλουν σε μεγάλο βαθμό ως προς τις ενεργειακές τους απαιτήσεις και τις απαιτήσεις ισχύος ανάλογα με την ειδική ερευνητική τους αποστολή, που μπορεί να είναι διαφορετική κάθε φορά και σε διαφορετικές τοποθεσίες ολόκληρης της γης, οπότε είναι λογικό να διαφέρουν και οι απαιτήσεις τους, και τον εξοπλισμό που μεταφέρουν για να μπορέσουν να ολοκληρώσουν τις απαιτούμενες έρευνες. Ωστόσο, απαιτούν συνήθως υψηλό βαθμό ευελιξίας, σταθερότητας και αντοχής για να διεξάγουν την έρευνά τους με ασφαλή αλλά και αποτελεσματικό τρόπο. Τα ερευνητικά σκάφη μπορούν να κυμαίνονται από μικρά σκάφη έως μεγάλα ωκεανογραφικά πλοία εξοπλισμένα με πολλαπλά ερευνητικά εργαστήρια, επιστημονικό εξοπλισμό και προηγμένα συστήματα πλοήγησης και επικοινωνίας. Μερικά παραδείγματα ερευνητικών σκαφών και οι απαιτήσεις ενέργειας και ισχύος τους περιλαμβάνουν:

- RV Falkor: Πρόκειται για ένα ωκεανογραφικό ερευνητικό σκάφος μήκους 82 μέτρων που λειτουργεί από το Schmidt Ocean Institute. Έχει ισχύ εξόδου 7.500 kW και μπορεί να ταξιδέψει με ταχύτητα 13 κόμβων. Είναι εξοπλισμένο με μια σειρά επιστημονικών οργάνων, όπως σόναρ πολλαπλών ακτινών, προφίλτρο CTD και τηλεκατευθυνόμενο όχημα (ROV).
- RV Atlantis: Πρόκειται για ένα ερευνητικό σκάφος 83 μέτρων που λειτουργεί από το Ωκεανογραφικό Ίδρυμα Woods Hole. Έχει ισχύ εξόδου 6.000 kW και μπορεί να ταξιδέψει με ταχύτητα 13,5 κόμβων. Είναι εξοπλισμένο με προηγμένο εξοπλισμό ωκεανογραφικής έρευνας, που περιλαμβάνει επανδρωμένο υποβρύχιο, αυτόνομο υποβρύχιο όχημα (AUV) και διάφορα όργανα δειγματοληψίας.

10. Υπεράκτιες πλατφόρμες (Offshore platforms):



Σχήμα 2.10 Υπεράκτιες Πλατφόρμες

Οι συγκεκριμένες κατασκευές μπορούν να χρησιμοποιούνται με στόχο την εξεύρεση όπως και την εξόρυξη πετρελαίου και φυσικού αερίου από διάφορα υπεράκτια κοιτάσματα. Μπορούν να περιλαμβάνουν γεωτρήσεις, πλατφόρμες παραγωγής, πλωτά πλοία αποθήκευσης και εκφόρτωσης παραγωγής. Οι υπεράκτιες πλατφόρμες, όπως οι εξέδρες άντλησης πετρελαίου και τα αιολικά πάρκα, απαιτούν σημαντικές ποσότητες ενέργειας και ισχύος για να λειτουργήσουν. Αυτές οι κατασκευές βρίσκονται συνήθως σε απομακρυσμένες περιοχές του ωκεανού και πρέπει να είναι αυτάρκειες όσον αφορά την παραγωγή και διανομή ηλεκτρικής ενέργειας. Οι ειδικές απαιτήσεις ενέργειας και ισχύος των υπεράκτιων πλατφορμών μπορεί να ποικίλλουν σε μεγάλο βαθμό ανάλογα με το μέγεθος και την εμβέλεια της κάθε εγκατάστασης, καθώς και τον τύπο του συστήματος παραγωγής ενέργειας που χρησιμοποιείται σε κάθε μία από αυτές. Μερικά παραδείγματα απαιτήσεων ενέργειας και ισχύος για υπεράκτιες πλατφόρμες είναι:

- **Εξέδρες πετρελαίου:** Οι εξέδρες άντλησης πετρελαίου απαιτούν συνήθως αρκετά μεγάλες ποσότητες ενέργειας για την τροφοδοσία του εξοπλισμού γεώτρησης, των αντλιών και άλλων μηχανημάτων που μπορεί να περιλαμβάνει η κάθε πλατφόρμα. Οι απαιτήσεις ισχύος μπορεί να κυμαίνονται από μερικές εκατοντάδες kW για μικρές εξέδρες έως αρκετά MW για αρκετά μεγαλύτερες εγκαταστάσεις. Η ενέργεια για τις υπεράκτιες εξέδρες παράγεται συνήθως από γεννήτριες ντίζελ ή αεριοστρόβιλους.
- **Αιολικά Πάρκα:** Τα υπεράκτια αιολικά πάρκα φτιάχνονται για να εκμεταλλεύεται η ενέργεια του αέρα ακόμη και στη θάλασσα και όχι μόνο σε εγκαταστάσεις επίγειες. Απαιτούν σημαντικές ποσότητες ενέργειας για την ορθή λειτουργία των ανεμογεννητριών, καθώς και για την τροφοδοσία των συστημάτων ελέγχου και του εξοπλισμού επικοινωνίας των αιολικών πάρκων με τα συστήματα επί της στεριάς. Οι απαιτήσεις ισχύος μπορεί να κυμαίνονται από μερικές εκατοντάδες kW για μικρά αιολικά πάρκα έως αρκετά MW για μεγαλύτερες εγκαταστάσεις. Η ενέργεια για τα υπεράκτια αιολικά πάρκα παράγεται συνήθως από τις ανεμογεννήτριες, οι οποίες καταναλώνουν ένα μέρος της ενέργειας που παράγουν για την ορθή λειτουργία της υπεράκτιας πλατφόρμας ή από συνδυασμό ανεμογεννητριών και άλλων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, όπως ηλιακούς συλλέκτες ή μετατροπείς κυματικής ενέργειας που μπορεί να είναι εγκατεστημένοι.

Αυτά είναι απλά μερικά παραδείγματα της πληθώρας των τύπων πλοίων και των ειδικών τους χρήσεων. Ο σχεδιασμός και η κατασκευή του κάθε τύπου πλοίου είναι ειδικά προσαρμοσμένες στη χρήση για την οποία προορίζονται ο κάθε ένας τύπος πλοίου και έχει μοναδικά και ξεχωριστά χαρακτηριστικά και δυνατότητες ανάλογα με τις απαιτήσεις ζήτησης που καλείται να παρέχει κάθε φορά.

2.4 Ο ρόλος των κυκλωμάτων στα πλοία

Η χρήση ηλεκτρικών και ηλεκτρονικών κυκλωμάτων σε διάφορα σκάφη όπως και πλοία είναι απαραίτητη για την ασφαλή αλλά και την αποτελεσματική λειτουργία του κάθε ενός από αυτά. Αυτά τα κυκλώματα είναι υπεύθυνα για την παροχή ισχύος και ελέγχου σε μια ποικιλία συστημάτων επί του σκάφους, συμπεριλαμβανομένου του φωτισμού, της πλοήγησης, της επικοινωνίας, της πρόωσης και του εξοπλισμού ασφαλείας του κάθε πλοίου.

Το σκληρό και δύσκολο θαλάσσιο περιβάλλον παρουσιάζει μοναδικές προκλήσεις στο σχεδιασμό και την υλοποίηση αυτών των κυκλωμάτων. Η έκθεση τους στο αλμυρό νερό, την αυξημένη υγρασία και τους πολλούς κραδασμούς απαιτεί να είναι κατασκευασμένα με υλικά και εξαρτήματα που να είναι ανθεκτικά στην τυχόν διάβρωση και να αντέχουν στις σκληρές συνθήκες κατά τη διάρκεια μεγάλων ταξιδιών στην θάλασσα. Ο ορθός σχεδιασμός και η υλοποίηση κυκλωμάτων για σκάφη και πλοία απαιτεί σαφώς αρκετά εξειδικευμένη γνώση όπως και εξειδίκευση στα θαλάσσια ηλεκτρικά συστήματα. Οι μηχανικοί και οι τεχνικοί που εργάζονται σε αυτόν τον τομέα της ναυτιλίας, πρέπει να έχουν μια βαθιά κατανόηση των μοναδικών προκλήσεων και των απαιτήσεων του σκληρού θαλάσσιου περιβάλλοντος, καθώς και τις τεχνικές γνώσεις που είναι απαραίτητες για το σχεδιασμό και την εφαρμογή πολύπλοκων ηλεκτρικών και ηλεκτρονικών συστημάτων.

Συνολικά, η χρήση κυκλωμάτων σε σκάφη και πλοία είναι κρίσιμη για την ασφαλή και αποτελεσματική λειτουργία τους και η ανάπτυξη αυτών των κυκλωμάτων είναι ένα σημαντικό πεδίο μελέτης στη ναυτική μηχανική και τεχνολογία.

Υπάρχουν ηλεκτρικά και ηλεκτρονικά κυκλώματα που έχουν σχεδιαστεί ειδικά για διαφορετικούς τύπους σκαφών και πλοίων. Αυτά τα κυκλώματα είναι υπεύθυνα για την παροχή ισχύος και ελέγχου σε διάφορα συστήματα επί του σκάφους, όπως φωτισμό, πλοήγηση, επικοινωνία, πρόωση και εξοπλισμό ασφαλείας.

Τα κυκλώματα που χρησιμοποιούνται σε σκάφη πρέπει να είναι αξιόπιστα και ικανά να λειτουργούν υπό διαφορετικές συνθήκες, όπως ακραίες θερμοκρασίες και υψηλά επίπεδα ηλεκτρομαγνητικών παρεμβολών. Παραδείγματα κυκλωμάτων που χρησιμοποιούνται σε σκάφη και πλοία περιλαμβάνουν:

- Συστήματα Διανομής Ισχύος:

Αυτά τα κυκλώματα είναι υπεύθυνα για τη διανομή της ισχύος μέσω της γεννήτριας ή των μπαταριών στα διάφορα συστήματα και εξοπλισμό επί του σκάφους. Περιλαμβάνουν διακόπτες κυκλώματος, ασφάλειες, ρελέ και διακόπτες για την εξασφάλιση ασφαλούς και αξιόπιστης λειτουργίας.

- Κυκλώματα φωτισμού:

Αυτά τα κυκλώματα παρέχουν φωτισμό σε ολόκληρο το σκάφος, συμπεριλαμβανομένων των φώτων πλοήγησης, του εσωτερικού φωτισμού και του φωτισμού κατά τη διάρκεια έκτακτης ανάγκης. Περιλαμβάνουν φωτιστικά, διακόπτες και κυκλώματα ελέγχου.

- Κυκλώματα πλοήγησης:

Αυτά τα κυκλώματα είναι κρίσιμα για την ασφαλή και αποτελεσματική λειτουργία του πλοίου και περιλαμβάνουν συστήματα για ραντάρ, GPS όπως και άλλα βοηθήματα πλοήγησης.

- **Συστήματα Επικοινωνίας:**

Αυτά τα κυκλώματα περιλαμβάνουν τα ραδιόφωνα, τις κεραιές και άλλο εξοπλισμό που χρησιμοποιείται για την επικοινωνία με τα άλλα σκάφη, τους σταθμούς στην ξηρά και τις υπηρεσίες έκτακτης ανάγκης.

- **Συστήματα πρόωσης:**

Αυτά τα κυκλώματα είναι υπεύθυνα για τον έλεγχο των κινητήρων, των προωθητηρίων και άλλων συστημάτων πρόωσης επί του σκάφους. Περιλαμβάνουν στοιχεία όπως πίνακες ελέγχου, αισθητήρες και συστήματα παρακολούθησης.

- **Κυκλώματα ασφαλείας:**

Αυτά τα κυκλώματα χρησιμοποιούνται για την τροφοδοσία και τον έλεγχο διαφόρων εξοπλισμών ασφαλείας επί του πλοίου, όπως συναγερμοί πυρκαγιάς, αντλίες υδροσυλλεκτών και συστήματα διακοπής λειτουργίας έκτακτης ανάγκης.

Αυτά είναι μόνο μερικά παραδείγματα από τα πολλά κυκλώματα που χρησιμοποιούνται στα πλοία και υπάρχουν αμέτρητες παραλλαγές και διαμορφώσεις ανάλογα με τον τύπο και το μέγεθος του σκάφους.

2.5 Οι διάφοροι κινητήρες που μπορεί να χρησιμοποιήσουν τα πλοία

Τα πλοία μπορούν να χρησιμοποιήσουν μια ποικιλία κινητήρων ανάλογα με το μέγεθος, τον σκοπό και το σχεδιασμό τους.

Ακολουθούν μερικοί από τους πιο συνηθισμένους τύπους κινητήρων που χρησιμοποιούνται στα πλοία [15]:

- **Ατμοστρόβιλοι:** Οι ατμοστρόβιλοι ήταν το κύριο σύστημα πρόωσης για τα πλοία από τα παλιά χρόνια μέχρι και τα μέσα του 20ου αιώνα. Αυτοί οι κινητήρες χρησιμοποιούν τον ατμό για να περιστρέψουν έναν στρόβιλο, ο οποίος με τη σειρά του κινεί την προπέλα του πλοίου.
- **Κινητήρες ντίζελ:** Οι κινητήρες ντίζελ είναι πλέον ο πιο κοινός τύπος κινητήρα που χρησιμοποιείται στα διάφορα πλοία. Αυτοί οι κινητήρες καίνε καύσιμο ντίζελ για να παράγουν την ισχύ που κινεί την προπέλα του πλοίου. Είναι συνήθως πιο αποδοτικοί και παράγουν λιγότερες εκπομπές σε σχέση με τους ατμοστρόβιλους.
- **Αεριοστρόβιλοι:** Οι αεριοστρόβιλοι μοιάζουν αρκετά με τους κινητήρες ντίζελ, αλλά καίνε φυσικό αέριο αντί για καύσιμο ντίζελ. Οι πιο κοινές χρήσεις τους βρίσκονται σε ταχύπλοα αλλά και ναυτικά πλοία.
- **Πυρηνικοί αντιδραστήρες:** Ορισμένα αρκετά μεγάλα ναυτικά σκάφη, όπως αεροπλανοφόρα αλλά και υποβρύχια, χρησιμοποιούν πυρηνικούς αντιδραστήρες για την παραγωγή ενέργειας. Η πυρηνική ενέργεια μπορεί προσφέρει το πλεονέκτημα της αρκετά πιο μεγάλης αντοχής και της ικανότητας λειτουργίας ανεξάρτητα από τον ανεφοδιασμό.
- **Ηλεκτρικοί κινητήρες:** Σε ορισμένες περιπτώσεις, τα πλοία μπορεί να χρησιμοποιούν ηλεκτρικούς κινητήρες που τροφοδοτούνται από μπαταρίες ή κυψέλες καυσίμου. Αυτό είναι πιο συνηθισμένο σε μικρότερα πλοία και σκάφη και η τεχνολογία εξακολουθεί να αναπτύσσεται για μεγαλύτερα σκάφη. Αυτοί οι τύποι κινητήρων είναι πιο φιλικό προς το περιβάλλον και εξισώνονται με τις αποφάσεις της ΕΕ για λιγότερες εκπομπές ρύπων στην ατμόσφαιρα. Το ζήτημα είναι κατά πόσο η ενέργεια που φορτίζει την μπαταρία και που παράγει το υδρογόνο προέρχεται από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, η αν η παραγωγή τους μολύνει το περιβάλλον το περιβάλλον.

Συνολικά, η επιλογή του κινητήρα για ένα πλοίο θα εξαρτηθεί από διάφορους παράγοντες, όπως το μέγεθος, ο σκοπός και οι συνθήκες λειτουργίας του πλοίου.

Πιο κάτω αναφέρονται μερικά πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα του κάθε τύπου μηχανής σε συντομία.

- Ατμοστρόβιλοι:
 - Θετικά: Μπορούν να παρέχουν αρκετά πιο υψηλά επίπεδα ισχύος και ταχύτητας, είναι αξιόπιστοι και έχουν μεγάλη διάρκεια ζωής.
 - Αρνητικά: Υψηλή κατανάλωση καυσίμου, πιο χαμηλή θερμική απόδοση, αργά να ξεκινήσει αλλά και να σταματήσει.
- Κινητήρες ντίζελ:
 - Θετικά: Πιο αποτελεσματικοί από τους ατμοστρόβιλους, χαμηλότερη κατανάλωση καυσίμου, πιο συμπαγές και ελαφρύτεροι από τους ατμοστρόβιλους.
 - Αρνητικά: Παράγουν μεγαλύτερες εκπομπές ηχητικής ρύπανσης, εκπομπές ρύπων συμπεριλαμβανομένων των οξειδίων του αζώτου και άλλων σωματιδίων.
- Αεριοστρόβιλοι:
 - Θετικά: Υψηλή αναλογία ισχύος προς βάρος, γρήγορη επιτάχυνση και επιβράδυνση, έχει την δυνατότητα να χρησιμοποιήσει φυσικό αέριο το οποίο είναι καθαρότερο σε σχέση με το καύσιμο ντίζελ
 - Αρνητικά: αρκετά υψηλή κατανάλωση καυσίμου, υψηλές εκπομπές θερμότητας, αυξημένο κόστος συντήρησης.
- Πυρηνικοί αντιδραστήρες:
 - Θετικά: Μπορεί να λειτουργήσει για αρκετά μεγάλα χρονικά διαστήματα χωρίς κάποιο ανεφοδιασμό, χωρίς εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου εξαιρετικά αξιόπιστοι.
 - Αρνητικά: Υψηλότερο αρχικό κόστος από τους άλλους κινητήρες, απαιτεί εξειδικευμένη εκπαίδευση και υποδομή για ασφαλή λειτουργία, ανησυχίες για την πυρηνική ασφάλεια και τη διάθεση πυρηνικών αποβλήτων. Μεγάλος κίνδυνος σε περίπτωση πυρηνικού ατυχήματος
- Ηλεκτρικοί κινητήρες:
 - Θετικά: Καμία εκπομπή ρύπων στο σημείο χρήσης, μπορεί να τροφοδοτηθεί από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, όπως μπαταρίες ή κυψέλες καυσίμου, σχετικά αθόρυβη λειτουργία.
 - Αρνητικά: Περιορισμένη εμβέλεια και αντοχή, εξάρτηση από την υποδομή για φόρτιση ή ανεφοδιασμό, υψηλό αρχικό κόστος, χρειάζονται φόρτιση κατά τη διάρκεια του ελλιμενισμού και εάν η ενέργεια με την οποία τροφοδοτούνται δεν προέρχεται από ΑΠΕ, τότε είναι αμφιλεγόμενο το κατά πόσο είναι φιλικές προς το περιβάλλον. Ακόμη δεν μπορούν να τροφοδοτήσουν επαρκώς μεγάλα πλοία.

Συνολικά, η επιλογή του κινητήρα θα εξαρτηθεί από διάφορους παράγοντες, όπως το μέγεθος, ο σκοπός και οι συνθήκες λειτουργίας του κάθε πλοίου. Κάθε ένας από τους τύπους κινητήρα έχει τα δικά του πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα και υπάρχει συνεχής έρευνα και ανάπτυξη με στόχο τη βελτίωση της απόδοσής τους, τη μείωση των εκπομπών τους και την ανάπτυξη νέων τεχνολογιών όπως τα υβριδικά συστήματα.

Γενικά, ο κινητήρας με τις μικρότερες επιπτώσεις στο περιβάλλον είναι ένας ηλεκτροκινητήρας που τροφοδοτείται από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας όπως η αιολική, η ηλιακή ή η υδροηλεκτρική ενέργεια. Αυτό συμβαίνει επειδή οι ηλεκτροκινητήρες παράγουν μηδενικές εκπομπές στο σημείο χρήσης και οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας δεν παράγουν εκπομπές αερίων θερμοκηπίου ή άλλους ρύπους.

Ωστόσο, στο πλαίσιο των πλοίων, ο τύπος του κινητήρα που έχει τις μικρότερες επιπτώσεις στο περιβάλλον θα εξαρτηθεί από διάφορους παράγοντες, όπως το μέγεθος και ο τύπος του πλοίου, οι συνθήκες λειτουργίας και η διαθεσιμότητα καυσίμων και υποδομής. Μερικοί από τους παράγοντες που μπορούν να επηρεάσουν τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις των κινητήρων πλοίων περιλαμβάνουν:

- **Εκπομπές:** Οι κινητήρες που παράγουν χαμηλότερα επίπεδα ρύπων και αερίων του θερμοκηπίου έχουν συνεπώς και το μικρότερο περιβαλλοντικό αντίκτυπο. Για παράδειγμα, οι κινητήρες που συμμορφώνονται με τα πρότυπα εκπομπών Tier III του Διεθνούς Ναυτιλιακού Οργανισμού (IMO) παράγουν λιγότερες εκπομπές από τους παλαιότερους κινητήρες.
- **Απόδοση καυσίμου:** Οι κινητήρες που καταναλώνουν λιγότερα καύσιμα ανά μονάδα παραγόμενης ενέργειας θεωρούνται πιο φιλικό προς το περιβάλλον επειδή μειώνουν τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου και άλλων ρύπων. Για παράδειγμα, οι κινητήρες ντίζελ είναι συνήθως πιο αποδοτικοί ως προς το καύσιμο από τους αμμοστρόβιλους.
- **Τύπος καυσίμου:** Ο τύπος καυσίμου που χρησιμοποιείται από τον κινητήρα μπορεί επίσης να επηρεάσει την περιβαλλοντική του απόδοση. Ορισμένα καύσιμα, όπως το LNG, παράγουν λιγότερες εκπομπές από άλλα, όπως το βαρύ μαζούτ.

Συνολικά, δεν υπάρχει ενιαίος «καλύτερος» κινητήρας για πλοία όσον αφορά τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Ο πιο φιλικός προς το περιβάλλον κινητήρας θα εξαρτηθεί από τις ειδικές συνθήκες κάθε πλοίου και τις συνθήκες λειτουργίας του. Ωστόσο, ορισμένοι από τους κινητήρες που θεωρείται ότι έχουν σχετικά χαμηλό περιβαλλοντικό αντίκτυπο σε ορισμένα πλαίσια περιλαμβάνουν ηλεκτρικούς κινητήρες που τροφοδοτούνται από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, κινητήρες LNG και υβριδικά συστήματα ισχύος που συνδυάζουν πολλούς τύπους κινητήρων και συσκευές αποθήκευσης ενέργειας.

2.5.1 Ο κινητήρας ντίζελ

Ο πιο συχνά χρησιμοποιούμενος τύπος κινητήρα στα πλοία είναι ο κινητήρας ντίζελ. Οι κινητήρες ντίζελ προτιμώνται για πολλούς λόγους, συμπεριλαμβανομένης της αξιοπιστίας, της αντοχής και της απόδοσης καυσίμου τους. Μπορούν επίσης να σχεδιαστούν για να λειτουργούν με διαφορετικούς τύπους καυσίμων, όπως βαρύ μαζούτ, πετρέλαιο ντίζελ πλοίων και βιοκαύσιμα. Οι κινητήρες ντίζελ είναι ένας τύπος κινητήρα εσωτερικής καύσης που χρησιμοποιεί καύση με τη χρήση συμπίεσης για να καίει καύσιμο και για να παράγει ισχύ. Χρησιμοποιούνται συνήθως σε πλοία, καθώς και σε φορτηγά, λεωφορεία και άλλο βαρύ εξοπλισμό.

2.5.1.1 Τετράχρονοι και δίχρονοι κινητήρες ντίζελ

Και οι δύο τύποι κινητήρων έχουν τα πλεονεκτήματα αλλά και τα μειονεκτήματά τους και η επιλογή του βέλτιστου κινητήρα εξαρτάται από τις ανάγκες της κάθε εφαρμογής. Ενώ οι τετράχρονοι κινητήρες έχουν καλή απόδοση και γενικά διαρκούν περισσότερο από τους δίχρονους κινητήρες, οι δίχρονοι κινητήρες είναι ελαφρύτεροι και ταχύτεροι από τους τετράχρονους κινητήρες. [16]

Κύριες διαφορές μεταξύ δίχρονων και τετράχρονων κινητήρων [17]

Table 2 Διαφορές Δίχρονου και Τετράχρονου κινητήρα

Δίχρονος	Τετράχρονος
Μπορεί να πράξει μια περιστροφή του στροφαλοφόρου άξονα σε ένα κύκλο ισχύος	Μπορεί να πράξει δύο περιστροφές του στροφαλοφόρου άξονα σε ένα κύκλο ισχύος
Χρησιμοποιεί θύρα εισόδου και εξόδου για τα καύσιμα	Χρησιμοποιεί βαλβίδα για είσοδο και έξοδο
Απαιτεί ελαφρύτερο σφόνδυλο για πιο ισορροπημένη δύναμη	Απαιτεί πιο βαρύ σφόνδυλο γιατί γεννά ανισόρροπες δυνάμεις
Πιο οικονομική γιατί η κατασκευή της είναι πιο εύκολη και είναι πιο ελαφριά	Δύσκολη κατασκευή και γι' αυτό και πιο ακριβή
Δημιουργεί περισσότερη ροπή σε υψηλότερες στροφές	Δημιουργεί υψηλότερη ροπή σε χαμηλότερες στροφές
Η φόρτιση καίγεται μερικώς και ανακατεύεται με τα αέρια στην είσοδο	Η φόρτιση καίγεται πλήρως και δεν ανακατεύεται με τα αέρια στο εσωτερικό του κυλίνδρου
Περισσότερη παραγωγή ενέργειας	Λιγότερη παραγωγή ενέργειας
Παράγει περισσότερη θερμότητα και απαιτεί καλύτερο σύστημα ψύξης	Παράγει λιγότερη θερμότητα
Χαμηλότερη θερμική απόδοση	Υψηλότερη θερμική απόδοση
Απαιτεί γρασάρισμα κατά τη διάρκεια της λειτουργίας	Σχετικά ομαλή λειτουργία, απαιτεί λιγότερο γρασάρισμα
θορυβώδης	Λιγότερο θορυβώδης
Χρησιμοποιούνται σε σκούτερ, μηχανάκια, τανκς στρατού, και πλοία	Χρησιμοποιούνται σε αυτοκίνητα, μηχανοκίνητα σκάφη, και αεροσκάφη

Πιο κάτω ακολουθούν κάποιες φωτογραφίες που έλαβα κατά την επίσκεψη μου στο Δεξαμενόπλοιο SEAVICTORY (Σχήμα 2.11) που ήταν ελλιμενισμένο στον ηλεκτροπαραγωγικό σταθμό του βασιλικού στην Λεμεσό για εκφόρτωση μαζούτ για την κάλυψη των ηλεκτοπαραγωγικών αναγκών του σταθμού. Η μηχανή είναι δίχρονη με έξι κυλίνδρους η οποία δίνει κίνηση απευθείας στον στροφαλοφόρο άξονα. Το πλοίο ενώνεται με το σταθμό μέσω εύφλεκτων αγωγών Σχήμα 2.14 και της χρήσης του SPM (single point mooring) το οποίο ενώνει με υποθαλάσσιους αγωγούς το πλοίο με τις δεξαμενές του σταθμού. Τα συστήματα αγκυροβόλησης ενός σημείου (SPM) έχουν σχεδιαστεί για να φιλοξενούν δεξαμενόπλοια βαθιάς βύθισης ενώ μεταφέρουν αργό πετρέλαιο και μαζούτ προς και από την ακτή.



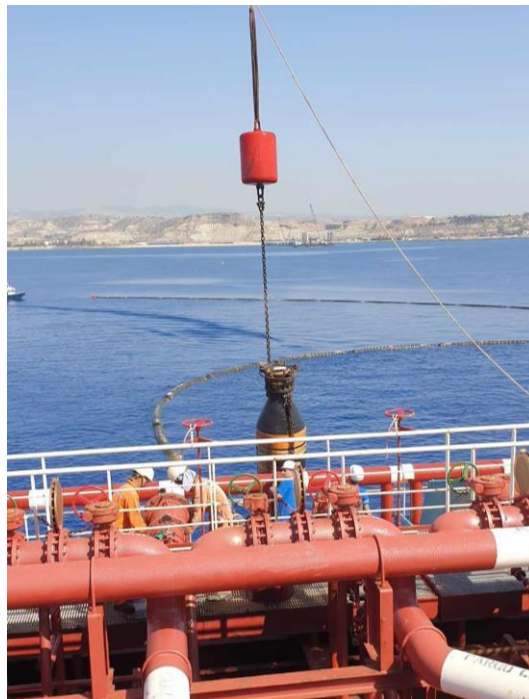
Σχήμα 2.11 SEAVICTORY



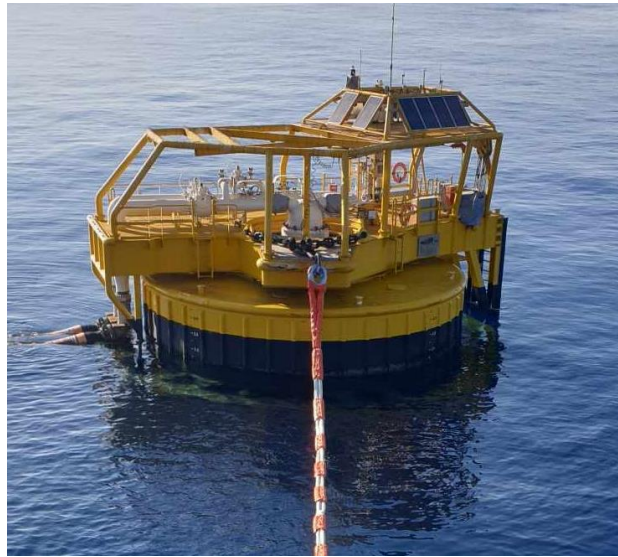
Σχήμα 2.12 Χαρακτηριστικά Πλοίου



Σχήμα 2.13 Μοτέρ βραδείας περιστροφής



Σχήμα 2.14 Εύφλεκτος Αγωγός



Σχήμα 2.15 Βασιλικός SPM

Στον ηλεκτροπαραγωγικό σταθμό υπάρχουν τρεις λέβητες που καίνε μαζούτ και παράγουν ατμό για με τον οποίο περιστρέφουν ατμογεννήτριες. Παράγουν 120MW δυναμικό η κάθε μια. Υπάρχουν επίσης και δύο Συνδιασμένοι κύκλοι παραγωγής με δύο τουρμπίνες αερίων και μια τουρπίνα ατμού η κάθε μια δυναμικότητας 220 MW (2X75+70). Υπάρχει ακόμη μια Τουρπίνα αερίου δυναμικού 35 MW η οποία χρησιμοποιείται σε περίπτωση ολικής σβέσης η οποία χρησιμοποιεί μπαταρίες για τα τεθεί σε λειτουργία και καίει πετρέλαιο



Σχήμα 2.16 Μηχανή Πλοίου

Τα κύρια εξαρτήματα ενός κινητήρα ντίζελ περιλαμβάνουν το μπλοκ κυλίνδρων, τα έμβολα, τις μπιέλες, τον στροφαλοφόρο άξονα, το σύστημα ψεκασμού καυσίμου και το σύστημα εξάτμισης.

Όταν το καύσιμο εγγέεται στον θάλαμο καύσης, αναφλέγεται από τη θερμότητα του πεπιεσμένου αέρα μέσα στον κύλινδρο, προκαλώντας έτσι την κίνηση του εμβόλου και την παραγωγή ισχύος.

Ένα από τα κύρια πλεονεκτήματα των κινητήρων ντίζελ είναι η απόδοση καυσίμου τους. Οι κινητήρες ντίζελ είναι συνήθως πιο αποδοτικοί ως προς το καύσιμο από τους βενζινοκινητήρες επειδή λειτουργούν με ένα υψηλότερο λόγο συμπίεσης, που τους επιτρέπει να αντλούν περισσότερη ενέργεια από το καύσιμο. Αυτό μεταφράζεται σε χαμηλότερη κατανάλωση καυσίμου συνεπώς και αρκετά χαμηλότερο κόστος λειτουργίας. Οι κινητήρες ντίζελ είναι επίσης γνωστοί για την αντοχή και την αξιοπιστία τους. Είναι σχεδιασμένοι έτσι ώστε να αντέχουν σε πολύ υψηλές θερμοκρασίες, πιέσεις και καταπονήσεις και μπορούν να λειτουργούν συνεχώς και για μεγάλες περιόδους χωρίς να απαιτούν κάποια σημαντική συντήρηση.

Ωστόσο, οι κινητήρες ντίζελ έχουν επίσης ορισμένα μειονεκτήματα. Μπορούν να παράγουν υψηλότερα επίπεδα ατμοσφαιρικής ρύπανσης από τους βενζινοκινητήρες, λόγω των υψηλότερων εκπομπών τους σε οξείδια του αζώτου (NOx) και σωματίδια. Για να αντιμετωπιστεί αυτό το μεγάλο περιβαλλοντικό πρόβλημα, πολλοί σύγχρονοι κινητήρες ντίζελ είναι εξοπλισμένοι με συστήματα ελέγχου εκπομπών, όπως η επιλεκτική καταλυτική μείωση, και τα φίλτρα σωματιδίων ντίζελ (DPF). Εν κατακλείδι, οι κινητήρες ντίζελ είναι μια ευρέως χρησιμοποιούμενη και σημαντική τεχνολογία σε όλη τη ναυτιλιακή βιομηχανία και συνεχίζουν να διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στην παγκόσμια μεταφορά αγαθών και ανθρώπων, και δεν είναι δυνατόν να αντικατασταθούν στο άμεσο μέλλον.

2.6 Η ανάγκη για εξηλεκτρισμό των πλοίων

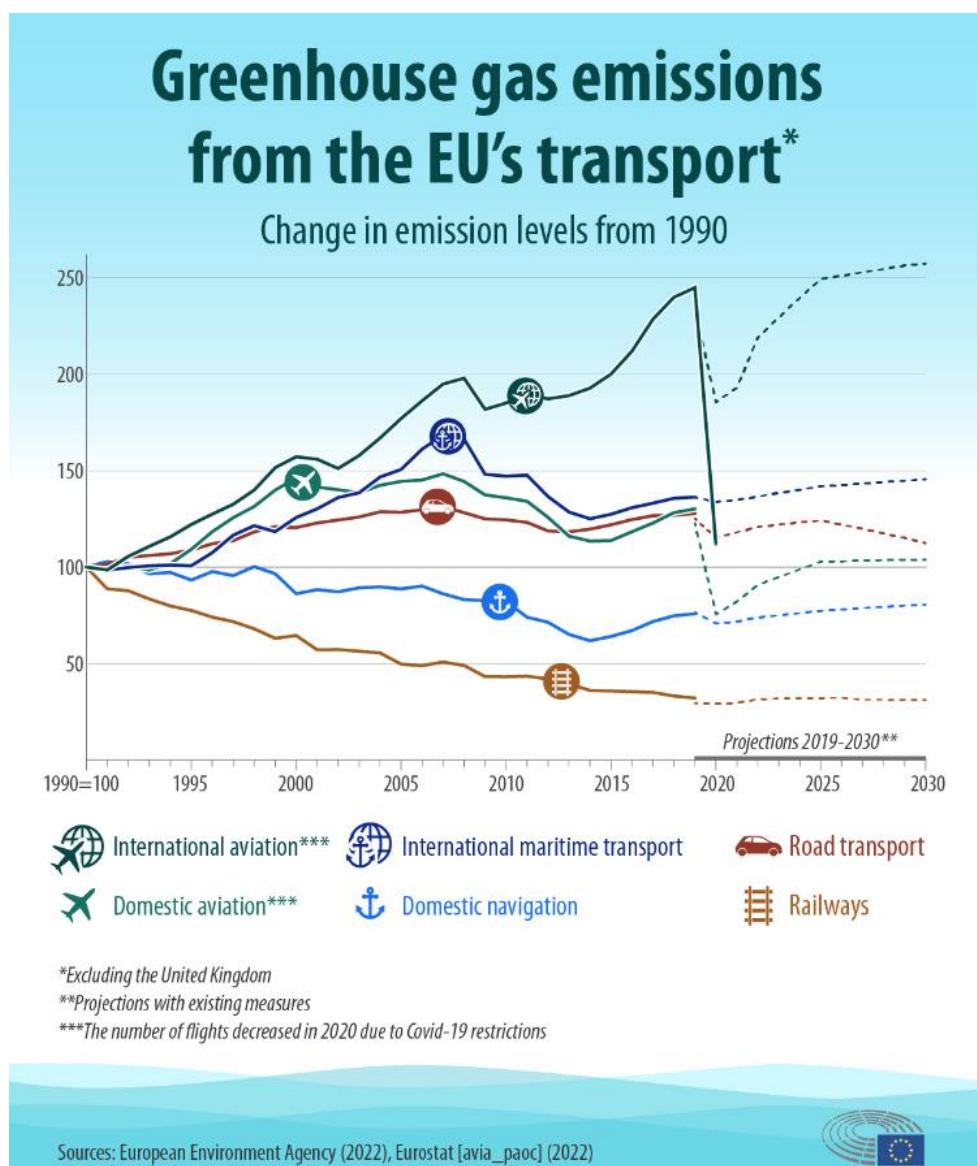
Τα παραδοσιακά σκάφη που χρησιμοποιούν κινητήρες εσωτερικής καύσης μπορούν να έχουν αρκετά επιβλαβείς επιπτώσεις στο περιβάλλον αλλά και στην ανθρώπινη υγεία. Αυτά τα σκάφη συμβάλλουν στη ρύπανση του αέρα και των υδάτων αλλά και του εδάφους, αυξάνουν αισθητά την ηχορύπανση, τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου αλλά και υπάρχει μεγάλος κίνδυνος για διαρροές διάφορων καυσίμων στην θάλασσα. Καθώς οι άνθρωποι συνειδητοποιούν όλο και περισσότερο τις επιπτώσεις της ανθρώπινης δραστηριότητας στο περιβάλλον, έχει αυξηθεί το ενδιαφέρον για την εύρεση εναλλακτικών πηγών ενέργειας για την τροφοδοσία των σκαφών [18].

Ακολουθούν μερικοί από τους τρόπους με τους οποίους τα παραδοσιακά σκάφη μπορούν να είναι επιβλαβή για το περιβάλλον:

- Ατμοσφαιρική ρύπανση: Οι κινητήρες καύσης εκπέμπουν διάφορα καυσαέρια, συμπεριλαμβανομένου του μονοξειδίου του άνθρακα, των οξειδίων του αζώτου και των διάφορων άλλων σωματιδίων στην ατμόσφαιρα. Αυτοί οι ρύποι μπορεί να έχουν επιβλαβείς επιπτώσεις στην ποιότητα του αέρα και του νερού και στην ανθρώπινη υγεία αλλά και στην υγεία της θαλάσσιας ζωής και του πλανήτη.
- Ρύπανση του νερού: Τα σκάφη που χρησιμοποιούν διάφορα ορυκτά καύσιμα παράγουν μεγάλες ποσότητες αποβλήτων, συμπεριλαμβανομένων των λυμάτων, του γκρίζου νερού και των στερεών αποβλήτων, τα οποία μπορεί να περιέχουν επιβλαβείς χημικές ουσίες και παθογόνους παράγοντες. Εκπέμπουν επίσης ατμοσφαιρική ρύπανση, συμπεριλαμβανομένου του διοξειδίου του θείου, των οξειδίων του αζώτου και των σωματιδίων, τα οποία μπορούν να βλάψουν την ανθρώπινη υγεία και το περιβάλλον.
- Ηχορύπανση: Οι κινητήρες εσωτερικής καύσης είναι συνήθως δυνατοί, γεγονός που μπορεί να διαταράξει τη θαλάσσια ζωή και τις ψυχαγωγικές δραστηριότητες. Παράγουν πολύ θόρυβο από τις προπέλες, και τους κινητήρες τους. Ο θόρυβος των πλοίων μπορεί να επηρεάσει την επικοινωνία μεταξύ θαλάσσιων πλασμάτων, ψαριών αλλά και θηλαστικών, κατά τη διάρκεια

αναζήτησης τροφής, μετανάστευσης και επίσης επηρεάζει τις δραστηριότητες αναπαραγωγής τους

- Διαρροές καυσίμου: Τυχαία διαρροή καυσίμου μπορεί να προκύψει κατά τον ανεφοδιασμό ή ως αποτέλεσμα σύγκρουσης ή άλλου ατυχήματος. Αυτές οι διαρροές μπορεί να έχουν καταστροφικές επιπτώσεις στα θαλάσσια οικοσυστήματα. Σε κάθε περίπτωση, οι πετρελαιοκηλίδες αποτελούν κίνδυνο για την πανίδα και τη χλωρίδα και προκαλούν ζημιές στα θαλάσσια και τα οικοσυστήματα των ακτών
- Εκπομπές αερίων θερμοκηπίου: Οι κινητήρες καύσης εκπέμπουν επίσης διοξείδιο του άνθρακα, ένα αέριο θερμοκηπίου που συμβάλλει στην παγκόσμια κλιματική αλλαγή.

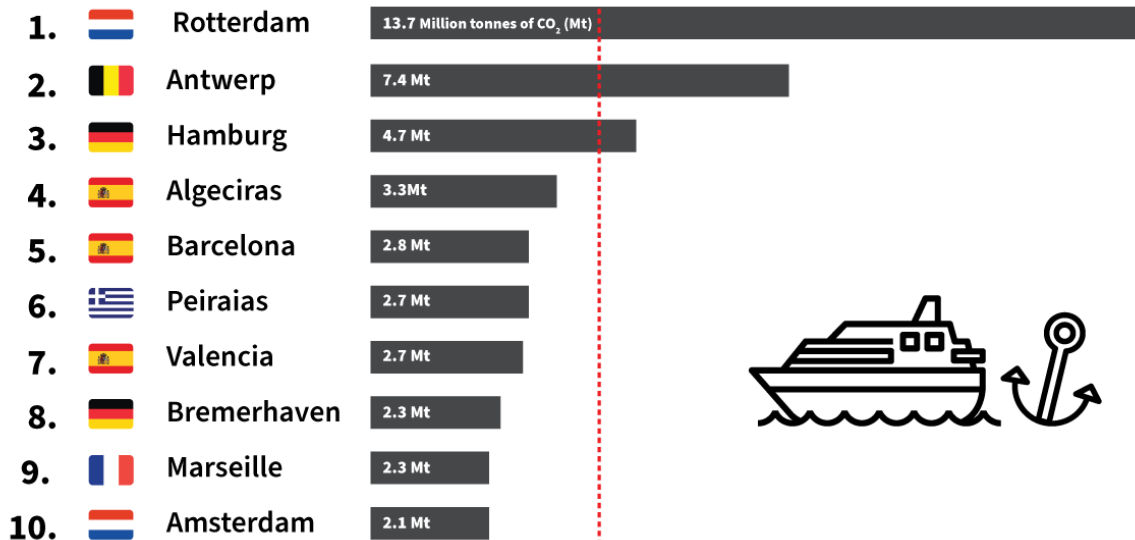


Σχήμα 2.17 Εκπομπές αερίου θερμοκηπίου στην ΕΕ από το 1990

Συνολικά, τα παραδοσιακά σκάφη μπορούν να έχουν σημαντικές αρνητικές επιπτώσεις στο περιβάλλον. Με τη μετάβαση σε εναλλακτικές πηγές ενέργειας, όπως κυψέλες καυσίμου και μπαταρίες, μπορούμε να συμβάλουμε στη μείωση αυτών των αρνητικών επιπτώσεων και να προχωρήσουμε προς ένα πιο βιώσιμο μέλλον για τη μεταφορά νερού.

Βάση της έρευνας που αναφέρεται στο [19], Το λιμάνι του Πειραιά στην Ελλάδα, εντάσσεται στα 10 λιμάνια της Ευρώπης με τους υψηλότερους ρύπους, στην θέση 6.

Top 10 most polluting European ports



Average coal-fired power plant

Τα σκάφη που κινούνται με τη χρήση κυψελών καυσίμου και μπαταριών προσφέρουν μια πολλά υποσχόμενη λύση σε αυτές τις περιβαλλοντικές ανησυχίες. Αυτά τα σκάφη είναι πιο αποδοτικά, δεν παράγουν εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου κατά τη λειτουργία τους και είναι πιο αθόρυβα από τα παραδοσιακά σκάφη, παράγοντας μικρότερη ηχορύπανση. Με τη μετάβαση από συμβατικές σε εναλλακτικές πηγές ενέργειας, μπορούμε να μειώσουμε τον αντίκτυπό μας στο περιβάλλον και να προχωρήσουμε προς ένα πιο βιώσιμο μέλλον για τις θαλάσσιες μεταφορές.

3 Ευρωπαϊκές πολιτικές που αφορούν την ναυτιλία

3.1 Εισαγωγή

Λόγω της συνεχώς αυξανόμενη ανησυχίας για το γεγονός ότι όλες οι παγκόσμιες θαλάσσιες δραστηριότητες είναι αλληλένδετες, ενώ οι αντίστοιχες θαλάσσιες πολιτικές και διαδικασίες λήψης αποφάσεων εξακολουθούν να είναι αρκετά κατακερματισμένες ανά κλάδο, η Ευρωπαϊκή Ένωση ξεκίνησε προσπάθειες για την ανάπτυξη ενός ολιστικού και πιο συγκεντρωτικού πλαισίου πολιτικής για να αντιμετωπίσει αυτό το πρόβλημα. Κατά συνέπεια, στους στρατηγικούς της στόχους για την περίοδο 2005-2009 (COM(2005) 0012), η Ευρωπαϊκή Επιτροπή ζήτησε μια ολοκληρωμένη προσέγγιση πολιτικής όσο αφορά τις θαλάσσιες υποθέσεις. Τον Οκτώβριο του 2007, η Επιτροπή εγκαινίασε την «Ολοκληρωμένη θαλάσσια πολιτική για την Ευρωπαϊκή Ένωση» (COM(2007) 0575). Έκτοτε, η Επιτροπή έχει υποβάλει δύο εκθέσεις προόδου. Τον Οκτώβριο του 2009 (COM(2009) 0540) και τον Σεπτέμβριο του 2012 (COM(2012) 0491), που περιγράφουν τα κύρια επιτεύγματα της ΟΘΠ (ολοκληρωμένη θαλάσσια πολιτική) της ΕΕ και των αντίστοιχων θαλάσσιων τομεακών πολιτικών.

Η Ολοκληρωμένη Θαλάσσια Πολιτική (ΟΘΠ) της ΕΕ είναι ένα πλαίσιο πολιτικής το οποίο στοχεύει στην προώθηση της βιώσιμης ανάπτυξης όλων των θαλάσσιων δραστηριοτήτων αλλά και των παράκτιων περιοχών βελτιώνοντας όμως τον συντονισμό των πολιτικών που επηρεάζουν τους ωκεανούς, τις θάλασσες, τα νησιά, τις παράκτιες και απόκεντρες περιοχές και τους θαλάσσιους τομείς. Οι κύριοι στόχοι και τα αντίστοιχα πεδία δράσης του ΘΟΠ (IMP integrated marine policy) (COM(2007) 0575) είναι: [20]

3.2 Κύριοι Στόχοι

Οι κύριοι στόχοι της ολοκληρωμένης θαλάσσιας πολιτικής είναι:

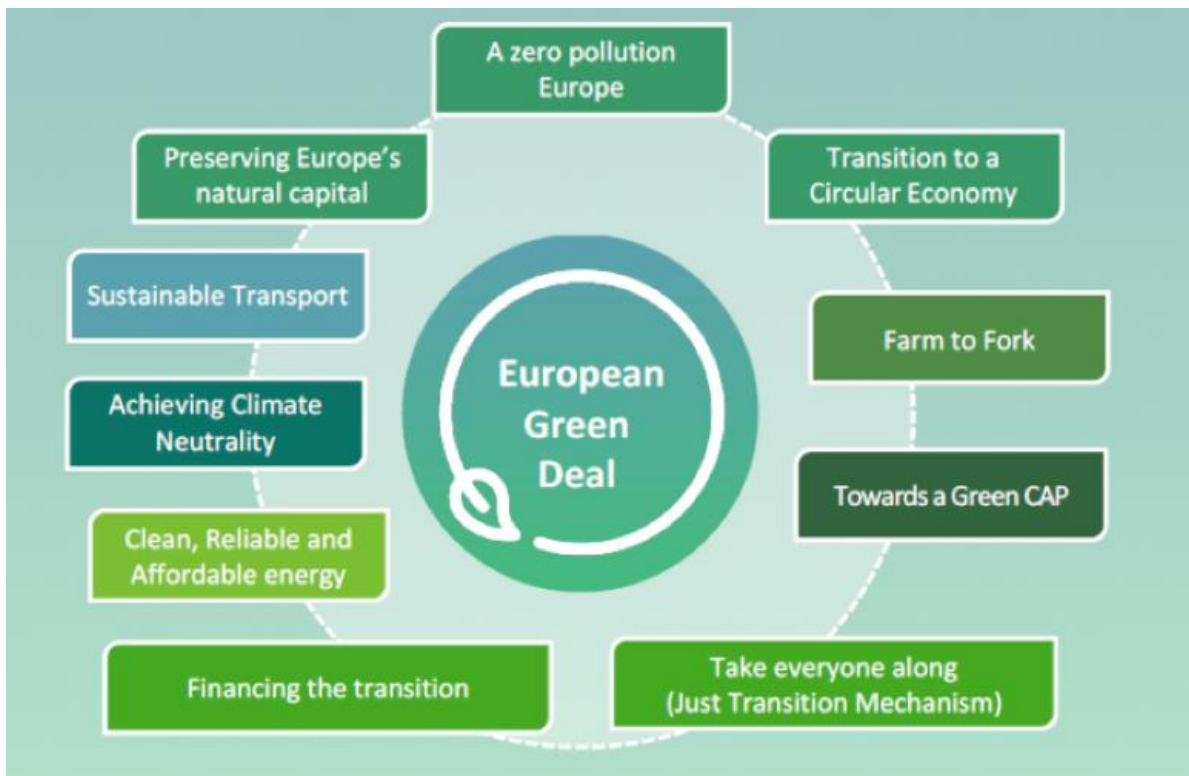
- Αύξηση της βιώσιμης χρησιμοποίησης των ωκεανών αλλά και των θαλασσών προκειμένου έτσι να καταστεί δυνατή η ανάπτυξη των θαλάσσιων περιοχών και των παράκτιων περιοχών όσον αφορά τη ναυτιλία, τους θαλάσσιους λιμένες, τη ναυπηγική βιομηχανία, τις θέσεις εργασίας στον τομέα της θάλασσας, το περιβάλλον και τη διαχείριση της αλιείας·
- Δημιουργία μιας βάσης γνώσης και καινοτομίας όσο αφορά τη θαλάσσια πολιτική μέσω μιας ολοκληρωμένης Ευρωπαϊκής Στρατηγικής για τη Θαλάσσια και Ναυτιλιακή Έρευνα (π.χ. η οδηγία πλαίσιο για τη θαλάσσια στρατηγική (2008/56/ΕΚ) και το πρόγραμμα Horizon 2020)
- Βελτιστοποίηση της ποιότητας της ζωής στις διάφορες παράκτιες περιοχές με την ενθάρρυνση του παράκτιου και θαλάσσιου τουρισμού, τη δημιουργία κοινοτικής στρατηγικής για την πρόληψη των καταστροφών και την ανάπτυξη του θαλάσσιου δυναμικού των απόκεντρων περιοχών και νησιών της ΕΕ·
- Προώθηση της ηγετικής θέσης της ΕΕ στις διεθνείς θαλάσσιες υποθέσεις μέσω ενισχυμένης συνεργασίας σε επίπεδο διεθνούς διακυβέρνησης των ωκεανών και, σε ευρωπαϊκή κλίμακα, μέσω της Ευρωπαϊκής Πολιτικής Γειτονίας (ΕΠΓ).
- Αύξηση της προβολής της θαλάσσιας και των παραλιών της Ευρώπης μέσω της διαδικτυακής εφαρμογής «Ευρωπαϊκός Άτλαντας των Θαλασσών», ως μέσο για την ανάδειξη της κοινής ευρωπαϊκής θαλάσσιας κληρονομιάς, και με τον εορτασμό της ετήσιας Ευρωπαϊκής Ημέρας Ναυτιλίας στις 20 Μαΐου.

3.3 Πράσινη Συμφωνία (Green Deal)

Η Πράσινη Συμφωνία Green Deal της Ευρωπαϊκής Ένωσης (ΕΕ) αποτελεί την κύρια νέα αναπτυξιακή στρατηγική της ΕΕ για τη μετάβαση της οικονομίας της ΕΕ σε ένα πιο βιώσιμο οικονομικό μοντέλο. Ο πρωταρχικός στόχος της Πράσινης Συμφωνίας της ΕΕ, που παρουσιάστηκε τον Δεκέμβριο του 2019, είναι να γίνει η ΕΕ η πρώτη κλιματικά ουδέτερη ήπειρος έως το 2050, με αποτέλεσμα καθαρότερο περιβάλλον, πιο προσιτή και πράσινη ενέργεια, εξυπνότερες μεταφορές, νέες θέσεις εργασίας και συνολικά καλύτερη ποιότητα ζωής για όλους τους ευρωπαίους πολίτες.

Υπάρχουν διάφοροι μηχανισμοί χρηματοδότησης για τη υλοποίηση της Πράσινης Συμφωνίας της ΕΕ, συνολικού ύψους άνω του 1 τρισεκατομμυρίου ευρώ. Αυτή η επένδυση θα χρηματοδοτήσει την υλοποίηση της όποιας μεταρρύθμισης πολιτικής που μπορεί να απαιτείται για την οικονομική ανάπτυξη και την κλιματική ουδετερότητα που στοχεύει να επιτύχει η ΕΕ. [21]

Η προτεινόμενη χρηματοδότηση για την Πράσινη Συμφωνία της ΕΕ ορίζεται στο επενδυτικό σχέδιο της Πράσινης Συμφωνίας της ΕΕ. Περιλαμβάνει δύο κύριες πηγές χρηματοδότησης συνολικού ύψους μέχρι 1 τρισεκατομμυρίου ευρώ. Τα περισσότερα από τα χρήματα του προϋπολογισμού, 528 δισ. ευρώ, θα προέλθουν απευθείας από τον προϋπολογισμό της ΕΕ και το Σύστημα Εμπορίας Εκπομπών της ΕΕ. Το υπόλοιπο ποσό θα ληφθεί μέσω του προγράμματος InvestEU, το οποίο συνδυάζει 279 δισ. ευρώ από τον δημόσιο και ιδιωτικό τομέα έως το 2030 και 114 δισ. ευρώ από εθνική συγχρηματοδότηση. Θα παρέχει εγγύηση του προϋπολογισμού της ΕΕ για να επιτρέψει στον Όμιλο ΕΤΕπ (Ευρωπαϊκό ταμείο επενδύσεων) με σκοπό να επενδύσουν σε έργα υψηλότερου κινδύνου, επιτρέποντας και διάφορες ιδιωτικές επενδύσεις. Το Ευρωπαϊκό Συμβούλιο Καινοτομίας έχει επίσης διαθέσει ένα προϋπολογισμό μέχρι και 300 εκατομμυρίων ευρώ για επενδύσεις σε καινοτομίες που δημιουργούν αγορές και συμβάλλουν στους στόχους της Πράσινης Συμφωνίας της ΕΕ.



Σχήμα 3.1 Ευρωπαϊκή Πράσινη Συμφωνία

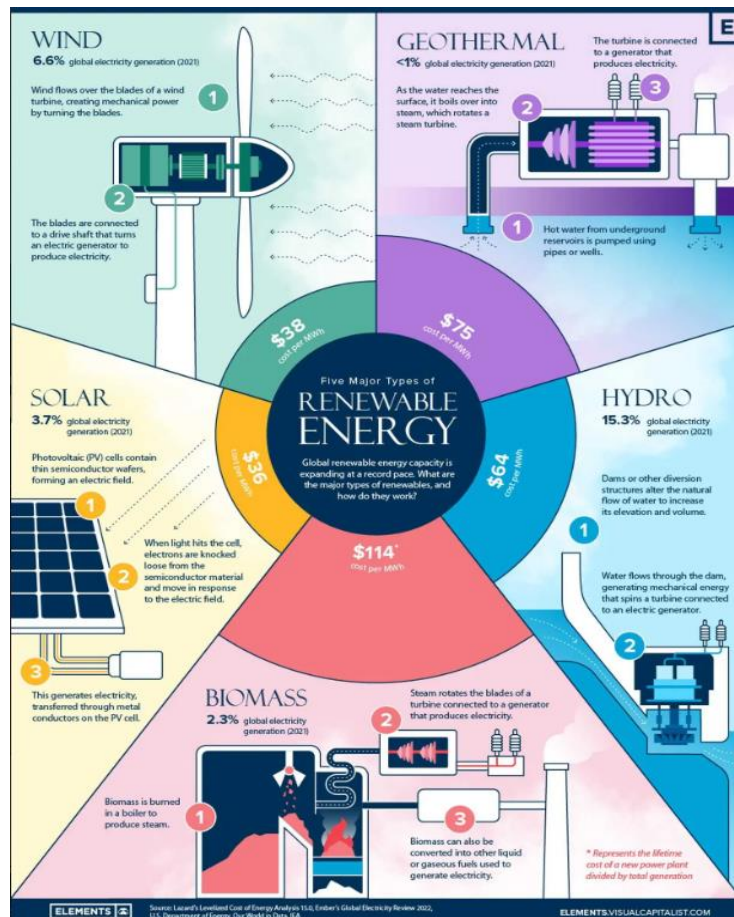
Ο κανονισμός της ευρωπαϊκής νομοθεσίας για το κλίμα μετατρέπει την πολιτική φιλοδοξία της επίτευξης της κλιματικής ουδετερότητας έως το 2050 σε νομική υποχρέωση για την ΕΕ.

Με την υιοθέτησή του, η ΕΕ και τα κράτη μέλη της δεσμεύτηκαν να μειώσουν τις καθαρές εκπομπές αερίων θερμοκηπίου στην ΕΕ κατά τουλάχιστον 55% έως το 2030, σε σύγκριση με τα επίπεδα του 1990. Ο στόχος αυτός είναι νομικά δεσμευτικός και βασίζεται σε εκτίμηση επιπτώσεων που διενεργεί η Επιτροπή.

3.3.1 Τι είναι η ανανεώσιμες πηγές ενέργειας

Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας αποτελούν την εκμετάλλευση των φυσικών πόρων οι οποίοι αναπληρώνονται συνεχώς ή με αρκετά γρήγορο ρυθμό ο οποίος είναι αρκετός για την κάλυψη των ανθρώπινων αναγκών όσο αφορά τον τομέα της ενέργειας. Σε αντίθεση με τα ορυκτά καύσιμα, τα οποία είναι πεπερασμένα σε ποσότητα και συμβάλλουν ενεργά στην υποβάθμιση του περιβάλλοντος και της ανθρώπινης υγείας, οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας είναι βιώσιμες και έχουν μικρότερο έως και μηδενικό περιβαλλοντικό αντίκτυπο. Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι ο τομέας των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας εξελίσσεται συνεχώς και εφευρίσκονται νέες τεχνικές και τρόποι εκμετάλλευσης των διάφορων πόρων που παρέχει η γη. Οι πιο συνηθισμένες πηγές ενέργειας είναι οι πιο κάτω: (μέσω εργασίας μου στο μάθημα «Περιβάλλον και ανάπτυξη»

1. **Ηλιακή ενέργεια:** Είναι η εκμετάλλευση της ενέργειας που παρέχει ο ήλιος με τη χρήση φωτοβολταϊκών συστημάτων και φωτοβολταϊκών πάρκων που μπορεί να βρίσκονται εγκατεστημένα σε οικόπεδα για μεγάλη παραγωγή και πώληση της παραγόμενης ενέργειας στο εμπόριο αγοράς ενέργειας η μπορεί να υπάρχουν και οικιακά φωτοβολταϊκά συστήματα των οποίων η παραγόμενη ενέργεια συνήθως προορίζεται για ιδιοκατανάλωση.
2. **Αιολική ενέργεια:** είναι η ενέργεια που παρέχεται από το φύσημά του αέρα. Εκμεταλλεύεται μέσω ανεμογεννητριών και μεγαλύτερων αιολικών πάρκων που είναι εγκατεστημένα σε μεγάλες εκτάσεις γης. Υπάρχουν ακόμη και αιολικά πάρκα τα οποία είναι εγκατεστημένα στη θάλασσα σε πλωτές πλατφόρμες για μέγιστη εκμετάλλευση της αιολική ενέργειας.
3. **Υδροηλεκτρική ενέργεια:** είναι η εκμετάλλευση της δυναμικής ενέργειας του νερού. Όταν το νερό πέφτει από μια θέση υψηλού δυναμικού σε μια θέση χαμηλότερου δυναμικού, η κινητική αυτή ενέργεια εκμεταλλεύεται μέσω υδροηλεκτρικών σταθμών. Ενδιαφέρον να αναφερθεί είναι ότι τον τελευταίο καιρό έχουν αναπτυχθεί και διάφορες τεχνικές και συσκευές μέσω των οποίων εκμεταλλεύεται και η ενέργεια της παλίρροιας αλλά και των κυμάτων της θάλασσας αφού η θάλασσα αποτελεί μια πηγή ατέλειωτης ενέργειας.
4. **Βιομάζα:** η πηγή αυτής της ενέργειας προέρχεται από την καύση διάφορων οργανικών υλικών όπως ξύλα, άχυρα, κουκούτσια αλλά και ζωικά απόβλητα τα οποία επεξεργάζονται κατάλληλα με σκοπό την καύση τους και την παραγωγή ενέργειας.
5. **Γεωθερμική ενέργεια:** είναι η θερμική ενέργεια που είναι αποθηκευμένη κάτω από τη γη. Η εκμετάλλευση της γίνεται μέσω εξακφής μέχρι να βρεθεί η πηγή θερμότητας κάτω από τη γη και έπειτα η θερμότητα αυτή χρησιμοποιείται σε μορφή ατμού για την παραγωγή ενέργειας. Επίσης μπορεί να χρησιμοποιηθεί άμεσα ως θερμότητα για την θέρμανση σπιτιών και εγκαταστάσεων.



Σχήμα 3.2 Κύριες πηγές ΑΠΕ

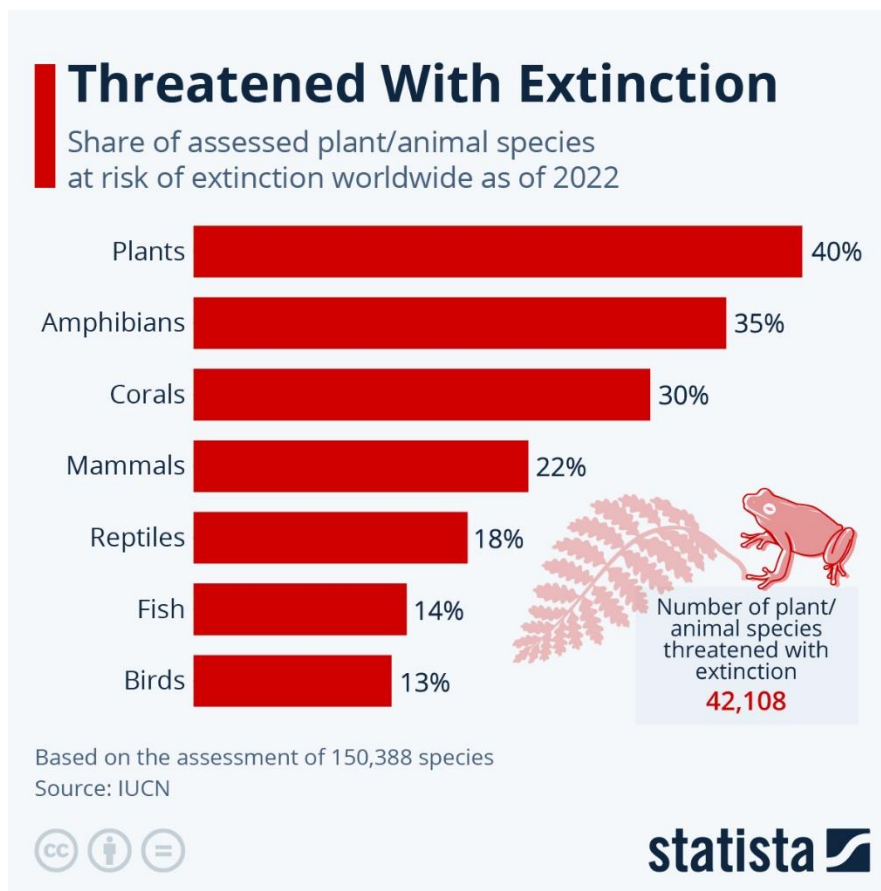
Με την παρουσίαση της, η πράσινη συμφωνία, βρήκε μερικά εμπόδια κατά την εφαρμογή και υλοποίηση της λόγω του απρόσμενου ξεσπάσματος του κορονοϊού κατά το 2020 και οι επείγουσες χρηματοδοτήσεις που έπρεπε να δοθούν στους απλούς πολίτες αλλά και τα διάφορα μέτρα προστασίας από τον ιό που έπρεπε να ληφθούν, χρηματοδοτήσεις για εμβόλια και ενίσχυση των ιατρικών υπηρεσιών. Το NextGeneration Plan είναι το μέσω με το οποίο η ΕΕ σκοπεύει να ανακάμψει από τις συνέπειες που επέφερε ο κορονοϊός με την επένδυση 806.9 εκατομμυρίων ευρώ. Επιπλέον, το ξέσπασμα του πολέμου στην Ουκρανία προκάλεσε ενεργειακή κρίση στην ΕΕ και οι στόχοι έπρεπε να αναθεωρηθούν. Η απάντηση της ΕΕ σε αυτή την περίπτωση ήταν η έκδοση του προγράμματος REPower EU η οποία αναφέρεται πιο εκτεταμένα πιο κάτω. Ο δρόμος μέχρι το 2050 και την κλιματική ουδετερότητα που προτείνεται από την ΕΕ είναι ακόμη μεγάλος και σίγουρα θα υπάρξουν αλλαγές και εμπόδια στην πορεία μέχρι να επιτευχθεί η κλιματική ουδετερότητα που έχει σαν στόχο η ΕΕ.

Η νομοθεσία Green Deal στοχεύει στο να επιτύχει: [22]

1. Κλιματική ουδετερότητα έως το 2050: Ο πρωταρχικός στόχος είναι η επίτευξη καθαρού αέρα και μηδενικών εκπομπών αερίων θερμοκηπίου μέχρι και το 2050.
2. Στόχος για μείωση των αερίων θερμοκηπίου: Η Ευρωπαϊκή Πράσινη Συμφωνία περιγράφει συγκεκριμένους στόχους για τη μείωση των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου έως το 2030, με στόχο τη μείωση τους κατά τουλάχιστον 55% σε σύγκριση με τα επίπεδα των αερίων θερμοκηπίου κατά το έτος 1990.

3. **Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας:** Η αύξηση του μεριδίου των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στο ενεργειακό μείγμα της ΕΕ αποτελεί κεντρικό μέρος της Πράσινης Συμφωνίας. Αυτό περιλαμβάνει διάφορες επενδύσεις σε υποδομές ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.
4. **Ενεργειακή απόδοση:** Το σχέδιο περιλαμβάνει μέτρα για τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης σε διάφορους τομείς, συμπεριλαμβανομένων των κτιρίων, των μεταφορών και της βιομηχανίας. Αυτό θεωρείται κρίσιμο στοιχείο για τη μείωση της συνολικής κατανάλωσης ενέργειας. Η ενεργειακή απόδοση είναι ο πλέον σημαντικός παράγοντας κατά τη δόμηση και ανακαίνιση κτηρίων και το Ενεργειακό Πιστοποιητικό που αποδεικνύει την ενεργειακή απόδοση μίας κατοικίας υποχρεωτικό κατά την ενοικίαση και πώληση ενός σπιτιού. Η οδηγία για την ενεργειακή απόδοση (2012/27/ΕΕ), η οποία τέθηκε σε ισχύ τον Δεκέμβριο του 2012, απαιτούσε από τα κράτη μέλη να ορίζουν ενδεικτικούς εθνικούς στόχους ενεργειακής απόδοσης, προκειμένου να διασφαλιστεί ότι η ΕΕ θα επετύγχανε τον πρωταρχικό στόχο της περί μείωσης της κατανάλωσης ενέργειας κατά 20% έως το 2020. Σε απόλυτες τιμές η ενεργειακή κατανάλωση της ΕΕ έως το 2020 δεν θα πρέπει να υπερβαίνει τα 1 474 και τα 1078 εκατομμύρια τόνους ισοδύναμου πετρελαίου για πρωτογενή και τελική ενέργεια αντιστοίχως. Τα κράτη μέλη ήταν ελεύθερα να καταστήσουν αυστηρότερες αυτές τις ελάχιστες απαιτήσεις στην προσπάθειά τους να εξοικονομήσουν ενέργεια. Η οδηγία εισήγαγε επίσης μια δεσμευτική δέσμη μέτρων, ώστε να βοηθήσει τα κράτη μέλη να επιτύχουν αυτόν τον στόχο, ενώ επίσης όριζε νομικά δεσμευτικούς κανόνες για τους τελικούς χρήστες και τους προμηθευτές ενέργειας. Το 2020, τα επίπεδα τελικής και πρωτογενούς κατανάλωσης ενέργειας στην ΕΕ-27 ήταν περισσότερο από 5% κάτω από τους επιδιωκόμενους στόχους για εκείνο το έτος. Μέρος αυτών των αποτελεσμάτων μπορεί να αποδοθεί στην πανδημία. Στον τομέα της παραγωγής ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, η ΕΕ-27 πέτυχε επίπεδο 22% της συνολικής κατανάλωσης ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές το 2020, επιτυγχάνοντας έτσι τον στόχο του 20%. [23]
5. **Κυκλική Οικονομία:** Η Ευρωπαϊκή Πράσινη Συμφωνία δίνει έμφαση στη μετάβαση σε μια κυκλική οικονομία, όπου οι πόροι χρησιμοποιούνται πιο βιώσιμα, χωρίς άσκοπη σπατάλη προϊόντων, τα προϊόντα σχεδιάζονται έτσι ώστε να μπορούν να ανακυκλωθούν με εύκολο τρόπο, και η παραγωγή αποβλήτων ελαχιστοποιείται όσο περισσότερο γίνεται. Η κυκλική οικονομία είναι ένα μοντέλο παραγωγής και κατανάλωσης, το οποίο περιλαμβάνει κοινή χρήση, μίσθωση, επαναχρησιμοποίηση, επισκευή, ανακαίνιση και ανακύκλωση υπαρχόντων υλικών και προϊόντων όσο το δυνατόν περισσότερο. Με αυτόν τον τρόπο, επεκτείνεται ο κύκλος ζωής των προϊόντων.
6. **Βιοποικιλότητα:** Η προστασία και η αποκατάσταση της βιοποικιλότητας είναι μια άλλη βασική πτυχή του συγκεκριμένου κανονισμού. Το σχέδιο περιλαμβάνει πρωτοβουλίες για την αναχαίτηση της απώλειας βιοποικιλότητας, την προώθηση της βιώσιμης γεωργίας και την αντιμετώπιση της αποψίλωσης των δασών. Η βιοποικιλότητα, ή πιο απλά η ποικιλία όλων των οργανισμών που ζουν στον πλανήτη γη, συμπεριλαμβανομένου της χλωρίδας αλλά και της πανίδας, μαζί με τους ανθρώπους μειώνεται καθημερινά με ανησυχητικούς ρυθμούς τα τελευταία χρόνια, κυρίως λόγω των ρυπογόνων ανθρώπινων δραστηριοτήτων, όπως οι αλλαγές στη χρήση της γης, η ρύπανση και η κλιματική αλλαγή. Η βιοποικιλότητα μας παρέχει καθαρό αέρα, φρέσκο νερό, έδαφος καλής ποιότητας. Μας βοηθά να καταπολεμήσουμε και να προσαρμοστούμε στην κλιματική αλλαγή, αλλά και να μειώσουμε τις δυσμενείς επιπτώσεις των φυσικών κινδύνων [21]. Δεδομένου ότι οι ζωντανοί οργανισμοί αλληλοεπιδρούν στα δυναμικά οικοσυστήματα, η εξαφάνιση ενός είδους μπορεί να έχει σημαντικές επιπτώσεις στην τροφική αλυσίδα. Είναι αδύνατο να γνωρίζουμε τις ακριβείς επιπτώσεις των μαζικών

εξαφανίσεων για τον άνθρωπο, αλλά γνωρίζουμε ότι ποικιλομορφία της φύσης μας επιτρέπει, προς το παρόν, να αναπτυχθούμε.



Σχήμα 3.3 Είδη υπό εξαφάνιση

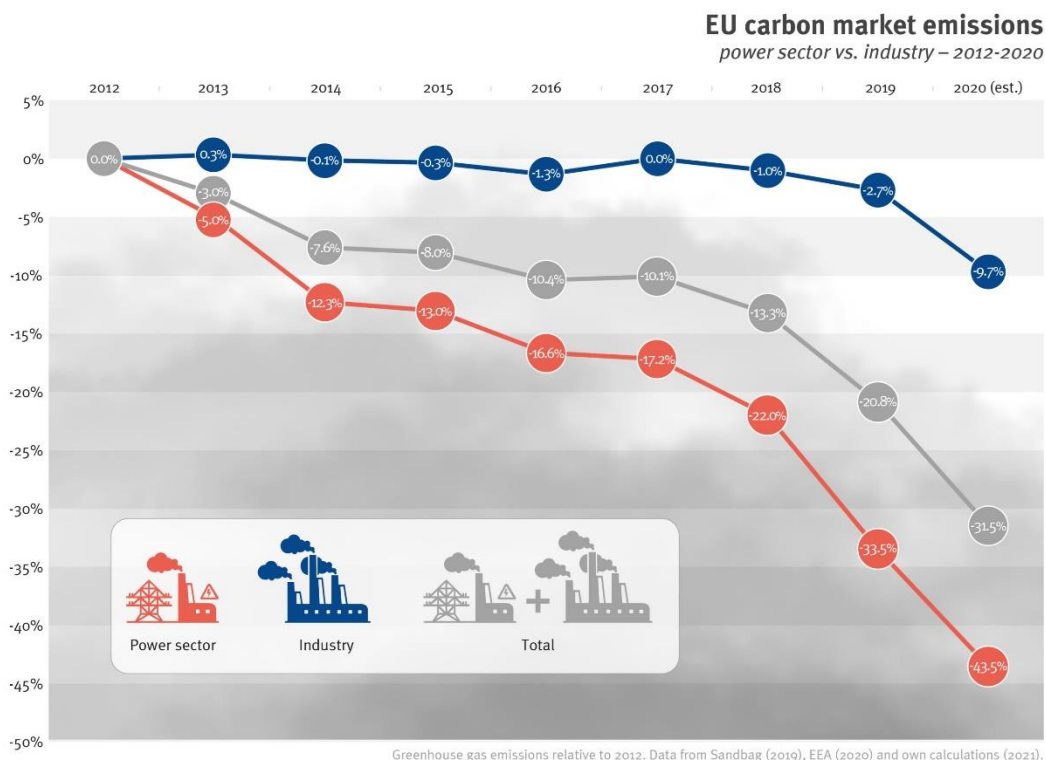
7. Στρατηγική Farm to Fork: Μέρος της Πράσινης Συμφωνίας, αυτή η στρατηγική στοχεύει να κάνει τα συστήματα τροφίμων πιο βιώσιμα, διασφαλίζοντας ότι η παραγωγή τροφίμων είναι φιλική προς το περιβάλλον και προωθώντας την υγιεινή διατροφή. Αυτό στοχεύουν να το πετύχουν με μια σειρά από δράσεις όπως είναι η προώθηση φιλικών προς το περιβάλλον και βιώσιμων γεωργικών πρακτικών και οργανικών αγαθών που μειώνουν το οικολογικό αποτύπωμα της γεωργίας προς τη γη. Να δίνεται έμφαση σε μικρότερες αλυσίδες προϊόντων και όσο γίνεται η κατανάλωση του προϊόντος όσο πιο κοντά στην παραγωγή έτσι ώστε να μειωθούν οι άσκοπες μεταφορές αγαθών και οι αποστάσεις που διανύουν τα προϊόντα μέχρι να φτάσουν στον καταναλωτή και να στηριχθούν οι τοπικές οικονομίες. Να προωθηθεί η ιχνηλατήση του προϊόντος έτσι ώστε ο καταναλωτής να είναι σε θέση να γνωρίζει που παράχθηκε το προϊόν, με ποιο τρόπο, πως επεξεργάστηκε και πως κατάφερε τελικά να φτάσει σε αυτόν με το να αναγράφονται οι κατάλληλες πληροφορίες σε ταμπέλες στο προϊόν. Να ευαισθητοποιήσει τους πολίτες σχετικά με τα θέματα υγείας και διατροφής έτσι ώστε να τους προωθήσει προς την υιοθέτηση ενός πιο υγιεινού διατροφικού προγράμματος και να βελτιωθεί η υγεία και η ποιότητα ζωής των πολιτών.
8. Ταμείο Just Transition: Αναγνωρίζοντας τις κοινωνικές και οικονομικές προκλήσεις που συνδέονται με τη μετάβαση σε μια πράσινη οικονομία, η Ευρωπαϊκή Πράσινη Συμφωνία περιλαμβάνει ένα Ταμείο Δίκαιης Μετάβασης για τη στήριξη περιφερειών και κοινοτήτων που το εισόδημα τους εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τα ορυκτά καύσιμα. Αυτό σκοπεύει να το

επιτύχει με προγράμματα εκμάθησης νέων δεξιοτήτων και άνοιγμα καινούριων θέσεων εργασίας στον τομέα των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και της προστασίας του περιβάλλοντος στους πολίτες των οποίων η εργασία και ο μισθός θα επηρεαστεί μετά την υιοθέτηση των νέων πολιτικών για την πράσινη ανάπτυξη. Επίσης έχουν σκοπό να διαθέσουν μερικά χρήματα για να στηρίξουν και οικονομικά αυτούς που θα το χρειάζονται.

9. Ψηφιοποιήσει για την αιεφορία: Το σχέδιο αναγνωρίζει το ρόλο των ψηφιακών τεχνολογιών στην επίτευξη περιβαλλοντικών στόχων, συμπεριλαμβανομένης της χρήσης δεδομένων και τεχνολογίας για την παρακολούθηση και τη διαχείριση περιβαλλοντικών πόρων. Η παγκοσμιοποίηση μέσω του διαδικτύου και η γρήγορη μεταφορά πληροφορίας και δεδομένων, θα επιτρέπει στην ΕΕ να μπορεί να παρακολουθεί την πρόοδο των στόχων που έχει θέσει και να δημοσιοποιεί μέσω των ΜΜΕ τα στατιστικά στοιχεία που λαμβάνει αλλά και να ενημερώνει τον κόσμο σε πραγματικό χρόνο για εξελίξεις, να αναρτά ανακοινώσεις και δεδομένα.
10. Παγκόσμια ηγεσία: Η Ευρωπαϊκή Πράσινη Συμφωνία οραματίζεται την ΕΕ ως παγκόσμιο ηγέτη στη βιώσιμη ανάπτυξη, ενθαρρύνοντας άλλες χώρες να ακολουθήσουν το παράδειγμά τους και ενθαρρύνοντας τη διεθνή συνεργασία σε θέματα κλίματος και περιβάλλοντος

Σύστημα Εμπορίας Δικαιωμάτων Εκπομπών

Το σύστημα δικαιωμάτων εμπορίας εκπομπών της ΕΕ είναι μια αγορά άνθρακα που βασίζεται σε ένα σύστημα ανώτατων ορίων εκπομπών εμπορίας για τις βιομηχανίες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Είναι το κύριο εργαλείο της ΕΕ για την αντιμετώπιση των μειώσεων των εκπομπών. Από την εισαγωγή του το 2005, οι εκπομπές της ΕΕ μειώθηκαν κατά 41%. Το Σύστημα Εμπορίας Δικαιωμάτων Εκπομπών (ΣΕΔΕ) αποτελεί τον ακρογωνιαίο λίθο της πολιτικής της Ε.Ε. για την καταπολέμηση της κλιματικής αλλαγής καθώς και το βασικό της εργαλείο για τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου με οικονομικά αποδοτικό τρόπο. Το σύστημα αυτό θέτει μερικούς περιορισμούς στις ποσότητες αερίων του θερμοκηπίου που έχουν δικαίωμα να εκπέμπουν οι βιομηχανίες των οποίων η λειτουργία απαιτεί μεγάλα ποσά ενέργειας, οι παραγωγοί ηλεκτρικής ενέργειας και οι αεροπορικές εταιρείες. Τα ανώτατα επίπεδα των δικαιωμάτων εκπομπών καθορίζονται από την ΕΕ και κάθε επιχείρηση λαμβάνει ή αγοράζει τα δικαιώματα που χρειάζεται. Το ανώτατο όριο μειώνεται με την πάροδο του χρόνου, προκειμένου να μειωθούν σταδιακά οι συνολικές ποσότητες εκπομπών.



Σχήμα 3.4 Μείωση εκπομπών διοξειδίου άνθρακα 2012-2020

3.4 Fit for 55

Η Ευρωπαϊκή Ένωση είναι χτισμένη στην αρχή της ανάπτυξης κοινών πολιτικών μεταξύ όλων των μελών της, με στόχο την επίτευξη των κοινών μας συμφερόντων. Απαιτεί την αλληλεγγύη μεταξύ όλων των κρατών μελών και των πολιτών της για να επιτευχθούν αυτοί οι στόχοι με ειρήνη και να μπορούν όλοι οι πολίτες να απολαύσουν τα οφέλη που τους παρέχει η ΕΕ, με τον καθένα να ενεργεί σύμφωνα με τις δικές του ικανότητες και δυνατότητες και να σέβεται τις διαφορετικές εθνικές ιδιαιτερότητες του κάθε λαού και τις αφετηρίες από τις οποίες ξεκίνησε ο κάθε ένας για την επίτευξη του τελικού ενιαίου στόχου. Το πακέτο Fit for 55 έχει σχεδιαστεί με αυτό το πνεύμα: οι προσπάθειες μοιράζονται μεταξύ των κρατών μελών με τον πιο αποδοτικό τρόπο, αναγνωρίζοντας τις διαφορές μας και παρέχεται υποστήριξη σε όσους έχουν μεγαλύτερη ανάγκη, για να διασφαλιστεί ότι η μετάβαση θα φτάσει σε όλους με ευεργετικό τρόπο και θα μοιραστούν όλοι τα καλά που έχει να προσφέρει.

Το "Fit for 55" είναι ένα πακέτο διάφορων νομοθετικών προτάσεων που υποβλήθηκε από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή τον Ιούλιο του 2021. Το πακέτο αποτελεί βασικό στοιχείο των προσπαθειών της Ευρωπαϊκής Ένωσης να επιτύχει τους στόχους της για το κλίμα που περιγράφεται στην Ευρωπαϊκή Πράσινη Συμφωνία. Το όνομα "Fit for 55" αναφέρεται στον στόχο μείωσης των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου στην ΕΕ κατά τουλάχιστον 55% έως το έτος 2030 σε σύγκριση με τα επίπεδα του 1990.

1. Εξασφαλίζει μια δίκαιη κοινωνικά μετάβαση
2. Διατηρεί και ενισχύει την καινοτομία και την ανταγωνιστικότητα της βιομηχανίας της ΕΕ, διασφαλίζοντας παράλληλα ίσους όρους ανταγωνισμού έναντι των οικονομικών φορέων τρίτων χωρών
3. Υποστηρίζει τη θέση της ΕΕ ως πρωτοπόρου στον παγκόσμιο αγώνα κατά της κλιματικής αλλαγής

Η δέσμη προτάσεων αποσκοπεί στην παροχή ενός συνεκτικού και ισορροπημένου πλαισίου για την επίτευξη των κλιματικών στόχων της ΕΕ, οι οποίοι είναι:

- Επέκταση των εκπομπών που προέρχονται από τις θαλάσσιες μεταφορές.
- Ταχύτερη μείωση των δικαιωμάτων εκπομπών και σταδιακή κατάργηση των δωρεάν δικαιωμάτων για ορισμένους τομείς.
- Εφαρμογή του παγκόσμιου συστήματος αντιστάθμισης και μείωσης του άνθρακα για τις διεθνείς αερομεταφορές (CORSIA) μέσω του EU ETS
- Αύξηση της χρηματοδότησης για το ταμείο εκσυγχρονισμού και το ταμείο καινοτομίας
- Αναθεώρηση του αποθεματικού σταθερότητας της αγοράς

Τον Δεκέμβριο του 2022 το Συμβούλιο εξέδωσε απόφαση σχετικά με την κοινοποίηση των απαιτήσεων συμψηφισμού CORSIA. Το CORSIA (Carbon Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation) είναι ένα παγκόσμιο σύστημα αντιστάθμισης των εκπομπών CO₂ από τις διεθνείς αερομεταφορές, στο οποίο συμμετέχουν κράτη μέλη της Ε.Ε.

Ταμείο Κοινωνικού Κλίματος

Η πρόταση του ταμείου για το κοινωνικό κλίμα στοχεύει στην αντιμετώπιση του κοινωνικού αντίκτυπου του νέου συστήματος εμπορίας εκπομπών για κτίρια και οδικές μεταφορές. Η ενεργειακή φτώχεια επηρεάζει έως και 34 εκατομμύρια ανθρώπους στην Ευρωπαϊκή Ένωση μέχρι και σήμερα. Το Ταμείο θα συμβάλει στον μετριασμό του κόστους για όσους είναι περισσότερο εκτεθειμένοι στις αυξήσεις των τιμών των ορυκτών καυσίμων κατά τη διάρκεια της μετάβασης.

Με βάση τα σχέδια για το κοινωνικό κλίμα που θα αναπτυχθούν από τα κράτη μέλη, το ταμείο στοχεύει στην παροχή μέτρων στήριξης και επενδύσεων προς όφελος των ευάλωτων:

- Νοικοκυριών
- Μικροεπιχειρήσεων
- Χρηστών των μεταφορών

Το ταμείο μπορεί επίσης να καλύψει την προσωρινή άμεση εισοδηματική στήριξη. Το ταμείο θα αποτελεί μέρος του προϋπολογισμού της ΕΕ και θα τροφοδοτείται από εξωτερικά έσοδα ειδικού προορισμού μέχρι ανώτατου ποσού 65 δισεκατομμυρίων ευρώ.

Οι υπουργοί περιβάλλοντος της ΕΕ συμφώνησαν στη διαπραγματευτική θέση του Συμβουλίου για τη δημιουργία του ταμείου για το κοινωνικό κλίμα τον Ιούνιο του 2022. Τον Δεκέμβριο του 2022, το Συμβούλιο αλλά και το Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο κατέληξαν σε μια προσωρινή πολιτική συμφωνία σχετικά με την πρόταση για το ταμείο. Οι νέοι κανόνες εγκρίθηκαν από το Συμβούλιο τον Απρίλιο του 2023.

Θα υπάρχει επίσης συνεχής αλληλεγγύη βάσει του Κανονισμού Καταμερισμού Προσπάθειας και του Συστήματος Εμπορίας Εκπομπών της ΕΕ, όπου ιδίως το ένα δέκατο των δικαιωμάτων για δημοπρασίες ανακατανέμεται μεταξύ των κρατών μελών

Μηχανισμός προσαρμογής των ορίων του άνθρακα

Ο μηχανισμός προσαρμογής των ορίων άνθρακα (CBAM- Carbon Border Adjustment Mechanism) στοχεύει να διασφαλίσει, σε πλήρη συμμόρφωση με τους κανόνες του διεθνούς εμπορίου, ότι οι προσπάθειες μείωσης των εκπομπών της ΕΕ δεν αντισταθμίζονται από την αύξηση των εκπομπών εκτός των συνόρων της μέσω της μετεγκατάστασης της παραγωγής σε χώρες εκτός ΕΕ (όπου οι πολιτικές που εφαρμόζονται για την καταπολέμηση της κλιματικής αλλαγής είναι λιγότερο φιλόδοξες από αυτές της ΕΕ) ή μέσω αυξημένων εισαγωγών προϊόντων άνθρακα.

Σχεδιασμένο ως μέσο δράσης για το κλίμα, εισάγει μια νέα δυναμική αγοράς που προστατεύει την ακεραιότητα της ΕΕ και της παγκόσμιας κλιματικής πολιτικής μειώνοντας τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου στην ΕΕ και παγκοσμίως, και παρακινεί τους σχετικούς τομείς να εκσυγχρονιστούν, να γίνουν πιο βιώσιμοι και να μειώσουν την περιεκτικότητά τους σε άνθρακα.

Ο CBAM στοχεύει στην παρακολούθηση των εισαγωγών προϊόντων σε βιομηχανίες εκπομπών άνθρακα. Έχει σχεδιαστεί για να λειτουργεί παράλληλα με το σύστημα εμπορίας εκπομπών της ΕΕ (EU ETS – Emission Trading System) καθώς και να αντικατοπτρίζει και να συμπληρώνει τη λειτουργία του σε διάφορα εισαγόμενα αγαθά. Θα αντικαταστήσει σταδιακά τους ήδη υφιστάμενους μηχανισμούς της ΕΕ για την αντιμετώπιση του κινδύνου διαρροής άνθρακα, ιδίως τη ελεύθερη κατανομή των δικαιωμάτων EU ETS.

Στις 15 Μαρτίου 2022, το Συμβούλιο κατέληξε σε συμφωνία επί του κειμένου. Τον Δεκέμβριο του 2022, οι διαπραγματευτές του Συμβουλίου και του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου κατέληξαν σε προσωρινή συμφωνία για το CBAM.

Εκπομπές και απαγορεύσεις τη χρήσης γης, αλλαγή χρήσης γης και δασοκομία

Ο κανονισμός για τη χρήση γης, την αλλαγή της χρήσης της γης και τη δασοκομία (LULUCF - Land Use, Land-Use Change and Forestry) θέτει μια δέσμευση για την ΕΕ έτσι ώστε να καταφέρει να μειώσει την αποψίλωση των δασών έτσι ώστε να αυξήσει τις φυσικές καταβόθρες άνθρακα.²

Οι νέοι κανόνες θέτουν έναν αυξημένο στόχο σε επίπεδο ΕΕ για τουλάχιστον 310 εκατομμύρια τόνους καθαρής απομάκρυνσης αερίων θερμοκηπίου ισοδύναμου CO₂ για το 2030. Καθορίζονται δεσμευτικοί εθνικοί στόχοι για κάθε κράτος μέλος.

Η Επιτροπή λαμβάνει επίσης πολλαπλά μέτρα για να δώσει κίνητρα για καλές πρακτικές στην παραγωγή βιομάζας και να διασφαλίσει ότι η προσφορά και η ζήτηση για ξυλώδη βιομάζα παραμένουν εντός των ορίων της βιωσιμότητας και συνδυάζονται με τους στόχους για την αποκατάσταση της βιοποικιλότητας, τη βελτίωση της υγείας της φύσης, και παραμένοντας εντός των ορίων που θέτει ο πλανήτης

Το Συμβούλιο Περιβάλλοντος ενέκρινε μια γενική προσέγγιση για τον αναθεωρημένο κανονισμό LULUCF στις 29 Ιουνίου 2022. Επετεύχθη προσωρινή συμφωνία με το Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο τον Νοέμβριο του 2022. Ο κανονισμός εγκρίθηκε από το Συμβούλιο τον Μάρτιο του 2023.

Στόχοι κρατών μελών για μείωση εκπομπών

Ο κανονισμός καταμερισμού της προσπάθειας, που τροποποιήθηκε τελευταία κατά τη διάρκεια του έτους το 2018, θέτει δεσμευτικούς ετήσιους στόχους εκπομπών αερίων θερμοκηπίου για τα διάφορα κράτη μέλη της ΕΕ σε τομείς που δεν καλύπτονται από το σύστημα εμπορίας εκπομπών της ΕΕ (EU ETS) ή τον κανονισμό για τη χρήση γης, την μετατόπιση της χρήσης γης και τη δασοκομία (LULUCF). Αυτοί οι τομείς περιλαμβάνουν:

- Οδικές και εσωτερικές θαλάσσιες μεταφορές
- Κτίρια
- Γεωργία
- Απόβλητα
- Μικρές βιομηχανίες

² Δάσος, ωκεανός, περιβάλλον που έχει την ικανότητα να απορροφά διοξείδιο του άνθρακα από την ατμόσφαιρα

Οι νέοι κανόνες, ως μέρος του πακέτου Fit for 55, θα αυξήσουν τον στόχο για την μείωση των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου σε επίπεδο ΕΕ για το έτος 2030 από 29% μέχρι και σε 40%, σε σύγκριση με προηγούμενο έτος 2005, στους σχετικούς τομείς.

Οι υπουργοί περιβάλλοντος της ΕΕ συμφώνησαν σε διαπραγματευτική θέση του Συμβουλίου σχετικά με τους αναθεωρημένους κανόνες στις 29 Ιουνίου 2022. Τον Νοέμβριο του 2022, το Συμβούλιο κατέληξε σε μια προσωρινή συμφωνία με το Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο. Ο κανονισμός εγκρίθηκε από το Συμβούλιο τον Μάρτιο του 2023.

Πρότυπα εκπομπών CO2 για επίγειες μεταφορές

Τα αυτοκίνητα αλλά και τα φορτηγά αντιπροσωπεύουν το 15% των συνολικών εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα στην ΕΕ. Η ΕΕ, ως μέρος της δέσμης 55, έχει υιοθετήσει νέους κανόνες που ρυθμίζουν τις εκπομπές CO2 που εξέρχονται από αυτά τα οχήματα.

Ο κανονισμός για την υποδομή εναλλακτικών καυσίμων θα διασφαλίσει την απαραίτητη ανάπτυξη διαλειτουργικής και φιλικής προς τον χρήστη υποδομής για την επαναφόρτιση και τον ανεφοδιασμό καθαρότερων οχημάτων σε ολόκληρη την ΕΕ, συμβαδίζοντας με την ανάπτυξη της αγοράς και διασφαλίζοντας ότι θα καλύπτονται επίσης και οι αγροτικές και απομακρυσμένες περιοχές.

Η Επιτροπή προτείνει επίσης την προώθηση της υιοθέτησης των βιώσιμων καυσίμων στους τομείς της αεροπορίας και της ναυτιλίας, συμπληρώνοντας το ΣΕΔΕ (σύστημα εμπορίας εκπομπών) για τους τομείς της αεροπορίας και της ναυτιλίας, γεγονός που καθιστά τα ρυπογόνα καύσιμα ακριβότερα για τους προμηθευτές.

Ο κανονισμός εισάγει προοδευτικούς στόχους μείωσης των εκπομπών σε όλη την ΕΕ για αυτοκίνητα και φορτηγά για το 2030 και μετά, συμπεριλαμβανομένου ενός στόχου μείωσης 100% για το 2035 για τα καινούργια αυτοκίνητα και φορτηγά.

Το Συμβούλιο ενέκρινε τη γενική του προσέγγιση σχετικά με την πρόταση τον Ιούνιο του 2022. Τον Οκτώβριο του 2022 επιτεύχθηκε συμφωνία με το Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο. Ο κανονισμός εγκρίθηκε από το Συμβούλιο τον Μάρτιο του 2023.

Παρά το γεγονός ότι τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα και τα αυτοκίνητά που λειτουργούν με υδρογόνο και άλλες ΑΠΕ είναι πιο φιλικά για το περιβάλλον κατά τη χρήση τους, για μια καθολική μείωση των ρύπων και προστασία του περιβάλλοντος, πρέπει να διασφαλιστεί ότι ο τρόπος με τον οποίο φορτίζονται είναι επίσης φιλικός με το περιβάλλον και προέρχεται από ΑΠΕ έτσι ώστε να επιτευχθούν οι στόχοι και να έχουμε μια σωστή ανάπτυξη.

Μείωση των εκπομπών μεθανίου στον τομέα της ενέργειας

Η Ευρωπαϊκή Επιτροπή παρουσίασε την πρόταση για τους νέους κανόνες της ΕΕ όσο αφορά τη μείωση των εκπομπών μεθανίου στον ενεργειακό τομέα τον μήνα Δεκέμβριο του έτους 2021, ως μέρος του πακέτου Fit for 55. Η πρόταση στοχεύει στην παρακολούθηση και μείωση των εκπομπών μεθανίου στον ενεργειακό τομέα. Η πρόταση αυτή είναι πρωτότυπη και αποτελεί καθοριστική συμβολή στη δράση όσο αφορά το κλίμα, καθώς το μεθάνιο είναι το δεύτερο πιο σημαντικό αέριο θερμοκηπίου μετά το διοξείδιο του άνθρακα.

Η πρόταση απορρέει από το στρατηγικό όραμα που ορίζεται στη στρατηγική της ΕΕ για το μεθάνιο το 2020. Στη διάσκεψη COP26 του ΟΗΕ για η οποία αφορά το κλίμα κατά την χρονιά του 2021, η Ευρωπαϊκή Ένωση εγκαινίασε την Παγκόσμια Δέσμευση για το Μεθάνιο σε συνεργασία με τις Ηνωμένες Πολιτείες, σύμφωνα με την οποία περισσότερες από 100 χώρες δεσμεύτηκαν να μειώσουν τις εκπομπές μεθανίου κατά 30% έως το 2030 σε σύγκριση με τα επίπεδα του 2020.

Τον Δεκέμβριο του 2022, το Συμβούλιο κατέληξε σε συμφωνία (μια «γενική προσέγγιση») σχετικά με την πρόταση αυτή.

Βιώσιμα καύσιμα όσο αφορά τον τομέα της αεροπορίας

Τα αεροπορικά, (χρησιμοποιούνται στον τομέα των αερομεταφορών), καύσιμα τα οποία χαρακτηρίζονται ως αειφόρα (περιλαμβάνουν τα προηγμένα βιοκαύσιμα αλλά και τα ηλεκτροκαύσιμα) έχουν τη δυνατότητα να μειώσουν σημαντικά τις εκπομπές των αεροσκαφών. Ωστόσο, αυτό το δυναμικό είναι σε μεγάλο βαθμό αναξιοποίητο, καθώς τα καύσιμα αυτά αντιπροσωπεύουν μόλις το 0,05% της συνολικής κατανάλωσης καυσίμου στον τομέα των αερομεταφορών.

Το ReFuelEU Aviation για την προώθηση βιώσιμων αεροπορικών καυσίμων θα υποχρεώσει τους προμηθευτές καυσίμων να υιοθετήσουν ολοένα και πιο υψηλό επίπεδο βιώσιμων καυσίμων αεροσκαφών σε υπάρχοντα καύσιμα οχημάτων αερομεταφοράς που φορτώνονται στα αεροδρόμια της ΕΕ. [24]

Η πρόταση ReFuelEU Aviation στοχεύει στην μείωση το περιβαλλοντικού αποτυπώματος του κλάδου των αερομεταφορών αλλά και να βοηθήσει την ΕΕ να επιτύχει τους κλιματικούς στόχους της.

Το Συμβούλιο συμφώνησε σε μια γενική προσέγγιση σχετικά με την πρόταση τον Ιούνιο του 2022. Επετεύχθη προσωρινή συμφωνία με το Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο τον Απρίλιο του 2023. Το Συμβούλιο ενέκρινε τον νέο κανονισμό τον Οκτώβριο του 2023.

Απανθρακοποίηση του τομέα της ναυτιλίας

Παρά την σημαντική πρόοδο των τελευταίων ετών, ο ναυτιλιακός τομέας εξακολουθεί να βασίζεται σχεδόν εξ ολοκλήρου στα ορυκτά καύσιμα για τους σκοπούς της λειτουργίας του, και αποτελεί σημαντική πηγή αερίων του θερμοκηπίου και άλλων επιβλαβών εκπομπών ρύπων. Ο στόχος της ναυτιλιακής πρωτοβουλίας FuelEU είναι να μειώσει την ένταση των αερίων θερμοκηπίου της ενέργειας που χρησιμοποιείται στα πλοία έως και 80% έως το 2050. Οι νέοι κανόνες προωθούν τη χρήση ανανεώσιμων καυσίμων και καυσίμων χαμηλών εκπομπών άνθρακα στη ναυτιλία.

Το Συμβούλιο συμφώνησε σε μια γενική προσέγγιση σχετικά με την πρόταση τον Ιούνιο του 2022. Τον Μάρτιο του 2023, το Συμβούλιο και το Κοινοβούλιο κατέληξαν σε προσωρινή συμφωνία.

Το Συμβούλιο ενέκρινε τους νέους κανόνες τον Ιούλιο του 2023, ολοκληρώνοντας τη νομοθετική διαδικασία.

Η πρόταση FuelEU Maritime για την προώθηση βιώσιμων θαλάσσιων καυσίμων θα δημιουργήσει νέες απαιτήσεις για τα πλοία, ανεξάρτητα από τη σημαία τους, που φτάνουν ή αναχωρούν από λιμένες της ΕΕ, επιβάλλοντας ένα μέγιστο όριο στην περιεκτικότητα σε αέρια θερμοκηπίου της ενέργειας που χρησιμοποιούν και καθιστώντας αυτά τα όρια πιο αυστηρά στο πέρασμα του χρόνου.

Βασικές διατάξεις του κανονισμού FuelEU [25]

- Μέτρα για να διασφαλιστεί ότι η ένταση των αερίων θερμοκηπίου των καυσίμων που χρησιμοποιεί ο ναυτιλιακός τομέας θα μειωθεί σταδιακά με την πάροδο του χρόνου, κατά 2% το 2025 σε έως και 80% έως το 2050.
- Ειδικό καθεστώς κινήτρων για την υποστήριξη της απορρόφησης των λεγόμενων ανανεώσιμων καυσίμων μη βιολογικής προέλευσης (RFNBO- Renewable Fuels of Non-Biological Origin) με υψηλό δυναμικό απαλλαγής από άνθρακα
- Εξαίρεση των ορυκτών καυσίμων από τη διαδικασία πιστοποίησης του κανονισμού
- Υποχρέωση για τα επιβατηγά πλοία όπως και τα πλοία που μεταφέρουν διάφορα εμπορεύματα να χρησιμοποιούν την παροχή ρεύματος στην ξηρά για όλες τις ανάγκες ηλεκτρικής ενέργειας ενώ είναι αγκυροβολημένα στην αποβάθρα σε μεγάλα λιμάνια της ΕΕ από το 2030, με σκοπό

τον μετριασμό της ατμοσφαιρικής ρύπανσης σε λιμάνια, τα οποία συχνά βρίσκονται κοντά σε πυκνοκατοικημένες περιοχές.

- Εθελοντικό μηχανισμό συγκέντρωσης³, βάσει του οποίου θα επιτρέπεται στα πλοία να συγκεντρώνουν το υπόλοιπο συμμόρφωσής τους με ένα ή περισσότερα άλλα πλοία, με τη δεξαμενή - στο σύνολό της - να πρέπει να πληροί τα όρια έντασης αερίων θερμοκηπίου κατά μέσο όρο
- Χρονικά περιορισμένες εξαιρέσεις για την ειδική μεταχείριση των εξόχως απόκεντρων περιοχών, μικρών νησιών και περιοχών που εξαρτώνται οικονομικά σε μεγάλο βαθμό από τη συνδεσιμότητα τους
- Τα έσοδα που προκύπτουν από την εφαρμογή του κανονισμού («κυρώσεις FuelEU») θα πρέπει να χρησιμοποιούνται για έργα που υποστηρίζουν την απαλλαγή από τις εκπομπές άνθρακα του ναυτιλιακού τομέα με ενισχυμένο μηχανισμό διαφάνειας
- Παρακολούθηση της εφαρμογής του κανονισμού μέσω της διαδικασίας υποβολής εκθέσεων και αναθεώρησης της Επιτροπής

Ο νέος κανονισμός θα δημοσιευθεί στην επίσημη εφημερίδα της ΕΕ μετά το καλοκαίρι του 2023 και θα τεθεί σε ισχύ την εικοστή ημέρα μετά τη δημοσίευση αυτή. Οι νέοι κανόνες θα ισχύουν από την 1η Ιανουαρίου 2025.

Υποδομές εναλλακτικών καυσίμων

Ο κύριος στόχος του κανονισμού για την υποδομή εναλλακτικών καυσίμων (Alternative fuels Infrastructure - AFIR) είναι να διασφαλίσει ότι οι πολίτες και οι επιχειρήσεις έχουν εύκολη πρόσβαση σε επαρκές δίκτυο υποδομής για την επαναφόρτιση αλλά και τον ανεφοδιασμό οδικών οχημάτων όπως και πλοίων με διάφορα εναλλακτικά καύσιμα.

Οι νέοι κανόνες θα επιτρέψουν στον τομέα των μεταφορών να μειώσει σημαντικά το αποτύπωμα άνθρακα. Έθεσαν έναν αριθμό στόχων για το 2025 ή το 2030, συμπεριλαμβανομένων:

- Σταθμοί φόρτισης για αυτοκίνητα και φορτηγά που θα είναι εγκατεστημένοι κάθε 60 χιλιόμετρα
- Οι σταθμοί ανεφοδιασμού υδρογόνου που εξυπηρετούν αυτοκίνητα και φορτηγά θα αναπτυχθούν από το 2030 και μετά σε όλους τους αστικούς κόμβους
- Οι χρήστες ηλεκτρικών οχημάτων ή οχημάτων τα οποία χρησιμοποιούν το υδρογόνο για κίνηση, να μπορούν να πληρώνουν εύκολα σε σημεία φόρτισης ή ανεφοδιασμού

Τον Ιούνιο του 2022, το Συμβούλιο συμφώνησε σε κοινή θέση (γενική προσέγγιση) σχετικά με την πρόταση της Επιτροπής για αυτόν τον κανονισμό. Το Συμβούλιο και το Κοινοβούλιο κατέληξαν σε προσωρινή συμφωνία τον Μάρτιο του 2023.

Το Συμβούλιο ενέκρινε τους νέους κανόνες τον Ιούλιο του 2023.

Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας

Το πακέτο Fit for 55 περιλαμβάνει πρόταση για αναθεώρηση της οδηγίας για τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Η πρόταση είναι να αυξηθεί ο τρέχων στόχος σε επίπεδο ΕΕ για τουλάχιστον 32% των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στο συνολικό ενεργειακό μείγμα σε τουλάχιστον 40% έως το 2030.

Γίνεται μια εκτεταμένη αναφορά στους τύπους των ΑΠΕ πιο πάνω.

³ η ομαδοποίηση των περιουσιακών στοιχείων και οι σχετικές στρατηγικές για την ελαχιστοποίηση του κινδύνου

Προτείνει επίσης την εισαγωγή ή την ενίσχυση τομεακών επιμέρους στόχων και μέτρων σε όλους τους τομείς, με ιδιαίτερη έμφαση σε τομείς όπου η πρόοδος όσον αφορά την ενσωμάτωση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας ήταν πιο αργή μέχρι σήμερα, ιδίως στους τομείς των μεταφορών, των κτιρίων και της βιομηχανίας.

Οι υπουργοί ενέργειας της ΕΕ συμφώνησαν την κοινή τους θέση σχετικά με την πρόταση για αναθεωρημένη οδηγία της ΕΕ για τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας στις 27 Ιουνίου 2022.

Τον Μάρτιο του 2023, το Συμβούλιο και το Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο κατέληξαν σε προσωρινή πολιτική συμφωνία για την αναθεωρημένη οδηγία. Το Συμβούλιο ενέκρινε τους νέους κανόνες τον Οκτώβριο του 2023.

Αποδοτικότητα ενέργειας

Η αναθεωρημένη οδηγία της ΕΕ για την ενεργειακή απόδοση θα μειώσει την κατανάλωση τελικής ενέργειας σε επίπεδο ΕΕ κατά 11,7% το 2030, σε σύγκριση με τις προβλέψεις που έγιναν το 2020.

Οι νέοι κανόνες θα επιταχύνουν τις προσπάθειες ενεργειακής απόδοσης των κρατών μελών αυξάνοντας τις ετήσιες υποχρεώσεις εξοικονόμησης ενέργειας και μειώνοντας την κατανάλωση ενέργειας στα κτίρια του δημόσιου τομέα.

Στις 27 Ιουνίου 2022, το Συμβούλιο ενέκρινε τη «γενική του προσέγγιση» σχετικά με τους προτεινόμενους νέους κανόνες. Τον Μάρτιο του 2023, η Προεδρία του Συμβουλίου και οι διαπραγματευτές του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου κατέληξαν σε προσωρινή πολιτική συμφωνία για την αναθεώρηση της οδηγίας.

Το Συμβούλιο ενέκρινε τη νέα οδηγία τον Ιούλιο του 2023. Οι κανόνες θα γίνουν δίκαιο της ΕΕ μετά τη δημοσίευσή τους στην επίσημη εφημερίδα της ΕΕ.

Ενεργειακή Απόδοση κτηρίων

Τα κτίρια αποτελούν το 40% της ενέργειας που καταναλώνεται και το 36% των άμεσων και έμμεσων εκπομπών αερίων θερμοκηπίου που σχετίζονται με την ενέργεια στην ΕΕ. Οι χώρες της ΕΕ εργάζονται για την αναθεώρηση της οδηγίας για την ενεργειακή απόδοση των κτιρίων για να καταστήσουν τα κτίρια στην ΕΕ πιο ενεργειακά αποδοτικά έως το 2030 και μετά.

Οι κύριοι στόχοι των νέων κανόνων είναι:

- Όλα τα νέα κτίρια θα πρέπει να είναι κτίρια μηδενικών εκπομπών έως το 2030
- Τα ήδη υπάρχοντα κτίρια θα πρέπει να μετατραπούν σε κτίρια μηδενικών εκπομπών έως το 2050

Τον Οκτώβριο του 2022, τα κράτη μέλη της ΕΕ, συνήλθαν στο πλαίσιο του Συμβουλίου, συμφώνησαν σε κοινή θέση («γενική προσέγγιση») σχετικά με την πρόταση.

Πακέτο αγοράς Υδρογόνου και Απανθρακωμένου αερίου

Το πακέτο για την αγορά υδρογόνου και απανθρακωμένου αερίου προτείνει αναθεωρημένους και νέους κανόνες για τη μείωση του αποτυπώματος του άνθρακα στην διεθνή αγορά φυσικού αερίου. Στόχος είναι η στροφή από το φυσικό αέριο στα ανανεώσιμα αέρια και χαμηλές εκπομπές άνθρακα και η ενίσχυση της απορρόφησής τους στην ΕΕ έως το 2030 και μετά.

Το πακέτο αποτελείται από έναν κανονισμό και μια οδηγία. Οι δύο προτάσεις θέτουν κοινούς κανόνες εσωτερικής αγοράς για τα ανανεώσιμα και φυσικά αέρια και το υδρογόνο. Στοχεύουν στη δημιουργία ενός ρυθμιστικού πλαισίου για αποκλειστικές υποδομές και αγορές υδρογόνου και ολοκληρωμένο σχεδιασμό δικτύων. Θέτουν επίσης κανόνες για την προστασία των καταναλωτών και ενισχύουν την ασφάλεια του εφοδιασμού.

Το Συμβούλιο καθόρισε τη θέση του για διαπραγματεύσεις (γενική προσέγγιση) με το Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο σχετικά με τις δύο προτάσεις τον Μάρτιο του 2023.

Φορολογία ενέργειας

Η πρόταση για αναθεώρηση της οδηγίας του Συμβουλίου για τη φορολογία των ενεργειακών προϊόντων και της ηλεκτρικής ενέργειας αποσκοπεί:

- Στην ευθυγράμμιση της φορολογίας των ενεργειακών προϊόντων και της ηλεκτρικής ενέργειας με τις πολιτικές της ΕΕ για την ενέργεια, το περιβάλλον και το κλίμα.
- Στην διατήρηση και βελτίωση της εσωτερικής αγοράς της ΕΕ με την ενημέρωση του πεδίου εφαρμογής των ενεργειακών προϊόντων και της δομής των συντελεστών και με τον εξ ορθολογισμό της χρήσης φορολογικών απαλλαγών και μειώσεων από τα κράτη μέλη.
- Την διατήρηση της ικανότητας δημιουργίας εσόδων για τους προϋπολογισμούς των κρατών μελών.

Η πρόταση βρίσκεται επί του παρόντος υπό συζήτηση στο Συμβούλιο. Τον Δεκέμβριο του 2022, οι υπουργοί Οικονομικών της ΕΕ διεξήγαγαν συζήτηση πολιτικής σχετικά με την αναθεώρηση της οδηγίας για τη φορολογία της ενέργειας.

3.5 REPower Eu: Σχέδιο για την μείωση της εξάρτησης της Ευρωπαϊκής Ένωσης από τα καύσιμα που εισάγονται από τη Ρωσία και η μετάβαση σε πράσινες πηγές ενέργειας

Ο πόλεμος που έχει κηρύξει η Ρωσία, έχει κλονίσει το παγκόσμιο, αφήνοντας καταστροφικές συνέπειες στο πέρασμά του. Εκατομμύρια άνθρωποι έχουν χάσει τα σπίτια τους, αναγκάστηκαν να εγκαταλείψουν τα εδάφη στα οποία έχουν γεννηθεί αλλά και έχουν μείνει χωρίς ρεύμα και χωρίς ηλεκτρισμό. Ο υπόλοιπος κόσμος έχει ταραχθεί με θέματα προσφυγικού, αφού οι πρόσφυγες που φεύγουν από την Ουκρανία είναι εκατομμύρια και αναζητούν ένα ειρηνικό περιβάλλον για να μπορέσουν να συνεχίσουν την ζωή τους. Επιπλέον, η παγκόσμια αγορά έχει λάβει ένα δυνατό κτύπημα, αφού έχει μειωθεί το εμπόριο εντός και εκτός της χώρας αφού η διέλευση μέσω της μαύρης θάλασσας δεν ήταν δυνατή. [26]

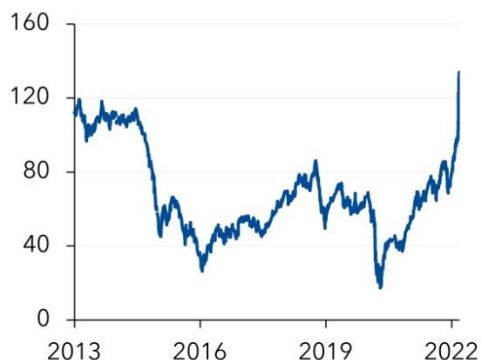
Φυσικά και αυτή η διαμάχη έχει επηρεάσει σημαντικά και την αγορά ενέργειας της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Οι τιμές της ενέργειας είναι ασταθείς από τα μέσα του 2021. Η τιμή των καυσίμων στην ΕΕ έχει αυξηθεί ως συνέπεια της επιθετικότητας της Ρωσίας κατά της Ουκρανίας, η οποία έχει επίσης οδηγήσει σε ανησυχίες σχετικά με την ασφάλεια του ενεργειακού εφοδιασμού. Η απόφαση της Ρωσίας να αναστείλει τις παραδόσεις φυσικού αερίου σε πολλά κράτη μέλη της ΕΕ έχει επηρεάσει περαιτέρω την κατάσταση. [27]

Growing pressures

Prices for energy, grains, and metals soared since the invasion of Ukraine, signaling that inflation rates are poised to accelerate.

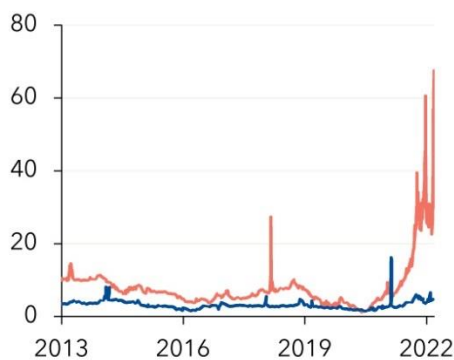
Brent Crude Oil

(\$US/barrel)



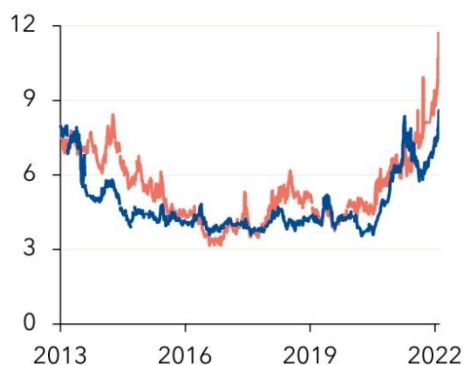
European & US Natural Gas*

(\$US/MMBtu)



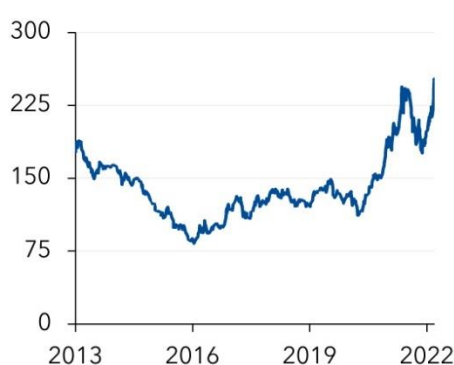
Corn, Wheat

(\$US/bushel)



Metals Index**

(2016=100)



Source: Bloomberg, USDA, Datastream, and IMF staff calculations.

Note: *European & US natural gas prices use the Dutch TTF and Henry Hub as proxies, respectively. **Base Metals Price Index includes aluminum, cobalt, copper, iron ore, lead, molybdenum, nickel, tin, uranium, and zinc.

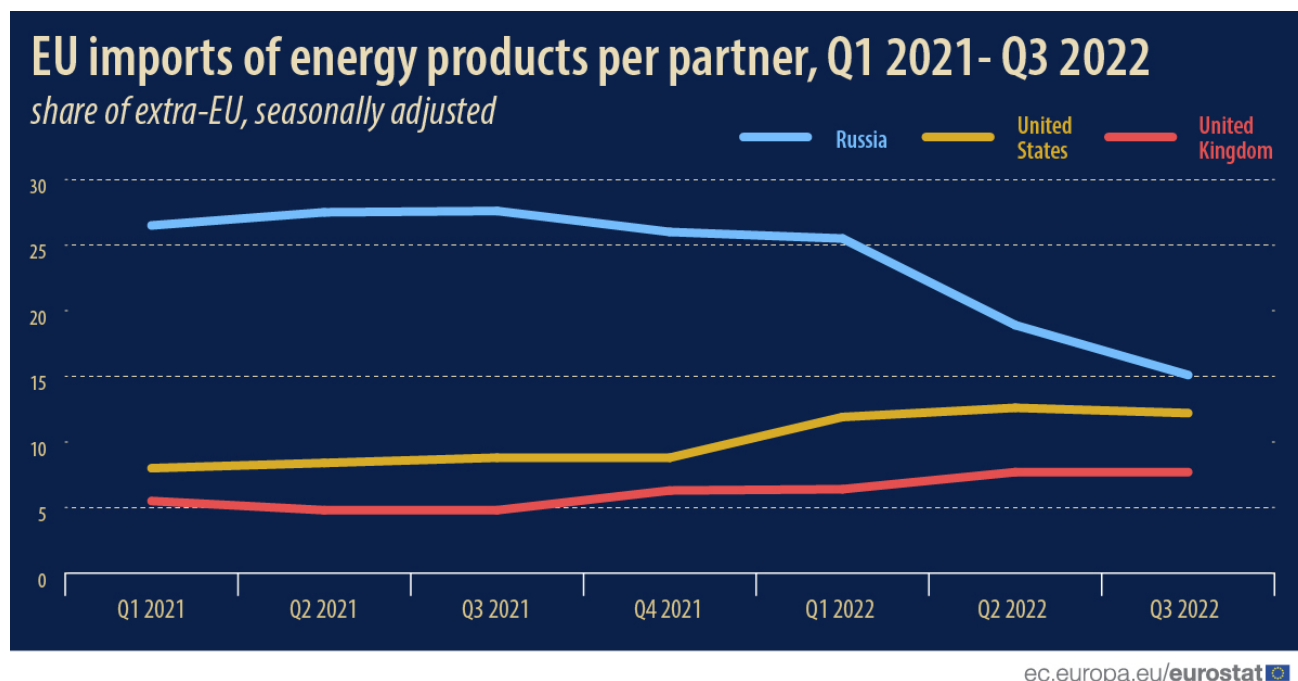
IMF

Σχήμα 3.5 Τιμές ενέργειας μετά τον πόλεμο στην Ουκρανικά

Γι' αυτό και η Ευρωπαϊκή ένωση αποφάσισε να λάβει κάποια μέτρα έτσι ώστε να μειώσει την επιρροή της Ρωσίας στην αγορά ενέργειας της και ως εκ τούτου να στραφεί προς πιο πράσινες λύσεις και λύσεις φιλικές προς το περιβάλλον.

Η Ευρωπαϊκή Επιτροπή παρουσίασε το Σχέδιο REPowerEU, την απάντησή του στις δυσκολίες και τη διαταραχή της παγκόσμιας αγοράς ενέργειας που προκλήθηκε από την εισβολή της Ρωσίας στην Ουκρανία. Υπάρχει διπλή επείγουσα ανάγκη για τη αλλαγή του ενεργειακού συστήματος της Ευρώπης: τερματισμός της εξάρτησης της ΕΕ από τα ρωσικά ορυκτά καύσιμα, τα οποία χρησιμοποιούνται ως οικονομικό και πολιτικό όπλο και κοστίζουν στους ευρωπαίους φορολογούμενους σχεδόν 100 δισεκατομμύρια ευρώ ετησίως, και αντιμετώπιση της κλιματικής κρίσης. Ενεργώντας ως Ένωση, η Ευρώπη μπορεί να καταργήσει σταδιακά την εξάρτησή της από τα ρωσικά ορυκτά καύσιμα γρηγορότερα. Το 85% των Ευρωπαίων πιστεύει ότι η ΕΕ πρέπει να μειώσει

την εξάρτησή της από το ρωσικό φυσικό αέριο και πετρέλαιο το συντομότερο δυνατό. Τα μέτρα του Σχεδίου REPowerEU μπορούν να ανταποκριθούν σε αυτή τη φιλοδοξία, μέσω της εξοικονόμησης ενέργειας, της διαφοροποίησης του ενεργειακού εφοδιασμού και της επιτάχυνσης της ανάπτυξης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας για την αντικατάσταση των ορυκτών καυσίμων στα σπίτια, τη βιομηχανία και την παραγωγή ενέργειας.



Σχήμα 3.6 Εισαγωγές ενέργειας στην ΕΕ

Οι ενέργειες στις οποίες θα στηριχθεί η Ευρωπαϊκή Ένωση για την υλοποίηση αυτού του στόχου είναι οι πιο κάτω: [28]

- Διαφοροποίηση του ενεργειακού εφοδιασμού της ΕΕ

Όταν η Ρωσία εισέβαλε στην Ουκρανία, έγινε ακόμη πιο σαφές ότι η ΕΕ χρειαζόταν εναλλακτικούς τρόπους για να εξασφαλίσει τον απαιτούμενο ενεργειακό της εφοδιασμό. Ενώ είναι αλήθεια ότι ορισμένα κράτη μέλη εισήγαγαν ιστορικά περισσότερο ρωσικό αέριο από τι από άλλες χώρες, τις συνέπειες των πιθανών διαταραχών θα τις υποστούν από κοινού όλα τα κράτη. Αυτός είναι και ο λόγος για τον οποίο είναι επιτακτική η ανάγκη όλα τα κράτη μέλη να ενωθούν και να είναι έτοιμα να μοιραστούν φυσικό αέριο με τους γείτονές τους σε περίπτωση ανάγκης.

Από τον Σεπτέμβριο του 2022, το ρωσικό αέριο αντιπροσωπεύει μόνο το 8% του συνόλου του φυσικού αερίου που εισάγεται μέσω του αγωγού στην ΕΕ, σε σύγκριση με το 41% των εισαγωγών της ΕΕ από τη Ρωσία τον Αύγουστο του 2021.

- Εξασφάλιση προσιτού ενεργειακού εφοδιασμού

Η Ενεργειακή Πλατφόρμα της ΕΕ, που ξεκίνησε τον Απρίλιο του 2022, διαδραμάτισε κρίσιμο ρόλο στη διαφοροποίηση του ενεργειακού της εφοδιασμού καθ' όλη τη διάρκεια του 2022. Η πλατφόρμα βοηθά στο συντονισμό της δράσης της ΕΕ και των διαπραγματεύσεων με εξωτερικούς προμηθευτές φυσικού αερίου για να αποτρέψει τις χώρες της ΕΕ από το να προσφέρουν υψηλότερες τιμές σε πλειστηριασμούς η μία από την άλλη.

Μετά τη ρωσική εισβολή πλήρους κλίμακας στην Ουκρανία, η ΕΕ πρότεινε κοινή προμήθεια φυσικού αερίου για να διασφαλίσει ότι οι Ευρωπαίοι έχουν πρόσβαση σε οικονομικά προσιτή ενέργεια και για να αποφευχθούν τυχόν διακοπές του ενεργειακού εφοδιασμού. Αυτό το σύστημα επέτρεψε στην ευρωπαϊκή ένωση να αρχίσει να αγοράζει ένα μερίδιο των αναγκών της σε φυσικό αέριο, ως Ευρωπαίοι, και τα κράτη μέλη της να μην ανταγωνίζονται μεταξύ τους το ένα με το άλλο για σπάνιες προμήθειες καυσίμων.

Τον Μάιο του 2023, η ΕΕ κατάφερε να προσελκύσει προσφορές από έναν συνολικό αριθμό 25 προμηθευτών εταιρειών που ισοδυναμούν με περισσότερα από 13,4 δισεκατομμύρια κυβικά μέτρα φυσικού αερίου (bcm). Αυτό ξεπερνά άνετα τα 11,6 bcm κοινής ζήτησης που υπέβαλαν οι εταιρείες της ΕΕ μέσω του πρώτου διαγωνισμού (στο πλαίσιο του μηχανισμού AggregateEU⁴). Οι εταιρείες της ΕΕ θα μπορούν πλέον να διαπραγματεύονται τους όρους των συμβάσεων προμήθειας απευθείας με τις προμηθευτικές εταιρείες. Θα ακολουθήσουν τέσσερις ακόμη διαγωνισμοί έως το τέλος του 2023.

- Καινούργιοι νόμοι αποθήκευσης αερίου

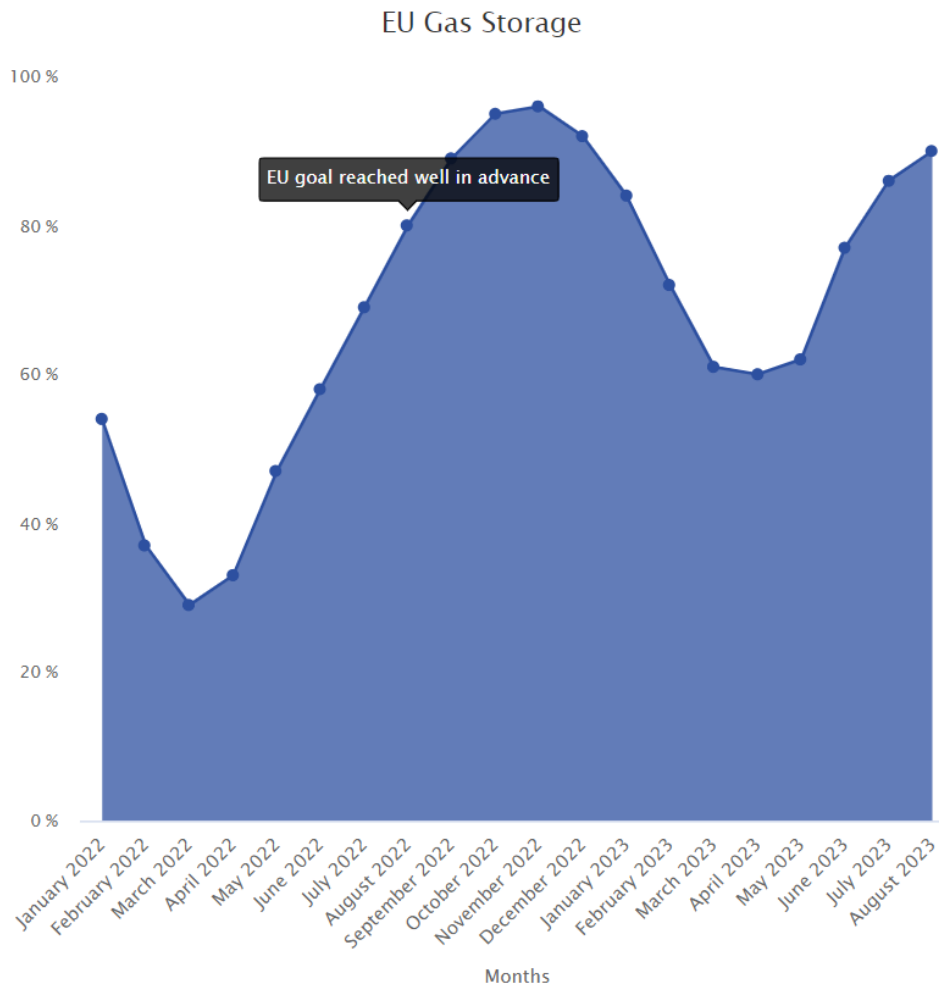
Για να αποφευχθούν οι διακοπές ρεύματος και οι ελλείψεις ρεύματος, που έχουν αρκετές συνέπειες, ειδικά όταν γίνονται σε νοσοκομεία και χώρους περίθαλψης, αλλά προκαλούν και μια δυσφορία στους πολίτες αφού η ενέργεια είναι βασικό στοιχείο της καθημερινότητας και μέρος της εργασίας πολλών, οι χώρες της ΕΕ συμφώνησαν να γεμίσουν την αποθήκη φυσικού αερίου πριν από το χειμώνα του 2022.

Ο στόχος της ΕΕ που συμφωνήθηκε το 2021 ήταν η πλήρωση της υπόγειας αποθήκευσης αερίου στο 80% της χωρητικότητας έως την 1η Νοεμβρίου 2022.

Με τη συνεργασία και αλληλεγγύη, οι χώρες της ΕΕ ξεπέρασαν αυτό, φτάνοντας αντ. 'αυτού μέχρι και το 95% της αποθήκευσης φυσικού αερίου.

Ο ετήσιος στόχος για τους επόμενους χειμώνες θα είναι η πλήρωση της αποθήκης στο 90% της χωρητικότητας έως την 1η Νοεμβρίου.

⁴ Μηχανισμός συγκέντρωσης ζήτησης και κοινή αγορά που διαχειρίζεται η Prisma, ο πάροχος υπηρεσιών στο πλαίσιο της ενεργειακής πλατφόρμας της ΕΕ σύμφωνα με τον κανονισμό 2022/2576 του συμβουλίου



Σχήμα 3.7 Αποθήκευση αερίου για το 2022-2023

Το σχήμα λήφθηκε από την σελίδα της ευρωπαϊκής επιτροπής.

Εξοικονόμηση Ενέργειας

Η εξοικονόμηση της πολύτιμης ενέργειας είναι ο φθηνότερος, ασφαλέστερος και αλλά και καθαρότερος τρόπος με τον οποίο θα μπορέσουμε να μειώσουμε την εξάρτησή μας από τις εισαγωγές ορυκτών καυσίμων από τη Ρωσία. Ήταν μια προσπάθεια που καταβλήθηκε από όλους μαζί. Οι ευρωπαίοι πολίτες, οι επιχειρήσεις και η βιομηχανία συνέβαλαν όλοι σε αυτό.

Σε επίπεδο ΕΕ, τα κράτη μέλη συμφώνησαν με τις προτάσεις της Επιτροπής για εθελοντική μείωση της χρήσης φυσικού αερίου σε ολόκληρη την ΕΕ κατά 15% χειμώνα του έτους 2022.

Παρέμβαση στις τιμές του φυσικού αερίου

Οι τιμές του φυσικού αερίου στην Ευρώπη είναι χαμηλότερες σήμερα σε σχέση με τις τιμές που υπήρχαν πριν από την εισβολή της Ρωσίας στην Ουκρανία. Αυτό συμβαίνει εν μέρει χάρη στη συντονισμένη ευρωπαϊκή απάντηση στο πλαίσιο του REPowerEU. Η Ευρώπη επενδύει τώρα σε καθαρές μορφές ενέργειας με αποτέλεσμα να είναι πιο ανεξάρτητη ενεργειακά από ότι υπήρξε σε άλλες περιόδους στο παρελθόν.

Ωστόσο, οι χώρες της ΕΕ συμφώνησαν να θέσουν ένα όριο στις συνεχείς αυξήσεις των τιμών του φυσικού αερίου για να βοηθήσουν στην προστασία των απλών, καθημερινών πολιτών που πασχίζουν να επιβιώσουν με τις συνεχείς κρίσεις στην οικονομία και το όλο και αυξανόμενο κόστος ζωής στις

περισσότερες περιοχές του κόσμου, αλλά και την ενίσχυση της οικονομίας της κάθε περιοχής. Ανώτατο όριο τιμών για τις συναλλαγές φυσικού αερίου θα εφαρμόζεται στο μέλλον αν κηρυχθεί απαιτητική η επιβολή του όταν και εάν οι τιμές του φυσικού αερίου φτάσουν σε εξαιρετικά και πολύ υψηλά επίπεδα.

Αυτός ο μηχανισμός διόρθωσης της αγοράς είναι προσωρινός και ισχύει μέχρι τον Φεβρουάριο του 2024.

Επενδύσεις σε ανανεώσιμες πηγές ενέργειας

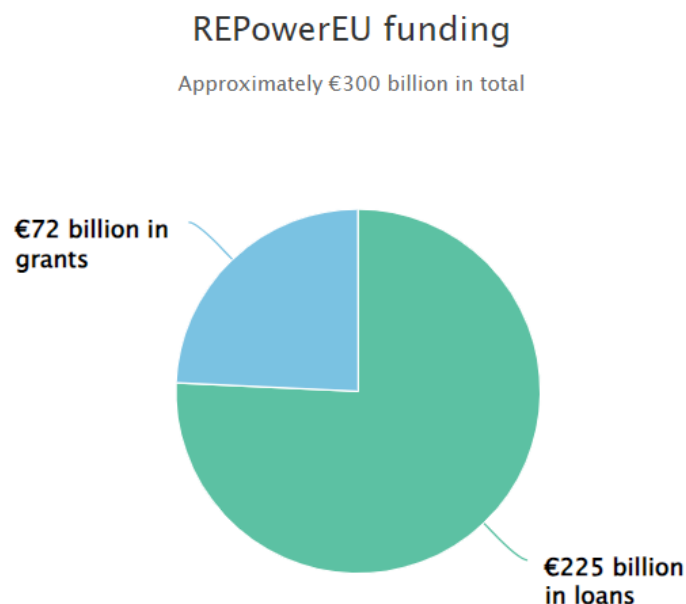
Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας είναι αρκετά επωφελής για το κλίμα αλλά συνεισφέρουν και δυναμικά στην ενεργειακή ανεξαρτησία της ΕΕ όπως και στην ασφάλεια του εφοδιασμού. Επιπλέον είναι καλές για την οικονομία αφού δημιουργούν διάφορες θέσεις εργασίας στην ΕΕ.

Αυτές οι θέσεις εργασίας αφορούν βιοενέργεια, βιομάζα, γεωθερμική ενέργεια, υδροηλεκτρική ενέργεια, ηλιακή ενέργεια, ενέργεια κυμάτων και παλίρροιας, και αιολική ενέργεια, που αναφέρονται σε πιο μεγάλη λεπτομέρεια πιο πάνω. Υπάρχουν πολλές και διάφορες θέσεις σε χώρες σε όλη την έκταση της ΕΕ όπως Αυστρία, Βουλγαρία, Δανία, Γερμανία, Ιταλία αλλά και πολλές άλλες. Αυτές οι θέσεις απευθύνονται σε: « Project Director Offshore Wind», «Chief Financial Officer - Renewable Assets», «Solar Project Engineer» αλλά και πολλές άλλες θέσεις για ειδικότητες που καλύπτουν ένα αρκετά ευρύ φάσμα του εργασιακού τομέα και μπορούν να βρεθούν στην σελίδα [29].

Το σχέδιο REPowerEU επιταχύνει την πράσινη μετάβαση και προωθεί τεράστιες επενδύσεις σε ανανεώσιμες πηγές ενέργειας

Χρηματοδότηση του REPower

Είναι κατανοητό ότι η υλοποίηση ενός τέτοιου σχεδίου κοστίζει ένα σημαντικό χρηματικό ποσό. Η ευρωπαϊκή ένωση προσπάθησε να μαζέψει μέχρι και 300 εκατομμύρια ευρώ για να καταφέρει να το χρηματοδοτήσει. Τα 72 εκατομμύρια ευρώ υπολογίζονται να μαζευτούν μέσω διάφορων δωρεών, ενώ γύρω στα 225 εκατομμύρια εκτιμάται ότι θα χρηματοδοτηθούν μέσω δανείου.



Σχήμα 3.8 Χρηματοδότηση του REPower EU

Το Σχήμα 3.8 λήφθηκε μέσω της σελίδας της του ευρωπαϊκού συμβουλίου.

3.6 Οδηγία 2010/75/ΕΕ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου για τις βιομηχανικές εκπομπές

Η οδηγία 2010/75/ΕΕ εκδόθηκε στις 24 Νοεμβρίου 2010. Αναφέρεται στις περιβαλλοντικές επιπτώσεις των βιομηχανικών δραστηριοτήτων. Είναι ένα βασικό νομοσχέδιο που στοχεύει στην πρόληψη και τον έλεγχο της ρύπανσης, τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και τη βελτίωση της περιβαλλοντικής απόδοσης διαφόρων βιομηχανικών εγκαταστάσεων.

Το Ευρωπαϊκό κοινοβούλιο και το Συμβούλιο της ευρωπαϊκής ένωσης, έχοντας κατά νου τη συνθήκη για τη λειτουργία της Ευρωπαϊκής ένωσης και ιδίως το άρθρο 192 παράγραφος 1, την πρόταση της Ευρωπαϊκής επιτροπής, την άποψη της ευρωπαϊκής Οικονομικής και Κοινωνικής Επιτροπής, την άποψη της Επιτροπής των περιφερειών, ενεργώντας σύμφωνα με την νομοθετική διαδικασία κατέληξε στις αποφάσεις για δράση με στόχο την μείωση της ρύπανσης.

3.7 Άρθρο 191 «Συνθήκη για τη λειτουργία της Ευρωπαϊκής Ένωσης»

Το άρθρο 191 “Συνθήκη για τη λειτουργία της Ευρωπαϊκής Ένωσης” αναφέρει τις πιο κάτω συνθήκες (απόσπασμα από τη συνθήκη):

1. Η πολιτική της Ένωσης στον τομέα του περιβάλλοντος συμβάλλει στην επιδίωξη των ακόλουθων στόχων:
 - τη διατήρηση, προστασία και βελτίωση της ποιότητας του περιβάλλοντος,
 - την προστασία της υγείας του ανθρώπου,
 - τη συνετή και ορθολογική χρησιμοποίηση των φυσικών πόρων,
 - την προώθηση, σε διεθνές επίπεδο, μέτρων για την αντιμετώπιση των περιφερειακών ή παγκόσμιων περιβαλλοντικών προβλημάτων, και ιδίως την καταπολέμηση της αλλαγής του κλίματος.
2. Η πολιτική της Ένωσης στον τομέα του περιβάλλοντος αποβλέπει σε υψηλό επίπεδο προστασίας και λαμβάνει υπόψη την ποικιλομορφία των καταστάσεων στις διάφορες περιοχές της Ένωσης. Στηρίζεται στις αρχές της προφύλαξης και της προληπτικής δράσης, της επανόρθωσης των καταστροφών του περιβάλλοντος, κατά προτεραιότητα στην πηγή, καθώς και στην αρχή «όποιος ρυπαίνει πληρώνει». Στο πλαίσιο αυτό, τα μέτρα εναρμόνισης που ανταποκρίνονται σε ανάγκες προστασίας του περιβάλλοντος περιλαμβάνουν, όπου ενδείκνυται, ρήτρα διασφάλισης που εξουσιοδοτεί τα κράτη μέλη να λαμβάνουν, για μη οικονομικούς περιβαλλοντικούς λόγους, προσωρινά μέτρα υποκείμενα σε διαδικασία ελέγχου της Ένωσης.
3. Κατά την εκπόνηση της πολιτικής της στον τομέα του περιβάλλοντος, η Ένωση λαμβάνει υπόψη:
 - τα διαθέσιμα επιστημονικά και τεχνικά δεδομένα,
 - τις συνθήκες του περιβάλλοντος στις διάφορες περιοχές της Ένωσης,
 - τα πλεονεκτήματα και τις επιβαρύνσεις που μπορούν να προκύψουν από τη δράση ή την απουσία δράσης,
 - την οικονομική και κοινωνική ανάπτυξη της Ένωσης στο σύνολό της και την ισόρροπη ανάπτυξη των περιοχών της.
4. Στο πλαίσιο των αντίστοιχων αρμοδιοτήτων τους, η Ένωση και τα κράτη μέλη συνεργάζονται με τις τρίτες χώρες και τους αρμόδιους διεθνείς οργανισμούς. Ο τρόπος της συνεργασίας της

Ένωσης μπορεί να αποτελεί αντικείμενο συμφωνιών μεταξύ της Ένωσης και των ενδιαφερομένων τρίτων μερών.

3.7.1 Έκδοση πιστοποιητικών

Η οδηγία 2010/75/ΕΕ, εισάγει την έννοια της έκδοσης πιστοποιητικών. Τονίζεται κυρίως η ανάγκη για τις εγκαταστάσεις να λαμβάνουν κάποια πιστοποιητικά τα οποία θα εξασφαλίζουν την ορθή λειτουργία των εγκαταστάσεων και θα βεβαιώνουν ότι οι εγκαταστάσεις τηρούν τις απαιτούμενες περιβαλλοντικές προδιαγραφές.

Για την έκδοση των πιστοποιητικών θα πρέπει να αναφέρονται για κάθε μονάδα, οι εκπομπές διαφόρων επιβλαβών αερίων στον αέρα όπως και στο νερό, αλλά πρέπει και να καλύπτει το θέμα των αποβλήτων. Η γενική ιδέα είναι ότι θα πρέπει να παρέχεται μια ολιστική άδεια η οποία θα λαμβάνει υπόψιν τις συνολικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις μιας βιομηχανικής εγκατάστασης. Όλες οι εργοστασιακές μονάδες θα έχουν την υποχρέωση να υποβάλουν τα απαιτούμενα έντυπα για να καταφέρουν να εκδώσουν το πιστοποιητικό για τη λειτουργία τους.

Όσο αφορά τις οριακές τιμές εκπομπών (Emission Limit Values -ELV), η άδεια ορίζει συγκεκριμένες τιμές εκπομπών για ρύπους από τη βιομηχανική εγκατάσταση. Καθορίζονται κάποιες μέγιστες επιτρεπόμενες εκπομπές για κάθε είδους μονάδα, κάθε είδους καύσιμο αλλά και κάθε είδους αέριο που εκπέμπεται στο περιβάλλον. Ένα παράδειγμα αυτών των ορίων φαίνεται και στον Table 3, όπου αναφέρονται τα σχετικά όρια όσο αφορά εγκαταστάσεις καύσης. Οι τιμές των ορίων περιγράφονται σε (mg/Nm²⁵) για SO₂⁶.

Table 3 τιμές ορίων

Ονομαστική τιμή θερμικής εισόδου (MW)	Άνθρακας, λιγνίτης και άλλα στερεά καύσιμα	Βιομάζα	Τύρφη ⁷	Υγρά Καύσιμα
50-100	200	300	300	350
100-300	250	300	300	250
>300	200	200	200	200

Τα δεδομένα αυτά αναφέρονται στη σελίδα του Eur-Lex.

Υπάρχουν πολλοί πίνακες που καλύπτουν τα όρια για κάθε είδους μονάδα και για κάθε είδους εκπομπής ρύπων. Επιπλέον, αναφέρονται σχετικές τιμές ορίων που αφορούν αέρια καύσιμα, τα όρια όσο αφορά τις εκπομπές οξειδίων του αζώτου, μονοξειδίου του άνθρακα, σκόνης, διοξειδίου του άνθρακα για διάφορα είδη μονάδων και τύπους καυσίμων.

Καλύτερες Διαθέσιμες Τεχνικές (Best Available Techniques- BAT):

Η έκδοση της άδειας απαιτεί τη χρήση των Βέλτιστων Διαθέσιμων Τεχνικών (ΒΔΤ) για την επίτευξη υψηλού επιπέδου προστασίας για το περιβάλλον ως σύνολο. Οι ΒΔΤ αντιπροσωπεύουν το πιο

⁵ Μιλιγκραμ ανά κυβικό μέτρο, στις κανονικές θερμοκρασίες και πιέσεις

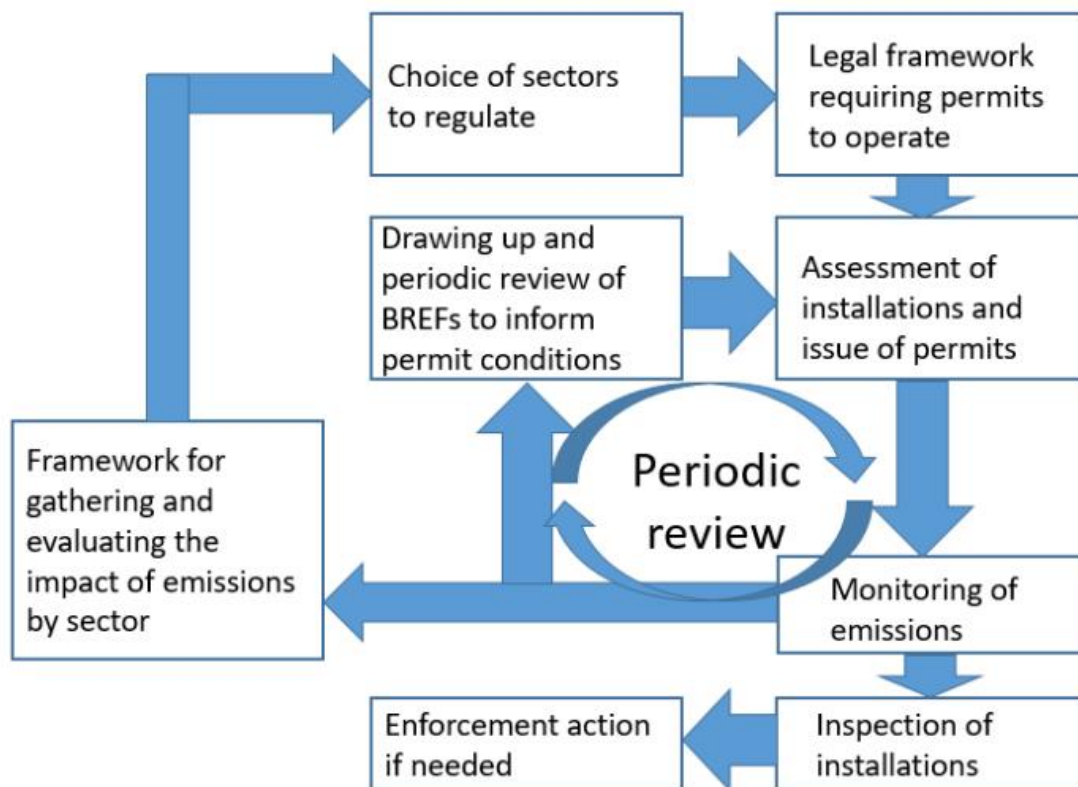
⁶ Διοξείδιο του θείου

⁷ Οργανικό καύσιμο, ορυκτός άνθρακας ο οποίος σχηματίζεται στο υπέδαφος

αποτελεσματικό και προηγμένο στάδιο στην ανάπτυξη των δραστηριοτήτων και των μεθόδων λειτουργίας τους.

Ο ορισμός των ΒΔΤ, καθορίζει τη γενική περιβαλλοντική αυστηρότητα ενός συστήματος αδειοδότησης που βασίζεται σε ΒΔΤ. Επομένως, η κάθε αρμόδια υπηρεσία θα πρέπει να ορίσει τις ΒΔΤ στην περιβαλλοντική τους νομοθεσία, βασιζόμενη στην υφιστάμενη γλώσσα και βέλτιστες πρακτικές από χώρες μέλη του ΟΟΣΑ . Οι ειδικοί κανονισμοί και οι συνθήκες κάθε χώρας θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη κατά τον καθορισμό των ΒΔΤ και συνεπώς του επιχειρησιακού πλαισίου για τον καθορισμό ΒΔΤ. Η νομοθεσία στην οποία είναι ενσωματωμένο το σύστημα ΒΔΤ θα πρέπει να περιλαμβάνει τη φιλοδοξία να ενισχυθούν οι περιβαλλοντικές επιδόσεις όλων των βιομηχανικών εγκαταστάσεων με ολοένα και πιο αυστηρά ELV, και όχι απλώς για την εναρμόνιση των περιβαλλοντικών επιπέδων απόδοση σε όλες τις εγκαταστάσεις [30].

Δεδομένης της μεγάλης ποικιλομορφίας των διάφορων εγκαταστάσεων, ο καθορισμός των περιβαλλοντικών ορίων για κάθε μία από αυτές αποτελεί πρόκληση για τις αρμόδιες ρυθμιστικές αρχές. Αυτό μπορεί να επιδεινωθεί από πλαίσια όπου το επιτρέπουν χορηγίες σε τοπικό επίπεδο και οι υπάλληλοι δεν έχουν εμπειρία αντιμετώπισης πολλαπλών εγκαταστάσεων παρόμοιου τύπου. Η χρήση εγγράφων αναφοράς ΒΔΤ (BREF Bat Reference documents) είναι μια λύση που έχει χρησιμοποιηθεί σε διάφορες δικαιοδοσίες σε όλο τον κόσμο για να υποστηρίξει την έκδοση άδειας για βιομηχανικούς χώρους.



Source: DG ENV, European Commission

Σχήμα 3.9 Απλοποιημένο διάγραμμα ροής που δείχνει πώς τα BREF ταιριάζουν σε ένα ρυθμιστικό καθεστώς

Διαδικασία αίτησης:

Οι βιομηχανικοί φορείς συνήθως απαιτείται να υποβάλουν αίτηση για άδεια. Η εφαρμογή περιλαμβάνει πληροφορίες σχετικά με την εγκατάσταση, τις δραστηριότητές της, τις ουσίες που εκπέμπει και τις τεχνικές που χρησιμοποιεί.

Συμμετοχή κοινού:

Η οδηγία τονίζει τη σημασία της συμμετοχής του κοινού στη διαδικασία αδειοδότησης. Το κοινό θα πρέπει να έχει πρόσβαση σε πληροφορίες σχετικά με τις άδειες και ενδέχεται να υπάρχουν ευκαιρίες για δημόσια συμβολή κατά τη διαδικασία αδειοδότησης.

Παρακολούθηση και αναφορά:

Η άδεια περιλαμβάνει απαιτήσεις για την συνεχή και συχνή παρακολούθηση των εκπομπών και την αναφορά δεδομένων. Η τακτική αναφορά διασφαλίζει ότι η βιομηχανική εγκατάσταση συμμορφώνεται με τους όρους που ορίζονται στην άδεια.

Αναθεώρηση και ανανέωση:

Οι άδειες υπόκεινται σε περιοδική αναθεώρηση και ενδέχεται να ενημερώνονται ή να ανανεώνονται. Αυτό επιτρέπει στις αρχές να αξιολογήσουν εάν η εγκατάσταση εξακολουθεί να πληροί τα περιβαλλοντικά πρότυπα και εάν χρειάζονται αλλαγές στους όρους της άδειας.

Ευελιξία:

Ενώ υπάρχουν κοινές αρχές και απαιτήσεις σε ολόκληρη την ΕΕ, η οδηγία επιτρέπει την ευελιξία για να ληφθούν υπόψη οι διαφορές στους βιομηχανικούς τομείς και δραστηριότητες. Αυτό σημαίνει ότι οι ειδικοί όροι στις άδειες ενδέχεται να διαφέρουν μεταξύ των κρατών μελών.

Πιο κάτω αναφέρονται μερικά σημεία του κανονισμού 2010/75/ΕΕ όπως λαμβάνονται από την σελίδα της Ευρωπαϊκής Επιτροπής

(1) Πρέπει να ληφθούν κάποια μέτρα έτσι ώστε να τροποποιηθούν οι κανόνες που ίσχυαν μέχρι εκείνη τη στιγμή όσο αφορά τις βιομηχανίες τιτανίου, τις πτητικές οργανικές ενώσεις λόγω της χρήσης οργανικών διαλυτών, την αποτέφρωση απορριμμάτων, τις εκπομπές ορισμένων ρύπων στην ατμόσφαιρα που προέρχονται εξαιτίας μεγάλων εγκαταστάσεων καύσης και την πρόληψη αλλά και τον έλεγχο σχετικά με θέματα που αφορούν την ρύπανση του περιβάλλοντος.

(2) Με σκοπό να την αποφυγή όπου είναι δυνατή, τη μείωση, αλλά και την ολική εξάλειψη όπου είναι δυνατόν της ρύπανσης που προέρχεται εκ των βιομηχανικών δραστηριοτήτων, σύμφωνα με την αρχή «όποιος ρυπαίνει πρέπει και να πληρώνει» και την αρχή της πρόληψης της ρύπανσης, είναι απαραίτητο να δημιουργηθεί ένα γενικό πλαίσιο στο οποίο είναι δυνατός ο έλεγχος των κύριων βιομηχανικών δραστηριοτήτων, δίνοντας προτεραιότητα στην παρέμβαση στην πηγή της ρύπανσης, διασφαλίζοντας τη συνετή διαχείριση των φυσικών πόρων και λαμβάνοντας υπόψη, όταν είναι αναγκαίο, την οικονομική κατάσταση και τα ειδικά τοπικά χαρακτηριστικά του της κάθε περιοχής αλλά και του κάθε τόπου στον οποίο λαμβάνει χώρα κάποια η πολλές βιομηχανικές δραστηριότητες.

(5) Με σκοπό να διασφαλιστεί η πρόληψη και ο έλεγχος της ρύπανσης, κάθε εγκατάσταση θα πρέπει να λειτουργεί μόνο εάν διαθέτει άδεια ή, στην περίπτωση κάποιων εγκαταστάσεων και δραστηριοτήτων που χρησιμοποιούν οργανικούς διαλύτες, μόνο εφ' όσον διαθέτει άδεια ή εάν η συγκεκριμένη μονάδα είναι εγγεγραμμένη.

(7) Προκειμένου να διευκολυνθεί η χορήγηση αδειών, τα κράτη μέλη θα πρέπει να μπορούν να ορίζουν κάποιες συγκεκριμένες απαιτήσεις για ορισμένες κατηγορίες εγκαταστάσεων σε γενικό δεσμευτικό κανόνα.

(17) Για να μπορέσουν οι φορείς εκμετάλλευσης να δοκιμάσουν αναδυόμενες τεχνικές που θα μπορούσαν να παρέχουν υψηλότερο γενικό επίπεδο προστασίας του περιβάλλοντος ή τουλάχιστον το ίδιο επίπεδο περιβαλλοντικής προστασίας και υψηλότερη εξοικονόμηση κόστους από τις υπάρχουσες βέλτιστες διαθέσιμες τεχνικές, η αρμόδια αρχή θα πρέπει να μπορεί να χορηγεί προσωρινές παρεκκλίσεις από τα επίπεδα εκπομπών που σχετίζονται με τις καλύτερες διαθέσιμες τεχνικές.

(26) Προκειμένου να διασφαλιστεί η αποτελεσματική εφαρμογή και επιβολή της παρούσας οδηγίας, οι φορείς εκμετάλλευσης θα πρέπει να αναφέρουν τακτικά στην αρμόδια αρχή τη συμμόρφωση με τους όρους της άδειας. Τα κράτη μέλη θα πρέπει να διασφαλίζουν ότι ο φορέας εκμετάλλευσης και η αρμόδια αρχή λαμβάνουν τα απαραίτητα μέτρα σε περίπτωση μη συμμόρφωσης με την παρούσα οδηγία και προβλέπουν σύστημα περιβαλλοντικών επιθεωρήσεων. Τα κράτη μέλη θα πρέπει να διασφαλίζουν ότι είναι διαθέσιμο επαρκές προσωπικό με τις δεξιότητες και τα προσόντα που απαιτούνται για την αποτελεσματική διεξαγωγή αυτών των επιθεωρήσεων.

(30) Η Επιτροπή θα πρέπει να επανεξετάσει την ανάγκη καθορισμού οριακών τιμών εκπομπών σε επίπεδο Ένωσης και τροποποίησης των οριακών τιμών εκπομπών που ορίζονται στο παράρτημα V για ορισμένες μεγάλες εγκαταστάσεις καύσης, λαμβάνοντας υπόψη την αναθεώρηση και την ενημέρωση των σχετικών εγγράφων αναφοράς ΒΔΤ⁸. Στο πλαίσιο αυτό, η Επιτροπή θα πρέπει να εξετάσει την ιδιαιτερότητα των ενεργειακών συστημάτων των διυλιστηρίων.

(36) Οι εγκαταστάσεις που παράγουν διοξείδιο του τιτανίου μπορεί να προκαλέσουν σημαντική ρύπανση στον αέρα και το νερό. Προκειμένου να μειωθούν αυτές οι επιπτώσεις, είναι απαραίτητο να τεθούν σε επίπεδο Ένωσης αυστηρότερες οριακές τιμές εκπομπών για ορισμένες ρυπογόνες ουσίες.

(42) Τα κράτη μέλη θα πρέπει να θεσπίσουν κανόνες για τις κυρώσεις που επιβάλλονται σε περίπτωση παραβίασης των εθνικών διατάξεων που θεσπίζονται σύμφωνα με την παρούσα οδηγία και να διασφαλίζουν την εφαρμογή τους. Οι κυρώσεις αυτές πρέπει να είναι αποτελεσματικές, αναλογικές και αποτρεπτικές.

Το κείμενο που περιγράφει τον νόμο 2010/75/ΕΕ χωρίζεται σε 7 παραρτήματα, 7 κεφάλαια και 84 άρθρα στα οποία παρουσιάζεται η οδηγία την οποία εξέδωσαν, οι κανονισμοί, με στόχο την αποφυγή αλλά και τον έλεγχο που πρέπει να επιβληθούν έτσι ώστε να υπάρξει έλεγχος στην ρύπανση για την οποία ευθύνονται τα εργοστάσια.

Συγκεκριμένα, στο άρθρο 23 αναφέρει ότι τα κράτη μέλη οφείλουν να δημιουργήσουν ένα σύστημα το οποίο εκτελεί περιβαλλοντικές επιθεωρήσεις σε εγκαταστάσεις που αφορούν την εξέταση του πλήρους φάσματος των σχετικών περιβαλλοντικών επιπτώσεων από τις συγκεκριμένες εγκαταστάσεις.

Το άρθρο 27 σημειώνει ότι τα Κράτη μέλη οφείλουν να ενθαρρύνουν την ανάπτυξη και την εφαρμογή αναδυόμενων τεχνικών, ιδίως για εκείνες τις αναδυόμενες τεχνικές που προσδιορίζονται στα έγγραφα αναφοράς ΒΔΤ.

Το άρθρο 27 αναφέρεται σε κανόνες σχετικά με οντότητες που έχουν υπό την επίβλεψη τους δύο ή περισσότερες μονάδες παραγωγής ενέργειας μέσω καύσης, το άρθρο 30 προτείνει την επιβολή ορίων σχετικά με τα απόβλητα από βιομηχανικές εγκαταστάσεις και την ασφαλή απόρριψη τους για σκοπούς προστασίας της ανθρώπινης υγείας και του περιβάλλοντος. Το άρθρο 37 αναφέρει νόμους σε

⁸έγγραφο, που προκύπτει από την ανταλλαγή πληροφοριών που οργανώνεται σύμφωνα με το άρθρο 13, το οποίο συντάσσεται για καθορισμένες δραστηριότητες και περιγράφει, ειδικότερα, εφαρμοσμένες τεχνικές, τρέχουσες εκπομπές και επίπεδα κατανάλωσης, τεχνικές που εξετάζονται για τον προσδιορισμό των βέλτιστων διαθέσιμων τεχνικών ως καθώς και τα συμπεράσματα ΒΔΤ, δίνοντας ιδιαίτερη προσοχή στα κριτήρια που απαριθμούνται στο παράρτημα III.

περίπτωση δυσλειτουργίας ή βλάβης κάποιου βιομηχανικού εξοπλισμού και τη χρήση καυσίμων που επιφέρουν λιγότερους ρύπους σε τέτοια περίπτωση, όπου είναι δυνατόν. Το άρθρο 79 αναφέρει ότι σε τα κράτη μέλη οφείλουν να ορίζουν κυρώσεις σε όσους δεν υπακούσουν και δεν πράξουν ανάλογα με τις σχετικές οδηγίες που επιβλήθηκαν.

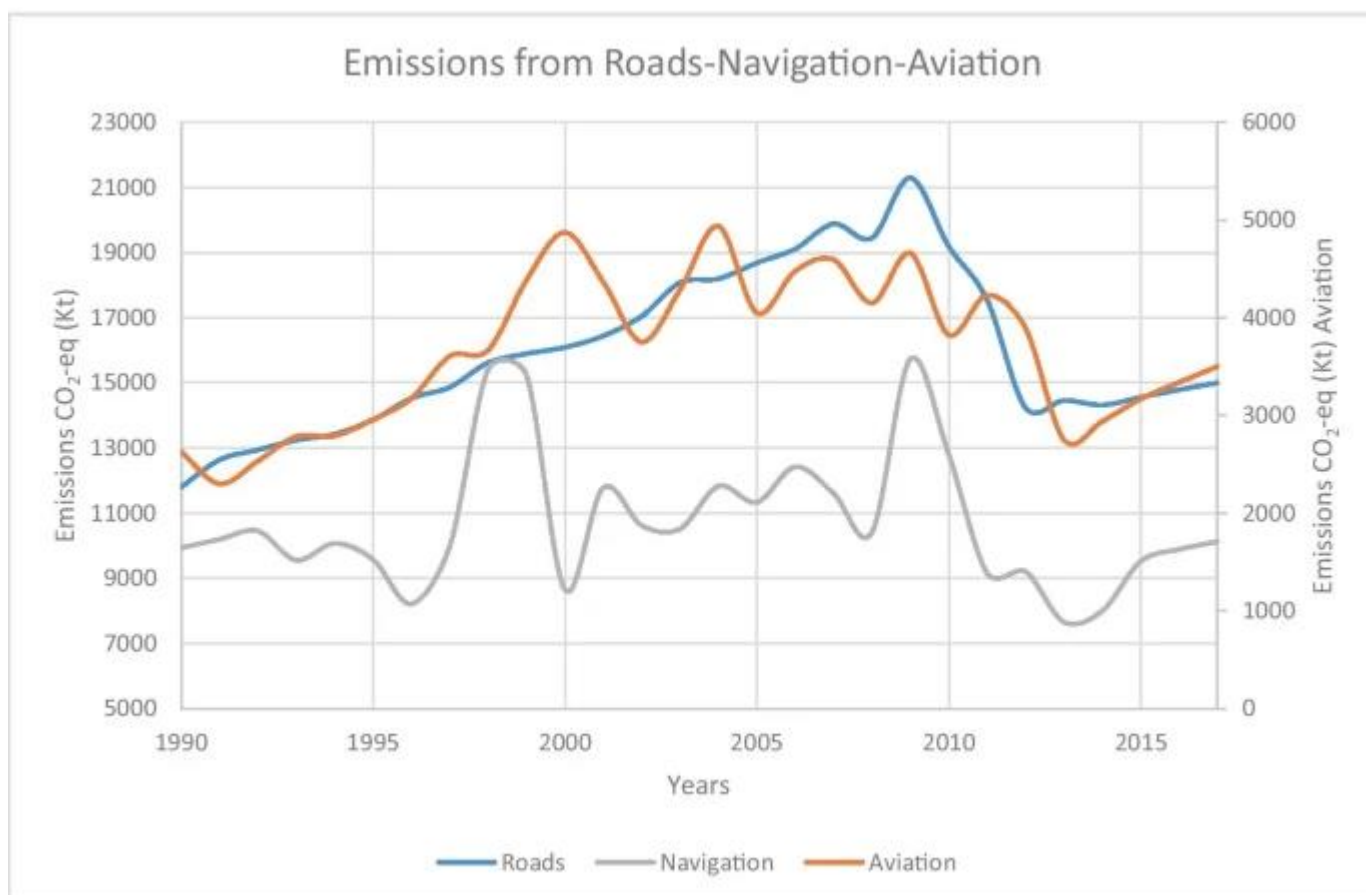
Έπειτα αναφέρονται τεχνικές και τρόποι με τους οποίους θα διεξάγονται οι σχετικές μετρήσεις για κάθε είδος παραγωγής.

Στο παράρτημα 7 αναφέρεται σε τεχνικές διατάξεις σχετικά με εγκαταστάσεις και δραστηριότητες που χρησιμοποιούν οργανικούς διαλύτες και αναφέρει ότι σε τέτοιες δραστηριότητες θα πρέπει να διεξάγεται καθαρισμός του εξοπλισμού αλλά όχι καθαρισμός των προϊόντων, εκτός εάν υπάρχουν διαφορετικές οδηγίες. Μερικές από αυτές είναι η εφαρμογή κόλλας σε μια επιφάνεια, επίστρωση, όπως αυτοκινήτων και φορτηγών, στεγνό καθάρισμα, παραγωγή παπουτσιών, εκτυπώσεις, καθαρισμούς επιφανειών, πλαστικοποίηση ξύλου όπως και άλλα.

3.7.2 Οι ρύποι που εκπέμπονται στην Ελλάδα λόγω βιομηχανικών εγκαταστάσεων

Η πολιτική διαχείρισης του αέρα της Ελλάδας διαμορφώνεται από το Πρόγραμμα Καθαρού Αέρα για την Ευρώπη του 2013. Η χώρα έμεινε πίσω στην ανάπτυξη του εθνικού της προγράμματος ελέγχου της ατμοσφαιρικής ρύπανσης για να διασφαλίσει ότι εκπλήρωσε τις δεσμεύσεις μείωσης για το 2020 και το 2030 που ορίζονται στην Οδηγία NEC. Η Ελλάδα θέσπισε ένα μεταβατικό εθνικό σχέδιο δίνοντας σε ορισμένους σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής περισσότερο χρόνο για να συμμορφωθούν με την Οδηγία για τις Βιομηχανικές Εκπομπές (2010/75/ΕΕ).

Η ναυτιλία συμβάλλει αρκετά σημαντικά στην ατμοσφαιρική ρύπανση στην Ευρώπη, ιδιαίτερα στις πόλεις που έχουν μεγάλα λιμάνια, μια εκ των οποίων είναι και η Ελλάδα, έχοντας . Ενώ οι ισχύοντες κανονισμοί του Διεθνούς Ναυτιλιακού Οργανισμού και της ΕΕ θα μειώσουν τις εκπομπές SO₂ από τη διεθνή ναυτιλία έως το 2030, χωρίς περαιτέρω ελέγχους θα αυξηθούν ξανά μετά το 2030 και οι εκπομπές NO_x θα υπερβούν αυτές από χερσαίες πηγές εκπομπών στη ΕΕ στην ΕΕ.



Σχήμα 3.10 Εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα στη Ελλάδα λόγω αυτοκινήτων, πλοίων και αεροπλάνων

Στο Σχήμα 3.10 φαίνεται ότι μετά το 2010 και την εφαρμογή του νόμου 2010/75 οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα μειώθηκαν αισθητά στην Ελλάδα. [31]

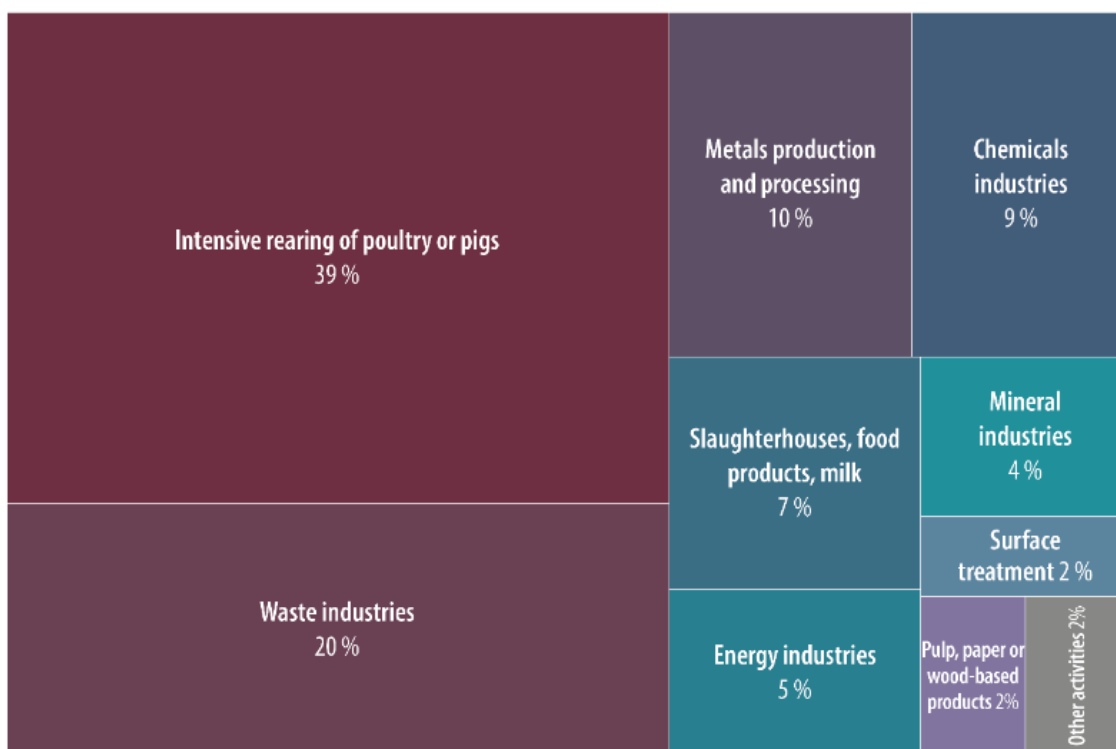
Τα κύρια μέτρα ελέγχου των εκπομπών περιλαμβάνουν τη μείωση της περιεκτικότητας σε θείο των καυσίμων πλοίων, τη βελτιστοποίηση της διαδικασίας καύσης, τον καθαρισμό των καυσαερίων και τα συστήματα καταλυτικής μείωσης. Η σύνδεση των πλοίων στο αγκυροβόλιο με την παροχή ρεύματος στην ξηρά (cold ironing) μπορεί επίσης να συμβάλει στη μείωση των εκπομπών NOX και PM. Το 2018, το λιμάνι της Κυλλήνης ήταν το πρώτο που χρησιμοποίησε πιλοτικά το cold ironing στην ανατολική Μεσόγειο. Ένα έργο που χρηματοδοτείται από την ΕΕ με την ονομασία ELEMED (για την ηλεκτροδότηση της Ανατολικής Μεσογείου), περιλαμβάνει δύο λιμάνια στην Ελλάδα (Κυλλήνη και Πειραιάς) και από ένα στην Κύπρο (Λεμεσός) και τη Σλοβενία (Koper). Ανοίγει το δρόμο για ευρύτερη εφαρμογή στην Ελλάδα και αλλού στην περιοχή.

3.7.3 Έκθεση της Επιτροπής στο Συμβούλιο και το Ευρωπαϊκό κοινοβούλιο Σχετικά με την εφαρμογή της 2010/75/ΕΕ

Το 2021 εκδόθηκε έκθεση της Επιτροπής στο Συμβούλιο και το Ευρωπαϊκό κοινοβούλιο Σχετικά με την εφαρμογή της 2010/75/ΕΕ για τις βιομηχανικές εκπομπές. [32]

Σχετικά με την έκδοση πιστοποιητικών, Το 2018, το 87% των επιχειρησιακών εγκαταστάσεων αναφέρθηκε ότι έχουν πιστοποιητικό, αλλά εκεί παραμένει ένας αριθμός εγκαταστάσεων, σύμφωνα με πληροφορίες, χωρίς άδεια – ιδίως εκείνες που λειτουργούν σε βιομηχανίες απορριμμάτων (17% των επιχειρησιακών εγκαταστάσεων για τη βιομηχανία) και χημικών βιομηχανιών (16% των λειτουργικών εγκαταστάσεων για τη βιομηχανία). Ο μεγαλύτερος αριθμός των εγκαταστάσεων χωρίς

άδεια αναφέρθηκαν για εγκαταστάσεις που λειτουργούν στην εντατική εκτροφή πουλερικών ή των χοίρων (2 685 εγκαταστάσεις, που αντιπροσωπεύουν το 14% των λειτουργικών εγκαταστάσεων). Επτά κράτη μέλη ανέφεραν περιπτώσεις εγκαταστάσεων χωρίς άδεια, κυρίως σε Δανία, Γερμανία, Ελλάδα και την Ισπανία. Ωστόσο, δεν είναι σαφές εάν αυτή η κατάσταση αντιστοιχεί σε απουσία άδειας ή σε εσφαλμένη αναφορά. Για παράδειγμα, από το 2018, εάν δεν έχει χορηγηθεί άδεια, τα κράτη μέλη υποχρεούνται να περιγράψουν τι μέτρα επιβολής κατά του σχετικού χειριστή εγκατάστασης έχουν ληφθεί (και για αναφορά αυτό στο μητρώο της ΕΕ). Ωστόσο, ο αριθμός των εγκαταστάσεων χωρίς άδεια είναι μεγαλύτερος από τον αριθμό των περιπτώσεων ενεργειών επιβολής που αναφέρθηκαν στο μητρώο της ΕΕ, που δείχνει ότι χρειάζεται περαιτέρω διευκρίνιση.



Source: European Commission, [IED implementation report](#), December 2021, p. 3. Graphic by Samy Chahri, EPRS.

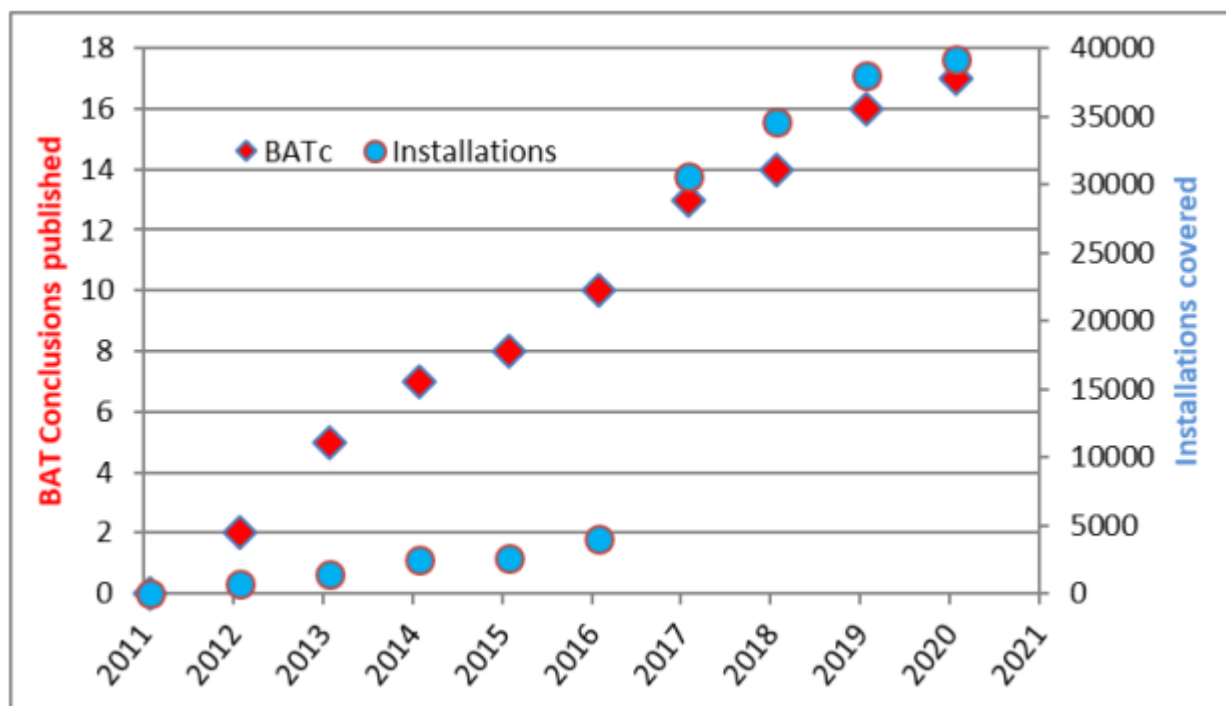
Σχήμα 3.11 Μερίδια ανά τομέα σε βιομηχανικές εκπομπές εγκαταστάσεων το 2018

Μόνο έξι κράτη μέλη (Κύπρος, Εσθονία, Φινλανδία, Ουγγαρία, Ρουμανία και Σλοβενία) ανέφεραν ότι υποβλήθηκαν όλες οι απαιτούμενες βασικές εκθέσεις. Για τα υπόλοιπα κράτη μέλη, έχουν εντοπιστεί περιπτώσεις όπου απαιτούνταν οι βασικές εκθέσεις, αλλά δεν είχαν υποβληθεί. Αυτό είναι ένα ζήτημα, ειδικότερα, για εγκαταστάσεις που λειτουργούν σε Αυστρία, Δανία, Γαλλία, Γερμανία, Ιταλία, Ολλανδία, Πολωνία, Πορτογαλία και Σουηδία.

Έξι κράτη μέλη ανέφεραν ενέργειες που βεβαιώνουν ότι οι νόμοι που καθορίστηκαν τηρούνται (Κροατία, Κύπρος, Γερμανία, Ιταλία, Πολωνία, και Ισπανία). Τα περισσότερα κράτη μέλη έχουν αναφέρει μεταξύ 1 και 11 περιπτώσεις επιβολής του νόμου Ενέργειες.

Η συχνότητα των επιτόπιων επισκέψεων για επιτηρήσεις στους απαιτούμενους σταθμούς βασίζεται σε συστηματική εκτίμηση των σχετικών κινδύνων και πρέπει να είναι τουλάχιστον ετησίως για εγκαταστάσεις που ενέχουν τους υψηλότερους κινδύνους και κάθε τρία χρόνια για εγκαταστάσεις με τους μικρότερους κινδύνους. Κατά μέσο όρο σε επίπεδο ΕΕ, τα κράτη μέλη ανέφεραν ότι πραγματοποιήθηκαν επιτόπιες επισκέψεις στο 49% των εγκαταστάσεων κατά τη διάρκεια κάθε έτους

αναφοράς. Ωστόσο, σύμφωνα με αναφορές στη Γαλλία, την Ελλάδα, την Ολλανδία, την Πορτογαλία και την Ισπανία έχουν πραγματοποιηθεί σε λιγότερες από το 25% των εγκαταστάσεων. Δεν είναι δυνατό να συναχθεί συμπέρασμα από αυτές τις πληροφορίες εάν ή δεν έχουν ελεγχθεί έγκαιρα όλες οι εγκαταστάσεις.



Σχήμα 3.12 Εξέλιξη των συμπερασμάτων ΒΔΤ και των εγκαταστάσεων που καλύπτονται

Το Σχήμα 3.12 παρέχει μια επισκόπηση του σωρευτικού αριθμού των συμπερασμάτων ΒΔΤ, δημοσιεύθηκε από την έναρξη εφαρμογής του IED και ο κατά προσέγγιση αριθμός των εγκαταστάσεων που καλύπτονται από αυτές. Τα συμπεράσματα ΒΔΤ που έχουν δημοσιευθεί μέχρι σήμερα καλύπτουν περισσότερο από το 70% των εγκαταστάσεων IED (Industrial Emissions Directive).

Το 2019, η Επιτροπή δημιούργησε μια διαδικτυακή πλατφόρμα για τα κράτη μέλη και τους αρμόδιους εκπρόσωπους των αρχών για συζήτηση, ανταλλαγή γνώσεων και εμπειριών και πρόσβαση σε πόρους που σχετίζονται με την εφαρμογή IED (Industrial Emissions Directive, Οδηγία Βιομηχανικών Εκπομπών). Επιπλέον, η Επιτροπή οργανώνει μια σειρά εργαστηρίων και διαδικτυακών σεμιναρίων για τη διευκόλυνση της ανταλλαγής μεταξύ των αρμόδιων κρατών μελών και αρχών για συγκεκριμένα θέματα.

Η Επιτροπή δημοσίευσε στο Διαδίκτυο μια περίληψη των απαντήσεων που δόθηκαν ερωτήσεις υλοποίησης. Αυτές οι ερωτήσεις και απαντήσεις μπορούν να βρεθούν στην σελίδα [33] και είναι στη μορφή του Σχήμα 3.13.

IED ANNEX I.16 What is meant by “finished product” in Annex I section 6.3?

Tannery products frequently leave the installation in wet form, and consequently weigh considerably more than the final product. The inclusion of the qualifier “finished” in the term “finished products” implies some activity of finishing or treatment beyond what is actually carried out during the tanning process.. A “finished product” is thus a leather fit for making up into consumer goods, i.e. in dry form.

Σχήμα 3.13 ερωτήσεις και απαντήσεις σε αυτές από τη ΓΔ

Κύρια Ευρήματα από την αξιολόγηση του IED

Το IED ήταν αποτελεσματικό στη μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων των τομέων που εμπίπτουν στο πεδίο εφαρμογής του και στη μείωση των στρεβλώσεων του ανταγωνισμού στην ΕΕ. Η συνεργατική, χωρίς αποκλεισμούς, την παραγωγή BREF και ο προσδιορισμός των ΒΔΤ λειτούργησε καλά. Αυτό αναγνωρίζεται ως μοντέλο συνεργατικής διακυβέρνησης.

Το IED έχει οδηγήσει σε σημαντικά μειωμένες εκπομπές ρύπων στον αέρα και, σε μικρότερο βαθμό, για το νερό. Τα ελάχιστα στοιχεία δείχνουν επίσης ελαχιστοποίηση των εκπομπών στο έδαφος από εγκαταστάσεις IED. Για μια σειρά από άλλες πτυχές, όπως π.χ συμβολή στην αποδοτικότητα των πόρων και την κυκλική οικονομία, καθώς και σε έναν λιγότερο τοξικό τρόπο παράγοντας, είναι πολύ πιο δύσκολο να εξαχθούν ισχυρά συμπεράσματα. ωστόσο οι ενδείξεις είναι ότι ο IED έχει συμβάλει θετικά, αν και σημαντικά σε μικρότερο βαθμό.

Η Επιτροπή θα αναλύσει περαιτέρω τις περιπτώσεις που εντοπίστηκαν σημαντικές μη εφαρμογές της διάταξης των IED. Εάν καταλήξει στο συμπέρασμα ότι αυτό προκύπτει από συστημικές παραβιάσεις του IED, η Επιτροπή θα λάβει τα κατάλληλα μέτρα επιβολής.

Τέλος, η Επιτροπή δεσμεύεται να αναθεωρήσει το IED ώστε να καταστεί βασικό νομικό μέσο που συνοδεύει τον μετασχηματισμό της βιομηχανίας της ΕΕ που απαιτείται για την ανταπόκρισή στους στόχους στο πλαίσιο της Ευρωπαϊκής Πράσινης Συμφωνίας.

3.8 Οδηγία ΕΕ 2015/2193 του Ευρωπαϊκού κοινοβουλίου και του Συμβουλίου

Η οδηγία 2015/2193 του Ευρωπαϊκού κοινοβουλίου και του Συμβουλίου θεσπίστηκε στις 25 Νοεμβρίου 2015 και αφορά τον περιορισμό ορισμένων των εκπομπών ρύπων στην ατμόσφαιρά που εξάγονται από εγκαταστάσεις μεσαίας καύσης. [34]

Οι εγκαταστάσεις μεσαίας καύσης αναφέρονται σε εγκαταστάσεις με ονομαστική θερμική ισχύ 1-50MW.

Στην ΕΕ είναι εγκατεστημένες περίπου 143.000 μονάδες μεσαίας καύσης (MCP). Χρησιμοποιούνται για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, την θέρμανση αλλά και την ψύξη οικιακών ή κατοικιών και για την παροχή θερμότητας ή ατμού για βιομηχανικές διεργασίες. Καθώς αυτές οι εγκαταστάσεις αποτελούν σημαντική πηγή εκπομπών διοξειδίου του θείου (SO₂), οξειδίων του αζώτου (NO_x) και σκόνης, η ΕΕ έχει θεσπίσει ειδική νομοθεσία με στόχο την προστασία του περιβάλλοντος καθώς και της υγείας των πολιτών της, όπως αναφέρεται στη σελίδα της ευρωπαϊκής επιτροπής, στον τομέα του περιβάλλοντος.

Μια μονάδα μεσαίας καύσης (MCP) περιλαμβάνει μια μονάδα καύσης (κινητήρα, λέβητα ή στρόβιλο), οποιαδήποτε μείωση και την προσαρτημένη στοίβα ή καπναγωγό, μαζί με οποιαδήποτε ψύξη αέρα

όπου αποτελεί μέρος της μονάδας καύσης. Το MCP δεν περιλαμβάνει χειρισμό/αποθήκευση καυσίμου, διαχείριση απορριμμάτων, εξωτερική ψύξη νερού ή αέρα. [35]

"Εκπομπές" σύμφωνα με την οδηγία MCP σημαίνει "την απόρριψη ουσιών από τη μονάδα καύσης στον αέρα", ενώ "εγκατάσταση καύσης" σημαίνει "κάθε τεχνική συσκευή στην οποία οξειδώνονται τα καύσιμα προκειμένου να χρησιμοποιηθεί η θερμότητα που παράγεται με αυτόν τον τρόπο".

Ως εκ τούτου, η οδηγία MCP δεν εφαρμόζεται σε: [36]

α) εγκαταστάσεις καύσης που καλύπτονται από το κεφάλαιο III ή το κεφάλαιο IV της Οδηγίας 2010/75/ΕΕ (IED).

β) προϊόντα που σχετίζονται με την ενέργεια τα οποία καλύπτονται από εκτελεστικά μέτρα που έχουν θεσπιστεί σύμφωνα με την οδηγία 2009/125/ΕΚ, όταν οι εν λόγω εκτελεστικές πράξεις καθορίζουν οριακές τιμές εκπομπών για τους ρύπους που απαριθμούνται στο παράρτημα II t1 της οδηγίας MCP.

γ) εγκαταστάσεις καύσης στις οποίες τα αέρια προϊόντα της καύσης χρησιμοποιούνται για την άμεση θέρμανση, ξήρανση ή οποιαδήποτε άλλη επεξεργασία αντικειμένων ή υλικών.

δ) μονάδες μετά την καύση που έχουν σχεδιαστεί για τον καθαρισμό των απαερίων από βιομηχανικές διεργασίες με καύση και οι οποίες δεν λειτουργούν ως ανεξάρτητες μονάδες καύσης.

ε) κάθε τεχνική συσκευή που χρησιμοποιείται για την πρόωση οχήματος, πλοίου ή αεροσκάφους.

στ) εγκαταστάσεις καύσης που καλύπτονται από εκτελεστικά μέτρα που έχουν εγκριθεί σύμφωνα με τον κανονισμό (ΕΚ) αριθ. Διευθυντικός.

Οι πληροφορίες που πρέπει να κοινοποιούνται από τον φορέα εκμετάλλευσης στην αρμόδια αρχή είναι οι ακόλουθες:

1. Ονομαστική θερμική ισχύς (MW) της μεσαίας μονάδας καύσης.
2. Τύπος μονάδας μεσαίας καύσης.
3. Τύπος και μερίδιο των καυσίμων που χρησιμοποιούνται σύμφωνα με τις κατηγορίες καυσίμων που ορίζονται στο παράρτημα II της οδηγίας MCP.
4. Η ημερομηνία έναρξης της λειτουργίας της μεσαίας μονάδας καύσης.
5. Τομέας δραστηριότητας της μεσαίας μονάδας καύσης ή της εγκατάστασης στην οποία εφαρμόζεται (κωδικός NACE).
6. Ο αναμενόμενος αριθμός ωρών λειτουργίας της μεσαίας μονάδας καύσης και το μέσο φορτίο σε χρήση.
7. Οι ισχύουσες οριακές τιμές εκπομπών, μαζί με δήλωση υπογεγραμμένη από τον φορέα εκμετάλλευσης για τη λειτουργία της μονάδας σύμφωνα με αυτές τις τιμές, από τη σχετική ημερομηνία που ορίζεται στο άρθρο 5.
8. Σε περίπτωση που ο φορέας εκμετάλλευσης υποβάλει αίτηση για παρέκκλιση, δήλωση υπογεγραμμένη από τον φορέα εκμετάλλευσης για τη λειτουργία της μονάδας όχι περισσότερες από 300 ώρες ετησίως.
9. Το όνομα και η έδρα του χειριστή και, σε περίπτωση σταθερών μεσαίων εγκαταστάσεων καύσης, η διεύθυνση όπου βρίσκεται η μονάδα.

Η συγκεκριμένη οδηγία αποσκοπεί στον περιορισμό των εκπομπών ορισμένων ρύπων στην ατμόσφαιρα από μονάδες μεσαίας καύσης. Η οδηγία αναγνωρίζει το συνεχιζόμενο πρόβλημα της

ατμοσφαιρικής ρύπανσης σε πολλά μέρη της Ευρώπης και τους πιθανούς κινδύνους για την υγεία που συνδέονται με τις ουσίες που ρυπαίνουν την ατμόσφαιρα.

Θεσπίζει κανόνες για τον έλεγχο των ατμοσφαιρικών εκπομπών διοξειδίου του θείου (SO₂), οξειδίων του αζώτου (NO_x) και σκόνης (σωματίδια) από μονάδες μεσαίας καύσης*, καθώς και κανόνες για την παρακολούθηση των εκπομπών μονοξειδίου του άνθρακα (CO) από αυτές τις εγκαταστάσεις.



MCP Directive as part of the Clean Air Policy Package 2013

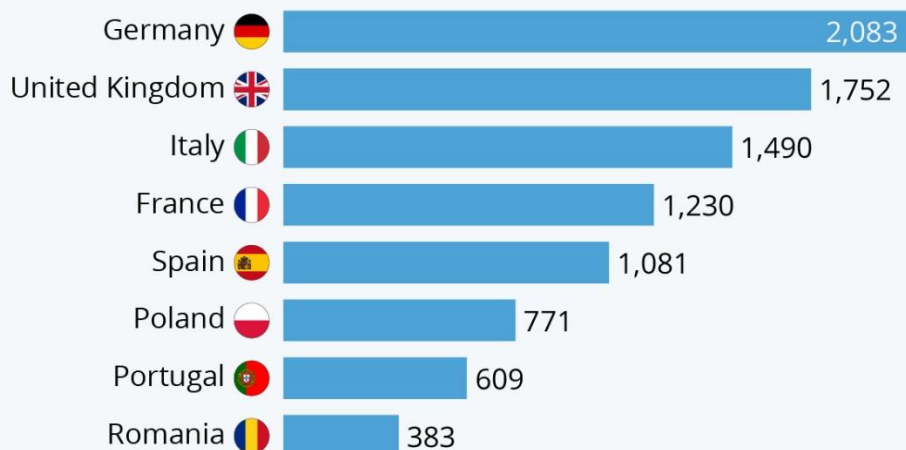
2025	SO ₂ , kt	NO _x , kt	PM, kt	Cost, M€
Clean Air Policy Package	-681	-452	-396	3334
MCPD proposal	-135 (20%)	-107 (24%)	-23 (6%)	382 (11%)

Σχήμα 3.14 όρια εκπομπών

Ζητεί τη λήψη τοπικών και εθνικών μέτρων που αλληλοσυμπληρώνονται προκειμένου να διασφαλιστεί ένα υγιές περιβάλλον για όλους. Η οδηγία τονίζει επίσης την ανάγκη ενίσχυσης των προσπάθειών συμμόρφωσης με τη νομοθεσία για την ποιότητα του αέρα και θέτει στρατηγικούς στόχους και δράσεις πέραν του 2020. Επιπλέον, υπογραμμίζει τη μέση απώλεια ζωής για τους πολίτες της Ένωσης λόγω της ατμοσφαιρικής ρύπανσης, αφού ο μέσος όρος απώλειας ζωής λόγω ατμοσφαιρικής ρύπανσης υπολογίζεται γύρω στους οκτώ μήνες, και τη σημασία του ελέγχου των εκπομπών από μονάδες μεσαίας καύσης.

11,000 Fewer Deaths In Europe Due To Clean Air

Estimated number of premature deaths avoided due to lower air pollutant exposure*



* Over the past 30 days (as of April 30, 2020). Top eight countries for averted deaths illustrated.

Source: Centre for Research on Energy and Clean Air



statista

Σχήμα 3.15 Μείωση θανάτων λόγω καθαρού αέρα σε χώρες της ΕΕ

Το έγγραφο αναφέρει επίσης την ανάγκη προώθησης της ενεργειακής απόδοσης και την εξέταση οικονομικών και τεχνικών παραγόντων κατά τη κατασκευή ή την επένδυση σε μεσαίες μονάδες καύσης. Παρέχει διατάξεις για διαφορετικούς τύπους εγκαταστάσεων καύσης, συμπεριλαμβανομένων εκείνων σε μικρά απομονωμένα συστήματα, δίκτυα τηλεθέρμανσης και μονάδες βιομάζας.

Η οδηγία περιλαμβάνει επίσης διατάξεις για την προσαρμογή των διατάξεων αξιολόγησης συμμόρφωσης από την Επιτροπή και προσδιορίζει τεχνικές μορφές για την υποβολή εκθέσεων. Τονίζει την ανάγκη για μέτρα σε επίπεδο Ένωσης για την επίτευξη των στόχων της ποιότητας του περιβάλλοντος και της ανθρώπινης υγείας.

Ως «οριακή τιμή εκπομπών» στην οδηγία MCP νοείται «η επιτρεπόμενη ποσότητα μιας ουσίας που περιέχεται στα αέρια από τη μονάδα καύσης η οποία μπορεί να απορρίπτεται στον αέρα κατά τη διάρκεια μιας δεδομένης περιόδου».

ELVs (mg/Nm³) – examples for existing plants

- **1-5 MW (not engines/turbines)**
 - **SO₂**: 200 (biomass), 300 (straw), 350 (liquid), 1100 (solid)
 - **NO_x**: 200 (gas oil), 250 (gas), 650 (other liquid, solid, biomass)
 - **dust**: 50
- **5-50 MW (not engines/turbines)**
 - **SO₂**: 200 (biomass), 300 (straw), 350 (liquid), 400 (solid)
 - **NO_x**: 200 (gas oil, nat gas), 650 (other liquid, solid, biomass)
 - **dust**: 30 (>20 MW), 50 (5-20 MW)
- **engines/turbines**
 - **SO₂**: 120 (liquid)
 - **NO_x**: 190-250 (engines), 150-200 (gas turbines)
 - **dust**: 10 (>20 MW), 20 (1-20 MW)

Σχήμα 3.16 Όρια τιμής εκπομπών σε ήδη υπάρχων εγκαταστάσεις

ELVs (mg/Nm³) – examples for new plants

- **other than engines/turbines**
 - **SO₂**: 200 (biomass), 350 (liquid), 400 (solid)
 - **NO_x**: 100 (nat gas), 200 (gas oil), 300 (solid >5 MW, other liquid), 500 (solid 1-5 MW)
 - **dust**: 20 (>5 MW), 30 (biomass 5-20 MW), 50 (1-5 MW)
- **engines/turbines**
 - **SO₂**: 120 (liquid)
 - **NO_x**: 95-225 (engines), 50-75 (gas turbines)
 - **dust**: 10 (>5 MW), 20 (1-5 MW)

Σχήμα 3.17 Όρια τιμής εκπομπών σε καινούργιες εγκαταστάσεις

Η οδηγία αναφέρει επίσης τη επιβολή επεξηγηματικών εγγράφων από τα κράτη μέλη κατά την κοινοποίηση των μέτρων μεταφοράς τους. Καθορίζει κανόνες για τον έλεγχο των εκπομπών ρύπων όπως το διοξείδιο του θείου, τα οξείδια του αζώτου, η σκόνη και το μονοξείδιο του άνθρακα από εγκαταστάσεις μεσαίας καύσης. Η οδηγία επιτρέπει την αξιολόγηση αυστηρότερων οριακών τιμών εκπομπών για μεμονωμένες μεσαίες μονάδες καύσης σε ζώνες που δεν συμμορφώνονται με τις οριακές τιμές ποιότητας του αέρα. Περιλαμβάνει επίσης διατάξεις για την αναφορά δεδομένων και πληροφοριών, μέτρα αποκατάστασης συμμόρφωσης και κοινοποίηση εθνικών μέτρων μεταφοράς στην Επιτροπή.

3.9 Μηδενικές Εκπομπές Μέχρι το 2050

Οι νόμοι αυτοί αποτελούν κομμάτι του σχεδίου της ΕΕ για μηδενικές εκπομπές μέχρι το 2050.

Το όραμα μηδενικής ρύπανσης για το 2050 είναι η ρύπανση του αέρα, των υδάτων και του εδάφους να μειωθεί σε επίπεδα που δεν θεωρούνται πλέον επιβλαβή για την υγεία και τα φυσικά οικοσυστήματα, που σέβονται τα όρια με τα οποία μπορεί να αντιμετωπίσει ο πλανήτης μας, δημιουργώντας έτσι ένα περιβάλλον απαλλαγμένο από τοξικές ουσίες.

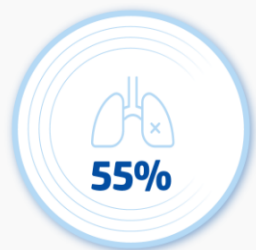
Αυτό μεταφράζεται σε βασικούς στόχους του 2030 για την επιτάχυνση της μείωσης της ρύπανσης στην πηγή. Αυτοί οι στόχοι περιλαμβάνουν (μέσω της σελίδας του περιβάλλοντος της Ευρωπαϊκής επιτροπής):

- βελτίωση της ποιότητας του αέρα για μείωση του αριθμού των πρόωρων θανάτων που προκαλούνται από την ατμοσφαιρική ρύπανση κατά 55%·
- βελτίωση της ποιότητας του νερού με τη μείωση των απορριμμάτων, των πλαστικών απορριμμάτων στη θάλασσα (κατά 50%) και των μικροπλαστικών που απελευθερώνονται στο περιβάλλον (κατά 30%).
- βελτίωση της ποιότητας του εδάφους με τη μείωση των απωλειών θρεπτικών ουσιών και της χρήσης χημικών φυτοφαρμάκων κατά 50%.
- μείωση κατά 25% των οικοσυστημάτων της ΕΕ όπου η ατμοσφαιρική ρύπανση απειλεί τη βιοποικιλότητα·
- μείωση κατά 30% του ποσοστού των ατόμων που έχουν χρόνια διαταραχή λόγω του θορύβου των μεταφορών και
- μειώνοντας σημαντικά την παραγωγή απορριμμάτων και κατά 50% τα υπολειμματικά αστικά απόβλητα.

Το σχέδιο δράσης αποσκοπεί στην ενίσχυση της πράσινης, ψηφιακής και οικονομικής ηγεσίας της ΕΕ, δημιουργώντας παράλληλα μια πιο υγιή, κοινωνικά δικαιότερη Ευρώπη και πλανήτη. Παρέχει μια πυξίδα για την ενσωμάτωση της πρόληψης της ρύπανσης σε όλες τις σχετικές πολιτικές της ΕΕ, για την επιτάχυνση της εφαρμογής της σχετικής νομοθεσίας της ΕΕ και για τον εντοπισμό πιθανών κενών.

Όσο αφορά τον τομέα της ναυτιλίας, στο άρθρο [37] προχωρά σε ανάπτυξη ενός ολοκληρωμένου πλαισίου μοντελοποίησης που καλύπτει τα εσωτερικά και θαλάσσια ύδατα της ΕΕ. Το Marine Modeling Framework (MMF) που ακολουθεί την αρχή των Digital Twins (DT) και που επιτρέπει την αξιολόγηση των επιπτώσεων των διαφορετικών στρατηγικών διαχείρισης στην κατάσταση των γλυκών νερών και θαλάσσιων οικοσυστημάτων μέσω της ΕΕ. Στην παρούσα έκθεση, το JRC-DT για τα υδάτινα και θαλάσσια οικοσυστήματα χρησιμοποιούνται διαφορετικές επιλογές πολιτικής για να ελεγχθεί ο τρόπος που μπορούν να βοηθήσουν στην επίτευξη ορισμένων από τους στόχους για μηδενικές εκπομπές.

1. Reduce by more than 55 % the health impacts (premature deaths) of air pollution



Target: 55% reduction

2022: 45%

Downward trend
Reduced by 45% between 2005 and 2020

2030: 66%

Outlook: on track
Likely reduction of 66% by 2030 (based on a number of proposed measures)

Σχήμα 3.18 Στόχος μέχρι το 2030

Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι οι κανονισμοί και οι νόμοι που εκδίδει η Ευρωπαϊκή Ένωση σχετικά με τους ρύπους, το εμπόριο και το περιβάλλον υπόκεινται συχνά σε αλλαγές και ενημερώσεις. Αυτό συμβαίνει λόγω του συνεχώς εναλλασσόμενου και εξελισσόμενου ενεργειακού τοπίου και των επίσης εναλλασσόμενων ενεργειακών αναγκών της σύγχρονης κοινωνίας. Με την αναθεώρηση αυτή, η ΕΕ προσπαθεί να ευθυγραμμιστεί με την συνεχώς εξελισσόμενες τεχνολογίες, τις επιστημονικές ανακαλύψεις και τις παγκόσμιες ενεργειακές τάσεις, και τις απότομες αλλαγές όσο αφορά τους τομείς της υγείας αλλά και τις πολιτικές, των οποίων οι διάφορες μεταβολές στα τελευταία χρόνια έχουν ωθήσει την ΕΕ να εξάγει καινούργια σχέδια και πολιτικές. Ως συνέπεια, οι νόμοι για την παραγωγή αλλά και για την κατανάλωση ενέργειας που εκδίδει η ΕΕ εξελίσσονται συνεχώς ώστε να διασφαλίζεται ότι μένουν σχετικοί, αποτελεσματικοί και γίνονται ολοένα και πιο φιλόδοξοι. Για την παρακολούθηση και εφαρμογή τους, κάποιος πρέπει να ενημερώνεται σε τακτικά σε συχνά διαστήματα για να μένει ενήμερος σχετικά με όλες τις εξελίξεις.

4^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ

4 Κυψέλες καυσίμου

4.1 Εισαγωγή

Ασφαλείς, φιλικές προς το περιβάλλον και αξιόπιστες πηγές ενέργειας είναι απαραίτητες για την ανθρωπότητα για βιωσιμότητα και υψηλή ποιότητα της ζωής, αν και η παροχή τους υπόκειται σε κοινωνικές, πολιτικές, περιβαλλοντικές και οικονομικές προκλήσεις. Είναι γενικά αποδεκτό ότι δεν υπάρχει ενιαία πηγή ενέργειας που μπορεί να κυριαρχήσει και να κυβερνά την παγκόσμια αγορά ενέργειας, και επομένως ένα ενεργειακό μοντέλο μείγματος έχει γίνει ευρέως αποδεκτό, το οποίο επωφελείται από τη διαθεσιμότητα χρησιμοποιήσιμων πόρων σε κάθε χώρα/περιοχή ή την επιλογή εισαγωγής ενεργειακών πόρων.

Το υδρογόνο, ένας καθαρός φορέας ενέργειας, είναι το πιο άφθονο χημικό στοιχείο στο σύμπαν, λογιστικά αποτελεί το 75% της κανονικής ύλης κατά μάζα και πάνω από το 90% κατά αριθμό ατόμων. Όταν το αέριο υδρογόνο οξειδώνεται ηλεκτροχημικά σε ένα κυτταρικό σύστημα καυσίμου, παράγει καθαρό νερό ως υποπροϊόν, χωρίς να εκπέμπει διοξείδιο του άνθρακα. Το υδρογόνο έχει εμφανιστεί ως νέος φορέας ενέργειας πέρα από τον συνήθη ρόλο του ως βιομηχανική πρώτη ύλη, κυρίως για την παραγωγή αμμωνίας, μεθανόλης και διύλισης πετρελαίου.

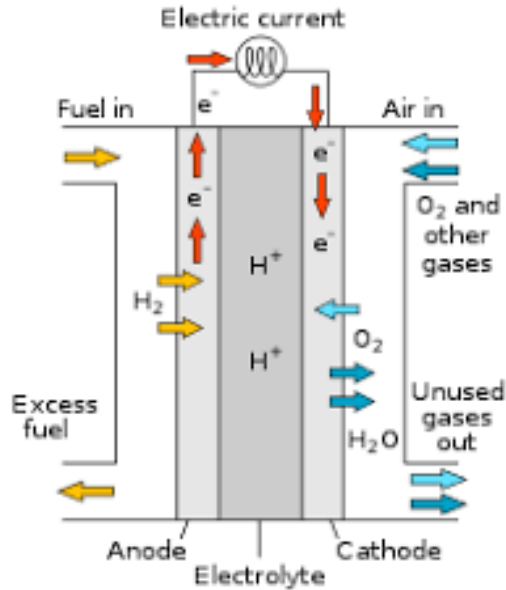
Υπάρχουν διευρυμένες εφαρμογές για χρήση υδρογόνου σε πολλούς άλλους τομείς, όπως οι μεταφορές, η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και εξοπλισμού στρατού λόγω των πλεονεκτημάτων της υψηλής απόδοσης και χαμηλής εκπομπής [38]

4.2 Τι είναι κυψέλες καυσίμου.

Η κυψέλη καυσίμου είναι μια συσκευή μετατροπής ενέργειας που συνεχώς μετατρέπει τη χημική ενέργεια ενός καυσίμου σε ηλεκτρική ενέργεια, εφόσον το καύσιμο και το οξειδωτικό μέσω είναι διαθέσιμα. Παρουσιάζει πλεονεκτικά χαρακτηριστικά που υπερβαίνουν τα συμβατικά που βασίζονται στις τεχνολογίες καύσης που εφαρμόζονται επί του παρόντος σε ορισμένους κρίσιμους τομείς, όπως ηλεκτρονικές, οικιακές εγκαταστάσεις, ηλεκτροπαραγωγικές μονάδες, επιβατικά οχήματα, καθώς και στρατιωτικές εφαρμογές. Λειτουργία με υψηλότερη αποδοτικότητα από τους κινητήρες εσωτερικής καύσης, οι κυψέλες καυσίμου επιδεικνύουν απόδοση μετατροπής ηλεκτρικής ενέργειας 60% ή περισσότερο, με χαμηλότερες εκπομπές.

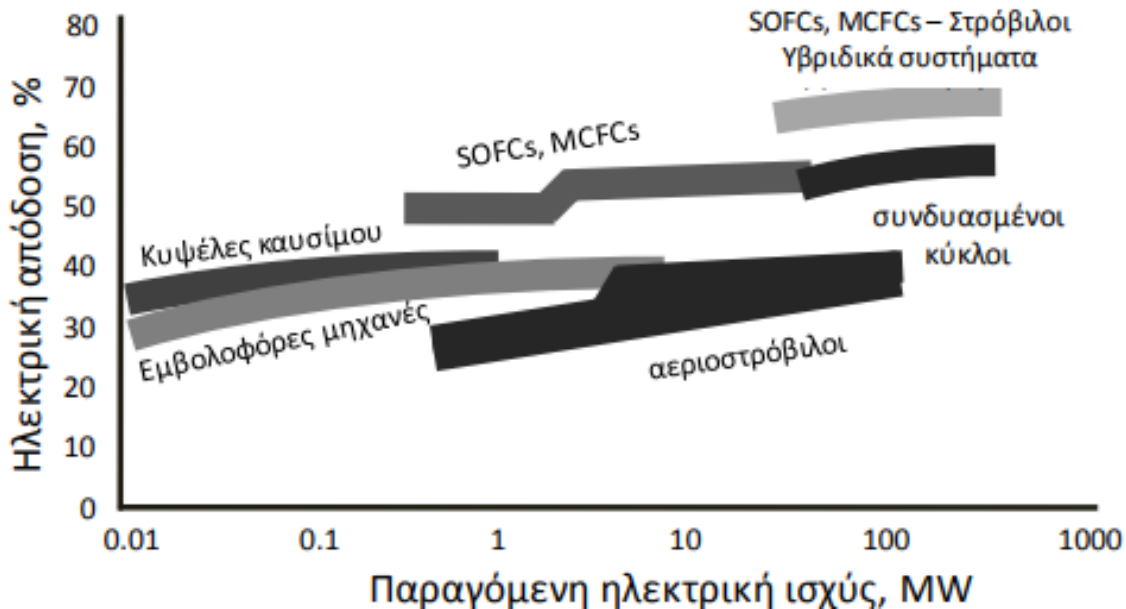
Μοιάζουν με τις μπαταρίες στο ότι παράγουν ηλεκτρική ενέργεια χωρίς καύση ή κινούμενα μέρη, αλλά σε αντίθεση με τις μπαταρίες, απαιτούν συνεχή παροχή καυσίμου για να λειτουργήσουν .

Μια κυψέλη καυσίμου χρησιμοποιεί τη χημική ενέργεια του υδρογόνου ή άλλων καυσίμων για την καθαρή αλλά και αποτελεσματική παραγωγή ενέργειας. Στην περίπτωση όπου το υδρογόνο είναι το καύσιμο, τα μόνα προϊόντα που παράγονται είναι η ηλεκτρική ενέργεια, το νερό και η θερμότητα. Οι κυψέλες καυσίμου είναι μοναδικές όσο αφορά την ποικιλία των πιθανών εφαρμογών τους. Μπορούν να χρησιμοποιήσουν ένα ευρύ φάσμα καυσίμων και πρώτων υλών και μπορούν να παρέχουν ισχύ για συστήματα τόσο μεγάλα όσο ένας σταθμός παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας κοινής ωφέλειας και τόσο μικρός όσο ένας ηλεκτρονικός υπολογιστής.



Σχήμα 4.1 Κυψέλη Καυσίμου

Μπορούν να θεωρηθούν και ως η βέλτιστη τεχνολογία μετατροπής ενέργειας για την μεγιστοποίηση της απόδοσης σε παραγόμενη ισχύ, με χρήση του υδρογόνου ως καύσιμο. Στις μέρες μας, οι κυψέλες καυσίμου μπορούν να επιτύχουν αποδόσεις μέχρι και 55% ως προς την κατώτερη θερμογόνο δύναμη (LHV) ανεξάρτητα από το μέγεθος τους ενώ οι υβριδικοί κύκλοι αεροστροβίλων – κυψελών καυσίμου μπορούν ακόμη και να υπερβούν το 70% ως προς τον LHV.



Σχήμα 4.2 Παραγόμενη Ισχύς και απόδοση διάφορων στοιχείων

4.3 Πως λειτουργούν οι κυψέλες καυσίμου

Οι κυψέλες καυσίμου διατίθενται σε πολλές ποικιλίες, αλλά όλες λειτουργούν γενικά με τον ίδιο τρόπο. Στην ουσία, μια κυψέλη καυσίμου αποτελείται από τρία γειτονικά τμήματα, την άνοδο, τον

ηλεκτρολύτη και την κάθοδο. Όταν το υδρογόνο υφίσταται μια αντίδραση οξείδωσης στην άνοδο. [39]



Παράγει κατιόντα που μεταναστεύουν στην κάθοδο μέσω του ηλεκτρολύτη και ελεύθερων ηλεκτρονίων που ρέουν στο εξωτερικό κύκλωμα. Αντίθετα, μια αντίδραση αναγωγής εμφανίζεται στην κάθοδο, όπου το οξυγόνο ανάγεται σε νερό από τα κατιόντα και τα ηλεκτρόνια. Η ηλεκτροχημική αντίδραση που εμφανίζεται στην κάθοδο είναι

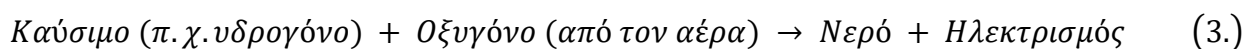


Η χημική αντίδραση που λαμβάνει χώρα σε μια κυψέλη καυσίμου είναι ουσιαστικά η αντίστροφη της διαδικασίας που λαμβάνει χώρα σε μια κυψέλη ηλεκτρόλυσης, όπου ένα ηλεκτρικό ρεύμα χρησιμοποιείται για τη διάσπαση του νερού σε υδρογόνο και οξυγόνο. Ωστόσο, η απόδοση μιας κυψέλης καυσίμου είναι πολύ μεγαλύτερη από μια κυψέλη ηλεκτρόλυσης, επειδή η χημική αντίδραση μπορεί να λάβει χώρα άμεσα, χωρίς την ανάγκη εξωτερικής πηγής ενέργειας.

Η διαδικασία περιλαμβάνει διάφορα βήματα:

1. Καύσιμο και οξειδωτικό παρέχονται στην κυψέλη καυσίμου. Το καύσιμο μπορεί να είναι υδρογόνο, φυσικό αέριο, μεθανόλη ή άλλοι υδρογονάνθρακες, ενώ το οξειδωτικό είναι συνήθως ο αέρας.
2. Το καύσιμο υφίσταται μια χημική αντίδραση στην άνοδο της κυψέλης καυσίμου, η οποία παράγει ηλεκτρόνια και θετικά φορτισμένα ιόντα.
3. Τα θετικά φορτισμένα ιόντα κινούνται μέσω του ηλεκτρολύτη της κυψέλης καυσίμου προς την κάθοδο, ενώ τα ηλεκτρόνια ρέουν μέσω ενός εξωτερικού κυκλώματος για να δημιουργήσουν ηλεκτρικό ρεύμα.
4. Στην κάθοδο, τα ηλεκτρόνια και τα θετικά φορτισμένα ιόντα συνδυάζονται με το οξειδωτικό (συνήθως οξυγόνο από τον αέρα) για να παράγουν νερό και θερμότητα.

Η συνολική χημική αντίδραση σε μια κυψέλη καυσίμου μπορεί να αναπαρασταθεί ως εξής:



Οι συγκεκριμένες λεπτομέρειες της ηλεκτροχημικής αντίδρασης εξαρτώνται από τον τύπο της κυψέλης καυσίμου. Για παράδειγμα, σε μια κυψέλη καυσίμου με μεμβράνη ανταλλαγής πρωτονίων (PEM), η άνοδος και η κάθοδος διαχωρίζονται από μια μεμβράνη πολυμερούς ηλεκτρολύτη που επιτρέπει μόνο θετικά φορτισμένα ιόντα υδρογόνου (πρωτόνια) να περάσουν, ενώ εμποδίζει τη ροή των ηλεκτρονίων. Τα ηλεκτρόνια ρέουν μέσω ενός εξωτερικού κυκλώματος για να δημιουργήσουν ρεύμα, ενώ τα πρωτόνια συνδυάζονται με το οξειδωτικό στην κάθοδο για να παράγουν νερό και θερμότητα.

4.4 Τύποι κυψελών καυσίμου

Υπάρχουν διάφοροι τύποι κυψελών καυσίμου, ο καθένας με τα δικά του μοναδικά χαρακτηριστικά και εφαρμογές. Ακολουθούν μερικοί από τους πιο συνηθισμένους τύπους κυψελών καυσίμου [40]:

1. Κυψέλες καυσίμου με μεμβράνη ανταλλαγής πρωτονίων (PEMFCs): Η άνοδος και η κάθοδος τους συνδέονται με ένα ηλεκτρολύτη που επιτρέπει πρωτόνια, ή H^+ , να ρέουν από την άνοδο προς την

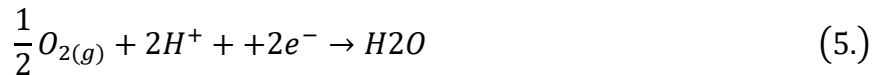
κάθοδο. Αυτός ο ηλεκτρολύτης ή η μεμβράνη είναι ένα στερεό πολυμερές που λειτουργεί σε θερμοκρασίες 70–90 °C και πίεση 1–2 bar.

Εξισώσεις που το περιγράφουν:

Άνοδος:



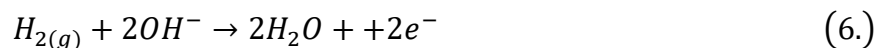
Κάθοδος:



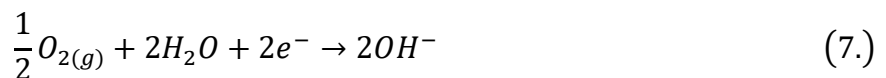
2. Αλκαλικές κυψέλες καυσίμου(AFC): λειτουργεί σε χαμηλές θερμοκρασίες 23–70 °C και χρησιμοποιεί ένα διάλυμα αλκαλικής βάσης όπως NaOH ή KOH ως ηλεκτρολύτης. Σε αντίθεση με τα PEMFC, ένα AFC είναι μια κυψέλη καυσίμου με μεμβράνη ανταλλαγής ανιόντων (AEMFC), η οποία είναι η παλαιότερη μορφή FC. Σε σύγκριση με άλλα αλκαλικά διαλύματα, το KOH είναι ο πιο συχνά χρησιμοποιούμενος ηλεκτρολύτης λόγω της υψηλής του αγωγιμότητας. Υψηλή απόδοση, καλύτερη διαχείριση θερμότητας, ταχύτερη εκκίνηση, αυξημένη δραστηριότητα, φθηνότερο κόστος και γρήγορη κίνηση οξυγόνου είναι τα κύρια πλεονεκτήματα των AFC.

Εξισώσεις που το περιγράφουν:

Άνοδος:



Κάθοδος:



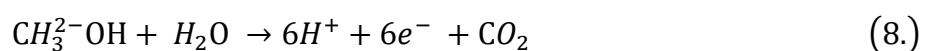
3. Άμεση κυψέλη καυσίμου αλκοόλης (DAFC)

Οι κυψέλες καυσίμου άμεσης αλκοόλης (DAFC) λειτουργούν ομοίως σε χαμηλές θερμοκρασίες, συνήθως κάτω από 100 °C, και χρησιμοποιούνται κυρίως για φορητές εφαρμογές ισχύος που απαιτούν λιγότερα από 250 watt. Η μεθανόλη και η αιθανόλη χρησιμοποιούνται άμεσα ως καύσιμα. Οι κυψέλες καυσίμου μεθανόλης/αιθανόλης (DMFC) και οι άμεσες κυψέλες καυσίμου μεθανόλης/αιθανόλης DAFC έχουν μια σειρά από πλεονεκτήματα, συμπεριλαμβανομένου του γρήγορου χρόνου εκκίνησης, της χρήσης αποβλήτων ως πηγής καυσίμου (μεθανόλη ή αιθανόλη από απόβλητα), υψηλή

ενεργειακή πυκνότητα, καύσιμο που είναι εύκολο στη χρήση και στη μεταφορά και, τέλος, οικονομική απόδοση. Το κύριο πρόβλημα με τα DAFC είναι τα καύσιμα

crossover, το οποίο συμβαίνει όταν το καύσιμο ρέει από την άνοδο στην κάθοδο λόγω αλλαγής της συγκέντρωσης, με αποτέλεσμα μικτό δυναμικό, το οποίο μειώνει τη συνολική απόδοση και δηλητηριάζει την κάθοδο

Άνοδος:



Κάθοδος:



4. Κυψέλες καυσίμου στερεού οξειδίου (SOFCs): Αυτές οι κυψέλες καυσίμου χρησιμοποιούν έναν ηλεκτρολύτη στερεού οξειδίου και μπορούν να λειτουργήσουν σε υψηλές θερμοκρασίες, καθιστώντας τις κατάλληλες για χρήση σε σταθερές εφαρμογές παραγωγής ενέργειας, όπως σε σπίτια ή επιχειρήσεις.
5. Άμεσες κυψέλες καυσίμου μεθανόλης (DMFCs): Αυτές οι κυψέλες καυσίμου χρησιμοποιούν μεθανόλη ως καύσιμο και λειτουργούν σε χαμηλές θερμοκρασίες, καθιστώντας τις κατάλληλες για χρήση σε φορητές ηλεκτρονικές συσκευές όπως φορητοί υπολογιστές και κινητά τηλέφωνα.
6. Κυψέλες καυσίμου λιωμένου ανθρακικού (MCFC): Αυτές οι κυψέλες καυσίμου χρησιμοποιούν λιωμένο ανθρακικό ηλεκτρολύτη και μπορούν να λειτουργήσουν σε υψηλές θερμοκρασίες, καθιστώντας τις κατάλληλες για εφαρμογές παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας μεγάλης κλίμακας, όπως σε βιομηχανικές διεργασίες.
7. Κυψέλες καυσίμου φωσφορικού οξέος (PAFCs): Αυτές οι κυψέλες καυσίμου χρησιμοποιούν φωσφορικό οξύ ως ηλεκτρολύτη και μπορούν να λειτουργήσουν σε μέτριες θερμοκρασίες, καθιστώντας τις κατάλληλες για χρήση σε σταθερές εφαρμογές παραγωγής ενέργειας, όπως σε νοσοκομεία ή ξενοδοχεία.
8. Αναγεννητικές κυψέλες καυσίμου (RFCs): Αυτές οι κυψέλες καυσίμου μπορούν να λειτουργήσουν και ως κυψέλες καυσίμου και ως ηλεκτρολύτες, παράγοντας ηλεκτρική ενέργεια όταν παρέχεται καύσιμο και παράγουν υδρογόνο και οξυγόνο όταν παρέχεται ηλεκτρική ενέργεια. Χρησιμοποιούνται κυρίως σε διαστημικές εφαρμογές λόγω της ικανότητάς τους να ανακυκλώνουν τα απόβλητα.

Κάθε τύπος κυψελών καυσίμου έχει τα δικά του πλεονεκτήματα και περιορισμούς, γεγονός που τα καθιστά πιο κατάλληλα για ορισμένες εφαρμογές από άλλες.

Table 4 Χαρακτηριστικά διάφορων τύπων κυψελών καυσίμου

Fuel Cell Type	Electrolyte	Operating Temperature	Efficiency	Fuel Flexibility	Applications
Proton Exchange Membrane (PEMFC)	Proton-exchange membrane	50-100°C	40-60%	Requires pure hydrogen	Transportation, portable devices
Solid Oxide (SOFC)	Solid oxide	700-1000°C	60-85%	Natural gas, propane, diesel, biofuels	Stationary power generation, transportation
Direct Methanol (DMFC)	Polymer membrane	60-150°C	30-40%	Methanol	Portable devices

Alkaline (AFC)	Alkaline electrolyte	70-200°C	60%	Hydrogen, methanol, ammonia	Space applications
Molten Carbonate (MCFC)	Molten carbonate	600-700°C	60-80%	Natural gas, biogas, coal gas	Large-scale power generation
Phosphoric Acid (PAFC)	Phosphoric acid	150-200°C	40-50%	Natural gas, propane, diesel	Stationary power generation
Regenerative (RFC)	Various	Various	Various	Hydrogen and oxygen	Space applications

4.5 Κυψέλες PEM

Στο πλαίσιο αυτής της διπλωματικής εργασίας, θα σχεδιαστεί ένα πλοίο το οποίο θα κινείται με τη χρήση κυψελών καυσίμου PEM, μεταξύ άλλων τεχνολογιών. Πιο κάτω δίνονται περισσότερες πληροφορίες σχετικά με αυτή την κατηγορία κυψελών [41].

Οι κυψέλες καυσίμου μεμβράνης ανταλλαγής πρωτονίων (PEM) είναι ένας τύπος ηλεκτροχημικών στοιχείων που μετατρέπουν τη χημική ενέργεια του καυσίμου υδρογόνου και του οξυγόνου σε ηλεκτρική ενέργεια, με το νερό ως το μόνο υποπροϊόν. Οι κυψέλες καυσίμου PEM χρησιμοποιούν ως ηλεκτρολύτη μια στερεή μεμβράνη ηλεκτρολύτη πολυμερούς, συνήθως κατασκευασμένη από υλικό υπερφθοριούχου σουλφονικού οξέος.

Θερμοκρασία λειτουργίας: Οι κυψέλες καυσίμου PEM λειτουργούν συνήθως σε ένα εύρος θερμοκρασίας 50-100°C, το οποίο είναι χαμηλότερο από τους περισσότερους άλλους τύπους κυψελών καυσίμου. Αυτή η χαμηλή θερμοκρασία λειτουργίας επιτρέπει ταχύτερους χρόνους εκκίνησης και χαμηλότερο κόστος του συστήματος, αλλά απαιτεί επίσης τη χρήση καταλυτών πολύτιμων μετάλλων όπως η πλατίνα και το παλλάδιο για την ενίσχυση των αντιδράσεων των ηλεκτροδίων.

Απόδοση: Οι κυψέλες καυσίμου PEM έχουν εύρος απόδοσης 40-60%, το οποίο είναι συγκρίσιμο με κινητήρες εσωτερικής καύσης, αλλά χαμηλότερο από ορισμένους άλλους τύπους κυψελών καυσίμου, όπως κυψέλες καυσίμου στερεού οξειδίου. Η απόδοση μιας κυψέλης καυσίμου PEM εξαρτάται από διάφορους παράγοντες, όπως η θερμοκρασία λειτουργίας, η καθαρότητα του καυσίμου και η φόρτωση του καταλύτη.

Ευελιξία καυσίμου: Οι κυψέλες καυσίμου PEM απαιτούν καθαρό υδρογόνο ως πηγή καυσίμου, το οποίο μπορεί να ληφθεί από διάφορες πηγές, όπως φυσικό αέριο, βιομεθάνιο και ανανεώσιμες πηγές όπως η ηλεκτρόλυση νερού. Ωστόσο, η ανάγκη για καθαρό υδρογόνο περιορίζει την ευελιξία καυσίμου των κυψελών καυσίμου PEM σε σύγκριση με άλλους τύπους κυψελών καυσίμου που μπορούν να χρησιμοποιήσουν ένα ευρύτερο φάσμα καυσίμων.

Εφαρμογές: Οι κυψέλες καυσίμου PEM χρησιμοποιούνται συνήθως σε εφαρμογές μεταφοράς, όπως αυτοκίνητα, λεωφορεία και τρένα, καθώς και φορητές συσκευές όπως φορητοί υπολογιστές και κινητά τηλέφωνα. Χρησιμοποιούνται επίσης σε σταθερές εφαρμογές παραγωγής ενέργειας, όπως εφεδρικά συστήματα ισχύος και μικροδίκτυα.

Έχουν πολλά πλεονεκτήματα, όπως η χαμηλή θερμοκρασία λειτουργίας, υψηλή πυκνότητα ισχύος και γρήγορο χρόνο εκκίνησης, που τις καθιστούν κατάλληλες για ποικίλες εφαρμογές. Ωστόσο, το υψηλό κόστος υλικών όπως η πλατίνα και η ανάγκη για καθαρό καύσιμο υδρογόνου μπορούν να περιορίσουν την ευρεία χρήση τους. Οι προσπάθειες έρευνας και ανάπτυξης συνεχίζονται για τη βελτίωση της απόδοσης και τη μείωση του κόστους των κυψελών καυσίμου.

Μία από τις κύριες προκλήσεις της χρήσης κυψελών καυσίμου PEM στα πλοία είναι η διαθεσιμότητα καυσίμου υδρογόνου. Ενώ το υδρογόνο είναι ένας άφθονος πόρος, είναι δύσκολο να αποθηκευτεί και να μεταφερθεί και η υποδομή για την ευρεία χρήση του βρίσκεται ακόμα στα αρχικά στάδια ανάπτυξης. Επιπλέον, η απόδοση της κυψέλης καυσίμου είναι χαμηλότερη όταν χρησιμοποιεί υδρογόνο που παράγεται από ορυκτά καύσιμα, το οποίο εξακολουθεί να είναι η πιο κοινή πηγή υδρογόνου σήμερα.

Υπήρξαν αρκετά πιλοτικά έργα και ερευνητικές μελέτες που έχουν δοκιμάσει τη χρήση κυψελών καυσίμου PEM σε θαλάσσιες εφαρμογές, όπως ένα έργο υπό την ηγεσία της νορβηγικής εταιρείας Prototech που εγκατέστησε κυψέλη καυσίμου PEM 150 kW σε επιβατηγό οχηματαγωγό στη Νορβηγία.

Η χρήση κυψελών καυσίμου PEM στα πλοία βρίσκεται ακόμα στα αρχικά στάδια ανάπτυξης και απαιτείται περισσότερη έρευνα και ανάπτυξη για τη βελτίωση της απόδοσης και τη μείωση του κόστους της τεχνολογίας.

4.6 Η παραγωγή του υδρογόνου που παρέχεται στην κυψέλη

Το υδρογόνο που χρησιμοποιείται στις κυψέλες καυσίμου μπορεί να παραχθεί από διάφορες πηγές, όπως :

- Αναμόρφωση φυσικού αερίου: Το φυσικό αέριο (μεθάνιο) μπορεί να αναμορφωθεί με ατμό για την παραγωγή αερίου υδρογόνου και διοξειδίου του άνθρακα. Αυτή είναι σήμερα η πιο κοινή μέθοδος για την παραγωγή υδρογόνου.



Αυτή η εξίσωση δείχνει τη χημική αντίδραση μεταξύ μεθανίου (CH₄) και νερού (H₂O) για την παραγωγή μονοξειδίου του άνθρακα (CO) και υδρογόνου (H₂) αερίου. Η διαδικασία απαιτεί τυπικά υψηλές θερμοκρασίες (700-1100°C) και έναν καταλύτη.

- Ηλεκτρόλυση: Το νερό μπορεί να χωριστεί σε υδρογόνο και οξυγόνο χρησιμοποιώντας ηλεκτρικό ρεύμα. Αυτή η μέθοδος τροφοδοτείται συχνά από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας όπως η αιολική ή η ηλιακή ενέργεια (7).



Αυτή η εξίσωση δείχνει την ηλεκτρόλυση του νερού για την παραγωγή αερίου υδρογόνου (H₂) και αερίου οξυγόνου (O₂). Η διαδικασία απαιτεί ηλεκτρικό ρεύμα για να περάσει μέσα από το νερό, το οποίο το χωρίζει στα συστατικά του στοιχεία. Αυτή η εξίσωση δείχνει την ηλεκτρόλυση του νερού για την παραγωγή αερίου υδρογόνου (H₂) και αερίου οξυγόνου (O₂). Η διαδικασία

απαιτεί ηλεκτρικό ρεύμα για να περάσει μέσα από το νερό, το οποίο το χωρίζει στα συστατικά στοιχεία του

- Αεριοποίηση βιομάζας: Η βιομάζα όπως τα ροκανίδια, το καλαμπόκι ή άλλο φυτικό υλικό μπορεί να αεριοποιηθεί για την παραγωγή αερίου υδρογόνου (8).



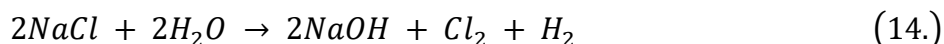
Αυτή η εξίσωση δείχνει την αεριοποίηση της γλυκόζης ($C_6H_{12}O_6$), ενός κοινού σακχάρου που βρίσκεται στη βιομάζα, για την παραγωγή μονοξειδίου του άνθρακα (CO) και αερίου υδρογόνου (H_2). Η διαδικασία απαιτεί υψηλές θερμοκρασίες ($800-1000^\circ C$) και ελεγχόμενη παροχή οξυγόνου.

- Αεριοποίηση άνθρακα: Ο άνθρακας μπορεί να αεριοποιηθεί για την παραγωγή αερίου υδρογόνου, αν και αυτή η διαδικασία δεν είναι τόσο καθαρή όσο άλλες μέθοδοι και παράγει σημαντικές ποσότητες διοξειδίου του άνθρακα (9).



Αυτή η εξίσωση δείχνει την αεριοποίηση του άνθρακα με νερό για την παραγωγή μονοξειδίου του άνθρακα (CO) και αερίου υδρογόνου (H_2). Η διαδικασία απαιτεί υψηλές θερμοκρασίες ($700-1100^\circ C$) και ελεγχόμενη παροχή οξυγόνου.

- Βιομηχανικά υποπροϊόντα: Το υδρογόνο παράγεται ως υποπροϊόν σε διάφορες βιομηχανικές διεργασίες, συμπεριλαμβανομένης της παραγωγής χλωρίου, αμμωνίας και διύλισης πετρελαίου .

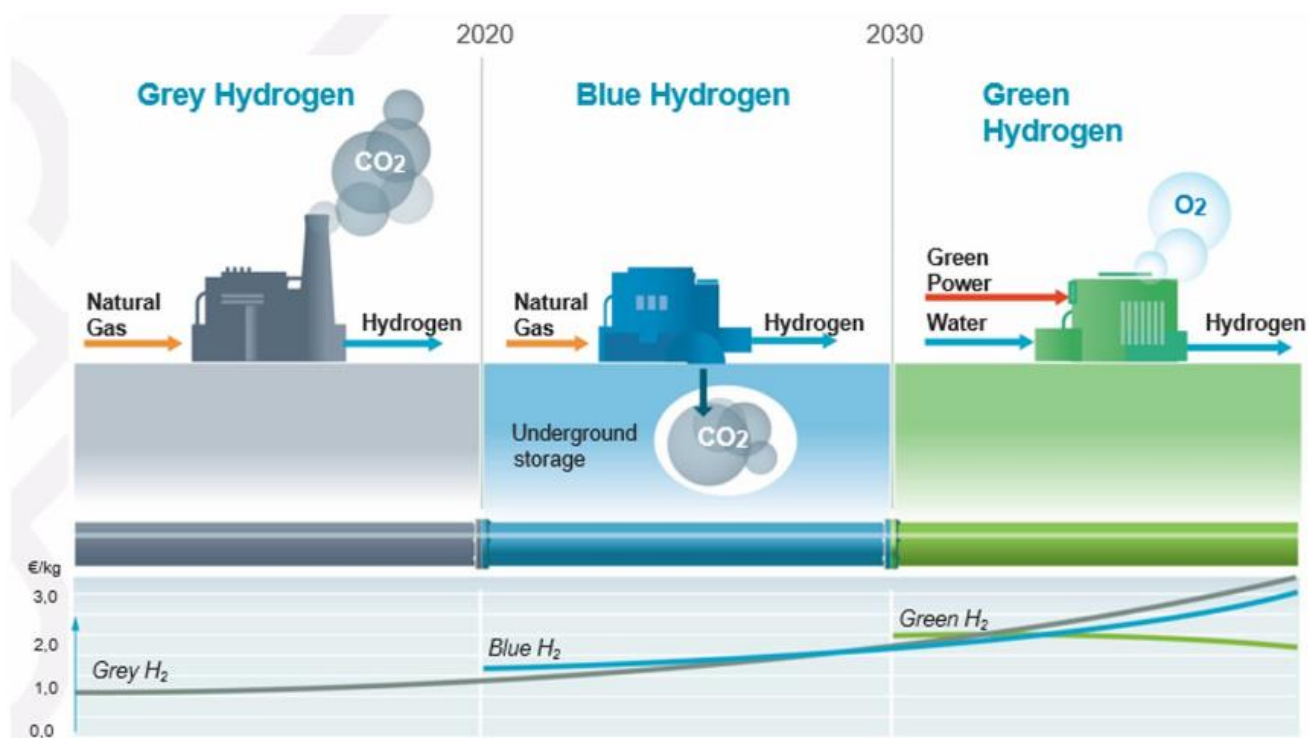


Αυτή η εξίσωση δείχνει την παραγωγή αερίου υδρογόνου (H_2) ως υποπροϊόν της ηλεκτρόλυσης ενός διαλύματος αλμυρού νερού. Η διαδικασία χρησιμοποιείται για την παραγωγή χλωρίου (Cl_2) και υδροξειδίου του νατρίου (NaOH).

Η μέθοδος παραγωγής υδρογόνου που χρησιμοποιείται εξαρτάται από τη διαθεσιμότητα των πόρων, το κόστος και τις περιβαλλοντικές εκτιμήσεις. Οι ανανεώσιμες μέθοδοι παραγωγής υδρογόνου, όπως η ηλεκτρόλυση, θεωρούνται πιο βιώσιμες και φιλικές προς το περιβάλλον από τις παραδοσιακές μεθόδους όπως η αναμόρφωση φυσικού αερίου ή η αεριοποίηση άνθρακα.

4.7 Τύποι Υδρογόνου

Οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή υδρογόνου παίζουν καθοριστικό ρόλο στον προσδιορισμό των περιβαλλοντικών του επιπτώσεων. Υπάρχουν τρεις ταξινομήσεις με χρωματική κωδικοποίηση, πράσινο, γκρι και μπλε υδρογόνο. Τονίζουν διακριτές οδούς παραγωγής και τα σχετικά αποτυπώματα άνθρακα.



Source: tno.nl

Σχήμα 4.3 Τύποι Υδρογόνου

Γκρι Υδρογόνο

Η πιο κοινή μορφή υδρογόνου, δημιουργείται από ορυκτά καύσιμα και η διαδικασία απελευθερώνει διοξείδιο του άνθρακα το οποίο δεν δεσμεύεται.

Η διαδικασία που χρησιμοποιείται για τη δημιουργία υδρογόνου από φυσικό αέριο ονομάζεται αναμόρφωση μεθανίου ατμού (SMR), όπου ατμός υψηλής θερμοκρασίας (700°C–1.000°C) χρησιμοποιείται για την παραγωγή υδρογόνου από μια πηγή μεθανίου, όπως το φυσικό αέριο. Στην αναμόρφωση μεθανίου ατμού, το μεθάνιο αντιδρά με τον ατμό υπό πίεση 3–25 bar (1 bar = 14,5 λίβρες ανά τετραγωνική ίντσα) παρουσία καταλύτη για την παραγωγή υδρογόνου, μονοξειδίου του άνθρακα και σχετικά μικρής ποσότητας διοξειδίου του άνθρακα. Η αναμόρφωση με ατμό είναι ενδόθερμη, δηλαδή, πρέπει να παρέχεται θερμότητα στη διαδικασία για να προχωρήσει η αντίδραση.

Μπλε Υδρογόνο

Το μπλε υδρογόνο χρησιμοποιεί την ίδια διαδικασία με το γκρι, με τη διαφορά ότι αυτή τη φορά ο άνθρακας δεσμεύεται και αποθηκεύεται. Αυτό το καθιστά πολύ πιο φιλικό προς το περιβάλλον, αλλά συνοδεύεται από πρόσθετες τεχνικές προκλήσεις και μεγάλη αύξηση του κόστους.

Η δέσμευση και αποθήκευση άνθρακα (CCS) υπήρχε εδώ και καιρό, με την τεχνολογία να χρησιμοποιείται από τη βαριά βιομηχανία και τις εταιρείες παραγωγής ενέργειας που καίνε ορυκτά καύσιμα. Η τεχνολογία μπορεί να δεσμεύσει έως και το 90% του παραγόμενου CO₂, επομένως δεν είναι τέλεια, αλλά σαφώς μια τεράστια βελτίωση. Αυτή η τεχνολογία θα μπορούσε να καλύψει το 24% των παγκόσμιων ενεργειακών απαιτήσεων και να συμβάλει σημαντικά στις καθαρές μηδενικές εκπομπές έως το 2050, σύμφωνα με τους επιστήμονες.

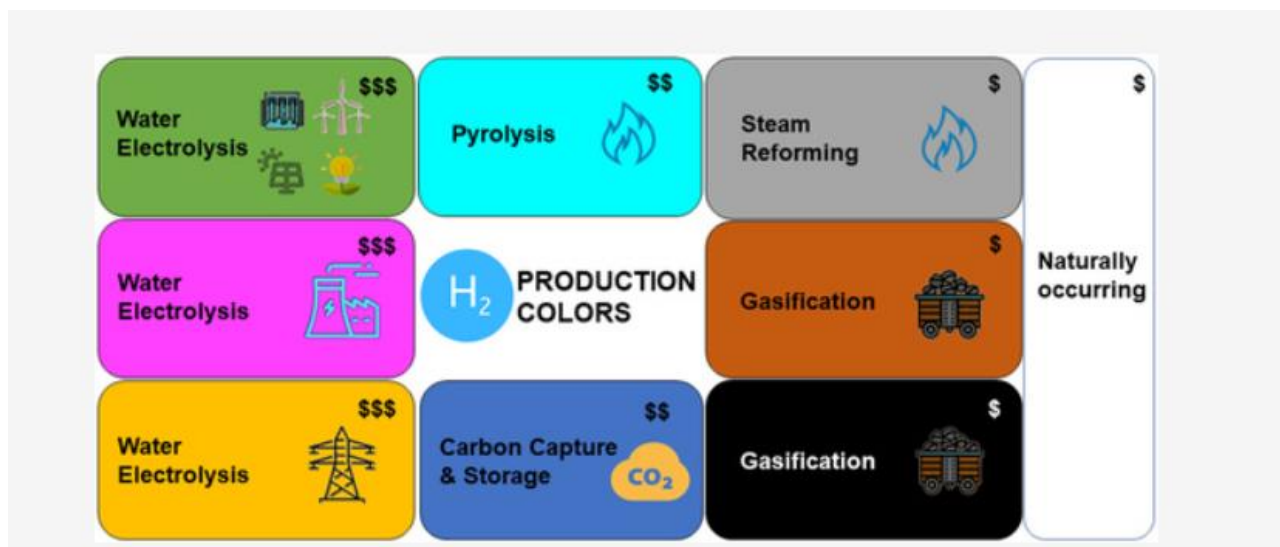
Οι απόψεις των ειδικών δίστανται σχετικά με το μπλε υδρογόνο γιατί μπορεί να έχει ως αποτέλεσμα την εκπομπή μεθανίου από την παραγωγή φυσικού αερίου. Πρόκειται για διαρροές μεθανίου από γεωτρήσεις, εξόρυξη και μεταφορά. [42]

Πράσινο Υδρογόνο

Το ουτοπικό όραμα του μέλλοντος είναι ένας κόσμος όπου όλη μας η ηλεκτρική ενέργεια και τα καύσιμα παράγονται από πηγές χωρίς εκπομπές ρύπων. Αντί να χρησιμοποιεί ορυκτά καύσιμα, το πράσινο υδρογόνο παράγεται με τη χρήση μιας διαδικασίας που ονομάζεται ηλεκτρόλυση για τη διάσπαση του νερού σε υδρογόνο και οξυγόνο. Εάν αυτή η διαδικασία τροφοδοτείται από μια ανανεώσιμη πηγή ενέργειας, όπως η αιολική ή η ηλιακή ενέργεια, τότε το υδρογόνο αναφέρεται ως πράσινο.

Όπως οι περισσότερες πηγές ενέργειας, το πράσινο υδρογόνο έχει τόσο πλεονεκτήματα όσο και μειονεκτήματα. Αν και είναι 100% βιώσιμο και ευέλικτο, το πράσινο υδρογόνο είναι ακριβό στην παραγωγή του λόγω του κόστους ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές που είναι βασικές για την παραγωγή πράσινου υδρογόνου μέσω της ηλεκτρόλυσης. Απαιτεί περισσότερη ενέργεια από άλλα καύσιμα για να παραχθεί οποιοδήποτε είδος υδρογόνου, ιδιαίτερα πράσινο. Τέλος, το υδρογόνο είναι εξαιρετικά πτητικό και εύφλεκτο, πράγμα που σημαίνει ότι πρέπει να εφαρμοστούν ολοκληρωμένα μέτρα ασφαλείας για την αποφυγή εκρήξεων ή διαρροών. Αυτό καθιστά επίσης δύσκολη την αποθήκευση και τη μεταφορά του υδρογόνου.

Υπάρχουν και άλλοι τύποι υδρογόνου όπως το μωβ, Ροζ και κόκκινο, κίτρινο, τουρκουάζ, καφέ, μαύρο, Aqua και λευκό που χαρακτηρίζονται βάση τον τρόπο παραγωγής τους. [43]



Σχήμα 4.4 Περισσότεροι Τύποι Υδρογόνου

Η έρευνα βρίσκεται σε εξέλιξη για τη χρήση αγωγών φυσικού αερίου για τη μεταφορά υδρογόνου, αν και αυτό απαιτεί την αναβάθμιση των αγωγών. Ένα πιλοτικό πρόγραμμα στη Γαλλία έχει ήδη αναμείξει υδρογόνο στο δίκτυο φυσικού αερίου 100 κατοικιών. Υπάρχει επίσης η δυνατότητα να μετατραπούν οι σταθμοί ηλεκτροπαραγωγής φυσικού αερίου για να καίνε υδρογόνο ως εφεδρικό σε περιόδους υπερβολικής ζήτησης.

Ένα ενδιαφέρον πεδίο ανάπτυξης περιλαμβάνει τη διερεύνηση της δυνατότητας παραγωγής πράσινου υδρογόνου μέσω της ηλεκτρόλυσης του θαλασσινού νερού, προκειμένου να μην εξαντληθούν περαιτέρω τα αποθέματα γλυκού νερού της Γης. [44]

Η ηλεκτρόλυση της αμμωνίας στα λύματα καταναλώνει μόλις 1,55 kWh ηλεκτρικής ενέργειας για την παραγωγή 1 kg υδρογόνου. Όταν χρησιμοποιείται ως μέρος μιας κυψέλης καυσίμου, 1 kg υδρογόνου μπορεί να παράγει 33 kWh ηλεκτρικής ενέργειας. [45]

4.8 Στόχοι της Ευρωπαϊκής ένωσης σχετικά με το υδρογόνο και τις μεταφορές

Το υδρογόνο (H₂) αντιπροσωπεύει λιγότερο από το 2% της τρέχουσας κατανάλωσης ενέργειας στην ΕΕ και χρησιμοποιείται κυρίως ως πρώτη ύλη σε βιομηχανικές διεργασίες, ιδίως στη διύλιση πετρελαίου, στην παραγωγή αμμωνίας και μεθανόλης, αλλά επίσης ως φορέας ενέργειας για διαστημικούς πυραύλους.

Ο τομέας των μεταφορών της ΕΕ δεν κατάφερε να μειώσει τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου, λόγω της αυξημένης ζήτησης μεταφορών και η συνεχιζόμενη κυριαρχία των ορυκτών καυσίμων. Οι μπαταρίες είναι μια κατάλληλη τεχνολογία για ελαφριά οχήματα ή αστικά λεωφορεία, αλλά η χαμηλότερη ενεργειακή τους πυκνότητα, σε σύγκριση με τα ορυκτά καύσιμα, περιορίζει τη χρήση τους για οδικές μεταφορές μεγάλων αποστάσεων, ναυτιλία ή αεροπορία. Το καθαρό υδρογόνο είναι ένα πολλά υποσχόμενο καύσιμο για εφαρμογές μεταφοράς γιατί προσφέρει μεγαλύτερη αυτονομία οδήγησης από τις μπαταρίες και γρήγορο ανεφοδιασμό. Τα οχήματα κυψελών υδρογόνου καυσίμου μετατρέπουν το υδρογόνο σε ηλεκτρική ενέργεια για να τροφοδοτήσουν τους κινητήρες τους. Για την υποστήριξη της ευρύτερης υιοθέτησης,

Το σημερινό δίκτυο των 144 σταθμών ανεφοδιασμού υδρογόνου στην Ευρώπη θα πρέπει να αυξηθεί σημαντικά.

Ο στόχος της της Ευρωπαϊκής Επιτροπής για μια στρατηγική χρήσης υδρογόνου για μια κλιματικά ουδέτερη Ευρώπη, που εγκρίθηκε στις 8 Ιουλίου 2020, πρόκειται να επιταχύνει την ανάπτυξη καθαρού υδρογόνου, διασφαλίζοντας ρόλο ως ακρογωνιαίος λίθος ενός κλιματικά ουδέτερου ενεργειακού συστήματος έως το 2050. [46]

Το Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο ψήφισε την Τετάρτη (19 Οκτωβρίου 2023) για τον περιορισμό των θαλάσσιων εκπομπών ενισχύοντας τα όρια έντασης αερίων θερμοκηπίου για τα ναυτιλιακά καύσιμα και υποχρεώνοντας τους μεγάλους πλοιοκτήτες να χρησιμοποιούν ένα ποσοστό καυσίμων που προέρχονται από πράσινο υδρογόνο έως το 2030. [47]

4.9 Αποθήκευση του υδρογόνου

Το υδρογόνο μπορεί να αποθηκευτεί με διάφορους τρόπους, συμπεριλαμβανομένων συμπιεσμένου αερίου, υγρής μορφής και υλικών στερεής κατάστασης (11).

1. Συμπιεσμένο Αέριο:

Το υδρογόνο μπορεί να αποθηκευτεί ως συμπιεσμένο αέριο σε δεξαμενές ή κυλίνδρους υψηλής πίεσης. Το αέριο συμπιέζεται σε πιέσεις που κυμαίνονται από 350 έως 700 bar. Το συμπιεσμένο αέριο υδρογόνο καταλαμβάνει σχετικά μεγάλο χώρο, γεγονός που καθιστά δύσκολη την αποθήκευση μεγάλων ποσοτήτων υδρογόνου για μεγάλα χρονικά διαστήματα.



Σχήμα 4.5 Αποθήκευση Υδρογόνου

2. Υγρή Μορφή:

Το υδρογόνο μπορεί να αποθηκευτεί ως υγρό σε πολύ χαμηλές θερμοκρασίες (κάτω από -253°C) σε κρυογονικές δεξαμενές. Το υγρό υδρογόνο έχει μεγαλύτερη ενεργειακή πυκνότητα από το συμπιεσμένο αέριο και μπορεί να αποθηκευτεί σε μικρότερες δεξαμενές. Ωστόσο, απαιτείται σημαντική ενέργεια για την υγροποίηση του υδρογόνου και οι δεξαμενές πρέπει να είναι καλά μονωμένες για να ελαχιστοποιηθεί η μεταφορά θερμότητας.

3. Υλικά στερεάς κατάστασης:

Το υδρογόνο μπορεί επίσης να αποθηκευτεί σε υλικά στερεάς κατάστασης όπως υδρίδια μετάλλων, χημικά υδρίδια και νανοσωλήνες άνθρακα. Στα υδρίδια μετάλλων, το υδρογόνο απορροφάτε στη δομή του μετάλλου, ενώ τα χημικά υδρίδια αποθηκεύουν υδρογόνο σε έναν χημικό δεσμό. Οι νανοσωλήνες άνθρακα είναι ένας τύπος νανοϋλικού που μπορεί να προσροφήσει υδρογόνο στην επιφάνειά τους. Η αποθήκευση υδρογόνου σε στερεά κατάσταση έχει τη δυνατότητα για υψηλή χωρητικότητα αποθήκευσης, αλλά επί του παρόντος υποφέρει από περιορισμούς όπως αργούς ρυθμούς πρόσληψης και απελευθέρωσης υδρογόνου και υψηλό κόστος υλικού.

Κάθε μία από αυτές τις μεθόδους έχει πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα και αναπτύσσεται και βελτιώνεται για διάφορες εφαρμογές, συμπεριλαμβανομένων των οχημάτων που κινούνται με κυψέλες καυσίμου και των σταθερών συστημάτων ισχύος.

Οι κυψέλες καυσίμου θεωρούνται μια πολλά υποσχόμενη τεχνολογία για μια ποικιλία εφαρμογών, συμπεριλαμβανομένων των μεταφορών, της παραγωγής ενέργειας και των φορητών ηλεκτρονικών, λόγω της υψηλής απόδοσης, των χαμηλών εκπομπών ρύπων και της αθόρυβης λειτουργίας τους. Ωστόσο, το κόστος των κυψελών καυσίμου και η έλλειψη υποδομής για τροφοδοσία καυσίμου και συντήρηση εξακολουθούν να αποτελούν σημαντικά εμπόδια για την ευρεία υιοθέτησή τους.

4.10 Χρήση Κυψελών καυσίμου σε πλοία

Όπως αναφέρθηκε και πιο πάνω, οι ναυτιλία και οι θαλάσσιες μεταφορές αποτελούν ένα από τους πιο σημαντικούς παράγοντες που συμβάλλουν στις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα και στην ρύπανση

του περιβάλλοντος. Για αυτό το λόγο η χρήση ανανεώσιμων πηγών σε αυτά, είναι επιτακτική. Μία από αυτές τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας που θα συμβάλουν σε πιο ένα πιο πράσινο μέλλον είναι και οι κυψέλες καυσίμου.

Ένα πλοίο κυψελών καυσίμου χρησιμοποιεί κυψέλες καυσίμου για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας για την τροφοδοσία του συστήματος πρόωσης του πλοίου και των συστημάτων επί του σκάφους, αντί να βασίζεται σε συμβατικούς κινητήρες ντίζελ. Ακολουθεί μια γενική επισκόπηση του πώς λειτουργεί ένα πλοίο κυψελών καυσίμου (15):

Το καύσιμο υδρογόνου αποθηκεύεται σε δεξαμενές επί του σκάφους, οι οποίες μπορεί να είναι είτε συμπιεσμένο αέριο υδρογόνο είτε υγρό υδρογόνο.

Το καύσιμο υδρογόνου τροφοδοτείται στη συνέχεια στην πλευρά της ανόδου της στοιβας κυψελών καυσίμου, όπου αντιδρά με το οξυγόνο από τον αέρα για να παράγει ηλεκτρική ενέργεια, υδρατμούς και θερμότητα.

Η ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από τη στοιβία κυψελών καυσίμου χρησιμοποιείται για την τροφοδοσία του ηλεκτροκινητήρα ή των κινητήρων του πλοίου, οι οποίοι παρέχουν πρόωση. Η ηλεκτρική ενέργεια μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για την τροφοδοσία συστημάτων επί του σκάφους, όπως ο φωτισμός, ο κλιματισμός και ο εξοπλισμός πλοήγησης.

Οι υδρατμοί που παράγονται από τη στοιβία κυψελών καυσίμου εξαερίζονται συνήθως στην ατμόσφαιρα, αν και μπορούν να συλληφθούν και να χρησιμοποιηθούν για άλλους σκοπούς, όπως η θέρμανση.

Η απορριπτόμενη θερμότητα που παράγεται από τη στοιβία κυψελών καυσίμου μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παροχή ζεστού νερού ή θέρμανσης χώρου για το πλήρωμα του πλοίου.

Ένα από τα βασικά πλεονεκτήματα των πλοίων κυψελών καυσίμου είναι ότι έχουν πολύ μικρότερο περιβαλλοντικό αντίκτυπο από τα παραδοσιακά πλοία που κινούνται με ντίζελ. Επειδή οι κυψέλες καυσίμου παράγουν ηλεκτρισμό μέσω ηλεκτροχημικής αντίδρασης και όχι καύσης, εκπέμπουν μόνο υδρατμούς και θερμότητα, χωρίς επιβλαβείς εκπομπές όπως διοξείδιο του άνθρακα, οξείδια του αζώτου ή διοξείδιο του θείου.

Τα πλοία με κυψέλες καυσίμου εξακολουθούν να είναι μια σχετικά νέα τεχνολογία και επί του παρόντος χρησιμοποιούνται σε περιορισμένη βάση, κυρίως για εφαρμογές μικρής κλίμακας, όπως πορθμεία και σκάφη αναψυχής. Ωστόσο, βρίσκονται σε εξέλιξη προσπάθειες έρευνας και ανάπτυξης για τη βελτίωση της απόδοσης και τη μείωση του κόστους των συστημάτων κυψελών καυσίμου, με στόχο την επέκταση της χρήσης τους στη ναυτιλιακή βιομηχανία.

4.11 Παραδείγματα Πλοίων που χρησιμοποιούν τεχνολογία κυψέλης καυσίμου για την λειτουργία τους

Οι κυψέλες καυσίμου υδρογόνου έχουν μακρά ιστορία παροχής αποδοτικής, καθαρής ισχύος για ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών, συμπεριλαμβανομένων των περνοφόρων ανυψωτικών μηχανημάτων, του φορητού φωτισμού, των εφεδρικών συστημάτων τροφοδοσίας έκτακτης ανάγκης και των ελαφρών οχημάτων. Εκτός από τη διεξαγωγή έρευνας για αυτές τις εφαρμογές, έχει επίσης μελετηθεί η σκοπιμότητα, η βελτιστοποίηση, των εφαρμογών και η ασφάλεια των κυψελών καυσίμου υδρογόνου που χρησιμοποιούνται σε ναυτιλιακές ρυθμίσεις. [48]

1. HYSEAS III: Το HYSEAS III είναι ένα ερευνητικό σκάφος που σχεδιάστηκε από την Ευρωπαϊκή Ένωση (ΕΕ) για να αποδείξει τη χρήση κυψελών καυσίμου υδρογόνου στις θαλάσσιες μεταφορές.

Το πλοίο χρησιμοποιεί ένα σύστημα κυψελών καυσίμου με μεμβράνη ανταλλαγής πρωτονίων (PEM) 100 kW για να παρέχει ισχύ για συστήματα πρόωσης και επί του σκάφους.



Σχήμα 4.6 Hyseas III

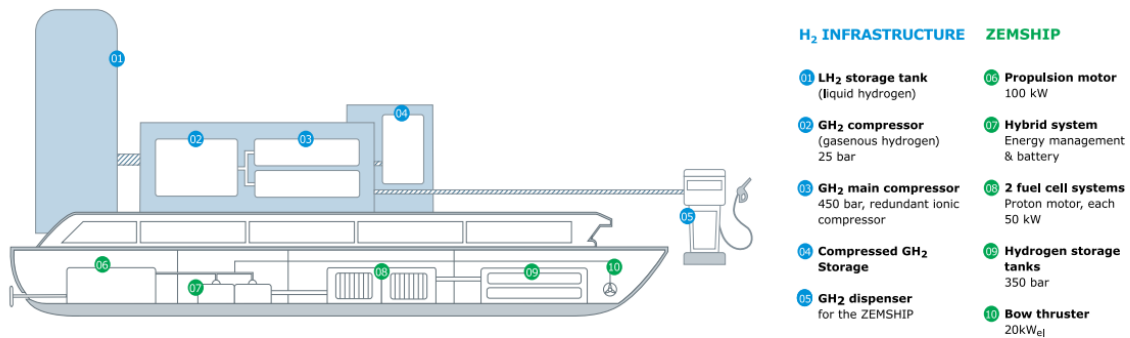
2. The Norled ferry: Το Norled ferry είναι ένα επιβατηγό και οχηματαγωγό πλοίο που εκτελεί δρομολόγια στη Νορβηγία. Το πλοίο χρησιμοποιεί ένα υβριδικό σύστημα ισχύος που περιλαμβάνει μια στοίβα κυψελών καυσίμου PEM 200 kW, καθώς και μπαταρίες και έναν ηλεκτροκινητήρα.
3. MS Color Magic: Το MS Color Magic είναι ένα κρουαζιερόπλοιο που εκτελεί δρομολόγια μεταξύ Όσλο, Νορβηγία και Κιέλο, Γερμανία. Το πλοίο χρησιμοποιεί ένα σύστημα κυψελών καυσίμου στερεού οξειδίου (SOFC) 5,5 MW για την παροχή ηλεκτρικής ενέργειας για συστήματα πρόωσης και επί του σκάφους.
4. Water-Go-Round: Το Water-Go-Round είναι ένα επιβατηγό οχηματαγωγό με κυψέλες καυσίμου υδρογόνου που λειτουργεί στην περιοχή του κόλπου του Σαν Φρανσίσκο. Το πλοίο χρησιμοποιεί σύστημα κυψελών καυσίμου PEM 360 kW, καθώς και μπαταρίες και ηλεκτρικούς κινητήρες.
5. Ross Barlow: Το Ross Barlow είναι ένα πιλοτικό σκάφος με κυψέλες καυσίμου υδρογόνου που λειτουργεί στο λιμάνι της Αμβέρσας, στο Βέλγιο. Το σκάφος χρησιμοποιεί σύστημα κυψελών

Αυτά είναι μόνο μερικά παραδείγματα πλοίων που χρησιμοποιούν κυψέλες καυσίμου. Υπάρχουν επίσης πολλά άλλα πλοία, συμπεριλαμβανομένων των πορθμείων, των ερευνητικών σκαφών και των στρατιωτικών πλοίων, που χρησιμοποιούν ή δοκιμάζουν αυτήν τη στιγμή τεχνολογία κυψελών καυσίμου.

Το 2008, το FCS Alsterwasser ήταν το πρώτο στην ενδοχώρα επιβατηγό πλοίο στον κόσμο που χρησιμοποιεί κυψέλες καυσίμου για πρόωση. Το σκάφος διευθύνεται από την ATG και αρχικά προβλεπόταν να πλεύσει μέχρι το 2010 σε τακτικά ταξίδια στο Alster, τη λίμνη στην καρδιά της πόλης του Αμβούργου. Ο στόχος αυτού του μοναδικού έργου που υποστηρίζεται από την ΕΕ είναι να δοκιμαστεί η πρακτική λειτουργία πλοίου χωρίς εκπομπές και για την προώθηση της χρήσης αυτής της τεχνολογίας για ναυτιλιακές εφαρμογές.

Το ZemShip (Πλοίο Μηδενικών Εκπομπών) «FCS Alsterwasser», που εδρεύει στο λιμάνι του Αμβούργου, μεταφέρει έως και 100 επιβάτες τη φορά, χωρίς να παράγει εκπομπές. Η πλοιοκτήτρια εταιρεία, ATG (Alster-Touristik GmbH) ανέπτυξε το 2009 ένα λεγόμενο μονο-κύτος πλοίου με ισχύ κινητήρα 100 kW και χωρητικότητα επιβατών 100 άτομα.

Το FCS Alsterwasser διαθέτει δύο συστήματα κυψελών καυσίμου υδρογόνου με 12 δεξαμενές καυσίμου υδρογόνου για την τροφοδοσία του πλοίου. Επιπλέον, διαθέτει μπαταρία μολύβδου-τζελ που χρησιμεύει ως εφεδρική επιλογή σε περίπτωση βλάβης των στοιχείων υδρογόνου. Αν και τις περισσότερες φορές το πλοίο λαμβάνει την ενέργειά του από τις κυψέλες καυσίμου υδρογόνου, υπάρχει ένα σύστημα διαχείρισης ενέργειας για να καθορίσει εάν οι μπαταρίες πρέπει να τεθούν σε χρήση



Σχήμα 4.7 Διάγραμμα Alsterwasser

5^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ

5 Υπερπυκνωτές

5.1 Εισαγωγή

Καθώς η ζήτηση για ενέργεια συνεχίζει να αυξάνεται, ολοένα και περισσότερο στην σημερινή κοινωνία, αφού αυξάνονται συνεχώς οι ανάγκες του σύγχρονου κόσμου, υπάρχει ανάγκη για πιο αποτελεσματικές και αξιόπιστες λύσεις αποθήκευσης ενέργειας. Οι παραδοσιακές μπαταρίες αποτελούν την κύρια λύση αποθήκευσης ενέργειας για πολλά χρόνια, αλλά έχουν περιορισμούς όπως χαμηλή πυκνότητα ισχύος, περιορισμένη διάρκεια ζωής και περιβαλλοντικές ανησυχίες.

Οι υπερπυκνωτές είναι ένας σχετικά νέος τύπος συσκευής αποθήκευσης ενέργειας που έχει αναδειχθεί ως μια πολλά υποσχόμενη εναλλακτική λύση για τις μπαταρίες. Προσφέρουν πολλά πλεονεκτήματα σε σχέση με τις παραδοσιακές μπαταρίες, όπως υψηλότερη πυκνότητα ισχύος, ταχύτερους χρόνους φόρτισης και μεγαλύτερη διάρκεια ζωής. Επιπλέον, οι υπερπυκνωτές είναι πιο φιλικό προς το περιβάλλον από τις μπαταρίες, καθώς δεν περιέχουν τοξικές χημικές ουσίες και μπορούν να ανακυκλωθούν πιο εύκολα.

5.2 Ιστορική Αναδρομή:

Η ιστορία των υπερπυκνωτών μπορεί να εντοπιστεί στη δεκαετία του 1950, όταν οι ερευνητές της General Electric άρχισαν να πειραματίζονται με ηλεκτρολυτικούς πυκνωτές. Αυτοί οι πυκνωτές χρησιμοποιούσαν έναν ηλεκτρολύτη αντί για ένα διηλεκτρικό υλικό, επιτρέποντάς τους να αποθηκεύουν περισσότερη ενέργεια από τους παραδοσιακούς πυκνωτές. Ωστόσο, η ενεργειακή τους πυκνότητα ήταν ακόμα σχετικά χαμηλή και χρησιμοποιήθηκαν κυρίως σε εξειδικευμένες εφαρμογές όπως τα συστήματα ραντάρ.

Στη δεκαετία του 1960, οι ερευνητές άρχισαν να αναπτύσσουν πυκνωτές με υψηλότερη ενεργειακή πυκνότητα χρησιμοποιώντας ενεργό άνθρακα ως υλικό ηλεκτροδίου. Αυτοί οι πρώτοι υπερπυκνωτές, γνωστοί ως ηλεκτροχημικοί πυκνωτές διπλής στρώσης (EDLC), είχαν ενεργειακές πυκνότητες που ήταν αρκετές τάξεις μεγέθους υψηλότερες από τους παραδοσιακούς πυκνωτές. Ωστόσο, μόνο στις δεκαετίες του 1980 και του 1990 σημειώθηκε σημαντική πρόοδος στην ανάπτυξη υπερπυκνωτών. Οι ερευνητές άρχισαν να εξερευνούν νέα υλικά και σχέδια ηλεκτροδίων, τα οποία οδήγησαν σε περαιτέρω βελτιώσεις στην ενεργειακή πυκνότητα, την πυκνότητα ισχύος και τη διάρκεια ζωής του κύκλου.

Το 1991, η NEC Corporation παρουσίασε τον πρώτο εμπορικό υπερπυκνωτή, ο οποίος σχεδιάστηκε για χρήση σε εφεδρικά συστήματα ισχύος. Από τότε, οι υπερπυκνωτές έχουν χρησιμοποιηθεί σε ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών, από υβριδικά ηλεκτρικά οχήματα έως συστήματα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας έως ηλεκτρονικά είδη ευρείας κατανάλωσης [49].

5.3 Πλεονεκτήματα έναντι μπαταριών

Οι υπερπυκνωτές, επίσης γνωστοί ως υπερπυκνωτές ή ηλεκτρικοί πυκνωτές διπλής στρώσης (EDLC), προσφέρουν πολλά πλεονεκτήματα σε σχέση με τις παραδοσιακές συσκευές αποθήκευσης ενέργειας, όπως οι μπαταρίες. Εδώ είναι μερικά από τα κύρια πλεονεκτήματα των υπερπυκνωτών [50]:

- **Υψηλή πυκνότητα ισχύος:** Οι υπερπυκνωτές έχουν υψηλή πυκνότητα ισχύος, που σημαίνει ότι έχουν την δυνατότητα να αποθηκεύουν και να απελευθερώνουν ενέργεια γρήγορα. Αυτό τα

καθιστά ιδανικά για εφαρμογές που απαιτούν σύντομες εκρήξεις ενέργειας, όπως ηλεκτρικά οχήματα ή ηλεκτρικά εργαλεία.

- **Μεγάλη διάρκεια κύκλου ζωής:** Οι υπερπυκνωτές έχουν μεγάλη διάρκεια ζωής σε σύγκριση με τις μπαταρίες, που σημαίνει ότι μπορούν να φορτιστούν και να αποφορτιστούν πολλές φορές χωρίς να υποβαθμιστεί σημαντικά η απόδοσή τους. Αυτό τα καθιστά μια πιο οικονομική και αξιόπιστη επιλογή για ορισμένες εφαρμογές.
- **Μεγάλο εύρος θερμοκρασίας λειτουργίας:** Οι υπερπυκνωτές μπορούν να λειτουργήσουν σε ένα ευρύ φάσμα θερμοκρασιών, καθιστώντας τους κατάλληλους για χρήση σε ακραία περιβάλλοντα.
- **Χαμηλή συντήρηση:** Οι υπερπυκνωτές απαιτούν ελάχιστη έως καθόλου συντήρηση, σε αντίθεση με τις μπαταρίες, οι οποίες μπορεί να χρειάζεται να αντικαθίστανται ή να επαναφορτίζονται συχνά.
- **Φιλικοί προς το περιβάλλον:** Οι υπερπυκνωτές είναι πιο φιλικό προς το περιβάλλον από τις μπαταρίες επειδή δεν περιέχουν τοξικές χημικές ουσίες ή βαρέα μέταλλα.
- **Ασφαλής:** Οι υπερπυκνωτές θεωρούνται επίσης ασφαλέστεροι από τις μπαταρίες επειδή δεν κινδυνεύουν να εκραγούν ή να πιάσουν φωτιά.

Συνολικά, τα πλεονεκτήματα των υπερπυκνωτών τους καθιστούν ελκυστική επιλογή για μια σειρά εφαρμογών, συμπεριλαμβανομένων συστημάτων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, ηλεκτρικών οχημάτων και ηλεκτρονικών ειδών ευρείας κατανάλωσης.

5.4 Διαφορές με τους συμβατικούς πυκνωτές

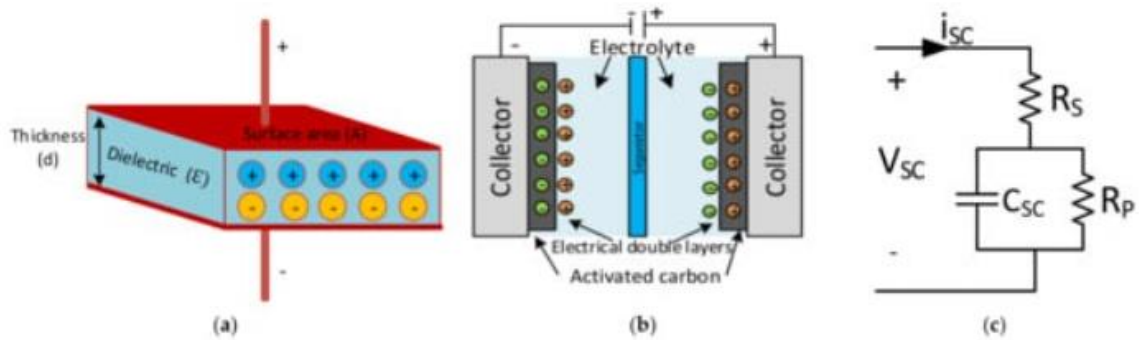
Οι πυκνωτές και οι υπερπυκνωτές είναι και οι δύο συσκευές αποθήκευσης ενέργειας, αλλά διαφέρουν σε μερικούς τομείς. Πιο κάτω αναφέρονται μερικές από τις κύριες διαφορές μεταξύ πυκνωτών και υπερπυκνωτών [51]:

- **Πυκνότητα ενέργειας:** Οι πυκνωτές έχουν χαμηλότερη ενεργειακή πυκνότητα από τους υπερπυκνωτές, πράγμα που σημαίνει ότι μπορούν να αποθηκεύσουν λιγότερη ενέργεια ανά μονάδα όγκου ή βάρους.
- **Οι υπερπυκνωτές μπορούν να αποθηκεύσουν περισσότερη ενέργεια, καθιστώντας τους χρήσιμους για εφαρμογές που απαιτούν υψηλότερη ενεργειακή πυκνότητα.**
- **Ρυθμοί φόρτισης και εκφόρτισης:** Οι υπερπυκνωτές μπορούν να φορτιστούν και να αποφορτιστούν πιο γρήγορα από τους πυκνωτές, καθιστώντας τους κατάλληλους για εφαρμογές που απαιτούν παροχή υψηλής ισχύος.
- **Διάρκεια ζωής κύκλου:** Οι υπερπυκνωτές έχουν μεγαλύτερη διάρκεια ζωής κύκλου από τους πυκνωτές, που σημαίνει ότι μπορούν να φορτιστούν και να εκφορτιστούν πολλές φορές χωρίς σημαντική υποβάθμιση της απόδοσής τους.
- **Τιμή τάσης:** Οι πυκνωτές έχουν συνήθως υψηλότερη ονομαστική τάση από τους υπερπυκνωτές. Οι υπερπυκνωτές έχουν συνήθως χαμηλότερη ονομαστική τάση από τους πυκνωτές, αλλά μπορούν να συνδεθούν σε σειρά για να αυξήσουν τη συνολική ονομαστική τάση.
- **Ρεύμα διαρροής:** Οι πυκνωτές μπορεί να έχουν υψηλότερο ρεύμα διαρροής από τους υπερπυκνωτές, πράγμα που σημαίνει ότι μπορούν να χάσουν φόρτιση με την πάροδο του χρόνου ακόμα και όταν δεν χρησιμοποιούνται. Οι υπερπυκνωτές έχουν χαμηλότερο ρεύμα διαρροής και μπορούν να κρατήσουν τη φόρτισή τους για μεγαλύτερα χρονικά διαστήματα.

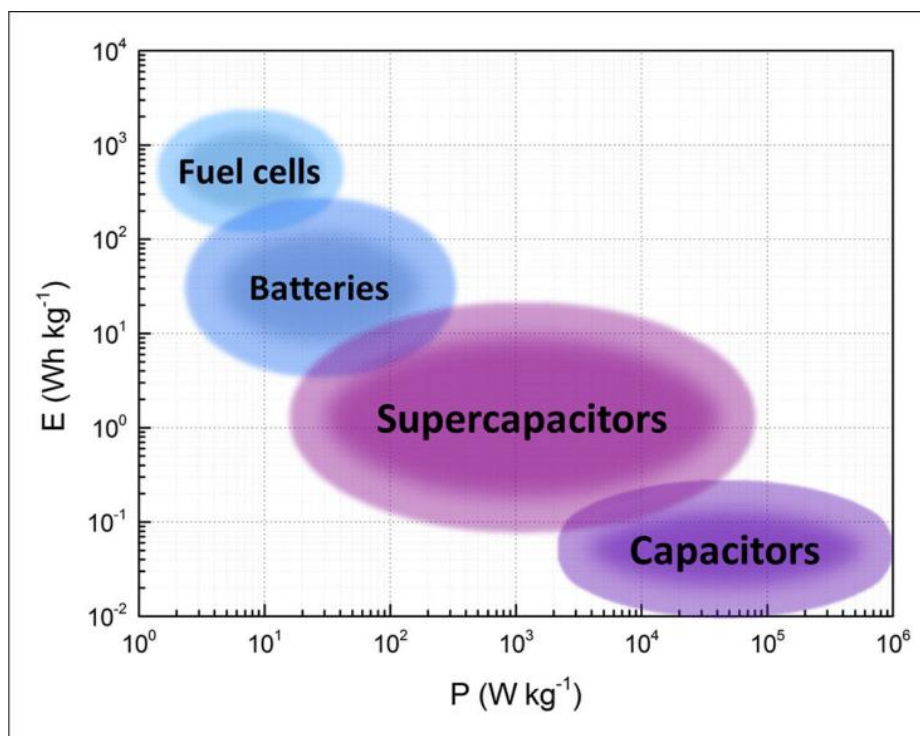
Συνολικά, οι υπερπυκνωτές προσφέρουν υψηλότερη ενεργειακή πυκνότητα, ταχύτερους ρυθμούς φόρτισης και εκφόρτισης, μεγαλύτερη διάρκεια ζωής και χαμηλότερο ρεύμα διαρροής σε σύγκριση

με τους πυκνωτές. Ωστόσο, οι πυκνωτές έχουν υψηλότερη ονομαστική τάση και είναι λιγότερο ακριβοί από τους υπερπυκνωτές, γεγονός που τους καθιστά κατάλληλους για διαφορετικούς τύπους εφαρμογών.

Η πιο κάτω γραφική παράσταση αναπαριστά τις τυπικές τιμές της ενέργειας και της ισχύς των υπερπυκνωτών συγκριτικά με τις αντίστοιχες τιμές που περιγράφουν άλλες συσκευές αποθήκευσης ενέργειας όπως μπαταρίες, κυψέλες καυσίμου και πυκνωτές.



Σχήμα 5.1 (α) Δομή συμβατικού πυκνωτή(β)δομή υπερπυκνωτή (γ)κυκλωματικό διάγραμμα



Σχήμα 5.2 Ενέργεια Πηγών

5.5 Τύποι Υπερπυκνωτών

Οι υπερπυκνωτές μπορούν να καταταχθούν στους πιο κάτω τύπους [52]:

1. Ηλεκτροστατικοί πυκνωτές διπλής στρώσης (EDLC):

Είναι ο πιο κοινός τύπος υπερπυκνωτών και χρησιμοποιούν ηλεκτρόδιο άνθρακα υψηλής επιφάνειας και ηλεκτρολύτη για την αποθήκευση φορτίου. Έχουν υψηλή πυκνότητα ισχύος, μεγάλη διάρκεια ζωής και μπορούν να φορτιστούν και να αποφορτιστούν γρήγορα. Οι EDLC αποτελούνται από δύο πορώδη ηλεκτρόδια άνθρακα που χωρίζονται από έναν ηλεκτρολύτη. Τα ηλεκτρόδια άνθρακα έχουν μεγάλη επιφάνεια, συνήθως στην περιοχή 1000-3000 m²/g, η οποία παρέχει μια μεγάλη διεπαφή για αποθήκευση φορτίου. Ο ηλεκτρολύτης είναι συνήθως μια υγρή ή σαν γέλη ουσία που διευκολύνει τη μεταφορά ιόντων μεταξύ των ηλεκτροδίων. Τα EDLC έχουν υψηλή πυκνότητα ισχύος και μεγάλη διάρκεια ζωής, με τυπική χωρητικότητα από μερικά farads έως δεκάδες χιλιάδες farads. Οι ηλεκτροχημικοί πυκνωτές διπλής στρώσης (EDLC) χρησιμοποιούνται συνήθως σε εφαρμογές που απαιτούν υψηλή πυκνότητα ισχύος και γρήγορους ρυθμούς φόρτισης/εκφόρτισης, όπως ηλεκτρικά οχήματα, συστήματα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και συστήματα εφεδρικής ισχύος. Χρησιμοποιούνται επίσης σε ηλεκτρονικές συσκευές όπως κάμερες και κινητά τηλέφωνα ως εφεδρική πηγή ενέργειας.

2. Ψευδοπυκνωτές:

Αυτοί χρησιμοποιούν υλικά που υφίστανται αναστρέψιμες αντιδράσεις Faradaic για αποθήκευση φορτίου. Μπορούν να αποθηκεύσουν περισσότερη ενέργεια από τα EDLC και έχουν καλύτερη ενεργειακή πυκνότητα, αλλά έχουν μικρότερη πυκνότητα ισχύος και μικρότερη διάρκεια ζωής. Οι ψευδοπυκνωτές χρησιμοποιούν μια ποικιλία υλικών για την αποθήκευση φορτίου μέσω αναστρέψιμων αντιδράσεων Faradaic, όπως οξειδία μετάλλων, αγωγή πολυμερή και ενώσεις μετάλλων μετάπτωσης. Τα υλικά έχουν υψηλή ειδική χωρητικότητα, συνήθως στην περιοχή 100-1000 F/g, η οποία τους επιτρέπει να αποθηκεύουν περισσότερη ενέργεια από τα EDLC. Ωστόσο, έχουν μικρότερη πυκνότητα ισχύος και μικρότερη διάρκεια ζωής λόγω της βραδύτερης κινητικής των αντιδράσεων Faradaic. Οι ψευδοπυκνωτές χρησιμοποιούνται συχνά σε εφαρμογές που απαιτούν υψηλότερη ενεργειακή πυκνότητα από τα EDLC, όπως φορητές ηλεκτρονικές συσκευές, ιατρικές συσκευές και συστήματα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν σε υβριδικά οχήματα και συστήματα αποθήκευσης ενέργειας σε κλίμακα δικτύου.

3. Υβριδικοί υπερπυκνωτές:

Συνδυάζουν τόσο EDLC όσο και ψευδοπυκνωτές για να επιτύχουν μια ισορροπία μεταξύ της ενεργειακής πυκνότητας και της πυκνότητας ισχύος. Οι υβριδικοί υπερπυκνωτές συνδυάζουν τόσο EDLC όσο και ψευδοπυκνωτές για να επιτύχουν μια ισορροπία μεταξύ της ενεργειακής πυκνότητας και της πυκνότητας ισχύος. Το ηλεκτρόδιο EDLC παρέχει υψηλή πυκνότητα ισχύος, ενώ το ηλεκτρόδιο ψευδοπυκνωτή παρέχει υψηλή πυκνότητα ενέργειας. Τα δύο ηλεκτρόδια τυπικά χωρίζονται από μια μεμβράνη που επιτρέπει τη μεταφορά ιόντων αλλά εμποδίζει τα ηλεκτρόδια να βραχυκυκλωθούν. Οι υβριδικοί πυκνωτές, που συνδυάζουν τις ιδιότητες των EDLC και των ψευδοπυκνωτών, χρησιμοποιούνται σε ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών που απαιτούν ισορροπία μεταξύ ισχύος και πυκνότητας ενέργειας, όπως η ρομποτική, ο βιομηχανικός αυτοματισμός και τα ηλεκτρικά εργαλεία.

4. Ασύμμετροι υπερπυκνωτές:

Αυτοί χρησιμοποιούν ηλεκτρόδια με διαφορετικές ιδιότητες, όπως ένα με υψηλή επιφάνεια και ένα με υψηλή χωρητικότητα, για την επίτευξη υψηλής ενεργειακής πυκνότητας και υψηλής πυκνότητας ισχύος. Οι ασύμμετροι υπερπυκνωτές χρησιμοποιούν δύο διαφορετικούς τύπους ηλεκτροδίων, όπως ένα με μεγάλη επιφάνεια και ένα με υψηλή χωρητικότητα, για να επιτύχουν υψηλή ενεργειακή πυκνότητα και υψηλή πυκνότητα ισχύος. Τα ηλεκτρόδια τυπικά διαχωρίζονται από μια μεμβράνη ή ηλεκτρολύτη που επιτρέπει τη μεταφορά ιόντων. Οι ασύμμετροι πυκνωτές, που έχουν διαφορετικά υλικά και/ή διαμορφώσεις ηλεκτροδίων, χρησιμοποιούνται σε μια ποικιλία εξειδικευμένων εφαρμογών. Για παράδειγμα, ορισμένοι ασύμμετροι πυκνωτές χρησιμοποιούν ηλεκτρόδια ενεργού άνθρακα και οξειδίου μετάλλου για να επιτύχουν υψηλή ενεργειακή πυκνότητα και πυκνότητα ισχύος, ενώ άλλοι χρησιμοποιούν νανοσωλήνες άνθρακα και γραφένιο για βελτιωμένη ηλεκτρική αγωγιμότητα και ανθεκτικότητα. Οι ασύμμετροι πυκνωτές χρησιμοποιούνται συχνά σε εφαρμογές υψηλής τεχνολογίας όπως η αεροδιαστημική, οι στρατιωτικές και οι ιατρικές συσκευές.

5. Μικρό-Υπερπυκνωτές:

Είναι μικροί υπερπυκνωτές με υψηλή ενεργειακή πυκνότητα και υψηλή πυκνότητα ισχύος που είναι κατάλληλοι για χρήση σε μικροσκοπικές ηλεκτρονικές συσκευές(10). Οι μικρό-υπερπυκνωτές έχουν παρόμοια δομή με τους EDLC, αλλά κλιμακώνονται σε διαστάσεις μικρού ή νανοκλίμακα. Συνήθως χρησιμοποιούν νανοϋλικά άνθρακα όπως γραφένιο ή νανοσωλήνες άνθρακα ως ηλεκτρόδια για να επιτύχουν υψηλή επιφάνεια και υψηλή χωρητικότητα. Οι μικρό-υπερπυκνωτές έχουν υψηλή πυκνότητα ισχύος και μπορούν να ενσωματωθούν στη μικροηλεκτρονική.

6. Ευέλικτοι υπερπυκνωτές:

Αυτοί είναι υπερπυκνωτές που μπορούν να κάμπτονται και να προσαρμόζονται σε διαφορετικά σχήματα και μπορούν να ενσωματωθούν σε φορητά και εύκαμπτα ηλεκτρονικά. Οι εύκαμπτοι υπερπυκνωτές έχουν σχεδιαστεί για να είναι εύκαμπτοι και να συμμορφώνονται με διαφορετικά σχήματα. Συνήθως χρησιμοποιούν εύκαμπτα υποστρώματα όπως πολυμερείς μεμβράνες ως υλικό ηλεκτροδίων και μπορούν να ενσωματωθούν σε φορητά ηλεκτρονικά ή άλλες εύκαμπτες συσκευές.

7. Υπερπυκνωτές ιόντων λιθίου:

Χρησιμοποιούν έναν συνδυασμό μπαταριών ιόντων λιθίου και υπερπυκνωτών για την επίτευξη υψηλής ενεργειακής πυκνότητας και υψηλής πυκνότητας ισχύος, καθιστώντας τους κατάλληλους για χρήση σε ηλεκτρικά οχήματα και άλλες εφαρμογές υψηλής ισχύος. Οι υπερπυκνωτές ιόντων λιθίου χρησιμοποιούν έναν συνδυασμό μπαταριών ιόντων λιθίου και υπερπυκνωτών για να επιτύχουν υψηλή ενεργειακή πυκνότητα και υψηλή πυκνότητα ισχύος. Το ηλεκτρόδιο μπαταρίας ιόντων λιθίου παρέχει υψηλή πυκνότητα ενέργειας, ενώ το ηλεκτρόδιο υπερπυκνωτών παρέχει υψηλή πυκνότητα ισχύος. Οι υπερπυκνωτές ιόντων λιθίου είναι κατάλληλοι για χρήση σε ηλεκτρικά οχήματα και άλλες εφαρμογές υψηλής ισχύος.

Συνολικά, η απόδοση των υπερπυκνωτών εξαρτάται από διάφορους παράγοντες, όπως το υλικό του ηλεκτροδίου, ο ηλεκτρολύτης και ο σχεδιασμός της συσκευής. Ωστόσο, γενικά, οι υπερπυκνωτές έχουν υψηλή πυκνότητα ισχύος, γρήγορους ρυθμούς φόρτισης και εκφόρτισης και μεγάλη διάρκεια

ζωής. Η ενεργειακή τους πυκνότητα είναι συνήθως χαμηλότερη από αυτή των μπαταριών αλλά μεγαλύτερη από αυτή των συμβατικών πυκνωτών.

Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι κάθε τύπος υπερπυκνωτών έχει τα δικά του πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα και η επιλογή του τύπου που θα χρησιμοποιηθεί εξαρτάται από τις συγκεκριμένες απαιτήσεις της εφαρμογής. Οι τέσσερις κύριοι τύποι υπερπυκνωτών (EDLC, ψευδοπυκνωτές, υβριδικοί υπερπυκνωτές και ασύμμετροι υπερπυκνωτές) είναι οι πιο συχνά χρησιμοποιούμενοι και καθιερωμένοι τύποι και έχουν μελετηθεί και βελτιστοποιηθεί εκτενώς για ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών. Αντίθετα, ενώ οι εύκαμπτοι υπερπυκνωτές, οι μικρό-υπερπυκνωτές και οι πυκνωτές ιόντων λιθίου έχουν μοναδικά πλεονεκτήματα και πιθανές εφαρμογές, εξακολουθούν να είναι αναδυόμενες τεχνολογίες και δεν έχουν μελετηθεί και βελτιστοποιηθεί στον ίδιο βαθμό με τους τέσσερις κύριους τύπους υπερπυκνωτών. Επομένως, ενώ όλοι οι τύποι υπερπυκνωτών είναι σημαντικοί και έχουν τα δικά τους πλεονεκτήματα, οι τέσσερις κύριοι τύποι θεωρούνται γενικά οι πιο σημαντικοί λόγω της καθιερωμένης χρήσης και της αποδεδειγμένης απόδοσής τους σε ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών.

Η απόδοση ενός υπερπυκνωτή εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, όπως τα συγκεκριμένα υλικά που χρησιμοποιούνται για τα ηλεκτρόδια και τον ηλεκτρολύτη, την αρχιτεκτονική της συσκευής και τις συνθήκες λειτουργίας. Γενικά, οι ψευδοπυκνωτές και οι υβριδικοί υπερπυκνωτές τείνουν να έχουν υψηλότερες ενεργειακές πυκνότητες από τους EDLC, ενώ εξακολουθούν να διατηρούν υψηλές πυκνότητες ισχύος. Οι ασύμμετροι υπερπυκνωτές μπορούν επίσης να έχουν υψηλές ενεργειακές πυκνότητες και πυκνότητες ισχύος, ανάλογα με τα συγκεκριμένα υλικά ηλεκτροδίων που χρησιμοποιούνται.

Τελικά, η επιλογή του τύπου υπερπυκνωτή που θα χρησιμοποιηθεί εξαρτάται από τις συγκεκριμένες απαιτήσεις εφαρμογής και τις αντισταθμίσεις μεταξύ της ενεργειακής πυκνότητας, της πυκνότητας ισχύος και άλλων παραγόντων.

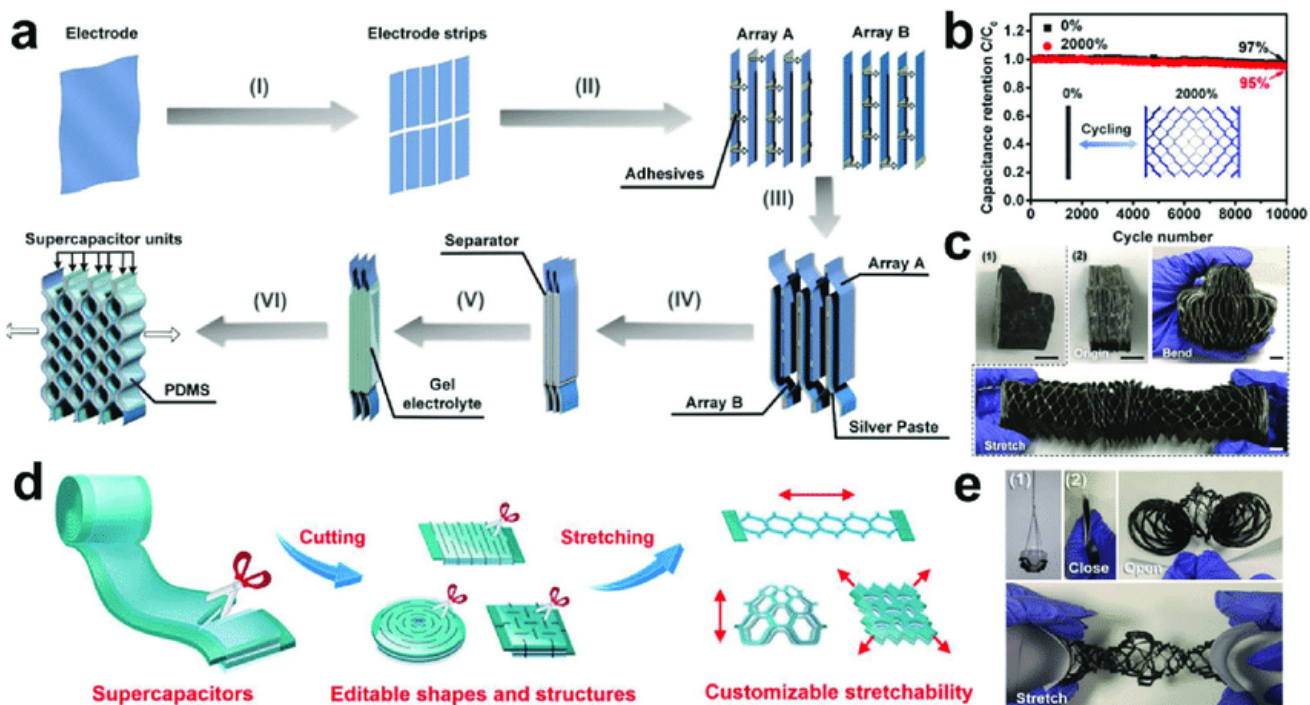
5.6 Κατασκευή Υπερπυκνωτών

Οι υπερπυκνωτές δημιουργούνται συνήθως χρησιμοποιώντας έναν συνδυασμό υλικών ηλεκτροδίων, όπως υλικά με βάση τον άνθρακα, αγωγιμα πολυμερή ή οξείδια μετάλλων και ένα διάλυμα ηλεκτρολύτη. Τα ηλεκτρόδια και ο ηλεκτρολύτης είναι διατεταγμένα σε μια δομή σαν σάντουιτς, με κάθε ηλεκτρόδιο να διαχωρίζεται από ένα λεπτό στρώμα ηλεκτρολύτη. Τα ηλεκτρόδια συνήθως παρασκευάζονται χρησιμοποιώντας μια ποικιλία τεχνικών κατασκευής, όπως ηλεκτροχημική εναπόθεση, κolloειδές πήκτωμα, χημική εναπόθεση ατμών ή ηλεκτροϊονοποίηση. Μόλις συναρμολογηθούν τα ηλεκτρόδια και ο ηλεκτρολύτης, συνήθως περικλείονται σε ένα περίβλημα και συνδέονται με εξωτερικούς ακροδέκτες, επιτρέποντάς τους να φορτιστούν και να εκφορτιστούν. Η συσκευή που προκύπτει μπορεί να αποθηκεύει και να απελευθερώνει ενέργεια γρήγορα, καθιστώντας την χρήσιμη για εφαρμογές όπου απαιτείται ταχεία αποθήκευση και απελευθέρωση ενέργειας.

Η δημιουργία ενός υπερπυκνωτή περιλαμβάνει πολλά βήματα που μπορεί να ποικίλλουν ανάλογα με τον συγκεκριμένο τύπο υπερπυκνωτή και τα επιθυμητά χαρακτηριστικά απόδοσης. Ωστόσο, εδώ είναι μια γενική διαδικασία για τη δημιουργία ενός υπερπυκνωτή [53]:

1. Επιλογή υλικών ηλεκτροδίων: Οι υπερπυκνωτές συνήθως χρησιμοποιούν υλικά με βάση τον άνθρακα, όπως ενεργό άνθρακα ή γραφένιο ως ηλεκτρόδια. Η επιλογή του υλικού ηλεκτροδίου θα επηρεάσει την απόδοση του υπερπυκνωτή, και της ενεργειακής του πυκνότητας, της πυκνότητας ισχύος και των χαρακτηριστικών φόρτισης/εκφόρτισης.

2. Προετοιμασία υλικών ηλεκτροδίων: Τα υλικά ηλεκτροδίων συχνά παρασκευάζονται με ανάμειξη του υλικού με βάση τον άνθρακα με ένα συνδετικό υλικό και έναν διαλύτη για να σχηματιστεί μια πάστα. Αυτή η πάστα εφαρμόζεται στη συνέχεια σε έναν συλλέκτη ρεύματος, ο οποίος είναι συνήθως κατασκευασμένος από ένα μέταλλο όπως αλουμίνιο ή χαλκό.
3. Συναρμολόγηση της κυψέλης: Τα προετοιμασμένα ηλεκτρόδια στη συνέχεια συναρμολογούνται σε μια κυψέλη με διαχωριστή μεταξύ τους για την αποφυγή βραχυκυκλωμάτων. Ο διαχωριστής είναι συνήθως κατασκευασμένος από ένα πορώδες υλικό που επιτρέπει στα ιόντα να περάσουν αλλά εμποδίζει τα ηλεκτρόδια να έρθουν σε επαφή.
4. Προσθήκη ηλεκτρολύτη: Το στοιχείο στη συνέχεια γεμίζεται με έναν ηλεκτρολύτη, ο οποίος είναι ένα αγώγιμο διάλυμα που επιτρέπει στα ιόντα να κινούνται μεταξύ των ηλεκτροδίων. Η επιλογή του ηλεκτρολύτη θα επηρεάσει την απόδοση του υπερπυκνωτή, συμπεριλαμβανομένου του εύρους τάσης και του εύρους θερμοκρασίας.
5. Σφράγιση του στοιχείου: Τέλος, το στοιχείο σφραγίζεται για να αποφευχθεί η διαρροή και να διατηρηθεί η ακεραιότητα του υπερπυκνωτή.



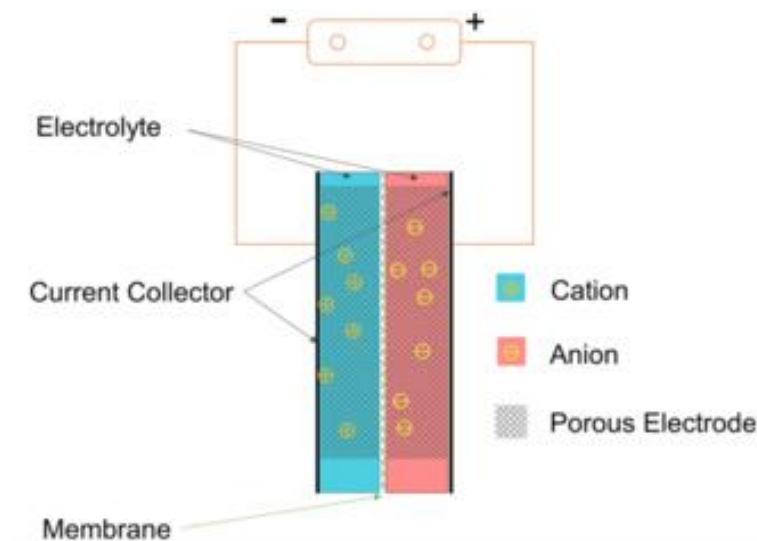
Σχήμα 5.3 Δημιουργία Υπερπυκνωτή

Οι συγκεκριμένες λεπτομέρειες κάθε βήματος μπορεί να διαφέρουν ανάλογα με τον τύπο του υπερπυκνωτή και τα επιθυμητά χαρακτηριστικά απόδοσης. Για παράδειγμα, η παρασκευή του υλικού ηλεκτροδίου μπορεί να περιλαμβάνει διαφορετικούς τύπους διαλυτών ή συνδετικών, ανάλογα με το συγκεκριμένο υλικό με βάση τον άνθρακα που χρησιμοποιείται. Η επιλογή του ηλεκτρολύτη μπορεί επίσης να εξαρτάται από παράγοντες όπως το επιθυμητό εύρος τάσης και το εύρος θερμοκρασίας λειτουργίας.

Μέθοδοι και τεχνικές που χρησιμοποιούνται κατά τη δημιουργία υπερπυκνωτών

Υπάρχουν διάφορες μέθοδοι και τεχνικές που χρησιμοποιούνται για τη δημιουργία υπερπυκνωτών, όπως:

- **Ηλεκτροχημική εναπόθεση:** Αυτή η μέθοδος περιλαμβάνει την εναπόθεση υλικού ηλεκτροδίου σε ένα υπόστρωμα χρησιμοποιώντας μια ηλεκτροχημική διαδικασία. Το υπόστρωμα μπορεί να είναι ένα μεταλλικό φύλλο, ένα αγώγιμο πολυμερές ή άλλο υλικό που μπορεί να υποστηρίξει το υλικό του ηλεκτροδίου. Η εναπόθεση μπορεί να γίνει χρησιμοποιώντας μια ποικιλία τεχνικών, όπως κυκλική βολταμετρία, γαλβανοστατική εναπόθεση ή παλμική ηλεκτροαπόθεση.
- **Sol-gel:** Αυτή η μέθοδος περιλαμβάνει τη χρήση ενός προδρόμου διαλύματος sol-gel για τη δημιουργία μιας λεπτής μεμβράνης υλικού ηλεκτροδίου σε ένα υπόστρωμα. Το διάλυμα κολλοειδούς γέλης τυπικά παρασκευάζεται από αλκοξείδια μετάλλων, τα οποία υδρολύονται και πολυμερίζονται για να σχηματίσουν ένα πήκτωμα. Το πήκτωμα στη συνέχεια ξηραίνεται και πυρώνεται για να παραχθεί ένα λεπτό φιλμ από το επιθυμητό υλικό ηλεκτροδίου.
- **Εναπόθεση χημικών ατμών:** Αυτή η μέθοδος περιλαμβάνει την εναπόθεση ενός λεπτού φιλμ υλικού ηλεκτροδίου σε ένα υπόστρωμα χρησιμοποιώντας χημικό ατμό. Ο ατμός συνήθως παράγεται με θέρμανση ενός προδρόμου υλικού, το οποίο στη συνέχεια αντιδρά με ένα υπόστρωμα για να σχηματίσει ένα λεπτό φιλμ. Η διαδικασία μπορεί να γίνει χρησιμοποιώντας μια ποικιλία τεχνικών, όπως εναπόθεση χημικών ατμών ενισχυμένη με πλάσμα ή εναπόθεση χημικών ατμών χαμηλής πίεσης.
- **Ηλεκτροϊνοποίηση:** Αυτή η μέθοδος περιλαμβάνει τη χρήση ηλεκτρικού πεδίου για την περιδίνηση ενός πολυμερούς διαλύματος ή την τήξη σε νανοϊνες, οι οποίες στη συνέχεια συλλέγονται σε ένα υπόστρωμα για να σχηματίσουν ένα πορώδες υλικό ηλεκτροδίου. Η διαδικασία μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη δημιουργία ενός ευρέος φάσματος υλικών, συμπεριλαμβανομένων των νανοϊνών άνθρακα και των νανοϊνών οξειδίου μετάλλου.
- **Σύνθεση προτύπου:** Αυτή η μέθοδος περιλαμβάνει τη χρήση ενός υλικού προτύπου, όπως μια πορώδη μεμβράνη ή ένα νανοσύρμα, για τη δημιουργία ενός λεπτού φιλμ υλικού ηλεκτροδίου. Το υλικό του προτύπου τυπικά επικαλύπτεται με ένα πρόδρομο διάλυμα, το οποίο στη συνέχεια μετατρέπεται στο επιθυμητό υλικό ηλεκτροδίου χρησιμοποιώντας μια χημική αντίδραση ή θερμική επεξεργασία.



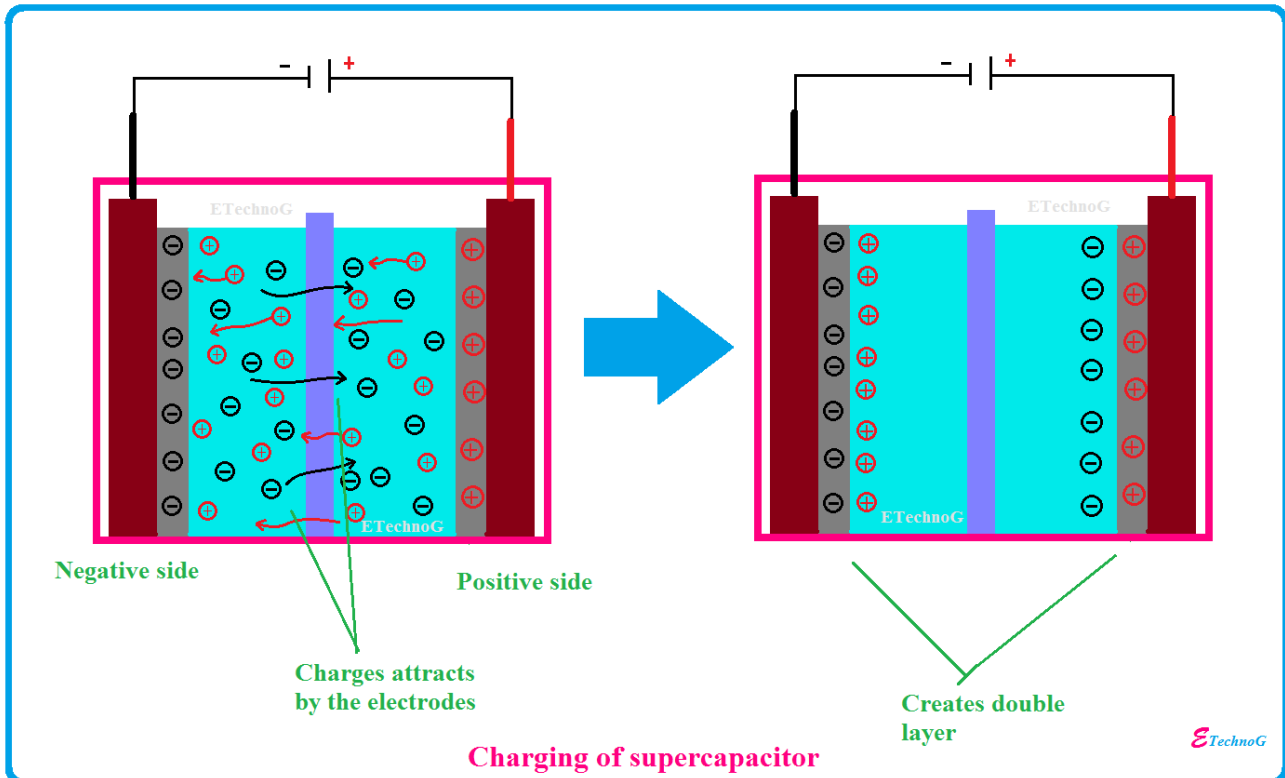
Σχήμα 5.4 Υπερπυκνωτής

Αυτές οι μέθοδοι και τεχνικές μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη δημιουργία ενός ευρέος φάσματος υλικών ηλεκτροδίων, τα οποία μπορούν να συνδυαστούν με διαφορετικούς τύπους ηλεκτρολυτών για τη δημιουργία υπερπυκνωτών με διαφορετικά χαρακτηριστικά απόδοσης.

Οι υπερπυκνωτές μπορούν να κατασκευαστούν από ένα ευρύ φάσμα υλικών, όπως [54]:

- Υλικά με βάση τον άνθρακα: Τα υλικά με βάση τον άνθρακα χρησιμοποιούνται συνήθως ως υλικά ηλεκτροδίων σε υπερπυκνωτές λόγω της μεγάλης επιφάνειας, της καλής ηλεκτρικής αγωγιμότητας και της χημικής τους σταθερότητας. Παραδείγματα περιλαμβάνουν ενεργό άνθρακα, νανοσωλήνες άνθρακα, γραφένιο και αερογέλη άνθρακα.
- Οξείδια μετάλλων: Τα οξείδια μετάλλων είναι μια άλλη δημοφιλής κατηγορία υλικών ηλεκτροδίων για υπερπυκνωτές. Παραδείγματα περιλαμβάνουν οξείδιο μαγγανίου, οξείδιο τιτανίου και οξείδιο ρουθηνίου.
- Αγωγίμα πολυμερή: Τα αγωγίμα πολυμερή είναι οργανικά υλικά που μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως υλικά ηλεκτροδίων σε υπερπυκνωτές. Παραδείγματα περιλαμβάνουν πολυανιλίνη, πολυπυρρόλη και πολυθειοφαίνιο.
- Νανοϋλικά: Τα νανοϋλικά, όπως τα νανοσωματίδια μετάλλων, τα νανοσωματίδια οξειδίου μετάλλου και οι νανοϊνες άνθρακα, μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως υλικά ηλεκτροδίων σε υπερπυκνωτές λόγω της μεγάλης επιφάνειας και των μοναδικών ηλεκτρονικών ιδιοτήτων τους.

- **Σύνθετα υλικά:** Τα σύνθετα υλικά, τα οποία παράγονται με συνδυασμό δύο ή περισσότερων υλικών, μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη βελτίωση της απόδοσης των υπερπυκνωτών. Για παράδειγμα, ένα σύνθετο από νανοσωλήνες άνθρακα και νανοσωματίδια οξειδίου μετάλλου μπορεί να συνδυάσει την υψηλή επιφάνεια και την αγωγιμότητα του άνθρακα με την χωρητικότητα του μεταλλικού οξειδίου.



Σχήμα 5.5 Φόρτιση Υπερπυκνωτών

Εκτός από τα υλικά των ηλεκτροδίων, οι υπερπυκνωτές απαιτούν επίσης έναν ηλεκτρολύτη, ο οποίος είναι συνήθως ένα διάλυμα που περιέχει ιόντα που μπορούν να αποθηκευτούν στην επιφάνεια του ηλεκτροδίου. Οι κοινοί ηλεκτρολύτες για υπερπυκνωτές περιλαμβάνουν υδατικά διαλύματα υδροξειδίου του καλίου ή θειικού οξέος, καθώς και οργανικούς ηλεκτρολύτες με βάση το ακετονιτρίλιο ή το ανθρακικό προπυλένιο.

5.7 Διάφοροι Παράγοντες που επηρεάζουν την απόδοση των Υπερπυκνωτών

Πιο κάτω αναφέρονται μερικοί παράγοντες που μπορούν να επηρεάσουν την απόδοση των υπερπυκνωτών. Εδώ είναι μερικοί από τους βασικούς παράγοντες [55]:

1. **Υλικό ηλεκτροδίων:** Το υλικό που χρησιμοποιείται για τα ηλεκτρόδια μπορεί να επηρεάσει σε μεγάλο βαθμό την απόδοση του υπερπυκνωτή. Διαφορετικά υλικά έχουν διαφορετικές επιφάνειες, μεγέθη πόρων και ηλεκτρική αγωγιμότητα, η οποία μπορεί να επηρεάσει την ποσότητα φορτίου που μπορεί να αποθηκευτεί και τον ρυθμό με τον οποίο μπορεί να απελευθερωθεί.
2. **Ηλεκτρολύτης:** Ο ηλεκτρολύτης που χρησιμοποιείται στον υπερπυκνωτή μπορεί επίσης να επηρεάσει την απόδοσή του. Διαφορετικοί ηλεκτρολύτες έχουν διαφορετική αγωγιμότητα ιόντων

και μπορούν να αποθηκεύσουν διαφορετικές ποσότητες φορτίου, κάτι που μπορεί να επηρεάσει την χωρητικότητα και την ενεργειακή πυκνότητα της συσκευής.

3. Διαχωριστής: Ο διαχωριστής είναι το στρώμα που χωρίζει τα δύο ηλεκτρόδια στον υπερπυκνωτή. Το μέγεθος πόρων και το πάχος του διαχωριστή μπορεί να επηρεάσει τη ροή των ιόντων μεταξύ των ηλεκτροδίων, γεγονός που μπορεί να επηρεάσει την χωρητικότητα και την πυκνότητα ισχύος της συσκευής.
4. Θερμοκρασία λειτουργίας: Η θερμοκρασία λειτουργίας μπορεί επίσης να επηρεάσει την απόδοση του υπερπυκνωτή. Οι υψηλές θερμοκρασίες μπορούν να προκαλέσουν υποβάθμιση του ηλεκτρολύτη και να αυξήσουν την εσωτερική αντίσταση, ενώ οι χαμηλές θερμοκρασίες μπορούν να μειώσουν την κινητικότητα των ιόντων και να μειώσουν την ποσότητα φορτίου που μπορεί να αποθηκευτεί.
5. Συχνότητα κύκλου: Η συχνότητα κύκλου αναφέρεται στον ρυθμό με τον οποίο φορτίζεται και εκφορτίζεται ο υπερπυκνωτής. Οι υψηλές συχνότητες ποδηλασίας μπορεί να προκαλέσουν υποβάθμιση των ηλεκτροδίων και να μειώσουν τη διάρκεια ζωής της συσκευής.
6. Κατασκευαστικά ελαττώματα: Τέλος, ελαττώματα ή ασυνέπειες στη διαδικασία κατασκευής μπορούν επίσης να επηρεάσουν την απόδοση του υπερπυκνωτή. Αυτά μπορεί να περιλαμβάνουν διακυμάνσεις στο πάχος του ηλεκτροδίου, ελαττώματα στον διαχωριστή ή ακαθαρσίες στον ηλεκτρολύτη.

5.8 Εξισώσεις που περιγράφουν τη λειτουργία των Υπερπυκνωτών

Υπάρχουν μερικές εξισώσεις που χρησιμοποιούνται συχνά για να περιγράψουν την συμπεριφορά τους όπως:

1. Εξίσωση Χωρητικότητας (C)

Αυτή η εξίσωση περιγράφει την χωρητικότητα του στοιχείου που είναι η δυνατότητα του να αποθηκεύει ηλεκτρική φόρτιση.

$$C = \frac{\epsilon_0 \epsilon A}{d} \quad (15.)$$

Όπου:

C είναι η χωρητικότητα και μετριέται σε (F)

ϵ είναι η επιτρεπτότητα του διηλεκτρικού υλικού και μετριέται σε (F/m)

A είναι το εμβαδόν των ηλεκτροδίων και μετριέται σε (m²)

d είναι η απόσταση μεταξύ των ηλεκτροδίων και μετριέται σε (m)

2. Εξίσωση ενέργειας (E)

Περιγράφει την ενέργεια που μπορεί να αποθηκευτεί στον υπερπυκνωτή

$$E = \frac{1}{2} CV^2 \quad (16.)$$

E είναι η ενέργεια και μετριέται σε (J)

V είναι η τάση στη συσκευή και μετριέται σε (V)

3. Εξίσωση ισχύς

Περιγράφει την ισχύ που μπορεί να δοθεί μέσω του υπερπυκνωτή

$$P = IV \quad (17.)$$

P είναι η ισχύς και μετριέται σε (W)

I είναι το ρεύμα που ρέει κατά μήκος του υπερπυκνωτή και μετριέται σε (A)

4. Εξίσωση σταθεράς χρόνου (τ)

Περιγράφει την σταθερά χρόνου του πυκνωτή που εκφράζει πόσο γρήγορα φορτίζεται και αποφορτίζεται η συσκευή.

$$\tau = RC \quad (18.)$$

τ είναι η σταθερά χρόνου και μετριέται σε (s)

R είναι η αντίσταση του υπερπυκνωτή και μετριέται σε (Ω)

5.9 Εφαρμογές Υπερπυκνωτών

Οι υπερπυκνωτές είναι συσκευές αποθήκευσης ενέργειας που βρίσκουν αυξανόμενες εφαρμογές σε διάφορες βιομηχανίες λόγω της υψηλής πυκνότητας ισχύος τους και της ικανότητάς τους να φορτίζουν και να εκφορτίζουν γρήγορα [56].

1. Ηλεκτρικά οχήματα: Οι υπερπυκνωτές μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε ηλεκτρικά οχήματα (EV-Electric Vehicles) για σύντομες εκρήξεις ισχύος, όπως επιτάχυνση ή πέδηση με αναγέννηση. Αυτό συμβάλλει στην παράταση της διάρκειας ζωής των μπαταριών και στην αύξηση της απόδοσης των ηλεκτρικών οχημάτων. Σύμφωνα με μια έκθεση της IDTechEx, οι υπερπυκνωτές αναμένεται να είναι μια αγορά 5 δισεκατομμυρίων δολαρίων για EV μέχρι το 2031.
2. Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας: Οι υπερπυκνωτές μπορούν να αποθηκεύουν ενέργεια από ανανεώσιμες πηγές όπως η αιολική και η ηλιακή ενέργεια και να την απελευθερώνουν όταν χρειάζεται, παρέχοντας μια αξιόπιστη πηγή ενέργειας. Μια μελέτη από το Πανεπιστήμιο του Κέμπριτζ διαπίστωσε ότι οι υπερπυκνωτές μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε συνδυασμό με μπαταρίες για τη βελτίωση της απόδοσης και της αξιοπιστίας των συστημάτων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.
3. Καταναλωτικά Ηλεκτρονικά: Οι υπερπυκνωτές μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε smartphone, φορητούς υπολογιστές και άλλες φορητές ηλεκτρονικές συσκευές για να παρατείνουν τη διάρκεια ζωής της μπαταρίας και να παρέχουν γρήγορη φόρτιση. Μια μελέτη που δημοσιεύτηκε στο Nature Communications διαπίστωσε ότι οι υπερπυκνωτές μπορούν να ενσωματωθούν με μπαταρίες για τη βελτίωση της απόδοσης των φορητών ηλεκτρονικών.
4. Βιομηχανικές εφαρμογές: Οι υπερπυκνωτές μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε διάφορες βιομηχανικές εφαρμογές, όπως η τροφοδοσία βαρέων μηχανημάτων ή η παροχή εφεδρικής ισχύος σε περίπτωση διακοπών. Σύμφωνα με έκθεση της Grand View Research, η παγκόσμια αγορά υπερπυκνωτών για βιομηχανικές εφαρμογές αναμένεται να φτάσει τα 2,2 δισεκατομμύρια δολάρια μέχρι το 2025.

5. Ιατρικές συσκευές: Οι υπερπυκνωτές μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε εμφυτεύσιμες ιατρικές συσκευές όπως βηματοδότες για να παρέχουν μια αξιόπιστη και μακροχρόνια πηγή ενέργειας. Μια μελέτη που δημοσιεύτηκε στο Journal of Power Sources διαπίστωσε ότι οι υπερπυκνωτές μπορούν να είναι μια κατάλληλη εναλλακτική λύση για τις μπαταρίες σε εμφυτεύσιμες ιατρικές συσκευές.
6. Αεροδιαστημική: Οι υπερπυκνωτές μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε δορυφόρους και οχήματα εξερεύνησης του διαστήματος όπου η υψηλή ενεργειακή πυκνότητα και η γρήγορη φόρτιση είναι απαραίτητες. Σύμφωνα με έκθεση της MarketsandMarkets, η παγκόσμια αγορά υπερπυκνωτών για εφαρμογές αεροδιαστημικής και άμυνας αναμένεται να φτάσει τα 1,8 δισεκατομμύρια δολάρια μέχρι το 2025.

5.10 Εφαρμογές Υπερπυκνωτών σε πλοία

Οι υπερπυκνωτές βρίσκουν αυξανόμενες εφαρμογές στα ηλεκτρικά πλοία λόγω της υψηλής πυκνότητας ισχύος, των δυνατοτήτων γρήγορης φόρτισης και εκφόρτισης και της ικανότητάς τους να αντέχουν σε σκληρά θαλάσσια περιβάλλοντα. Ακολουθούν ορισμένες πιθανές εφαρμογές των υπερπυκνωτών σε ηλεκτρικά πλοία [57]:

Το σύστημα υπερπυκνωτή συμπληρώνει την ηλεκτρική πρόωση, την κύρια πηγή παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και την πηγή ενέργειας έκτακτης ανάγκης. Το ηλεκτρικό σύστημα του σκάφους πρέπει να είναι διαρρυθμισμένο έτσι ώστε, σε περίπτωση απώλειας του συστήματος υπερπυκνωτών κατά τη λειτουργία, η ηλεκτρική παροχή εξοπλισμού που είναι απαραίτητη για την πρόωση και το σύστημα κατεύθυνσης και για την ασφάλεια του σκάφους θα συντηρηθεί ή θα αποκατασταθεί σύμφωνα με τη διάταξη στο 4-8-2/3.11.2 ή 4-8-2/3.11.3 των Κανόνων θαλάσσιων σκαφών.

Το σύστημα υπερπυκνωτών μπορεί να συνδεθεί με το ηλεκτρικό σύστημα του σκάφους με τις ακόλουθες διαμορφώσεις:

- Απευθείας σύνδεση με πίνακα διανομής DC,
- Σύνδεση με πίνακα διανομής DC μέσω μετατροπέα DC/DC,
- Σύνδεση με πίνακα διανομής AC μέσω μετατροπέα DC/AC

Το σύστημα υπερπυκνωτών μπορεί να φορτιστεί είτε μέσω σύνδεσης στην ξηρά είτε μέσω ενσωματωμένης πηγής ισχύος. Οι απαιτήσεις αλληλασφάλισης αναφέρονται στο 4-8-2/11.1.5 των Κανόνων θαλάσσιων σκαφών.

Συνολικά, οι υπερπυκνωτές προσφέρουν πολλά πιθανά οφέλη για τα ηλεκτρικά πλοία, συμπεριλαμβανομένης της βελτιωμένης ενεργειακής απόδοσης, της ποιότητας ισχύος και της αξιοπιστίας. Καθώς η ζήτηση για λύσεις βιώσιμων μεταφορών αυξάνεται, οι υπερπυκνωτές είναι πιθανό να γίνουν μια ολοένα και πιο σημαντική τεχνολογία για τη ναυτιλιακή βιομηχανία.

6^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ

6 Μπαταρίες

6.1 Εισαγωγή

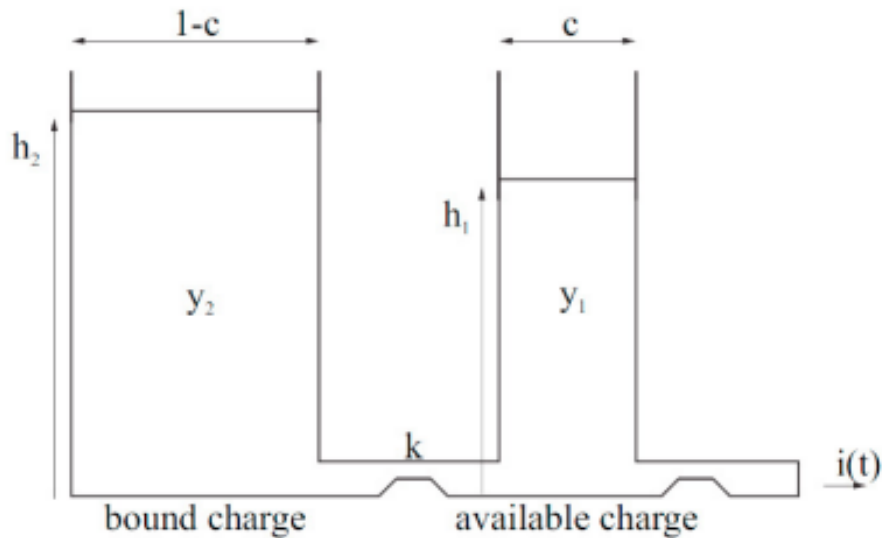
Η αυξανόμενη ζήτηση για φιλικές προς το περιβάλλον μεταφορές έχει οδηγήσει στην υιοθέτηση συστημάτων ηλεκτρικής πρόωσης στη ναυτιλιακή βιομηχανία. Τα ηλεκτρικά πλοία προσφέρουν πολλά οφέλη, όπως μειωμένες εκπομπές ρύπων, βελτιωμένη απόδοση και χαμηλότερο λειτουργικό κόστος. Ωστόσο, τα ηλεκτρικά πλοία απαιτούν ένα αξιόπιστο και αποτελεσματικό σύστημα αποθήκευσης ενέργειας για την τροφοδοσία των ηλεκτροκινητήρων, των βοηθητικών συστημάτων και του εξοπλισμού τους. Οι μπαταρίες έχουν αναδειχθεί ως δημοφιλής επιλογή για αποθήκευση ενέργειας σε ηλεκτρικά πλοία, λόγω της υψηλής ενεργειακής τους πυκνότητας, των χαμηλών απαιτήσεων συντήρησης και των μειωμένων περιβαλλοντικών επιπτώσεων σε σύγκριση με τα παραδοσιακά συστήματα που βασίζονται σε καύσιμα. Αυτό οδήγησε σε εκτεταμένη έρευνα και ανάπτυξη στην τεχνολογία μπαταριών για θαλάσσιες εφαρμογές, με αποτέλεσμα την ανάπτυξη προηγμένων χημικών μπαταριών και συστημάτων διαχείρισης μπαταριών.

6.2 Αναλυτικά Μοντέλα μπαταριών

Τα αναλυτικά μοντέλα είναι τα απλουστευμένα ηλεκτροχημικά μοντέλα που περιλαμβάνουν μη γραμμικά φαινόμενα χωρητικότητας και είναι σε θέση να προβλέψουν το χρόνο λειτουργίας των μπαταριών με μειωμένη σειρά εξισώσεων. Αυτό κάνει αυτόν τον τύπο μοντέλων πιο εύκολο στη χρήση. Τα αναλυτικά μοντέλα περιγράφουν την μπαταρία σε υψηλότερο επίπεδο περιγραφής από το ηλεκτροχημικό και μοντέλα ηλεκτρικών κυκλωμάτων. Αυτά τα μοντέλα έχουν καλή απόδοση για την παρακολούθηση της κατάστασης φόρτισης και την πρόβλεψη του χρόνου εκτέλεσης σύμφωνα με τις προδιαγραφές του προφίλ εκκένωσης. Το απλούστερο αναλυτικό μοντέλο ονομάζεται νόμος του Peukert. Αντιπροσωπεύει τη μη γραμμική σχέση μεταξύ του χρόνου λειτουργίας της μπαταρίας και του ρυθμού αποφόρτισης, αλλά το αποτέλεσμα ανάκτησης δεν λαμβάνεται υπόψη. Άλλο αναλυτικό μοντέλο είναι το μοντέλο κινητικής μπαταρίας (KiBaM). [58]

6.2.1 Μοντέλο κινητικής μπαταρίας

Το Kinetic Battery Model αναπτύχθηκε από τους Manwell και McGowan . Το KiBaM είναι πολύ διαισθητικό μοντέλο μπαταρίας. Ονομάζεται κινητική επειδή χρησιμοποιεί μια διαδικασία χημικής κινητικής ως βάση της. Αρχικά αναπτύχθηκε για τη μοντελοποίηση χημικών διεργασιών μεγάλων μπαταριών μολύβδου-οξέος. [58]

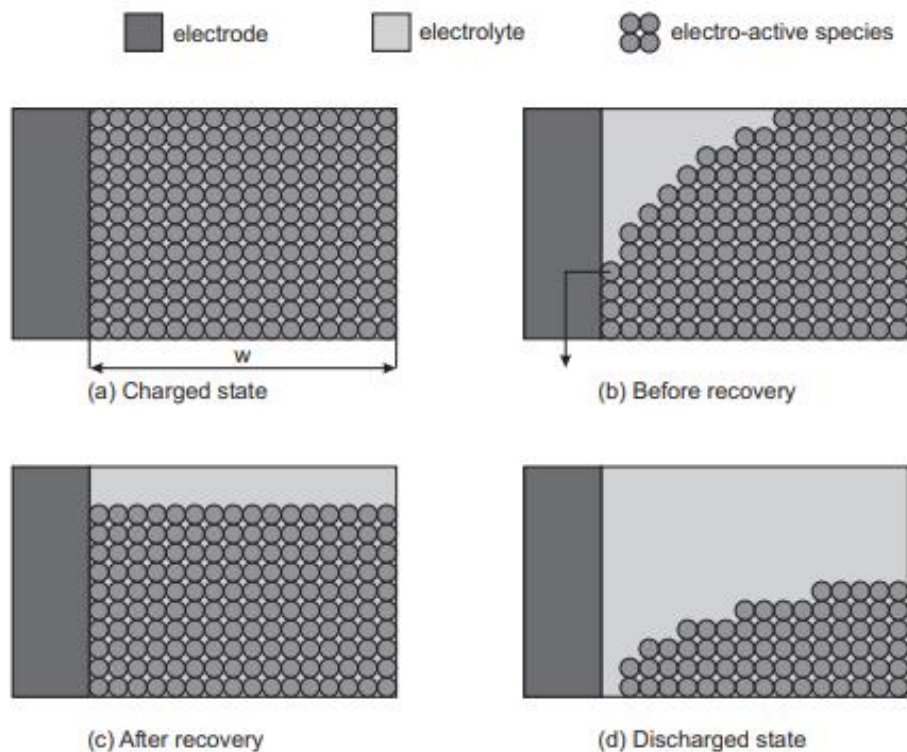


Σχήμα 6.1 Μοντέλο δύο πηγαδιών του μοντέλου κινητικής μπαταρίας

Στο μοντέλο, η φόρτιση της μπαταρίας κατανέμεται σε δύο πηγαδάκια: το διαθέσιμο φρεάτιο φόρτισης και το φρεάτιο δεσμευμένης φόρτισης Σχήμα 6.1. Ένα κλάσμα c της συνολικής χωρητικότητας τοποθετείται στο διαθέσιμο φρεάτιο φόρτισης ($y_1(t)$) και ένα κλάσμα $1 - c$ στο όριο Φόρτισης πηγαδιού ($y_2(t)$). Το διαθέσιμο φρεάτιο φορτίου παρέχει ηλεκτρόνια απευθείας στο φορτίο ($i(t)$), ενώ το δεσμευμένο φορτίο φρεατίου παρέχει ηλεκτρόνια μόνο στο διαθέσιμο πηγάδι φορτίου. Το φορτίο ρέει από το δεσμευμένο φρεάτιο φορτίου στο διαθέσιμο φορτίο μέσω «βαλβίδας» σταθερής αγωγιμότητας, k . Μαζί με αυτή την παράμετρο, ο ρυθμός με τον οποίο ρέει το φορτίο μεταξύ των φρεατίων εξαρτάται από τη διαφορά ύψους μεταξύ των δύο φρεατίων.

6.2.2 Το μοντέλο διάχυσης του Rakhmatov και του Vrudhula

Ένα άλλο αναλυτικό μοντέλο μπαταρίας είναι αυτό που αναπτύχθηκε από τους Rakhmatov και Vrudhula το 2001. Αυτό το μοντέλο βασίζεται στη διάχυση των ιόντων στον ηλεκτρολύτη. Το μοντέλο περιγράφει την εξέλιξη της συγκέντρωσης των ηλεκτρενεργών ειδών στον ηλεκτρολύτη για να προβλέψει τη διάρκεια ζωής της μπαταρίας κάτω από ένα δεδομένο φορτίο. Στο μοντέλο οι διεργασίες και στα δύο ηλεκτρόδια θεωρούνται πανομοιότυπες, επομένως η μπαταρία θεωρείται συμμετρική ως προς τα ηλεκτρόδια και μόνο ένα από τα ηλεκτρόδια λαμβάνεται υπόψη.



Σχήμα 6.2 μοντέλο διάχυσης του Rakhmatov και του Vrudhula

Στο Σχήμα 6.2 φαίνεται μια απλοποιημένη άποψη της λειτουργίας της μπαταρίας σύμφωνα με το μοντέλο διάχυσης. Αρχικά, για την πλήρη φόρτιση, η συγκέντρωση των ηλεκτρενεργών ειδών είναι σταθερή το πλήρες πλάτος (w) του ηλεκτρολύτη (α). Όταν εφαρμόζεται φορτίο στην μπαταρία, η ηλεκτροχημική αντίδραση έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση της συγκέντρωσης του δείγματος κοντά το ηλεκτρόδιο. Έτσι, δημιουργείται μια κλίση κατά μήκος του ηλεκτρολύτη (β). Αυτή η κλίση προκαλεί τη διάχυση του δείγματος προς το ηλεκτρόδιο. Όταν το φορτίο είναι απενεργοποιημένο, η συγκέντρωση του δείγματος στο ηλεκτρόδιο θα αυξηθεί ξανά λόγω της διάχυσης, και τελικά το δείγμα θα κατανομηθεί ξανά ομοιόμορφα στον ηλεκτρολύτη. Η συγκέντρωση, ωστόσο, θα είναι χαμηλότερη από ό,τι για την πλήρη μπαταρία (γ). Τέλος, όταν η συγκέντρωση στο ηλεκτρόδιο πέφτει κάτω από μια ορισμένη τιμή (C_{cutoff}), τη χημική αντίδραση δεν μπορεί πλέον να συντηρηθεί και η μπαταρία θεωρείται άδεια (δ). [59]

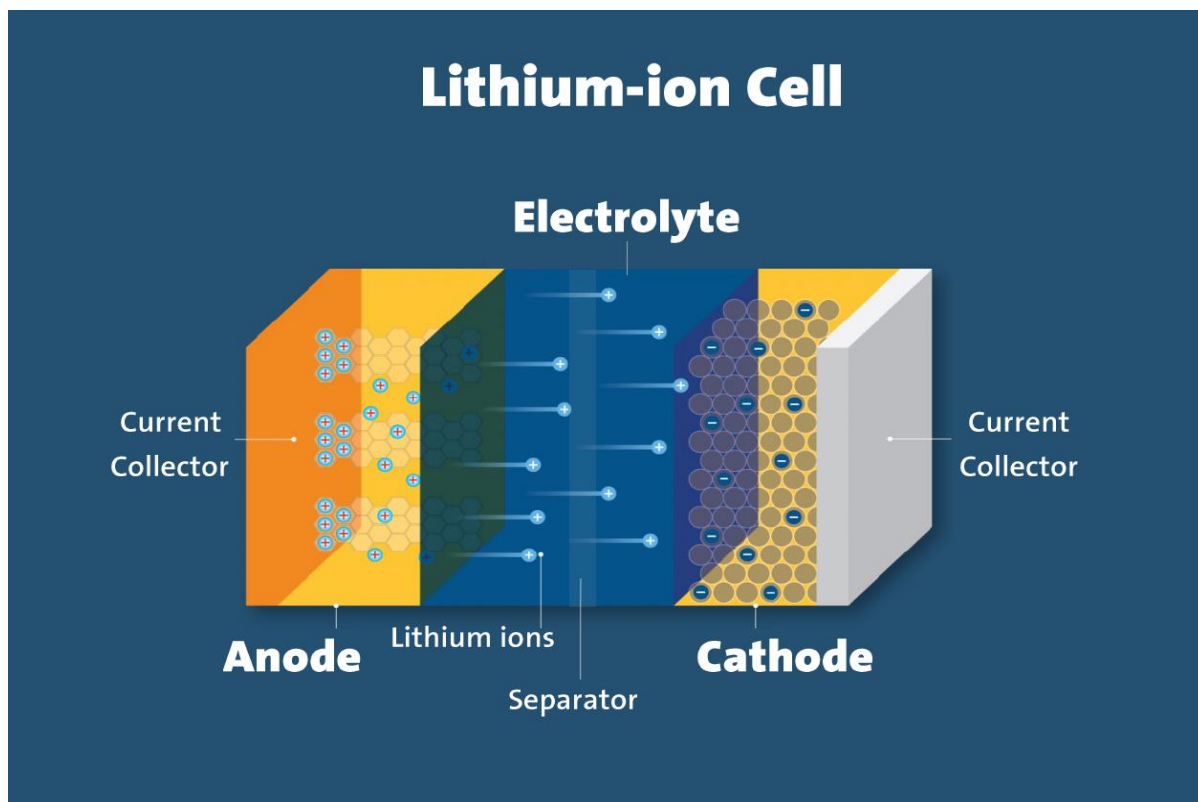
6.3 Τύποι μπαταριών

Υπάρχουν διάφοροι τύποι μπαταριών, ο καθένας με τη δική του μοναδική χημεία και χαρακτηριστικά. Οι πιο συνηθισμένοι τύποι μπαταριών περιλαμβάνουν [60]:

1. **Μπαταρίες μολυβδου-οξέος:** Πρόκειται για έναν από τους παλαιότερους τύπους επαναφορτιζόμενων μπαταριών και χρησιμοποιούνται συνήθως σε εφαρμογές αυτοκινήτων και ναυτιλίας λόγω του σχετικά χαμηλού κόστους και της υψηλής αξιοπιστίας τους. Οι

μπαταρίες μολυβδου-οξέος είναι σχετικά βαριές και έχουν χαμηλότερη ενεργειακή πυκνότητα σε σύγκριση με άλλες χημικές μπαταρίες.

2. **Μπαταρίες ιόντων λιθίου:** Είναι ο πιο δημοφιλής τύπος μπαταρίας που χρησιμοποιείται σε φορητές ηλεκτρονικές συσκευές λόγω της υψηλής ενεργειακής πυκνότητας, του χαμηλού ρυθμού αυτοεκφόρτισης και της σχετικά μεγάλης διάρκειας ζωής τους. Οι μπαταρίες ιόντων λιθίου χρησιμοποιούνται επίσης όλο και περισσότερο σε ηλεκτρικά οχήματα και ηλεκτρικά πλοία λόγω της υψηλής ισχύος και ενεργειακής τους πυκνότητας.



Σχήμα 6.3 Μπαταρία Λιθίου

3. **Μπαταρίες Νικελίου-Καδμίου:** Αυτές οι μπαταρίες έχουν χρησιμοποιηθεί ευρέως σε φορητές ηλεκτρονικές συσκευές και ιατρικό εξοπλισμό, αλλά η χρήση τους έχει μειωθεί τα τελευταία χρόνια λόγω περιβαλλοντικών ανησυχιών που σχετίζονται με την τοξικότητα του καδμίου.
4. **Μπαταρίες νικελίου-υδριδίου μετάλλου:** Αυτές οι μπαταρίες χρησιμοποιούνται συνήθως σε υβριδικά ηλεκτρικά οχήματα και φορητές ηλεκτρονικές συσκευές λόγω της υψηλής ενεργειακής τους πυκνότητας και του σχετικά χαμηλού κόστους τους.
5. **Μπαταρίες νατρίου-θείου:** Πρόκειται για έναν νεότερο τύπο μπαταρίας που χρησιμοποιείται κυρίως σε σταθερές εφαρμογές αποθήκευσης ενέργειας λόγω της υψηλής ενεργειακής πυκνότητας, της μεγάλης διάρκειας ζωής και της ικανότητάς τους να αντέχουν σε συχνούς κύκλους φόρτισης και εκφόρτισης.
6. **Μπαταρίες στερεάς κατάστασης:** Πρόκειται για μια πολλά υποσχόμενη νέα τεχνολογία που αντικαθιστά τον υγρό ή τζελ ηλεκτρολύτη που χρησιμοποιείται στις παραδοσιακές μπαταρίες με έναν στερεό ηλεκτρολύτη, ο οποίος βελτιώνει την ασφάλεια και την ενεργειακή πυκνότητα.

Υπάρχουν επίσης και άλλοι τύποι μπαταριών, όπως μπαταρίες ροής και μπαταρίες ψευδαργύρου-αέρα, που χρησιμοποιούνται σε συγκεκριμένες εφαρμογές. Η επιλογή του τύπου μπαταρίας εξαρτάται από τη συγκεκριμένη εφαρμογή, λαμβάνοντας υπόψη παράγοντες όπως η ενεργειακή πυκνότητα, η πυκνότητα ισχύος, το κόστος, η ασφάλεια και οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις.

Οι πρώτοι 4 τύποι όμως είναι αυτοί που χρησιμοποιούνται πιο συχνά.

6.4 Η Χημεία του κάθε τύπου μπαταρίας και αρχές λειτουργίας τους

Οι αρχές λειτουργίας των μπαταριών εξαρτώνται από τη χημεία και τον σχεδιασμό τους. Ακολουθεί μια σύντομη επισκόπηση των αρχών λειτουργίας ορισμένων κοινών τύπων μπαταριών [61]:

- Μπαταρίες μολύβδου-οξέος: Οι μπαταρίες μολύβδου-οξέος αποθηκεύουν ενέργεια μετατρέποντας τη χημική ενέργεια σε ηλεκτρική ενέργεια. Αποτελούνται από πλάκες μολύβδου και οξειδίου του μολύβδου βυθισμένες σε διάλυμα ηλεκτρολύτη θεικού οξέος. Όταν η μπαταρία αποφορτίζεται, οι πλάκες μολύβδου και οξειδίου του μολύβδου αντιδρούν με το θεικό οξύ για να παράγουν θεικό μολύβδο και νερό. Όταν η μπαταρία φορτίζεται, η διαδικασία αντιστρέφεται και ο θεικός μολύβδος και το νερό μετατρέπονται ξανά σε πλάκες μολύβδου και οξειδίου του μολύβδου και θεικό οξύ. Η μπαταρία μολύβδου-οξέος είναι γνωστή για την ικανότητά της να παρέχει υψηλό ρεύμα για σύντομες περιόδους, καθιστώντας την κατάλληλη για εφαρμογές όπως η εκκίνηση ενός κινητήρα ή η τροφοδοσία ενός περονοφόρου ανυψωτικού.
- Μπαταρίες ιόντων λιθίου: Οι μπαταρίες ιόντων λιθίου λειτουργούν μετακινώντας ιόντα λιθίου μεταξύ της καθόδου (θετικό ηλεκτρόδιο) και της ανόδου (αρνητικό ηλεκτρόδιο) μέσω ενός διαλύματος ηλεκτρολύτη. Αποτελούνται από ένα θετικό ηλεκτρόδιο (κάθοδος) κατασκευασμένο από οξείδιο μετάλλου λιθίου, ένα αρνητικό ηλεκτρόδιο (άνοδος) από γραφίτη και ένα διάλυμα ηλεκτρολύτη από άλας λιθίου διαλυμένο σε οργανικό διαλύτη. Όταν η μπαταρία αποφορτιστεί, τα ιόντα λιθίου μετακινούνται από την κάθοδο προς την άνοδο μέσω του ηλεκτρολύτη, δημιουργώντας ένα ηλεκτρικό ρεύμα. Όταν η μπαταρία φορτίζεται, η διαδικασία αντιστρέφεται και τα ιόντα λιθίου επιστρέφουν στην κάθοδο (8). Οι μπαταρίες ιόντων λιθίου είναι γνωστές για την υψηλή ενεργειακή τους πυκνότητα, καθιστώντας τις κατάλληλες για εφαρμογές όπως smartphone, φορητούς υπολογιστές και ηλεκτρικά οχήματα.
- Μπαταρίες Νικελίου-Καδμίου: Οι μπαταρίες νικελίου-καδμίου λειτουργούν μετατρέποντας τη χημική ενέργεια σε ηλεκτρική ενέργεια. Αποτελούνται από ένα θετικό ηλεκτρόδιο (κάθοδος) κατασκευασμένο από υδροξείδιο του νικελίου, ένα αρνητικό ηλεκτρόδιο (άνοδος) από κάδμιο και ένα διάλυμα αλκαλικού ηλεκτρολύτη υδροξειδίου του καλίου. Όταν η μπαταρία αποφορτίζεται, το υδροξείδιο του νικελίου αντιδρά με το κάδμιο και το υδροξείδιο του καλίου για να παράγει οξυδροξείδιο του νικελίου, υδροξείδιο του καδμίου και νερό. Όταν η μπαταρία φορτίζεται, η διαδικασία αντιστρέφεται και το οξυδροξείδιο του νικελίου, το υδροξείδιο του καδμίου και το νερό μετατρέπονται ξανά σε υδροξείδιο του νικελίου και κάδμιο (9). Οι μπαταρίες νικελίου-καδμίου είναι γνωστές για τη μεγάλη διάρκεια ζωής τους και την ικανότητά τους να παρέχουν υψηλό ρεύμα, καθιστώντας τις κατάλληλες για εφαρμογές όπως ηλεκτρικά εργαλεία και φωτισμό έκτακτης ανάγκης.
- Μπαταρίες νικελίου-υδριδίου μετάλλου: Οι μπαταρίες νικελίου-υδριδίου μετάλλου λειτουργούν με την αποθήκευση ιόντων υδρογόνου σε μια άνοδο από κράμα μετάλλου. Η μπαταρία αποτελείται από μια κάθοδο υδροξειδίου του νικελίου, μια άνοδο από κράμα που

απορροφά το υδρογόνο και ένα αλκαλικό διάλυμα ηλεκτρολύτη υδροξειδίου του καλίου. Όταν η μπαταρία αποφορτίζεται, το υδροξείδιο του νικελίου αντιδρά με το κράμα που απορροφά το υδρογόνο και το υδροξείδιο του καλίου για να παράγει οξυυδροξείδιο του νικελίου, υδρογόνο και νερό. Όταν η μπαταρία φορτίζεται, η διαδικασία αντιστρέφεται και το οξυυδροξείδιο του νικελίου, το υδρογόνο και το νερό μετατρέπονται ξανά σε υδροξείδιο του νικελίου και στο κράμα που απορροφά το υδρογόνο. Οι μπαταρίες νικελίου-υδριδίου μετάλλου είναι γνωστές για την υψηλή ενεργειακή τους πυκνότητα και το σχετικά χαμηλό κόστος τους, γεγονός που τις καθιστά κατάλληλες για εφαρμογές όπως τα υβριδικά ηλεκτρικά οχήματα και τα ασύρματα ηλεκτρικά εργαλεία (10).

Αυτά είναι μόνο μερικά παραδείγματα της χημείας πίσω από ορισμένους κοινούς τύπους μπαταριών. Κάθε τύπος μπαταρίας έχει τη δική του μοναδική χημεία, η οποία καθορίζει τα χαρακτηριστικά απόδοσης και τους περιορισμούς του.

Table 5 Τύποι μπαταριών και τα χαρακτηριστικά τους

Τύποι Μπαταριών	Πυκνότητα Ισχύος [Kw/kg]	Πυκνότητα Ενέργειας [Wh/kg]	Κύκλος Ζωής	Θερμοκρασία Λειτουργίας [°C]	Τάση Λειτουργίας [V]
Lead Acid	0.18	35-40	<350	-35-45	2.1
LTO (Li-Titanate)	3.0-5.1	50-80	3000-7000	0-45/-20-60	1.8-2.85
LFP (Li-Phosphate)	1.3-3.5	90-120	2000	0-45/-20-60	2.5-3.65
LMO (Li-Manganese)	0.25-0.4	100-150	300-700	0-45/-20-60	3.0-4.2
NMC (Li-NI-MH)	0.4-1.2	150-220	1000-2000	0-45/-20-60	3.0-4.2
LCO (Li-Cobalt)	0.8-2	150-200	500-1000	0-45/-20-60	3.0-4.2
NCA (Li-Aluminium)		200-260	500	0-45/-20-60	3.0-4.2

6.5 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα του κάθε τύπου μπαταριών

Πιο κάτω παρουσιάζονται τα κύρια πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα του κάθε τύπου μπαταρίας [62] :

Μπαταρίες μολύβδου-οξέος:

Πλεονεκτήματα:

- Χαμηλό κόστος σε σύγκριση με άλλους τύπους μπαταριών
- Μπορεί να παρέχει υψηλό ρεύμα για μικρά χρονικά διαστήματα

- Κατάλληλο για εφαρμογές όπου το βάρος δεν προκαλεί ανησυχία
- Η ανακύκλωση είναι καθιερωμένη και φιλική προς το περιβάλλον

Μειονεκτήματα:

- Χαμηλή ενεργειακή πυκνότητα σε σύγκριση με άλλους τύπους μπαταριών
- Περιορισμένη διάρκεια ζωής
- Ευαίσθητο σε ακραίες θερμοκρασίες και υπερφόρτιση
- Ο μόλυβδος είναι ένα τοξικό υλικό και η απόρριψη των χρησιμοποιημένων μπαταριών μπορεί να είναι επικίνδυνη για το περιβάλλον

Μπαταρίες ιόντων λιθίου:

Πλεονεκτήματα:

- Υψηλή ενεργειακή πυκνότητα σε σύγκριση με άλλους τύπους μπαταριών
- Μεγάλη διάρκεια ζωής
- Χαμηλός ρυθμός αυτοεκφόρτισης
- Ελαφρύς και συμπαγής σχεδιασμός Κατάλληλο για ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών, συμπεριλαμβανομένων φορητών ηλεκτρονικών και ηλεκτρικών οχημάτων

Μειονεκτήματα:

- Υψηλότερο κόστος σε σύγκριση με άλλους τύπους μπαταριών
- Ευαίσθητο σε ακραίες θερμοκρασίες και υπερφόρτιση
- Ανησυχίες για την ασφάλεια λόγω του κινδύνου θερμικής διαρροής ή έκρηξης σε περίπτωση βλάβης ή ακατάλληλης φόρτισης
- Η ανακύκλωση και η απόρριψη μπορεί να είναι δύσκολες λόγω της πιθανότητας διαρροής χημικών

Μπαταρίες Νικελίου-Καδμίου:

Πλεονεκτήματα:

- Υψηλή διάρκεια ζωής σε σύγκριση με άλλους τύπους μπαταριών
- Μπορεί να παρέχει υψηλό ρεύμα για μικρά χρονικά διαστήματα
- Ανθεκτικό σε ακραίες θερμοκρασίες
- Κατάλληλο για εφαρμογές όπου το βάρος δεν προκαλεί ανησυχία

Μειονεκτήματα:

- Χαμηλή ενεργειακή πυκνότητα σε σύγκριση με άλλους τύπους μπαταριών
- Ευαίσθητο σε υπερφόρτιση και βαθιά εκφόρτιση
- Το κάδμιο είναι ένα τοξικό υλικό και η απόρριψη των χρησιμοποιημένων μπαταριών μπορεί να είναι επικίνδυνη για το περιβάλλον
- Το εφέ μνήμης μπορεί να μειώσει την αποτελεσματική χωρητικότητα της μπαταρίας με την πάροδο του χρόνου Μπαταρίες νικελίου-υδριδίου μετάλλου:

Πλεονεκτήματα:

- Υψηλότερη ενεργειακή πυκνότητα από τις μπαταρίες νικελίου-καδμίου
- Χαμηλός ρυθμός αυτοεκφόρτισης σε σύγκριση με άλλους τύπους μπαταριών
- Μπορεί να παρέχει υψηλό ρεύμα για μικρά χρονικά διαστήματα
- Φιλικό προς το περιβάλλον σε σύγκριση με τις μπαταρίες μολύβδου-οξέος και νικελίου-καδμίου

Μειονεκτήματα:

- Χαμηλότερη ενεργειακή πυκνότητα από τις μπαταρίες ιόντων λιθίου
- Περιορισμένη διάρκεια ζωής σε σύγκριση με τις μπαταρίες ιόντων λιθίου
- Ευαίσθητο σε ακραίες θερμοκρασίες και υπερφόρτιση
- Το εφέ μνήμης μπορεί να μειώσει την αποτελεσματική χωρητικότητα της μπαταρίας με την πάροδο του χρόνου

Αυτά είναι μόνο μερικά παραδείγματα των πλεονεκτημάτων και των μειονεκτημάτων των κοινών τύπων μπαταριών. Η επιλογή του τύπου μπαταρίας εξαρτάται από τις απαιτήσεις και τους περιορισμούς της συγκεκριμένης εφαρμογής, όπως το κόστος, η ενεργειακή πυκνότητα, το βάρος, η διάρκεια ζωής του κύκλου και τα ζητήματα ασφάλειας.

6.6 Η απόδοση της μπαταρίας

Η απόδοση μιας μπαταρίας μπορεί να μετρηθεί χρησιμοποιώντας μια ποικιλία μετρήσεων, ανάλογα με τα ειδικά χαρακτηριστικά της μπαταρίας και την εφαρμογή για την οποία χρησιμοποιείται. Ακολουθούν μερικές από τις πιο κοινές μετρήσεις που χρησιμοποιούνται για την αξιολόγηση της απόδοσης της μπαταρίας [63]:

- Χωρητικότητα: Χωρητικότητα είναι η ποσότητα ηλεκτρικής ενέργειας που μπορεί να αποθηκεύσει μια μπαταρία και συνήθως μετράτε σε αμπέρ-ώρες (Ah) ή βατώρες (Wh). Η χωρητικότητα μιας μπαταρίας προσδιορίζεται τυπικά μέσω εργαστηριακών δοκιμών, κατά τις οποίες η μπαταρία φορτίζεται στη μέγιστη χωρητικότητά της και στη συνέχεια αποφορτίζεται με συγκεκριμένο ρυθμό μέχρι να φτάσει σε ένα ελάχιστο όριο τάσης.
- Ενεργειακή πυκνότητα: Η ενεργειακή πυκνότητα είναι η ποσότητα ενέργειας που μπορεί να αποθηκευτεί σε μια μπαταρία ανά μονάδα βάρους ή όγκου. Συνήθως μετριέται σε βατώρες ανά κιλό (Wh/kg) ή σε βατώρες ανά λίτρο (Wh/L). Οι μπαταρίες υψηλότερης ενεργειακής πυκνότητας προτιμώνται γενικά επειδή επιτρέπουν περισσότερη αποθήκευση ενέργειας σε μικρότερη και ελαφρύτερη συσκευασία.
- Πυκνότητα ισχύος: Η πυκνότητα ισχύος είναι η ποσότητα ισχύος που μπορεί να προσφέρει μια μπαταρία ανά μονάδα βάρους ή όγκου. Συνήθως μετριέται σε watt ανά κιλό (W/kg) ή σε watt ανά λίτρο (W/L). Οι μπαταρίες υψηλότερης πυκνότητας ισχύος γενικά προτιμώνται επειδή μπορούν να προσφέρουν περισσότερη ισχύ σε μικρότερο χρονικό διάστημα.
- Απόδοση: Η αποδοτικότητα είναι ένα μέτρο του πόσο από την ενέργεια που αποθηκεύεται σε μια μπαταρία μπορεί να μετατραπεί σε ηλεκτρική ενέργεια κατά την εκφόρτιση. Συνήθως εκφράζεται ως ποσοστό και μπορεί να επηρεαστεί από παράγοντες όπως η χημεία της μπαταρίας, η θερμοκρασία και ο ρυθμός εκφόρτισης.

- **Κύκλος ζωής:** Ο κύκλος ζωής μιας μπαταρίας αναφέρεται στον αριθμό των κύκλων φόρτισης και εκφόρτισης που μπορεί να υποστεί πριν υποβαθμιστεί σημαντικά η απόδοσή της. Συνήθως μετράτε μέσω εργαστηριακών δοκιμών, κατά τις οποίες η μπαταρία υποβάλλεται σε επαναλαμβανόμενους κύκλους φόρτισης και εκφόρτισης έως ότου η χωρητικότητά της πέσει κάτω από ένα ορισμένο όριο.
- **Εύρος θερμοκρασίας:** Το εύρος θερμοκρασίας μιας μπαταρίας αναφέρεται στο εύρος θερμοκρασιών στο οποίο μπορεί να λειτουργήσει με ασφάλεια και αποτελεσματικότητα. Οι μπαταρίες μπορεί να υποστούν υποβάθμιση της απόδοσης ή ακόμα και ζημιά εάν εκτεθούν σε θερμοκρασίες εκτός του καθορισμένου εύρους τους.

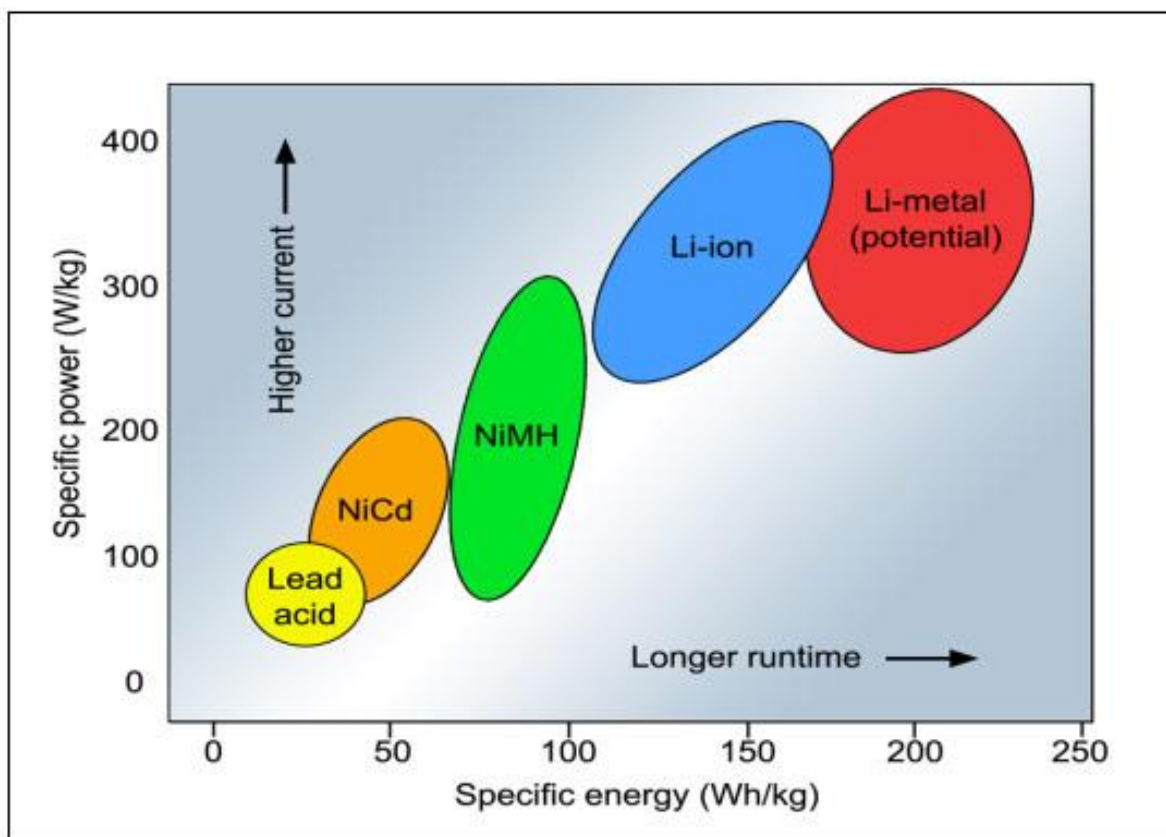
Αυτές οι μετρήσεις χρησιμοποιούνται συχνά σε συνδυασμό για να παρέχουν μια ολοκληρωμένη αξιολόγηση της απόδοσης της μπαταρίας. Μετρώντας και αναλύοντας αυτές τις μετρήσεις, οι ερευνητές και οι μηχανικοί μπορούν να βελτιστοποιήσουν τα σχέδια μπαταριών και να επιλέξουν τον καλύτερο τύπο μπαταρίας για μια δεδομένη εφαρμογή.

Στον πιο κάτω πίνακα φαίνονται κάποιες μετρήσεις σχετικά με την πυκνότητα ισχύος, την πυκνότητα ενέργειας, τον κύκλο ζωής, την θερμοκρασία λειτουργίας αλλά και την τάση λειτουργίας κάποιων τύπων μπαταριών.

Table 6 Χαρακτηριστικά Διάφορων τύπων μπαταρίας

Τύποι Μπαταριών	Πυκνότητα Ισχύος [Wh/kg]	Πυκνότητα Ενέργειας [W/kg]	Κύκλος Ζωής	Θερμοκρασία Λειτουργίας [°C]	Τάση Λειτουργίας [V]
Μόλυβδου οξέος	30-50	180-250	300-700	-20-50	2
Ιόντων λιθίου	100-265	250-3400	500-1000	-20-50	3.6-3.7
Νικελίου Καδμίου	45-80	150-300	1500	-20-50	1.2
Νικελίου Μετάλλου Υδριδίου	60-120	300-600	500-1000	-20-50	1.2

Οι πιο πάνω τιμές είναι κατά προσέγγιση και υπάρχει πιθανότητα να διαφέρουν ανάλογα με το κάθε μοντέλο μπαταρίας αλλά και τον κατασκευαστή.



Σχήμα 6.4 Τύποι Χημείας Μπαταρίας και η Ισχύς τους

6.7 Κόστος μπαταριών

Το κόστος μιας μπαταρίας μπορεί να ποικίλλει ευρέως ανάλογα με πολλούς παράγοντες, συμπεριλαμβανομένης της χημείας, του μεγέθους, της χωρητικότητας και της προβλεπόμενης χρήσης της. Γενικά, το κόστος μιας μπαταρίας καθορίζεται από το κόστος των υλικών που χρησιμοποιούνται στην κατασκευή της, καθώς και από τις διαδικασίες κατασκευής και τα γενικά έξοδα που σχετίζονται με την παραγωγή της. Επιπλέον, οι οικονομίες κλίμακας μπορούν να παίξουν ρόλο στη μείωση του κόστους των μπαταριών καθώς αυξάνονται οι όγκοι παραγωγής. Ακολουθούν ορισμένα κατά προσέγγιση εύρη κόστους για διαφορετικούς τύπους μπαταριών:

- Μπαταρίες μολύβδου-οξέος: €90-€180 ανά kWh
- Μπαταρίες νικελίου-καδμίου (NiCad): €270-€360 ανά kWh
- Μπαταρίες νικελίου-υδριδίου μετάλλου (NiMH): €180-€270 ανά kWh
- Μπαταρίες ιόντων λιθίου (Li-ion): €90-€270 ανά kWh
- Μπαταρίες λιθίου-πολυμερούς (LiPo): €270-€450 ανά kWh
- Μπαταρίες ροής: €360-€540 ανά kWh
- Μπαταρίες στερεάς κατάστασης: €450-€900 ανά kWh (επί του παρόντος σε εξέλιξη)

Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι πρόκειται για πρόχειρες εκτιμήσεις και ότι το πραγματικό κόστος μιας μπαταρίας μπορεί να ποικίλλει πολύ ανάλογα με τον συγκεκριμένο κατασκευαστή, τις συνθήκες

της αγοράς και άλλους παράγοντες. Επιπλέον, το κόστος των μπαταριών μπορεί να επηρεαστεί από κρατικά κίνητρα και επιδοτήσεις, τα οποία μπορεί να διαφέρουν πολύ μεταξύ χωρών και περιοχών. Αξίζει επίσης να σημειωθεί ότι το κόστος των μπαταριών μειώνεται σταθερά τα τελευταία χρόνια καθώς αυξάνονται οι όγκοι παραγωγής και αναπτύσσονται νέες τεχνικές κατασκευής. Αυτή η τάση αναμένεται να συνεχιστεί τα επόμενα χρόνια, καθιστώντας τις μπαταρίες όλο και πιο προσιτές και επιτρέποντας νέες εφαρμογές για αποθήκευση ενέργειας.

6.8 Εφαρμογές μπαταριών σε Ηλεκτρικά Πλοία

Οι μπαταρίες μπορούν να διαδραματίσουν βασικό ρόλο στην τροφοδοσία ηλεκτρικών πλοίων, ιδιαίτερα σε μικρότερα πλοία που λειτουργούν σε παράκτια ή εσωτερικά ύδατα.

Στα ηλεκτρικά πλοία, οι μπαταρίες χρησιμοποιούνται για την αποθήκευση ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές, όπως ηλιακά πάνελ και ανεμογεννήτριες, καθώς και από το ηλεκτρικό δίκτυο ή τις ενσωματωμένες γεννήτριες. Όταν το πλοίο βρίσκεται σε λειτουργία, η αποθηκευμένη ενέργεια μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την τροφοδοσία ηλεκτροκινητήρων που κινούν τους έλικες ή τους προωθητήρες του πλοίου. Αυτό επιτρέπει στο πλοίο να κινείται χωρίς να βασίζεται σε ορυκτά καύσιμα ή να εκπέμπει επιβλαβείς ρύπους.

Σε ορισμένες περιπτώσεις, τα ηλεκτρικά πλοία μπορεί επίσης να διαθέτουν εφεδρική γεννήτρια ντίζελ ή αερίου για την παροχή πρόσθετης ισχύος όταν χρειάζεται, αλλά ο στόχος είναι να ελαχιστοποιηθεί η χρήση αυτών των εφεδρικών συστημάτων και να βασιστούν κυρίως στην ισχύ της μπαταρίας [64].

Ένα από τα βασικά πλεονεκτήματα της χρήσης μπαταριών σε ηλεκτρικά πλοία είναι ότι μπορούν να παρέχουν μια αθόρυβη και χωρίς εκπομπές πηγή ενέργειας, καθιστώντας τις ιδανικές για εφαρμογές όπως πορθμεία, τουριστικά σκάφη και άλλα πλοία που λειτουργούν σε ευαίσθητες ή περιβαλλοντικά προστατευμένες περιοχές. Επιπλέον, τα ηλεκτρικά πλοία μπορούν να σχεδιαστούν ώστε να είναι πιο αποδοτικά από τα παραδοσιακά πλοία, με βελτιστοποιημένα σχήματα κύτους, ελαφριά υλικά και προηγμένα συστήματα ελέγχου που μειώνουν την οπισθέλκουσα και την κατανάλωση ενέργειας.

Ωστόσο, υπάρχουν επίσης ορισμένες προκλήσεις που σχετίζονται με τη χρήση μπαταριών σε ηλεκτρικά πλοία. Μία από τις κύριες προκλήσεις είναι το βάρος και το μέγεθος των μπαταριών που απαιτούνται για την αποθήκευση αρκετής ενέργειας για την τροφοδοσία ενός πλοίου για μεγάλο χρονικό διάστημα. Αυτό μπορεί να περιορίσει την εμβέλεια και την ταχύτητα του πλοίου, ιδιαίτερα σε μεγαλύτερα σκάφη. Επιπλέον, οι μπαταρίες μπορεί να είναι ακριβές και το κόστος αντικατάστασης ή αναβάθμισής τους με την πάροδο του χρόνου μπορεί να είναι σημαντικό κόστος για τους χειριστές πλοίων.

Συνολικά, η χρήση μπαταριών σε ηλεκτρικά πλοία είναι ένας ταχέως αναπτυσσόμενος τομέας, με νέες προόδους στην τεχνολογία μπαταριών, τα συστήματα διαχείρισης ενέργειας και το σχεδιασμό σκαφών που επιτρέπουν την πιο αποτελεσματική και αποτελεσματική χρήση αυτής της πολλά υποσχόμενης τεχνολογίας.

6.9 Κάποια παραδείγματα Πλοίων Που χρησιμοποιούν μπαταρίες ως κύρια πηγή ενέργειας

Υπάρχουν πολλά πλοία που χρησιμοποιούν τεχνολογία μπαταριών για να τροφοδοτήσουν ορισμένα ή όλα τα συστήματα πρόωσης τους. Ακολουθούν μερικά παραδείγματα [65]:

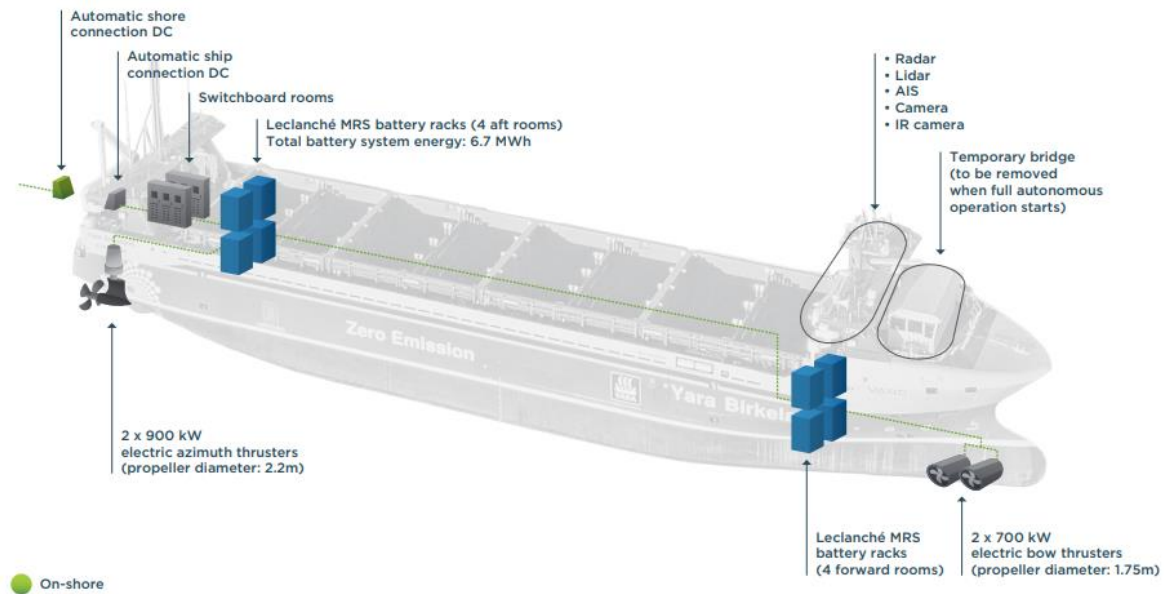
- Η νορβηγική εταιρεία κρουαζιέρας Hurtigruten αποκάλυψε τον Ιούνιο του 2023 σχέδια για ένα πρωτότυπο πλοίο μηδενικών εκπομπών ρύπων. Το ηλεκτροκίνητο κρουαζιερόπλοιο θα διαθέτει αναδιπλούμενα πανιά με ηλιακούς συλλέκτες για την αξιοποίηση της ενέργειας από τον άνεμο και τον ήλιο, ενώ θα την αποθηκεύει σε ισχυρές μπαταρίες. Η πρώτη εκδοχή του

«Sea Zero», αναμένεται να είναι το πιο ενεργειακά αποδοτικό κρουαζιερόπλοιο στον κόσμο. Η εταιρεία αποκάλυψε αρχικά το έργο τον Μάρτιο του 2023 ως μέρος της φιλοδοξίας της να γίνει ηγέτης στα βιώσιμα ταξίδια. Τα τρία αναδιπλούμενα φτερά θα αποτελούνται από 1500 m² ηλιακών συλλεκτών με συνολική επιφάνεια ανέμου 750 m². Η ανανεώσιμη ενέργεια από τα πανιά ή τη θύρα φόρτισης αποθηκεύεται στο γιγάντιο σύστημα αποθήκευσης μπαταριών 60 MWh του πλοίου. Υπάρχει ακόμη και μια ένδειξη στο πλάι του σκάφους που δείχνει τη στάθμη της μπαταρίας. Η εταιρεία λέει ότι αναζητά χημικές μπαταρίες χωρίς κοβάλτιο με ελάχιστο νικέλιο για να μειώσει το κόστος. [66]



Σχήμα 6.5 Πλοίο Sas Zero

- Το Yara Birkeland, ένα πλοίο μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων που εκμεταλλεύεται η Yara International, είναι ένα πλήρως ηλεκτρικό αυτόνομο σκάφος που τροφοδοτείται από μπαταρίες. Αναμένεται να τεθεί σε λειτουργία το 2023. Με αυτό το σκάφος, η Yara θα αφαιρεί 40.000 διαδρομές με φορτηγά που κινούνται με ντίζελ κάθε χρόνο και θα μειώσει τις εκπομπές NO_x (οξειδίο του αζώτου) και CO₂, θα βελτιώσει την οδική ασφάλεια, θα μειώσει το σχηματισμό οδικής σκόνης και τον θόρυβο της κυκλοφορίας. Το σκάφος μηδενικών εκπομπών θα μεταφέρει ορυκτά λιπάσματα από το εργοστάσιο παραγωγής της Yara στο Porsgrunn της Νορβηγίας στο περιφερειακό λιμάνι εξαγωγής στο Brevik. [67]



Σχήμα 6.6 Yara Birkeland

- Το Ellen, ένα επιβατηγό πορθμείο που εκμεταλλεύεται η Ærø Kommune, είναι ένα αμιγώς ηλεκτρικό πλοίο που τροφοδοτείται από μια μεγάλη μπαταρία. Το πλοίο λειτουργεί στη Δανία και μπορεί να ταξιδέψει έως και 22 ναυτικά μίλια με μία μόνο φόρτιση. Η Έλεν έχει μήκος λίγο λιγότερο από 60 μέτρα, έχει πλάτος περίπου 13 μέτρα και θα ταξιδέψει με ταχύτητες μεταξύ 13-15,5 κόμβων. Είναι ικανό να μεταφέρει 198 επιβάτες τους καλοκαιρινούς μήνες, με αυτή τη χωρητικότητα να πέφτει στους 147 κατά τη διάρκεια του χειμώνα. Το πλοίο μπορεί επίσης να μεταφέρει 31 αυτοκίνητα ή πέντε φορτηγά στο ανοιχτό κατάστρωμά του. Έχει χωρητικότητα 4,3 Mwh, το μεγαλύτερο πακέτο μπαταριών που έχει εγκατασταθεί αυτή τη στιγμή για θαλάσσια χρήση, είναι επίσης το πρώτο ηλεκτρικό πλοίο που δεν διαθέτει εφεδρική γεννήτρια έκτακτης ανάγκης στο πλοίο. [68]



Σχήμα 6.7 Ellen ηλεκτρικό πλοίο

- Το Ampere, ένα επιβατηγό και οχηματαγωγό που εκμεταλλεύεται η Norled, είναι ένα αμιγώς ηλεκτρικό πλοίο που τροφοδοτείται από μια μπαταρία. Το πλοίο λειτουργεί στη Νορβηγία και μπορεί να ταξιδέψει έως και 20 ναυτικά μίλια με μία μόνο φόρτιση. Το πλοίο έχει σχεδιαστεί ως καταμαράν με δύο γάστρα. Έχει μήκος 80 μέτρα και πλάτος 21 μέτρα με επτά καμπίνες πληρώματος και 140 καρέκλες. Φιλοξενεί έως και 120 αυτοκίνητα και 360 επιβάτες. Το προηγμένο σκάφος επιχειρεί σε μια διέλευση 5,7 χιλιομέτρων στο Sognefjord μεταξύ των χωριών Lavik και Orpedal. Πραγματοποιεί περίπου 34 ταξίδια την ημέρα, κάθε ταξίδι απαιτεί περίπου 20 λεπτά, εξαιρουμένων των 10 λεπτών του χρόνου φόρτωσης και εκφόρτωσης για αυτοκίνητα και επιβάτες. Το νέο φιλικό προς το περιβάλλον σκάφος μειώνει ετησίως τη χρήση ενός εκατομμυρίου λίτρων ντίζελ και αντισταθμίζει 570 τόνους διοξειδίου του άνθρακα και 15 τόνους εκπομπών οξειδίου του αζώτου σε σύγκριση με τα συμβατικά πλοία που εκτελούν δρομολόγια στην ίδια διαδρομή. Το σύστημα πρόωσης του σκάφους ενσωματώνει τεχνολογίες Siemens BluDrive PlusC. Διαθέτει δύο ενσωματωμένους ηλεκτρικούς κινητήρες 450 kW, ο ένας από τους οποίους κινεί τους προωθητήρες. Οι κινητήρες που τροφοδοτούνται από μπαταρίες ιόντων λιθίου συνολικής ισχύος 1.000 kWh και βάρους 10 τόνων.

Αυτά είναι μόνο μερικά παραδείγματα από τα πολλά ηλεκτρικά και υβριδικά ηλεκτρικά πλοία που βρίσκονται αυτή τη στιγμή σε λειτουργία ή υπό ανάπτυξη σε όλο τον κόσμο. Καθώς η τεχνολογία των μπαταριών συνεχίζει να βελτιώνεται και να γίνεται πιο οικονομική, αναμένεται ότι όλο και περισσότερα πλοία θα μεταβούν σε ηλεκτρικά και υβριδικά-ηλεκτρικά συστήματα πρόωσης τα επόμενα χρόνια.

Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι πολλά ηλεκτρικά πλοία βρίσκονται ακόμη στα πρώιμα στάδια της δημιουργίας τους και πολλές μελέτες προσπαθούν να αντιμετωπίσουν τα προβλήματα που προκαλούν τροχοπέδη στην ανάπτυξη τους. Με τις σύγχρονες τεχνολογίες, που αναπτύσσονται ραγδαία, ελπίζουμε ότι αυτές οι μελέτες θα αποδώσουν καρπούς σύντομα, για ένα καλύτερο μέλλον, με λιγότερους ρύπους και καλύτερη υγεία για όλους.

Table 7 Πληροφορίες σχετικά με τα χαρακτηριστικά διάφορων τύπων μπαταριών

Specific energy (Wh/kg)	30–50	45–80	60–120	150–250	100–150	90–120
Internal resistance	Very Low	Very low	Low	Moderate	Low	Very low
Cycle life² (80% DoD)	200–300	1,000 ³	300–500 ³	500–1,000	500–1,000	1,000–2,000
Charge time⁴	8–16h	1–2h	2–4h	2–4h	1–2h	1–2h
Overcharge tolerance	High	Moderate	Low	Low. No trickle charge		
Self-discharge/ month (room temp)	5%	20% ⁵	30% ⁵	<5% Protection circuit consumes 3%/month		
Cell voltage (nominal)	2V	1.2V ⁶	1.2V ⁶	3.6V ⁷	3.7V ⁷	3.2–3.3V
Charge cutoff voltage (V/cell)	2.40 Float 2.25	Full charge detection by voltage signature		4.20 typical Some go to higher V		3.60
Discharge cutoff voltage (V/cell, 1C)	1.75V	1.00V		2.50–3.00V		2.50V
Peak load current Best result	5C ⁸ 0.2C	20C 1C	5C 0.5C	2C <1C	>30C <10C	>30C <10C
Charge temperature	–20 to 50°C (–4 to 122°F)	0 to 45°C (32 to 113°F)		0 to 45°C ⁹ (32 to 113°F)		
Discharge temperature	–20 to 50°C (–4 to 122°F)	–20 to 65°C (–4 to 149°F)		–20 to 60°C (–4 to 140°F)		
Maintenance requirement	3–6 months ¹⁰ (toping chg.)	Full discharge every 90 days when in full use		Maintenance-free		
Safety requirements	Thermally stable	Thermally stable, fuse protection		Protection circuit mandatory ¹¹		
In use since	Late 1800s	1950	1990	1991	1996	1999
Toxicity	Very high	Very high	Low	Low		
Coulombic efficiency¹²	~90%	~70% slow charge ~90% fast charge		99%		
Cost	Low	Moderate		High ¹³		

6°

7^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ

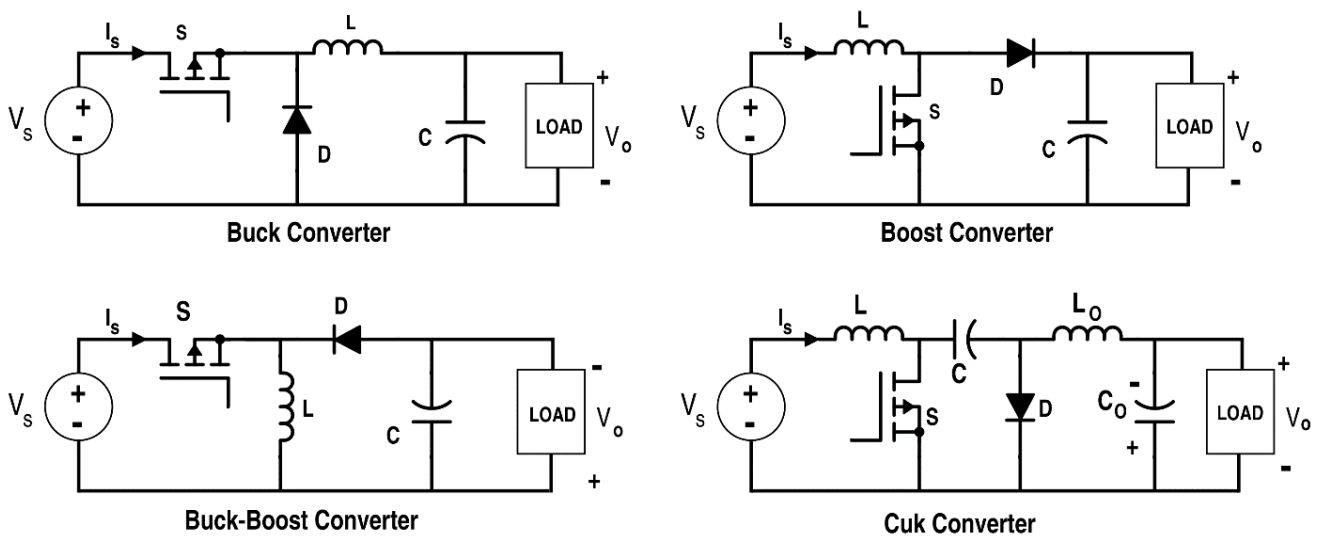
7 DC-DC Μετατροπείς

7.1 Εισαγωγή

Οι μετατροπείς DC-DC, επίσης γνωστοί ως μετατροπείς ισχύος διακόπτη, είναι ηλεκτρονικά κυκλώματα που χρησιμοποιούνται για τη μετατροπή μιας τάσης συνεχούς ρεύματος σε ένα επίπεδο σε μια τάση συνεχούς ρεύματος σε διαφορετικό επίπεδο. Χρησιμοποιούνται ευρέως σε μια ποικιλία ηλεκτρονικών εφαρμογών όπου είναι απαραίτητο να αυξηθεί ή να μειωθεί ένα επίπεδο τάσης DC, όπως σε τροφοδοτικά για ηλεκτρονικές συσκευές, συστήματα που τροφοδοτούνται από μπαταρίες και συστήματα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.

Η υψηλή αποδοτικότητα είναι πρωταρχικής σημασίας σε ένα κύκλωμα μετατροπέα. Ο ιδανικός μετατροπέας έχει απόδοση 100% αλλά σε πραγματικές συνθήκες η απόδοση των μετατροπέων κυμαίνεται από 70% μέχρι και 95%.

Οι μετατροπείς DC-DC λειτουργούν χρησιμοποιώντας ένα κύκλωμα μεταγωγής για τη μεταφορά ενέργειας από την τάση εισόδου στην τάση εξόδου. Αυτό το κύκλωμα μεταγωγής αποτελείται συνήθως από έναν διακόπτη ημιαγωγού, όπως ένα τρανζίστορ, το οποίο ενεργοποιείται και απενεργοποιείται με υψηλή συχνότητα. Το σήμα αυτό φιλτράρεται και παράγεται μια ομαλή τάση εξόδου DC στο επιθυμητό επίπεδο [69].



Σχήμα 7.1 Κυκλωματική Περιγραφή DC/DC μετατροπέων

Το Σχήμα 7.1 λήφθηκε από το άρθρο [70]

7.2 Χρησιμότητα

Οι μετατροπείς DC-DC χρησιμοποιούνται σε μια μεγάλη ποικιλία ηλεκτρονικών εφαρμογών λόγω του ότι επιτρέπουν την αποτελεσματική και αξιόπιστη μετατροπή του επιπέδου της DC τάσης. Οι βασικοί λόγοι χρήσης των μετατροπέων παρουσιάζονται στην συνέχεια [71]:

- Ρύθμιση τάσης: Οι μετατροπείς DC-DC μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη ρύθμιση της τάσης εξόδου σε ένα συγκεκριμένο επίπεδο, ανεξάρτητα από τις αλλαγές στην τάση εισόδου

ή το ρεύμα φορτίου. Αυτό είναι απαραίτητο για ηλεκτρονικές συσκευές που απαιτούν σταθερή τάση καθώς και σταθερή παροχή ρεύματος.

- Απόδοση: Με την χρήση DC-DC μετατροπέων έχουμε μεγαλύτερη απόδοση έναντι σε άλλες τεχνικές όπως είναι οι γραμμικοί ρυθμιστές. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι οι DC-DC μετατροπείς χρησιμοποιούν ένα κύκλωμα μεταγωγής για τη μετατροπή της τάσης, το οποίο μειώνει σημαντικά την ποσότητα της σπατάλης ενέργειας. Σε αντίθεση με τους γραμμικούς ρυθμιστές, οι οποίοι διαχέουν την υπερβολική ισχύ ως θερμότητα.
- Ευελιξία: Οι DC-DC μετατροπείς παρέχουν επίσης την δυνατότητα μεταφοράς ενός ευρύ φάσματος τάσεων εισόδου σε συγκεκριμένο επίπεδο τάσης εξόδου με αρκετά καλή προσέγγιση. Αυτό τα καθιστά χρήσιμα σε μια ποικιλία εφαρμογών όπου η τάση εισόδου μπορεί να ποικίλλει, όπως συστήματα που τροφοδοτούνται από μπαταρίες ή συστήματα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.
- Μέγεθος και βάρος: Οι DC-DC μετατροπείς είναι συχνά μικρότεροι και ελαφρύτεροι από τους γραμμικούς ρυθμιστές, γεγονός που τους καθιστά χρήσιμους σε φορητές εφαρμογές.
- Απομόνωση: Ορισμένοι τύποι μετατροπέων DC-DC, όπως μετατροπείς flyback ή απομονωμένοι μετατροπείς προς τα εμπρός, παρέχουν ηλεκτρική απομόνωση μεταξύ της εισόδου και της εξόδου. Αυτό οφείλετε στα τρανζίστορ και στις διόδους όπου συχνά χρησιμοποιούνται και είναι εξαιρετικά χρήσιμο σε εφαρμογές όπου υπάρχει κίνδυνος ηλεκτροπληξίας ή παρεμβολής.

7.3 Κύριοι τύποι Μετατροπέων

Υπάρχουν μια μεγάλη ποικιλία σε τύπους DC-DC μετατροπέων, καθένας από αυτούς υπερτερεί σε διαφορετικά σημεία. Στην συνέχεια θα γίνει αναφορά στους μετατροπείς οι οποίοι είναι πιο ευρέως γνωστή της παρούσα χρονική [72]:

1. Μετατροπέας Buck: Ο μετατροπέας buck είναι ένας τύπος μετατροπέα βαθμίδας που μετατρέπει μια υψηλότερη τάση εισόδου σε μια χαμηλότερη τάση εξόδου. Είναι ένας απλός και αποδοτικός μετατροπέας που χρησιμοποιείται συνήθως σε τροφοδοτικά και εφαρμογές ελέγχου κινητήρα DC. Ένας μετατροπέας buck χρησιμοποιεί έναν διακόπτη (συνήθως ένα MOSFET) για να συνδέσει την τάση εισόδου σε έναν επαγωγέα. Το πηνίο αποθηκεύει ενέργεια και την απελευθερώνει στον πυκνωτή εξόδου όταν ο διακόπτης είναι ανοιχτός. Η τάση εξόδου ρυθμίζεται μεταβάλλοντας τον κύκλο λειτουργίας του διακόπτη.
2. Μετατροπέας boost: Ο μετατροπέας boost είναι ένας τύπος μετατροπέα ενίσχυσης που μετατρέπει μια χαμηλότερη τάση εισόδου σε μια υψηλότερη τάση εξόδου. Χρησιμοποιείται συνήθως σε εφαρμογές όπως συσκευές με μπαταρία και προγράμματα οδήγησης LED. Ένας μετατροπέας boost χρησιμοποιεί έναν διακόπτη (συνήθως ένα MOSFET) για να συνδέσει την τάση εισόδου σε έναν επαγωγέα. Το πηνίο αποθηκεύει ενέργεια και την απελευθερώνει στον πυκνωτή εξόδου όταν ο διακόπτης είναι ανοιχτός. Η τάση εξόδου ρυθμίζεται μεταβάλλοντας τον κύκλο λειτουργίας του διακόπτη.
3. Μετατροπέας buck-boost: Ένας μετατροπέας buck-boost μπορεί είτε να αυξήσει είτε να μειώσει την τάση εισόδου, ανάλογα με το βαθμό χρησιμότητα D , όπως θα επεξηγηθεί και στο ακόλουθο ΥΠΟ κεφάλαιο. Χρησιμοποιείται συνήθως σε εφαρμογές όπου η τάση εισόδου μπορεί να ποικίλλει, όπως σε συστήματα που τροφοδοτούνται από μπαταρίες. Ένας μετατροπέας buck-boost χρησιμοποιεί τόσο έναν μετατροπέα buck όσο και έναν μετατροπέα ενίσχυσης σε συνδυασμό για να παρέχει μετατροπή τάσης ανόδου και μείωσης. Η τάση εξόδου ρυθμίζεται μεταβάλλοντας τον κύκλο λειτουργίας του διακόπτη.

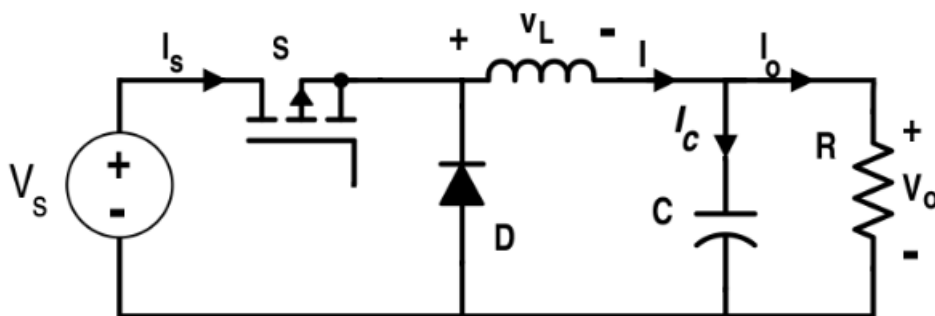
4. Μετατροπέας Flyback: Ο μετατροπέας flyback είναι ένας τύπος απομονωμένου μετατροπέα που χρησιμοποιεί έναν μετασχηματιστή για να παρέχει γαλβανική απομόνωση μεταξύ της εισόδου και της εξόδου. Χρησιμοποιείται συνήθως σε εφαρμογές χαμηλής κατανάλωσης, όπως μικρές συσκευές, προγράμματα οδήγησης LED και φορτιστές. Ένας μετατροπέας Flyback χρησιμοποιεί έναν μετασχηματιστή για να παρέχει γαλβανική απομόνωση μεταξύ της εισόδου και της εξόδου. Η τάση εισόδου αποθηκεύεται στον μετασχηματιστή όταν ο διακόπτης είναι κλειστός και στη συνέχεια απελευθερώνεται στην έξοδο όταν ο διακόπτης είναι ανοιχτός. Η τάση εξόδου ρυθμίζεται μεταβάλλοντας τον κύκλο λειτουργίας του διακόπτη.
5. Μετατροπέας Forward: Ένας μετατροπέας forward είναι ένας άλλος τύπος απομονωμένου μετατροπέα που χρησιμοποιεί έναν μετασχηματιστή για την παροχή γαλβανικής απομόνωσης. Χρησιμοποιείται συνήθως σε εφαρμογές μέσης έως υψηλής ισχύος, όπως βιομηχανικός εξοπλισμός, τηλεπικοινωνίες και ιατρικές συσκευές. Ένας μετατροπέας forward χρησιμοποιεί επίσης έναν μετασχηματιστή για να παρέχει γαλβανική απομόνωση μεταξύ της εισόδου και της εξόδου. Η τάση εισόδου εφαρμόζεται στην κύρια περιέλιξη του μετασχηματιστή και στη συνέχεια μεταφέρεται στη δευτερεύουσα περιέλιξη για να παρέχει την τάση εξόδου. Η τάση εξόδου ρυθμίζεται ελέγχοντας το ρεύμα εισόδου στον μετασχηματιστή.
6. Μετατροπέας Cuk: Ο μετατροπέας Cuk είναι ένας τύπος μετατροπέα DC-DC που παρέχει μετατροπή τάσης ανόδου και μείωσης. Χρησιμοποιείται συνήθως σε εφαρμογές όπου απαιτείται υψηλή απόδοση και ρύθμιση τάσης. Ένας μετατροπέας Cuk χρησιμοποιεί έναν πυκνωτή για την παροχή αποθήκευσης ενέργειας, εκτός από έναν επαγωγέα και έναν διακόπτη. Η τάση εξόδου ρυθμίζεται μεταβάλλοντας τον κύκλο λειτουργίας του διακόπτη.

Αυτά είναι μερικά μόνο παραδείγματα των πολλών τύπων διαθέσιμων μετατροπέων DC-DC. Η επιλογή του τύπου μετατροπέα εξαρτάται από τις συγκεκριμένες απαιτήσεις εφαρμογής, όπως τα επίπεδα τάσης εισόδου και εξόδου, το επίπεδο ισχύος, την απόδοση και το μέγεθος.

7.4 Μαθηματικό υπόβαθρο των DC-DC μετατροπέων:

Θα ακολουθήσει μία σύντομη επεξήγηση του θεωρητικού υποβάθρου για τα βασικά είδη DC/DC μετατροπέων. Κάθε μετατροπέας ανάλογα με τον τρόπο κατασκευής του όπως είναι αναμενόμενο έχει και το αντίστοιχο μαθηματικό μοντέλο. Μερικά παραδείγματα [73]:

- Μετατροπέας Buck:



Σχήμα 7.2 Μετατροπέας Buck

Ο μετατροπέας buck αποτελείται από μια παροχή DC ή μια ανορθωμένη έξοδο εναλλασσόμενου ρεύματος, δύο διακόπτες δηλ. D (δίοδος) και S (μπορεί να είναι ημιελεγχόμενη πλήρως ελεγχόμενοι διακόπτες ηλεκτρονικών ισχύος) για τον οποίο στην περίπτωση του Σχήμα 7.2 χρησιμοποιείτε ένα

μόσφειτ τρανζίστορ, διπολική χαμηλή διέλευση φίλτρον (L και C) και ένα φορτίο όπως φαίνεται και από το Σχήμα 7.2. Με το συμβολισμό D συμβολίζουμε τον κύκλος λειτουργίας του μετατροπέα ή αλλιώς βαθμό χρησιμότητας και είναι το πηλίκο της χρονικής περιόδου όπου είναι ενεργοποιημένος ο μετατροπέας (Ton) δια του συνολικού περιοδικού χρόνου (T), δηλαδή το άθροισμα του χρόνου όπου ο διακόπτης S είναι ενεργοποιημένος (Ton) + το άθροισμα του χρόνου όπου ο διακόπτης S είναι απενεργοποιημένος (Toff).

$$D = \frac{T_{on}}{T} \quad (19.)$$

$$T = T_{on} + T_{off} \quad (20.)$$

Ο μετατροπέας Buck χρησιμοποιείται ως επί το πλείστον για συστήματα μονάδων DC, π.χ. ηλεκτρικά οχήματα, ηλεκτρική έλξη και εργαλειομηχανές.

Αυτό το κύκλωμα μπορεί να μελετηθεί με δύο διαφορετικούς τρόπους. Η πρώτη λειτουργία είναι όταν ο διακόπτης S είναι ενεργοποιημένος ενώ η δεύτερη λειτουργία είναι όταν ο διακόπτης S είναι απενεργοποιημένος.

Στην πρώτη περίπτωση όπου ο διακόπτης είναι ενεργοποιημένος το τρανζίστορ θεωρητικά λειτουργεί σαν βραχυκύκλωμα (Ton). Συνεπώς το ρεύμα Is περνά ατόφιο στο drain του. Σε αυτή την κατάσταση λειτουργίας δεν διαρρέει καθόλου ρεύμα την δίοδο => Id=0 Σε αυτή την κατάσταση λειτουργίας έχουμε από της κυκλωματικές εξισώσεις του πηνίου:

$$V_L = L \frac{dI}{dt} \quad (21.)$$

Και από τον νόμο του Ohm:

$$V_o = R * I_o = V_c \quad (22.)$$

Χρησιμοποιώντας ένα απλό νόμο τάσεων Kirchoff υπολογίζουμε ότι:

$$V_s = V_L + V_o = L \frac{dI}{dt} + V_c \quad (23.)$$

Στην δεύτερη περίπτωση όταν ο τον διακόπτης S είναι απενεργοποιημένος (Toff), συνεπώς το τρανζίστορ θα λειτουργεί σαν ανοιχτοκύκλωμα. Σε αυτή ην περίπτωση το ρεύμα Is=0 και όλο το ρεύμα εξόδου επιστρέφει από την δίοδο έχουμε ότι:

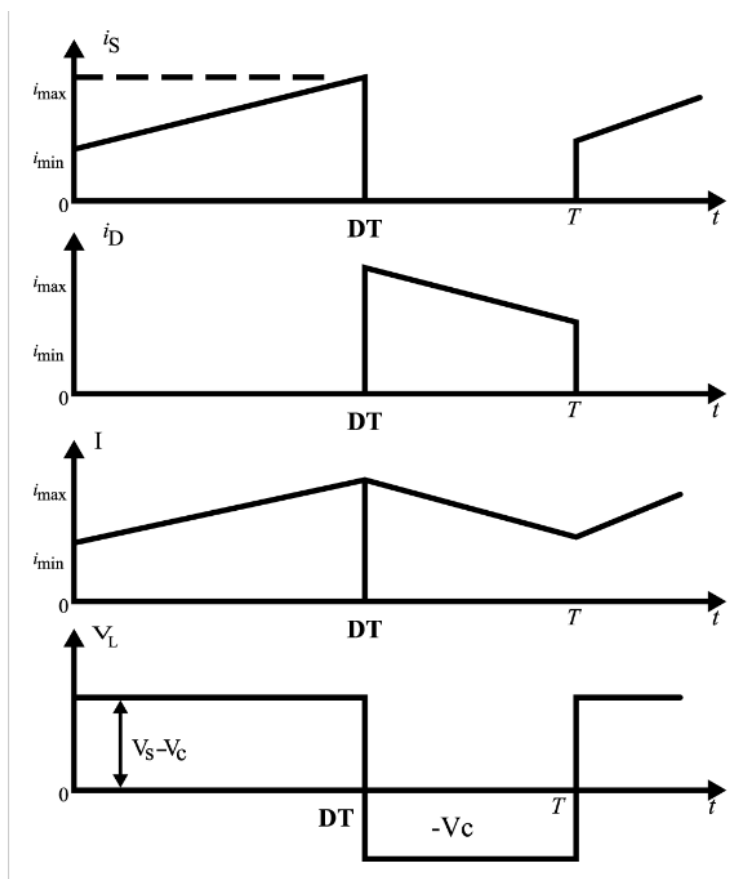
$$0 = V_L + V_o \quad (24.)$$

Συνεπώς:

$$V_o = -L \frac{dI}{dt} = \text{σταθερό} \quad (25.)$$

Η τάση αυτή θεωρητικά παραμένει σταθερή λόγω της μεγάλης ταχύτητας με την οποία ανοιγοκλείνει ο διακόπτης S, αλλά λόγω των απωλειών όπου υπάρχουν πρακτικά παρατηρείτε και από το Σχήμα 7.3 ότι αυτή η τιμή μειώνεται.

Τα αποτελέσματα αυτά παρουσιάζονται στο Σχήμα 7.3 όπου παρουσιάζονται οι γραφικές παραστάσεις για το κάθε ρεύμα καθώς και για την τάση η οποία καταναλώνεται στο πηνίο για κάθε χρονική περίοδο. Στο σχήμα αυτό αρχικά ο διακόπτης S είναι ενεργοποιημένος μέχρι την χρονική στιγμή $DT=Ton$ και είναι απενεργοποιημένος για χρονική περίοδο $Toff$



Σχήμα 7.3 Ρεύμα τροφοδοσίας, ρεύμα διόδου, ρεύμα επαγωγής, τάση επαγωγής με σειρά για τον μετατροπέα Buck

Λόγω της μεγάλης ταχύτητας με την οποία ανοιγοκλείνει ο διακόπτης S έχουμε τις προσεγγιστικές εξισώσεις:

$$(I_{max} - I_{min})_{\text{Switch - on}} = D * T \frac{V_s - V_o}{L} \quad (26.)$$

Και

$$(I_{max} - I_{min})_{\text{Switch - off}} = -(1 - D * T) \frac{V_o}{L} \quad (27.)$$

Όπου η εξίσωση 26 αντιστοιχεί στην χρονική περίοδο κατά την οποία ο διακόπτης είναι ανοικτός και η εξίσωση 27 αντιστοιχεί στην χρονική περίοδο κατά την οποία ο διακόπτης είναι κλειστός.

Σε σταθερή κατάσταση, το ρεύμα επαγωγής κατά τη διάρκεια που ο διακόπτης είναι κλειστός ισούται με το ρεύμα επαγωγής κατά τη χρονική περίοδο που ο διακόπτης είναι ανοικτός.

$$\left| -(1 - D * T) \frac{V_o}{L} \right| = \left| D * T \frac{V_s - V_o}{L} \right| \quad (28.)$$

$V_s \geq V_o$ για κάθε περίπτωση και $1 > D * T$ συνεπώς έχουμε ότι:

$$(1 - D * T) \frac{V_o}{L} = D * T \frac{V_s - V_o}{L} \quad (29.)$$

Με την επίλυση μερικών απλών πράξεων καταλήγουμε στο τελικό μας αποτέλεσμα όπου είναι:

$$V_o = D * V_s \quad (30.)$$

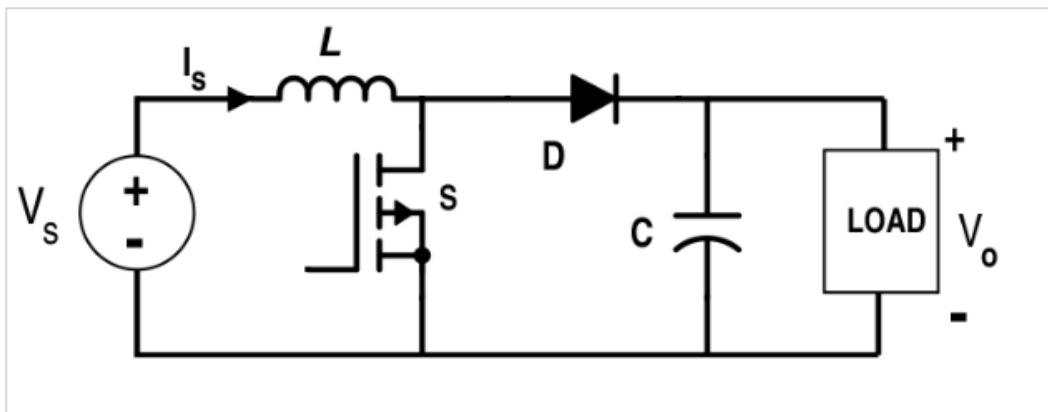
V_o είναι η τάση εξόδου

V_s είναι η τάση εισόδου

Συνεπώς το ρεύμα εξόδου ενός μετατροπέα buck δίνεται από:

$$I_o = \frac{D * V_o}{R} \quad (31.)$$

- Μετατροπέας boost:



Σχήμα 7.4 Μετατροπέας boost

Κατά τη χρονική περίοδο όπου ο διακόπτης S είναι κλειστός έχουμε ότι:

$$V_s = VL \quad (32.)$$

$$L \frac{di}{dt} = V_s = \text{σταθερή τάση τροφοδοσίας} \quad (33.)$$

Όταν ο διακόπτης είναι κλειστός το τρανζίστορ λειτουργεί σαν βραχυκύκλωμα άρα όλο το ρεύμα ρέει δια μέσου του τρανζίστορ και δεν περνά καθόλου ρεύμα από την διόδο, συνεπώς το ρεύμα της διόδου είναι μηδενικό. Η τάση της πηγής ισούται με την τάση του πηνίου λόγω του νόμου τάσης Kirchoff.

Όταν ο διακόπτης S είναι ανοικτός όλο το ρεύμα περνά από την διόδο $I_s = I_D$ και με την χρήση του νόμου τάσεων Kirchoff βρίσκουμε:

$$V_s = VL + V_c \quad (34.)$$

Λόγω της εξίσωσης που περιγράφει την τάση στα άκρα του πηνίου συναρτήσει του ρεύματος, η τάση της πηγής ισούται με

$$L \frac{di}{dt} = V_s - V_c \quad (35.)$$

$$\frac{di}{dt} = \frac{(V_s - V_c)}{L} \quad (36.)$$

$$\frac{di}{dt} = \frac{(V_s - V_c)}{L} \quad (37.)$$

Σε αυτή την περίπτωση το ρεύμα μειώνεται και πρέπει να φτάσει σε μια τιμή ίση με την τιμή του ρεύματος στην αρχική κατάσταση όπου ο διακόπτης S είναι κλειστός, όπως φαίνεται και στο Σχήμα 7.5.

Όταν ο διακόπτης είναι ανοικτός, οι τιμές της αύξησης του ρεύματος περιγράφονται ως εξής:

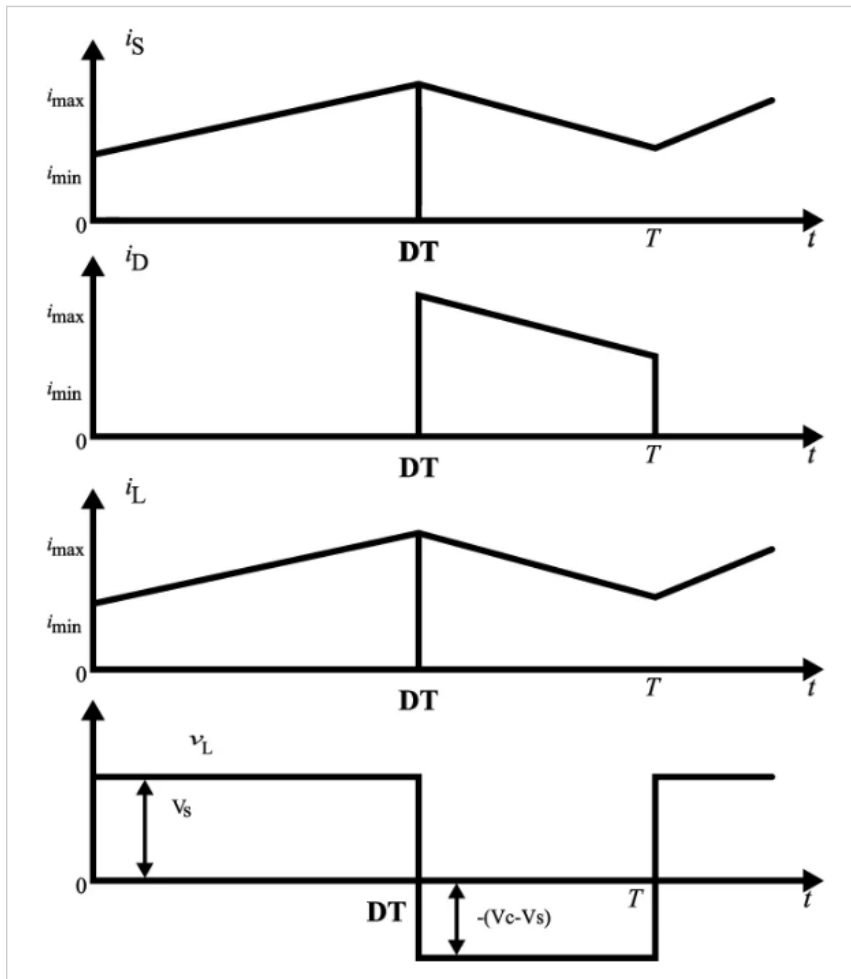
$$(I_{\max} - I_{\min})_{\text{Switch - on}} = \frac{V_s}{L} DT \quad (38.)$$

$$(I_{\max} - I_{\min})_{\text{Switch - off}} = \frac{V_s - V_c}{L} (1 - D)T \quad (39.)$$

Σε σταθερή κατάσταση έχουμε $|(I_{\max} - I_{\min})_{\text{Switch - off}}| = |(I_{\max} - I_{\min})_{\text{Switch - on}}|$ και συνεπώς προκύπτει:

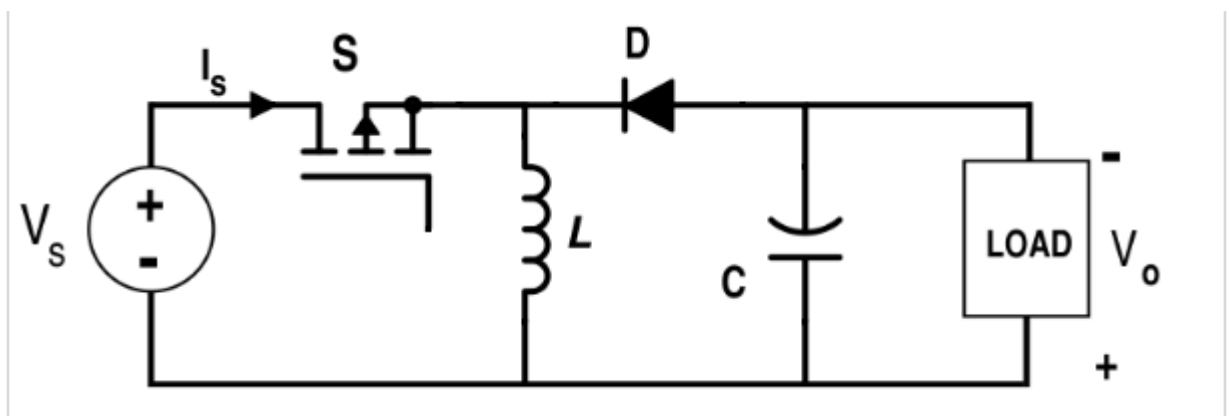
$$V_o = V_c = \frac{V_s}{1 - D} \quad (40.)$$

Στο ακόλουθο Σχήμα 7.5 παρουσιάζονται οι γραφικές παραστάσεις για το κάθε ρεύμα καθώς και για την τάση η οποία καταναλώνεται στο πηνίο για κάθε χρονική περίοδο. Στο σχήμα αυτό αρχικά ο διακόπτης S είναι ενεργοποιημένος μέχρι την χρονική στιγμή $DT = T_{\text{on}}$ και είναι απενεργοποιημένος για χρονική περίοδο T_{off} .



Σχήμα 7.5 Ρεύμα τροφοδοσίας, ρεύμα διόδου, ρεύμα επαγωγής, τάση επαγωγής με σειρά για τον μετατροπέα Boost

- Μετατροπέας buck-boost



Σχήμα 7.6 Μετατροπέας Buck Boost

Κατά τη χρονική περίοδο που διακόπτης S είναι κλειστός συνεπώς το τρανζίστορ λειτουργεί ως βραχυκύκλωμα, εάν θεωρήσουμε ότι ο πυκνωτής είναι πλήρως φορτισμένος, έχουμε ότι:

Για τη αριστερή μεριά του κυκλώματος όπου αποκόπτεται η επικοινωνία της με το υπόλοιπο κύκλωμα λόγω της διόδου, μας απομένει η πηγή τάσης είναι συνδεδεμένη παράλληλα με το πηνίο:

$$-V_s + V_L = 0 \quad (41.)$$

$$\Rightarrow V_s = V_L = L \frac{di}{dt} \quad (42.)$$

Για την δεξιά μεριά του κυκλώματος όπου το φορτίο είναι παράλληλα συνδεδεμένο με τον πυκνωτή:

$$-V_c + V_o = 0 \Rightarrow V_o = V_c \quad (43.)$$

Κατά τη χρονική περίοδο στην οποία ο διακόπτης S είναι ανοικτός, συνεπώς αποκόπτεται η πηγή τάσης από το υπόλοιπο κύκλωμα, δηλαδή μας απομένει μία παράλληλη συνδεσμολογία πυκνωτή, πηνίου και φορτίου, έχουμε ότι:

$$V_L + V_c = 0 \quad (44.)$$

$$L \frac{di}{dt} + V_c = 0 \Rightarrow \frac{di}{dt} = -\frac{V_c}{L} \quad (45.)$$

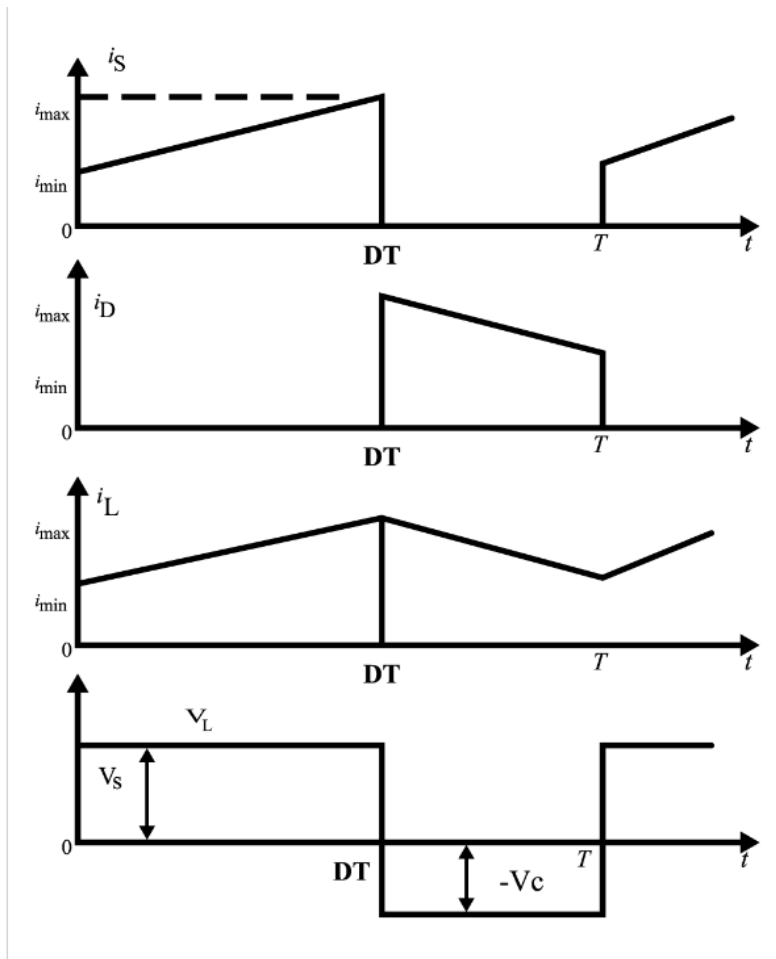
Όταν ο διακόπτης S είναι κλειστός έχουμε αύξηση του ρεύματος του επαγωγέα, άρα έχουμε

$$I_{max} - I_{min} = \frac{V_s}{L} DT \quad (46.)$$

Ενώ όταν ο διακόπτης S είναι ανοικτός, έχουμε μείωση του ρεύματος του επαγωγέα

$$I_{max} - I_{min} = -\frac{V_c}{L} (1 - D)T \quad (47.)$$

Οι κυματομορφές των ρευμάτων και τάσεων του μετατροπέα Buck boost φαίνονται στο Σχήμα 7.7



Σχήμα 7.7 Ρεύμα τροφοδοσίας, ρεύμα διόδου, ρεύμα επαγωγής, τάση επαγωγής με σειρά για τον μετατροπέα Buck Boost

Και πάλι με τον ανάλογο τρόπο υπολογίζεται η τάση εξόδου ενός μετατροπέα buck-boost:

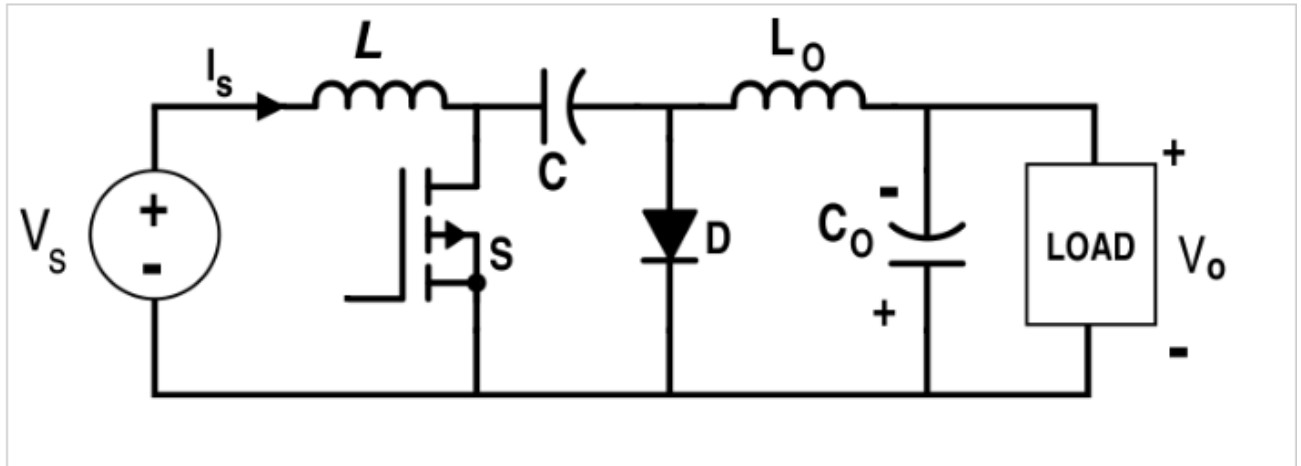
$$V_c = V_o = \frac{D}{1-D} V_s \quad (48.)$$

Όπως έχει αναφερθεί στο ΥΠΟ κεφάλαιο 7.3 η τιμή της τάση του μετατροπέα buck-boost από τον κύκλο λειτουργίας του μετατροπέα για κύκλο λειτουργίας $D < 0,5$ έχουμε υποβιβασμό τάσης ενώ για $D > 0,5$ έχουμε ανύψωση. Αυτό συνεπάγεται ότι αν ο χρόνος λειτουργίας του μετατροπέα T_{on} είναι μεγαλύτερος από τον χρόνο όπου ο μετατροπέας είναι απενεργοποιημένος T_{off} έχουμε ανύψωση ενώ για $T_{on} < T_{off}$ υποβιβασμό.

Το ρεύμα εξόδου ενός μετατροπέα buck-boost εξαρτάται από διάφορους παράγοντες και είναι αρκετά συνθέτη ο ακριβής του υπολογισμός .

- Μετατροπέας Cuk

Ένας μετατροπέας Cuk μπορεί να ληφθεί με τη διαδοχή του μετατροπέα boost ακολουθούμενο από τον μετατροπέα buck. Έχει επίσης αρνητική πολικότητα εξόδου όπως στην περίπτωση του απλού μετατροπέα buck-boost. Αλλά έχουμε υποθέσει εδώ ότι η πολικότητα της εξόδου είναι θετική



Σχήμα 7.8 Μετατροπέας Cuk

Ο πυκνωτής φορτίζεται μέχρι τη χρονική στιγμή $(1-D)T = T_{off}$

Όταν ο διακόπτης S είναι κλειστός, οι εξισώσεις που χαρακτηρίζουν την τάση και το ρεύμα είναι:

$$V_s = V_L \quad (49.)$$

$$\frac{di}{dt} = \frac{V_s}{L} \quad (50.)$$

Συνεπώς κατά την χρονική στιγμή όπου ο διακόπτης θα ανοίξει DT έχουμε ότι:

$$I_{max} - I_{min} = \Delta I_L = V_s * \frac{DT}{L} \quad (51.)$$

Όσο αφορά το δεξιό υποκύκλωμα για τον με την χρήση του νόμου τάσεων Kirchoff:

$$V_c + V_{L_o} + V_o = 0 \quad (52.)$$

Συνεπώς αν αντικαταστήσουμε την τάση του πηνίου με την χρονομεταβαλλόμενη εξίσωση του πηνίου συνάρτηση του ρεύματος έχουμε:

$$\frac{dI_{L_o}}{dt} = \frac{1}{L} (V_c + V_o) \quad (53.)$$

Όπου προκύπτει ότι:

$$I_{max} - I_{min} = \frac{1}{L} (V_c + V_o) * \frac{DT}{L} \quad (54.)$$

Εάν οι πολικότητες V_c και V_{C_o} είναι στην αντίστροφη κατεύθυνση του βρόχου που εξετάζεται και το ρεύμα πρέπει να αυξηθεί, το ρεύμα πρέπει στην πραγματικότητα να αυξηθεί προς την αντίθετη κατεύθυνση από την υποτιθέμενη κατεύθυνση.

Όταν ο διακόπτης S είναι ανοικτός τότε έχουμε:

$$-V_s + V_L + V_c = 0 \quad (55.)$$

Συνεπώς συνάρτηση του ρεύματος :

$$\frac{di}{dt} = \frac{-(Vc - Vs)}{L} \text{ το ρεύμα μειώνεται} \quad (56.)$$

Συνεπώς για την χρονική περίοδο λίγο πριν κλήση ο διακόπτης S,(1-D)T έχουμε ότι:

$$I_{max} - I_{min} = \frac{-(Vc-Vs)}{L} (1 - D)T \quad (57.)$$

Για τον επαγωγές L_o έχουμε:

$$V_{Lo} - V_{co} = 0 \quad (58.)$$

Συνεπώς συνάρτηση του ρεύματος έχουμε ότι:

$$\frac{dI_{Lo}}{dt} = \frac{V_{co}}{L} = \frac{V_o}{L} \text{ το ρεύμα μειώνεται} \quad (59.)$$

Συνεπάγεται ότι:

$$I_{max} - I_{min} = \frac{-(V_o)}{L} (1 - D)T \quad (60.)$$

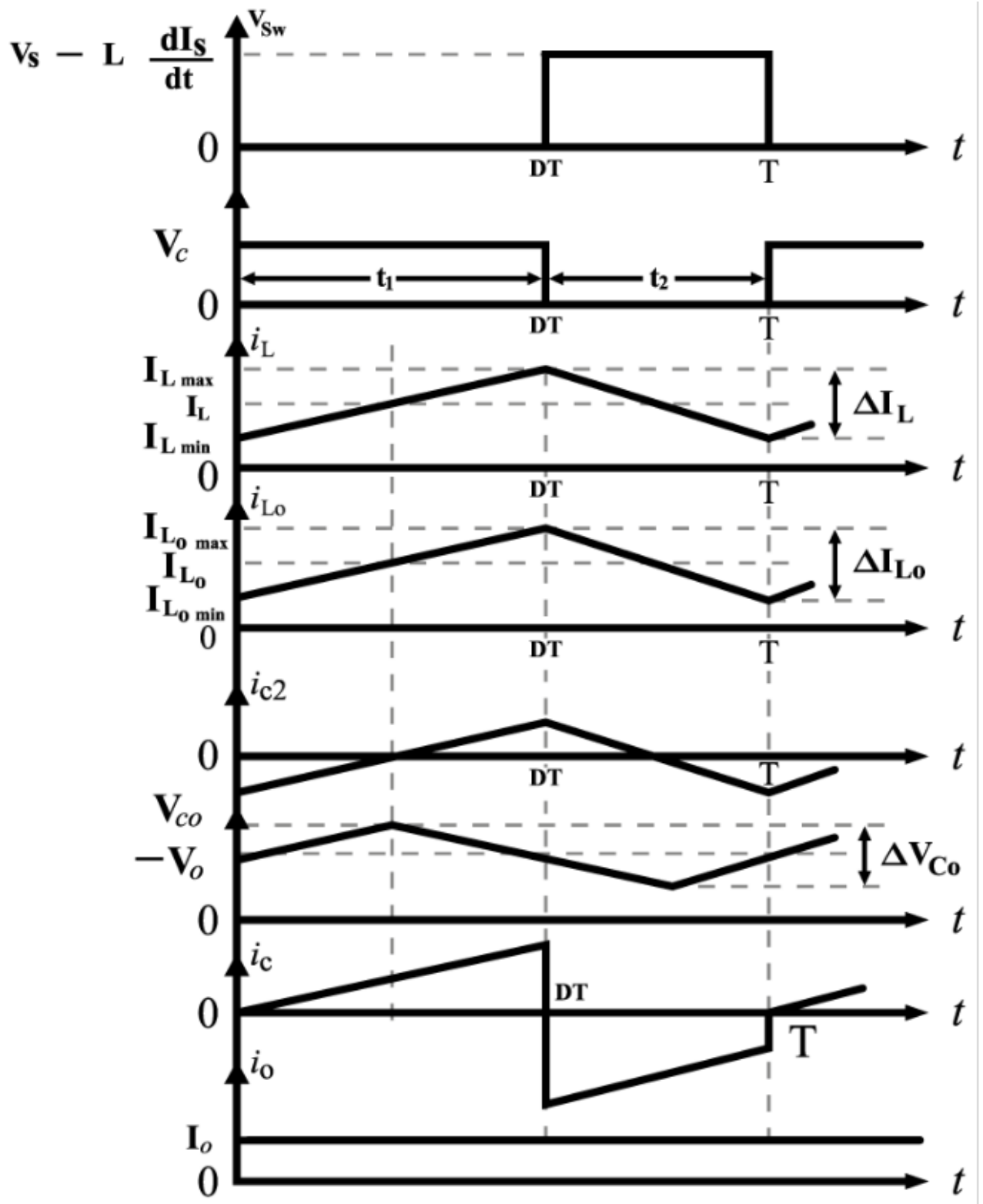
Το ρεύμα μειώνεται προς την αντίστροφη κατεύθυνση και το di/dt πρέπει να είναι θετικό

Συνεπώς σε κατάσταση ισορροπίας αν συνδυάσουμε τις εξισώσεις 51,54,57 και 60. έχουμε τελικά:

$$V_o = \frac{D}{(1 - D)} V_s \quad (61.)$$

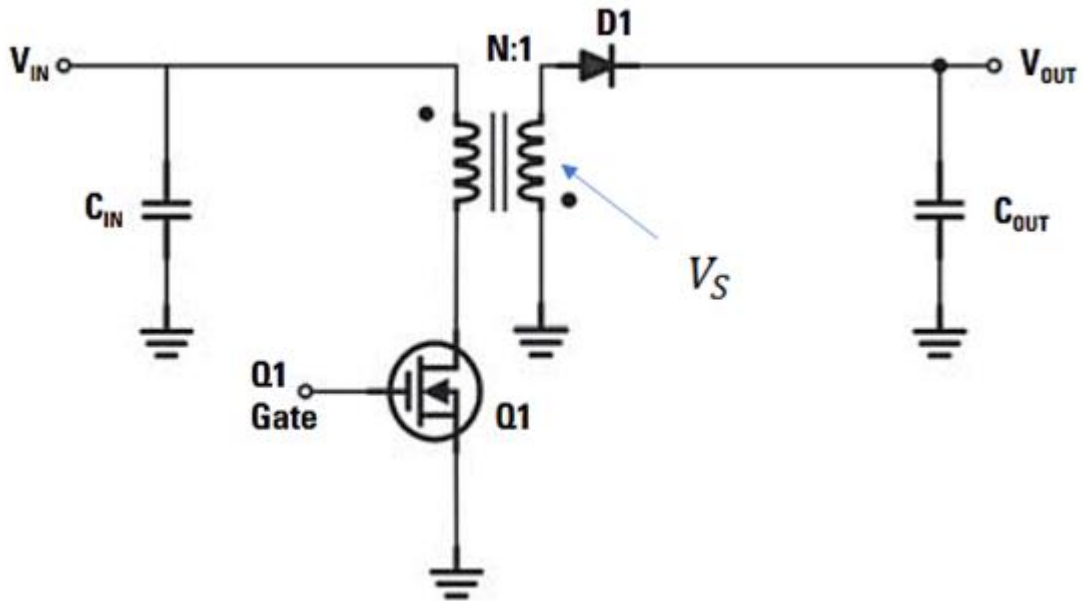
$$I_s = \frac{D}{(1 - D)} I_o \quad (62.)$$

Οι γραφικές παραστάσεις που περιγράφουν το ρεύμα και την τάση σε αυτή την περίπτωση, του μετατροπέα Cuk είναι:



Σχήμα 7.9 Τάση διακόπτη (S), τάση πυκνωτή (C), ρεύμα επαγωγέα (L), ρεύμα πηνίου (LO), τάση πυκνωτή (CO), ρεύμα πυκνωτή (C) και ρεύμα μετατροπέα ζ ικ

- Μετατροπέας Flyback



Σχήμα 7.10 Μετατροπέας Flyback

Η τάση του μετατροπέα Flyback που μετρείται στο δευτερεύον τύλιγμα:

$$V_s = V_{out} + V_{D1} \quad (63.)$$

Ο λόγος του αριθμού των των τυλιγμάτων των πηνίων πρέπει να ισούται με τον λόγο των τάσεων τους και έτσι υπολογίζεται η τάση του πρωτεύοντος τυλιγματος

$$\frac{N_p}{N_s} = \frac{V_{fly}}{V_s} \quad (64.)$$

όπου N_p και N_s είναι ο αριθμός των στροφών στις πρωτεύουσες και δευτερεύουσες περιελίξεις του μετασχηματιστή, αντίστοιχα.

Ο Κύκλος λειτουργίας D υπολογίζεται ως

$$D = \frac{V_{fly}}{V_{in} + V_{fly}} \quad (65.)$$

Παρατηρούμε πως όταν ο διακόπτης είναι ανοιχτός \Rightarrow το πηνίο στο πρωτεύων αιωρείται \Rightarrow δεν το διαρρέει ρεύμα $\Rightarrow I_s = 0$ και αλλά είναι φορτισμένο από πριν και δρα σαν πηγή τάσης της οποίας η ενέργεια μεταφέρεται στο δευτερεύων με λόγο $\frac{N_p}{N_s} = N$, η τάση αυτή μειώνετε γραμμικά με αρκετά καλή προσέγγιση. Σε αυτή την χρονική περίοδο έχουμε ότι $V_{L1} = N * V_{L2} = N * V_o$ όπως φαίνεται και από την εξίσωση 64 \Rightarrow με την χρήση του νόμου τάσεων Kirchoff έχουμε ότι:

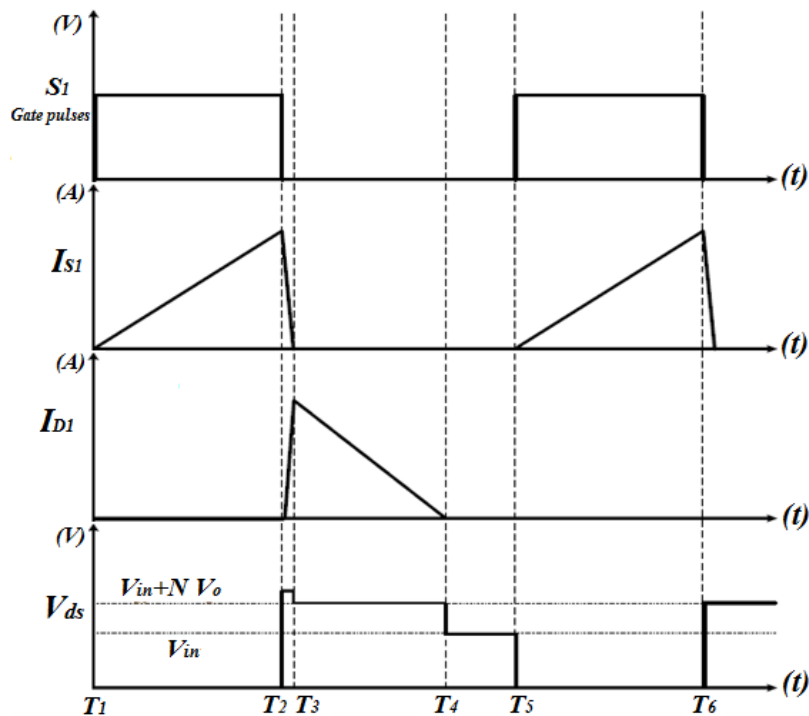
$$V_{ds} = V_{in} + N V_o \quad (66.)$$

Μέχρι το πηνίο να αποφορτιστεί πλήρως και θα καταλήξουμε στην σχέση:

$$V_{ds} = V_{in} \quad (67.)$$

Ενώ όταν ο διακόπτης είναι κλειστός συνεπάγεται ότι το τρανζίστορ λειτουργεί ως βραχυκύκλωμα $\Rightarrow V_{ds} = 0 \Rightarrow$ το πηνίο στο πρωτεύων είναι αρχικά αφόρτιστο και εμποδίζει την απότομη αύξηση της τάσης συνεπώς και πάλι με αρκετά καλή προσέγγιση έχουμε μία γραμμική αύξηση της τάσης στα άκρα του πηνίου μέχρι να φορτιστεί πλήρως η ανοίξει ο διακόπτης.

Οι κυματομορφές που εξάγονται από τον μετατροπέα Flyback φαίνονται στο Σχήμα 7.11



Σχήμα 7.11 Κυματομορφές Flyback

7.5 Μέθοδοι ελέγχου Μετατροπέων

Οι μέθοδοι ελέγχου που χρησιμοποιούνται στους μετατροπείς DC-DC χρησιμοποιούνται για τη ρύθμιση της τάσης ή του ρεύματος εξόδου του μετατροπέα. Αυτές οι μέθοδοι χρησιμοποιούνται για τη διατήρηση σταθερής τάσης ή ρεύματος εξόδου, παρά τις αλλαγές στην τάση εισόδου ή τις συνθήκες φορτίου [74].

Υπάρχουν διάφορες μέθοδοι ελέγχου για μετατροπείς DC-DC. Εδώ είναι μερικά από τα πιο συνηθισμένα:

1. Έλεγχος διαμόρφωσης πλάτους παλμού (PWM): Αυτή η μέθοδος περιλαμβάνει τη μεταβολή του κύκλου λειτουργίας ενός σήματος του μετατροπέα με σκοπό τον έλεγχο της τάσης ή του ρεύματος της εξόδου. Ο έλεγχος PWM χρησιμοποιείται αρκετά συχνά σε μετατροπείς DC-DC επειδή είναι απλός, αποδοτικός και αποτελεσματικός.

2. Έλεγχος Constant On-Time (COT): Σε αυτή τη μέθοδο, ο χρόνος ενεργοποίησης του σήματος μεταγωγής διατηρείται σταθερός, ενώ ο χρόνος απενεργοποίησης μεταβάλλεται για τη ρύθμιση της τάσης ή του ρεύματος εξόδου. Ο έλεγχος COT είναι χρήσιμος σε εφαρμογές όπου η τάση εξόδου ποικίλλει ευρέως και απαιτείται γρήγορη μεταβατική απόκριση.
3. Έλεγχος λειτουργίας ρεύματος: Αυτή η μέθοδος περιλαμβάνει την ανίχνευση του ρεύματος εξόδου και τη χρήση του ως σήμα ανάδρασης για τον έλεγχο του κύκλου λειτουργίας του σήματος μεταγωγής. Ο έλεγχος λειτουργίας ρεύματος παρέχει καλή μεταβατική απόκριση και χρησιμοποιείται ευρέως σε μετατροπείς DC-DC υψηλής συχνότητας.
4. Έλεγχος λειτουργίας τάσης: Αυτή η μέθοδος περιλαμβάνει την ανίχνευση της τάσης εξόδου και τη χρήση της ως σήμα ανάδρασης για τον έλεγχο του κύκλου λειτουργίας του σήματος μεταγωγής. Ο έλεγχος λειτουργίας τάσης είναι απλός και αποτελεσματικός, αλλά μπορεί να μην παρέχει τόσο γρήγορη μεταβατική απόκριση όσο ο έλεγχος λειτουργίας ρεύματος.
5. Έλεγχος αιχμής ρεύματος: Σε αυτήν τη μέθοδο, παρακολουθείται το ρεύμα εξόδου του μετατροπέα και το ρεύμα αιχμής περιορίζεται σε μια προκαθορισμένη τιμή. Ο έλεγχος αιχμής ρεύματος είναι χρήσιμος σε εφαρμογές όπου το ρεύμα φορτίου ποικίλλει ευρέως και απαιτείται προστασία από υπερένταση.

Αυτά είναι μερικά παραδείγματα από τους πιο γνωστούς μεθόδων ελέγχου για μετατροπείς DC-DC. Η συγκεκριμένη μέθοδος που χρησιμοποιείται εξαρτάται από τις απαιτήσεις της εφαρμογής, τον τύπο του μετατροπέα που χρησιμοποιείται και άλλους παράγοντες όπως η απόδοση, το κόστος και το μέγεθος.

7.6 Σχεδιασμός ενός DC-DC μετατροπέα

Ο σχεδιασμός ενός μετατροπέα DC-DC εξαρτάται από τις συγκεκριμένες απαιτήσεις της εφαρμογής, όπως το εύρος τάσης εισόδου, το εύρος τάσης εξόδου, την ισχύ εξόδου, την απόδοση, το μέγεθος και το κόστος. Τα παρακάτω είναι τα βασικά βήματα που περιλαμβάνονται στη σχεδίαση ενός μετατροπέα DC-DC [75]:

1. Προσδιορισμός των απαιτήσεων τάσης εισόδου και εξόδου: Το πρώτο βήμα για την σχεδίαση ενός μετατροπέα DC-DC είναι ο προσδιορισμός των απαιτήσεων της τάσης εισόδου και της τάσης εξόδου της εφαρμογής για την οποία θα χρησιμοποιηθεί. Αυτές οι πληροφορίες χρησιμοποιούνται για την επιλογή της τοπολογίας του μετατροπέα.
2. Επιλογή τοπολογίας: Το επόμενο βήμα είναι η επιλογή της κατάλληλης τοπολογίας για τον μετατροπέα με βάση τις απαιτήσεις τάσης εισόδου και εξόδου. Ορισμένες κοινές τοπολογίες περιλαμβάνουν μετατροπείς buck, boost, buck-boost, flyback και forward.
3. Επιλογή των εξαρτημάτων: Το επόμενο βήμα είναι η επιλογή των κατάλληλων εξαρτημάτων, όπως είναι οι επαγωγείς, οι πυκνωτές και οι διόδοι, με βάση την τοπολογία και την επιθυμητή ισχύ εξόδου αλλά και την απόδοση.
4. Προσδιορισμός της συχνότητας μεταγωγής: Η συχνότητα μεταγωγής του μετατροπέα επηρεάζει την απόδοση αλλά και το μέγεθος των διάφορων εξαρτημάτων. Η συχνότητα πρέπει να επιλέγεται με βάση την επιθυμητή απόδοση αλλά και το επιθυμητό μέγεθος του κάθε μετατροπέα.
5. Σχεδίαση του κυκλώματος ελέγχου: Το κύκλωμα ελέγχου του μετατροπέα χρησιμοποιείται για τη ρύθμιση της τάσης ή του ρεύματος της εξόδου. Η μέθοδος ελέγχου επιλέγεται με βάση τις

συγκεκριμένες απαιτήσεις της κάθε διαφορετικής εφαρμογής, όπως η επιθυμητή απόκριση και σταθερότητα.

6. Προσομοίωση και δοκιμή του σχεδίου: Το τελευταίο βήμα για την υλοποίηση ενός μετατροπέα είναι η προσομοίωση και η δοκιμή του σχεδίου για να διασφαλιστεί ότι πληροί όλες τις απαιτήσεις της εφαρμογής. Αυτό περιλαμβάνει την κατασκευή ενός πρωτοτύπου και τη δοκιμή του υπό διάφορες συνθήκες για να διασφαλιστεί η ορθή του λειτουργία

7.7 Εφαρμογές των μετατροπέων

Οι DC-DC μετατροπείς βρίσκουν πληθώρα εφαρμογών οι οποίες αναφέρονται πιο κάτω [76]:

1. Τροφοδοτικά για ηλεκτρονικές συσκευές: Σε αυτήν την εφαρμογή, οι μετατροπείς DC-DC χρησιμοποιούνται για τη μετατροπή της τάσης DC από μια πρίζα τοίχου σε ένα σπίτι ή ένα κτήριο, ή μπαταρία η οποία λειτουργεί σε σταθερή τάση συνεχούς ρεύματος που είναι κατάλληλη για την τροφοδοσία ηλεκτρονικών συσκευών. Ο μετατροπέας μπορεί να χρησιμοποιεί μια τοπολογία buck ή buck-boost για να μειώσει την τάση τροφοδοσίας και μπορεί να περιλαμβάνει πρόσθετες λειτουργίες, όπως προστασία από υπερβολικό ρεύμα και υπερ-τάσεις.
2. Κυκλώματα φόρτισης μπαταρίας: Οι μετατροπείς DC-DC χρησιμοποιούνται και σε κυκλώματα φόρτισης μπαταριών για τη μετατροπή της τάσης και του ρεύματος από μια πηγή ρεύματος (όπως πρίζα τοίχου, ηλιακό πάνελ, κυψέλες καυσίμων και άλλα) στην τάση και το ρεύμα που απαιτούνται για τη φόρτιση της κάθε διαφορετικής μπαταρίας. Τέτοιου είδους μετατροπείς βρίσκουν εφαρμογή και στην περίπτωση μας για την φόρτιση της μπαταρίας του πλοίου όπου είναι αναγκαίο. Ο μετατροπέας μπορεί να χρησιμοποιεί τοπολογία buck ή boost, ανάλογα με τις σχετικές τάσεις της πηγής ισχύος και της μπαταρίας.
3. Συστήματα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας: Στα συστήματα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, οι μετατροπείς DC-DC χρησιμοποιούνται για τη μετατροπή της τάσης και του ρεύματος από ηλιακούς συλλέκτες ή ανεμογεννήτριες σε τάση και ρεύμα που είναι συμβατά με το ηλεκτρικό δίκτυο ή με την αποθήκευση μπαταριών. Επιπρόσθετα χρησιμοποιούνται και σε πλοία τα οποία λειτουργούν με την χρήση φωτοβολταϊκών πάνελ ή άλλων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Ο μετατροπέας μπορεί να χρησιμοποιεί μια τοπολογία boost ή buck-boost και μπορεί να περιλαμβάνει παρακολούθηση σημείου μέγιστης ισχύος (MPPT) για τη βελτιστοποίηση της παραγωγής ενέργειας της ανανεώσιμης πηγής.
4. Συστήματα βιομηχανικού αυτοματισμού: Στα συστήματα βιομηχανικού αυτοματισμού, οι μετατροπείς DC-DC χρησιμοποιούνται για την τροφοδοσία ηλεκτροκινητήρων, αισθητήρων και άλλων εξαρτημάτων που απαιτούν σταθερή τάση DC. Ο μετατροπέας μπορεί να χρησιμοποιεί μια τοπολογία buck ή buck-boost και μπορεί να περιλαμβάνει λειτουργίες όπως προστασία από ομαλή εκκίνηση και υπερβολική θερμοκρασία.
5. Αεροδιαστημικές και στρατιωτικές εφαρμογές: Στην αεροδιαστημική και στρατιωτικές εφαρμογές, οι μετατροπείς DC-DC χρησιμοποιούνται για την παροχή σταθερής ισχύος στα συστήματα αεροηλεκτρονικής και επικοινωνίας. Ο μετατροπέας μπορεί να χρησιμοποιεί τοπολογία buck ή buck-boost και πρέπει να έχει σχεδιαστεί για να αντέχει στις σκληρές συνθήκες πτήσης ή μάχης.
6. Ιατρικός εξοπλισμός: Στον ιατρικό εξοπλισμό, οι μετατροπείς DC-DC χρησιμοποιούνται για την τροφοδοσία μηχανών μαγνητικής τομογραφίας, οθονών ασθενών και άλλων ιατρικών συσκευών. Ο μετατροπέας πρέπει να έχει σχεδιαστεί για να πληροί αυστηρά πρότυπα ασφάλειας και αξιοπιστίας και μπορεί να χρησιμοποιεί τοπολογία buck ή buck-boost.

7. Συστήματα και οθόνες φωτισμού LED: Σε συστήματα και οθόνες φωτισμού LED, χρησιμοποιούνται μετατροπείς DC-DC για να παρέχουν σταθερή τάση DC στα LED. Ο μετατροπέας μπορεί να χρησιμοποιεί μια τοπολογία buck ή boost και μπορεί να περιλαμβάνει λειτουργίες όπως μείωση της έντασης του φωτός και προστασία από υπερβολική θερμοκρασία.
8. Εξοπλισμός τηλεπικοινωνιών και δικτύωσης: Στον εξοπλισμό τηλεπικοινωνιών και δικτύων, οι μετατροπείς DC-DC χρησιμοποιούνται για την παροχή σταθερής τάσης συνεχούς ρεύματος σε ενισχυτές, δρομολογητές και άλλα εξαρτήματα. Ο μετατροπέας μπορεί να χρησιμοποιεί τοπολογία buck ή buck-boost και πρέπει να έχει σχεδιαστεί ώστε να πληροί αυστηρά πρότυπα αξιοπιστίας.
9. Ενισχυτές και ηχεία ήχου: Σε ενισχυτές και ηχεία ήχου, οι μετατροπείς DC-DC χρησιμοποιούνται για την παροχή σταθερής τάσης DC στον ενισχυτή ή στο κύκλωμα του οδηγού. Ο μετατροπέας μπορεί να χρησιμοποιεί τοπολογία buck ή buck-boost και πρέπει να είναι σχεδιασμένος ώστε να ελαχιστοποιεί τον θόρυβο και την παραμόρφωση.
10. Ηλεκτρονικά αυτοκινήτων: Στα ηλεκτρονικά αυτοκινήτων, οι μετατροπείς DC-DC χρησιμοποιούνται για την τροφοδοσία των μονάδων ελέγχου κινητήρα, των συστημάτων infotainment και άλλων εξαρτημάτων. Ο μετατροπέας πρέπει να είναι σχεδιασμένος ώστε να αντέχει στο σκληρό περιβάλλον του χώρου του κινητήρα και μπορεί να χρησιμοποιεί τοπολογία buck ή buck-boost.

7.8 Οι τύποι των DC-DC μετατροπέων που χρησιμοποιούνται σε υβριδικό σύστημα πρόωσης πλοίου υπερπυκνωτη μπαταρίας και κυψέλης καυσίμου

Στην περίπτωση του πλοίου που μελετάμε, στο οποίο χρησιμοποιείτε έναν συνδυασμό υπερπυκνωτών, μπαταριών και κυψελών καυσίμου, οι επιλογές των τύπων μετατροπέων DC-DC θα εξαρτώνται από το σχεδιασμό του πλοίου και τις ειδικές απαιτήσεις του συστήματος ισχύος. Γενικά, ένα υβριδικό σύστημα ισχύος για ένα πλοίο θα αποτελείται από διάφορες πηγές ενέργειας και συσκευές αποθήκευσης ενέργειας και οι μετατροπείς DC-DC θα χρησιμοποιούνται για τη ρύθμιση της τάσης και του ρεύματος μεταξύ αυτών των συσκευών για να διασφαλίζεται η αποτελεσματική και αξιόπιστη λειτουργία του συστήματος.

Σε ένα τέτοιο υβριδικό σύστημα, θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν διάφοροι τύποι μετατροπέων DC-DC, όπως:

Μετατροπείς buck-boost: Χρησιμοποιούνται συνήθως σε υβριδικά συστήματα ισχύος για τη ρύθμιση της τάσης μεταξύ της κυψέλης καυσίμου και της μπαταρίας ή του υπερπυκνωτή. Οι μετατροπείς buck-boost μπορούν να ανυψώσουν ή να μειώσουν την τάση όπως απαιτείται, επιτρέποντας στο σύστημα να λειτουργεί σε βέλτιστα επίπεδα τάσης. Αυτό είναι ένα μεγάλο πλεονέκτημα λόγω της αβεβαιότητας της οποίας υπάρχει στα υβριδικά συστήματα.

Μετατροπείς boost: Αυτοί οι μετατροπείς χρησιμοποιούνται για την αύξηση της τάσης της μπαταρίας ή του υπερπυκνωτή ώστε να ταιριάζει με τις απαιτήσεις τάσης του ηλεκτροκινητήρα ή άλλων φορτίων στο πλοίο.

Μετατροπείς Buck: Αυτοί οι μετατροπείς χρησιμοποιούνται για να μειώσουν την τάση από την κυψέλη καυσίμου ή τη γεννήτρια ώστε να ταιριάζουν με τις απαιτήσεις τάσης της μπαταρίας ή του υπερπυκνωτή.

Μετατροπείς Flyback: Αυτοί οι μετατροπείς μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την απομόνωση της τάσης μεταξύ διαφορετικών τμημάτων του υβριδικού συστήματος ισχύος, όπως η κυψέλη καυσίμου

και η μπαταρία ή ο υπερπυκνωτής, για να αποφευχθεί η επίδραση αιχμών τάσης ή άλλων προβλημάτων σε ολόκληρο το σύστημα.

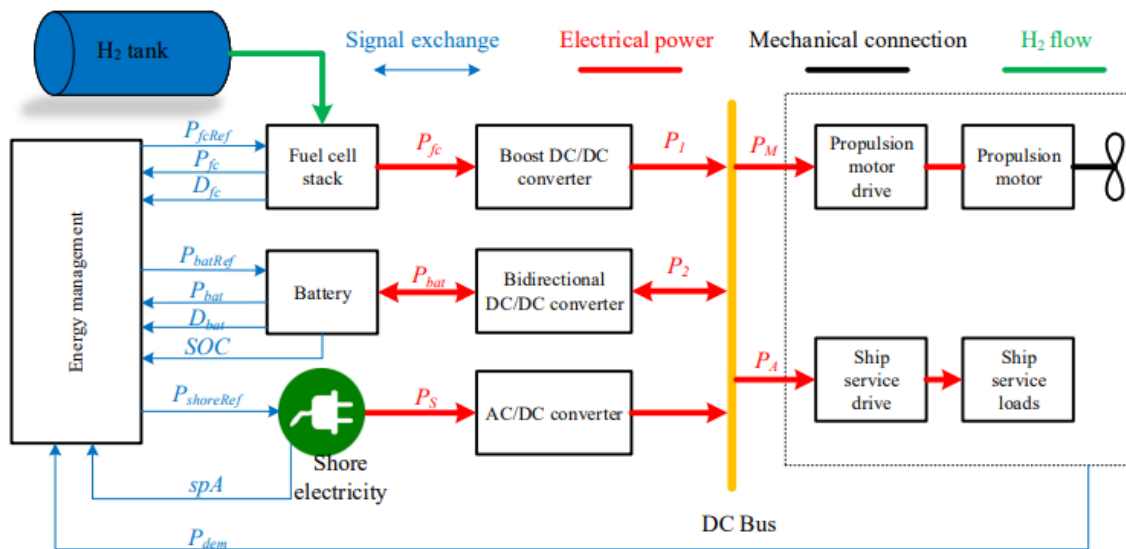
Μετατροπείς πολλαπλών επιπέδων: Χρησιμοποιούνται για τη μετατροπή της τάσης συνεχούς ρεύματος από τις συσκευές αποθήκευσης ενέργειας σε τάση AC υψηλής συχνότητας που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την τροφοδοσία του ηλεκτροκινητήρα του πλοίου.

Οι συγκεκριμένοι τύποι μετατροπέων DC-DC οι οποίοι μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε ένα πλοίο που χρησιμοποιεί ένα συνδυασμό υπερπυκνωτών, μπαταρία και κυψέλες καυσίμου θα εξαρτώνται από παράγοντες όπως οι απαιτήσεις ισχύος, τα επίπεδα τάσης και οι απαιτήσεις απόδοσης του συστήματος. Λόγο των συνεχών μεταβολών αυτών των παραμέτρων έχουμε επιλέξει να χρησιμοποιήσουμε μετατροπείς buck-boost οι οποίοι έχουν την δυνατότητα να καλύψουν κάθε είδους ανάγκη.

8° Κεφάλαιο

8 Θεωρητικός Σχεδιασμός ενός Υβριδικού πλοίου

Η σχεδίαση ενός υβριδικού πλοίου που χρησιμοποιεί για πρόωση κυψέλες καυσίμου, υπερπυκνωτές και μπαταρίες αποτελεί μια αρκετά μεγάλη πρόκληση. Συνδυάζει διαφορετικές τεχνολογίες αποθήκευσης ενέργειας για τη βελτιστοποίηση της απόδοσης του και συμβάλλει ενεργά στην μείωση των ρύπων που προέρχονται από πλοία και στην μείωση της ρύπανσης των θαλασσών.



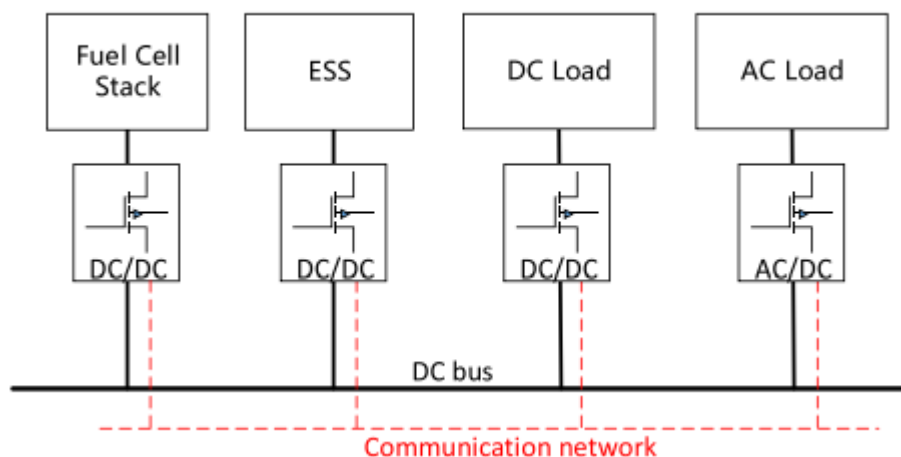
Σχήμα 8.1 Διάγραμμα υβριδικού συστήματος πρόωσης

Στο Σχήμα 8.1 φαίνεται μια γενική τοπολογία που χρησιμοποιείται για τον σχεδιασμό και την υλοποίηση ενός υβριδικού συστήματος πρόωσης το οποίο χρησιμοποιεί υδρογόνο και μπαταρία για την κίνηση του. Η κυψέλη καυσίμου τροφοδοτείται με υδρογόνο και η μπαταρία είναι φορτισμένη. Σε περίπτωση ελλιμενισμού, το πλοίο τροφοδοτείται μέσω του ηλεκτρικού συστήματος του λιμανιού με ρεύμα έτσι ώστε να καλύψει τις ανάγκες του κατά την παραμονή του στο λιμάνι αλλά και για τη φόρτιση της μπαταρίας. Υπάρχει ένα σύστημα διαχείρισης ενέργειας (energy management system) το οποίο ελέγχει την κατάσταση των στοιχείων κάθε στιγμή κατά της διάρκεια που το πλοίο πλέει και δίνει τις κατάλληλες εντολές σχετικά με το ποιο στοιχείο θα είναι ενεργό την κάθε στιγμή. Τα δεδομένα που λαμβάνει υπόψιν κάθε φορά είναι η κατάσταση φόρτισης (SoC – State of charge) των πηγών, η ζήτηση ενέργειας την κάθε στιγμή και το προφίλ της ζήτησης του κάθε διαφορετικού πλοίου, την ποσότητα του υδρογόνου που υπάρχει ακόμη στην δεξαμενή, την απόδοση του υπερπυκνωτή (σε περίπτωση που υπάρχει και υπερπυκνωτής), την τεχνολογία της μπαταρίας, τα αναγεννητικά συστήματα πέδησης και άλλους παράγοντες που μεταβαλλόντα ανάλογα με τις ανάγκες του κάθε πλωτού οχήματος. Το ρεύμα που εξάγεται από τις πηγές αυτές είναι συνεχές (DC Direct Current). Χρησιμοποιούνται DC/DC μετατροπείς που μεταβάλλουν το ρεύμα που εξέρχεται από τις πηγές έτσι ώστε να μπορεί να χρησιμοποιηθεί με ασφάλεια στα συστήματα πρόωσης του πλοίου, DC/AC μετασχηματιστές που μεταβάλλουν την τάση για να μπορεί να χρησιμοποιηθεί στις συσκευές του πλοίου που δέχονται τάση AC (Alternating Current). Κατά τη διάρκεια του ελλιμενισμού,

χρησιμοποιείται ένας μετατροπέας AC/DC για να μετατρέψει το AC ρεύμα με το οποίο τροφοδοτείται το λιμάνια από το κεντρικό δίκτυο διανομής και να το μετασχηματίσει έτσι ώστε να τροφοδοτήσει τις DC πηγές ρεύματος του πλοίου.

Ένα άλλο άρθρο που αναφέρεται στο κύκλωμα του πλοίου Alsterwasser, δημοσιευμένο στην σελίδα ELSEVIER με όνομα Optimization of sizing and frequency control in battery/supercapacitor hybrid energy storage system. [77] Ακολουθεί την πιο κάτω διαδικασία για την μελέτη που διεξάγει.

Πιο κάτω φαίνεται η τοπολογία του πλοίου αυτού.



Σχήμα 8.2 Τοπολογία στοιχείων Πλοίου

Κ κυψέλη καυσίμου είναι συνδεδεμένη στον ζυγό με μετασχηματιστή DC/DC όπως και το Energy storage system (ESS) που αναφέρεται σε μπαταρία και υπεπυκνωτή, όπου είναι συνδεδεμένα και τα AC και DC φορτία με τους κατάλληλους μετασχηματιστές και μετατροπείς.

Η κυψέλη καυσίμου παρουσιάζει χαμηλή χαρακτηριστική δυναμικής απόκρισης και απαιτεί την ενσωμάτωση του HESS (Hybrid energy storage system Υβριδικό σύστημα αποθήκευσης) για την παροχή σταθερής απόκρισης στο φορτίο. Ο ρυθμιστής ισχύος ελέγχει την διαδικασία εκφόρτισης/φόρτισης του SC και μπαταρίας. Οι μετατροπείς (DC/AC) μετατρέπουν το DC ρεύμα σε AC για λόγους τροφοδοσίας εξοπλισμού όπως φωτιστικών, αντλίας θαλασσινού νερού, ψυγείο κτλ.

Τα υβριδικά πλοία έχουν την ικανότητα μείωσης των εκπομπών ρύπων και της κατανάλωσης καυσίμων κατά 10%-35%. Παρ όλα αυτά, η απόδοση του υβριδικού συστήματος ισχύος περιορίζεται λόγω της μικρής διάρκειας ζωής της μπαταρίας λίθου αλλά και τη χαμηλή της πυκνότητα ισχύος της. Κατά συνέπεια, προτείνεται ένα υβριδικό σύστημα αποθήκευσης ενέργειας (HESS). Ο SC θα αναλάβει την τροφοδοσία σε περίπτωση που ζητείται ενέργεια υψηλή συχνότητας και με αυτό το τρόπο μπορεί να παραταθεί η διάρκεια ζωής της μπαταρίας.

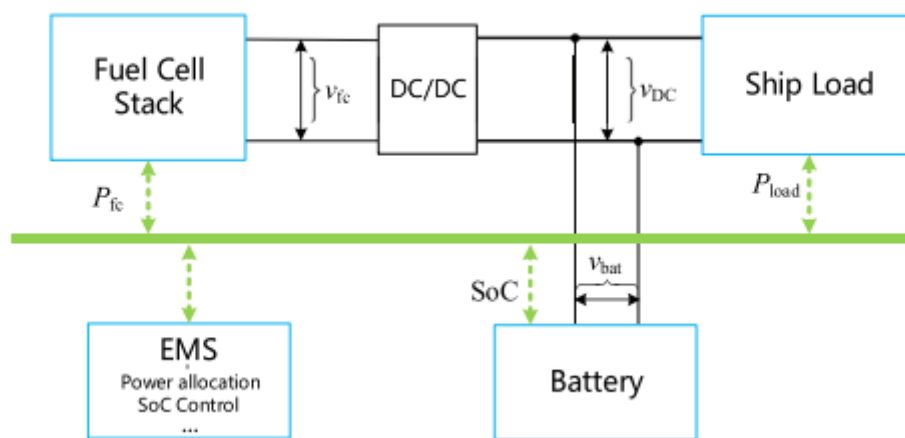
Στο υβριδικό σύστημα ισχύος, η παρουσία πολλαπλών πηγών ενέργειας αυξάνει την πολυπλοκότητα του συστήματος ελέγχου. Η στρατηγική διαχείρισης ενέργειας (EMS) είναι ένα κρίσιμο σημείο που επηρεάζει την απόδοση του υβριδικού συστήματος ισχύος. Οι κύριοι στόχοι της ενσωμάτωσης του EMS στα υβριδικά συστήματα περιλαμβάνουν την ικανοποίηση της συνεχής ζήτησης ισχύος, τη βέλτιστη κατανομή ισχύος μεταξύ των πολλαπλών πηγών ενέργειας και τη βελτίωση της απόδοσης λειτουργίας του υβριδικού συστήματος ισχύος.

Fuel cell ship

Το μέγεθος του HESS θα πρέπει να λαμβάνει υπόψιν τους τύπους πλοίων, την απόδοση του συστήματος πρόωσης, το κόστος εξοπλισμού κ.ο.κ. Αυτή η μελέτη είναι βασισμένη σε ένα επιβατηγό σκάφος κυψελών καυσίμου υδρογόνου με όνομα «Alsterwasser». Οι κύριες παράμετροι του πλοίου φαίνονται στον Table 8 Παράμετροι πλοίου

Table 8 Παράμετροι πλοίου

Specification	Value
Length	22.46m
Width	5.36m
Draft With passengers	1.33m
Passenger	100
Max Cruising speed	15km/h
Fuel cell peak power	2 x 48kW
Battery	560V/360Ah



Σχήμα 8.3 Τοπολογία υβριδικού συστήματος Πρόωσης

Πιο πάνω φαίνεται η τοπολογία του πλοίου. Η ζήτηση του φορτίου συμπεριλαμβανομένου της ισχύος πρόωσης αλλά και της βοηθητικής ισχύος μετρήθηκαν και δημοσιεύθηκε στο άρθρο [78] [79]

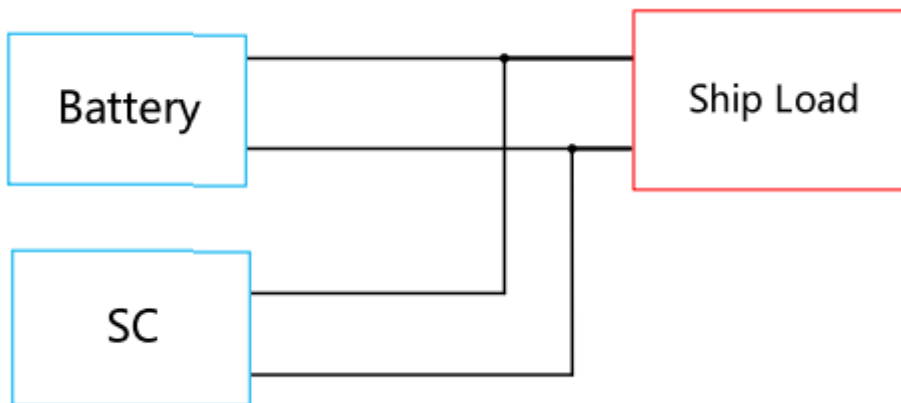
Υπάρχουν τέσσερις κύριες καταστάσεις λειτουργίας κατά την τυπική λειτουργία του πλοίου:

1. Κατά την κρουαζιέρα, η διακύμανση της ζήτησης ισχύος είναι πολύ αργή.
2. Κατά τον ελλιμενισμό, η ταχύτερη διακύμανση και το φορτίο ποικίλλει πολλές φορές μεταξύ 0 και 100 kW σε λίγα δευτερόλεπτα.
3. Σε κατάσταση αναμονής, το πλοίο αφήνει και λαμβάνει επιβάτες
4. Στην εκκίνηση του πλοίου, το σύστημα πρόωσης χρειάζεται την περισσότερη ισχύ, με αποτέλεσμα την τεράστια μέγιστη ισχύ (110kW).

Λόγω της χαμηλής απόδοσης της κυψέλης καυσίμου, συνήθως συνδυάζεται και με ένα ESS το οποίο απαρτίζεται συνήθως από μπαταρίες λιθίου (Li-ion) ή οξέος μόλυβδου (LA). Οι μπαταρίες λιθίου έχουν καλύτερη απόδοση από τις μπαταρίες μόλυβδου όσο αφορά την ενεργειακή πυκνότητα, ενεργειακή απόδοση και διάρκεια ζωής. Το HESS αποτελεί ένα τρόπο ανακούφισης της συχνής πίεσης φόρτισης- εκφόρτωσης της μπαταρίας κατευθύνοντας την συνιστώσα υψηλής συχνότητας της διακύμανσης του φορτίου στον υπερπυκνωτή ο οποίος έχει υψηλή πυκνότητα ισχύος και κατά προσέγγιση απεριόριστη διάρκεια ζωής [80]. Σε γενικές γραμμές το Battery-SC HESS μπορεί να ταξινομηθεί σε τρεις τύπους [81]:

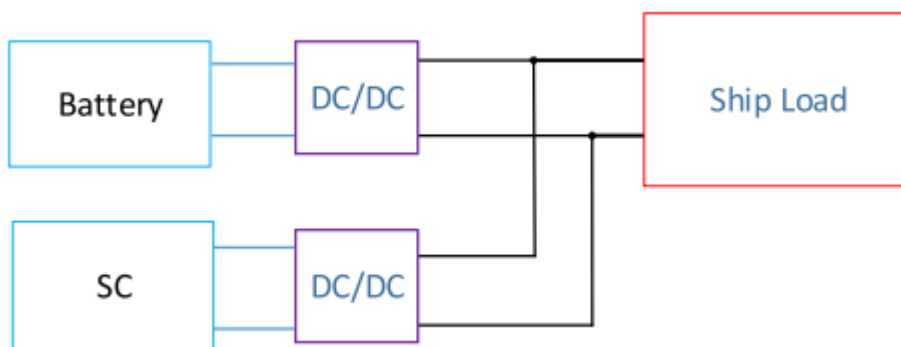
Οι τοπολογίες εκφράζουν τον σχεδιασμό και το πως θα συνδέονται οι πηγές ενέργειας του πλοίου με το φορτίο που θα πρέπει να καλύψουν

1. Παθητική τοπολογία



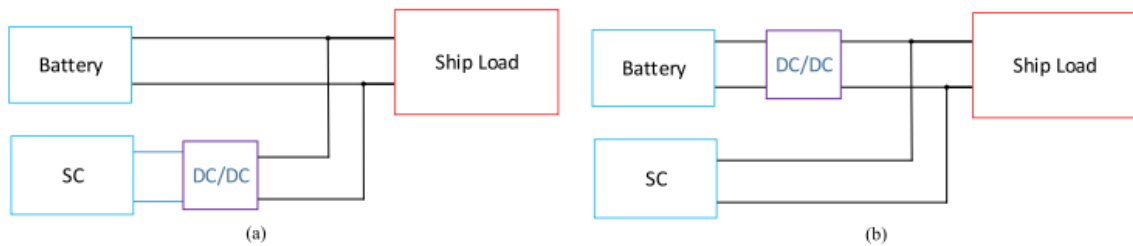
2. Πλήρως ενεργή τοπολογία

Σχήμα 8.4 Παθητική τοπολογία



Σχήμα 8.5 Πλήρως Ενεργή τοπολογία

3. Ημιενεργή τοπολογία



Σχήμα 8.6 Ημιενεργή τοπολογία

Οι τοπολογίες περιγράφουν τον τρόπο με τον οποίο γίνεται ο μετασχηματισμός του ρεύματος, μέσω μετασχηματιστών, που εξέρχεται από τις πηγές και τροφοδοτεί τα φορτία.

Σε αυτή την μελέτη προτείνεται η χρήση της ημιενεργής τοπολογίας HESS η οποία συνδυάζει τα πλεονεκτήματα των παθητικών αλλά και των πλήρως ενεργών τοπολογιών, ενώ ξεπερνούν τις αδυναμίες και των δύο τοπολογιών. Σε αυτή την περίπτωση η μονάδα SC συνδέεται με το ζυγό DC μέσω ενός DC/DC μετατροπέα ενώ η μπαταρία είναι απευθείας συνδεδεμένη με το DC ζυγό. Σε αυτή την τοπολογία ο SC μπορεί να λειτουργήσει σε μεγαλύτερο εύρος τάσης, γεγονός που αυξάνει τη χρησιμοποίησή του. Επιπλέον, λόγω των σταθερών χαρακτηριστικών, η μπαταρία βελτιώνει στη σταθερότητα του HESS.

$$P_{LOAD} = \frac{1}{T_{LFS} + 1} P_{HESS}$$

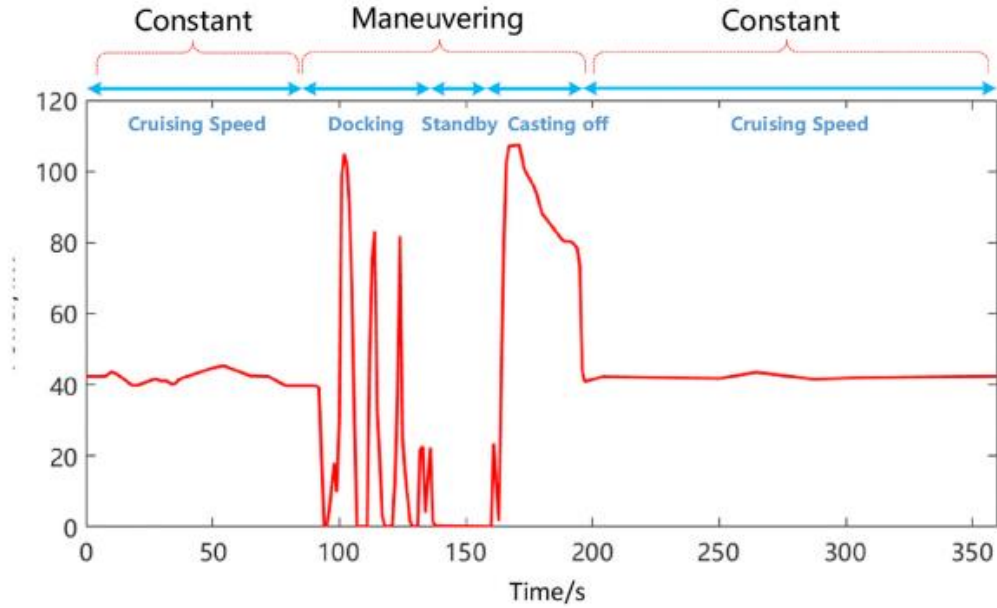
$$P_{HLOAD} = P_{HESS} - P_{BAT}$$

TLF είναι η σταθερά χρόνου, s ο τελεστής Laplace

Η αποθηκευμένη ενέργεια στην μπαταρία υπολογίζεται ως:

$$E_{bat} = E_{bat,init} - \int P_{bat} dt$$

$E_{bat, init}$ είναι η αρχική ενέργεια που είναι αποθηκευμένη στην μπαταρία



Σχήμα 8.7 Προφίλ ζήτησης

Στο Σχήμα 8.7 φαίνεται το προφίλ ζήτησης του πλοίου. Η ζήτηση είναι σχετικά σταθερή κατά την διάρκεια πλεύσης του πλοίου ενώ μεταβάλλεται σημαντικά με γρήγορο ρυθμό κατά τη διάρκεια που εισέρχεται και εξέρχεται από το λιμάνι.

Η ενέργεια που είναι αποθηκευμένη στην μπαταρία είναι $E_{bat} = E_{bat, init} - \int P_{bat} dt$

Η ισχύς της μπαταρίας μπορεί να υπολογιστεί ως

$$P_{bat} = \frac{1}{TLFS+1} PHess(s) - Kp, E_{bat}(E_{bat, ref}(s) - E_{bat}(s))$$

Η ισχύς που τροφοδοτεί τον SC

$$P_{sc} = \frac{TLFS}{TLFS + 1} PHess(s) - Kp, ESC(ESC, ref(s) - ESC(s))$$

Παράμετροι βελτιστοποίησης

Λαμβάνοντας υπόψη πώς ο σχεδιασμός του EMS και το μέγεθος του HESS επηρεάζει την απόδοση του υβριδικού συστήματος ισχύος, παρουσιάζονται τέσσερις μεταβλητές σχεδιασμού. Μεταξύ αυτών, δύο είναι της συσκευής, δηλαδή η ικανότητα μπαταρίας b_{AH} , η τάση SC v_{sc} . Δύο είναι του προτεινόμενου EMS, δηλαδή η χρονική σταθερά T_1 και η χρονική σταθερά T_2 .

$$x = (b_{AH}, v_{sc}, T_1, T_2)^T$$

Σε αυτή τη μελέτη, χρησιμοποιούνται τέσσερις δείκτες για την αξιολόγηση της απόδοσης του υβριδικού συστήματος ισχύος, συγκεκριμένα, η υποβάθμιση της μπαταρίας, η ποιότητα ισχύος όπως εκφράζεται από τις διακυμάνσεις της τάσης, οι απώλειες ενέργειας και το κόστος της συσκευής.

Εκπροσωπούνται από $f_1(x)$, $f_2(x)$, $f_3(x)$ και $f_4(x)$, αντίστοιχα. Αυτοί οι στόχοι, ωστόσο, ανταγωνίζονται με την έννοια ότι η ελαχιστοποίηση ενός από αυτά θα οδηγούσε σε αυξημένες τιμές των άλλων στόχων. Αυτό είναι πρόβλημα πολλαπλών στόχων βελτιστοποίησης (MOP Multiple objective Problem). Επομένως, η μελέτη χρησιμοποιεί τη μέθοδο σταθμισμένου αθροίσματος για τη μετατροπή του MOP σε έναν μόνο στόχο πρόβλημα βελτιστοποίησης. Απαιτείται η ελαχιστοποίηση

των τεσσάρων δεικτών ταυτόχρονα, αν ήταν δυνατόν. Η μαθηματική έκφραση του μπορεί να εκφραστεί ως:

$$\min J = \alpha f_1(x) + \beta f_2(x) + \lambda f_3(x) + f_4(x)$$

όπου α , β και λ είναι συντελεστές βάρους. Καθώς το αντικείμενο είναι ένα ferry boat, η υποβάθμιση της μπαταρίας και η ενεργειακή απόδοση είναι πιο σημαντικές.

Επομένως, στο άρθρο ορίστηκε:

$$\alpha = 0,3, \beta = 0,2 \text{ and } \lambda = 0,5$$

Επιπλέον, οι τέσσερις επιμέρους στόχοι έχουν διαφορετική σειρά μεγέθους. Εάν προστεθεί ένας στόχος με τιμές, π.χ. κοντά στο 1 με ένα στόχος με τιμές της τάξης του 1000, ο πρώτος δεν έχει οποιαδήποτε επίδραση στα βέλτιστα αποτελέσματα. Προκειμένου να αποφευχθούν τέτοιες περιστάσεις, χρησιμοποιείται η μέθοδος κανονικοποίησης δεδομένων σε αυτή τη μελέτη, όπως

$$\text{φαίνεται στην Εξ. } \textit{norm} = \frac{x - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}}$$

Τα κανονικοποιημένα δεδομένα περιλαμβάνουν i_{sc} , P_{dc} , P_{bat} και V_{DC}

Υποβάθμιση μπαταρίας $f_1(x)$

Πολλές δημοσιεύσεις [82] έχουν επισημάνει ότι η βίαια η διακύμανση του ρεύματος της μπαταρίας θα μειώνει τον κύκλο ζωής της. Για τα χαρακτηριστικά της μπαταρίας, ορίζουμε την απώλεια μπαταρίας λειτουργία αξιολόγησης ως εξής

$$f_1(x) = \frac{E_{batmin}}{E_{batref}} \sum_{i=1}^N i_{bat}(i) - i_{bat}(i-1))^2$$

όπου E_{batref} είναι η χωρητικότητα σχεδιασμού της μπαταρίας. $i_{bat}(i)$ είναι το ρεύμα της μπαταρίας τη στιγμή i .

Διακύμανση τάσης $f_2(x)$

Η κύρια παράμετρος αξιολόγησης της ποιότητας ισχύος του συστήματος DC είναι η διακύμανση τάσης διαύλου. Για τα χαρακτηριστικά του διαύλου DC [83], εμείς ορίστε τη συνάρτηση ποιότητας ισχύος ως εξής:

$$f_2(x) = \sum_{i=1}^N V_{DC}(i) - V_{DC}(i-1))^2$$

όπου $V_{DC}(i)$ είναι η τάση διαύλου DC τη χρονική στιγμή i

Απώλεια ενέργειας $f_3(x)$

Η απώλεια ενέργειας του υβριδικού συστήματος ισχύος αποτελείται από απώλεια ενέργειας κυψέλης, απώλεια ενέργειας μπαταρίας, μετατροπέων DC-DC και απώλεια ενέργειας SC. Ο τύπος υπολογισμού έχει ως εξής:

$$f_3(x) = \sum_{i=1}^N \{t[R_{sc}i_{sc}^2(i) + R_{bat}i_{bat}^2(i) + (1 - \eta_{dc})P_{dc}(i) + (1 - \eta_{fc})P_{fc}(i)]\}$$

όπου t είναι το χρονικό βήμα, R_{sc} είναι η εσωτερική αντίσταση SC, $i_{sc}(i)$ είναι το Η τιμή του ρεύματος SC τη στιγμή i , το R_{bat} είναι η εσωτερική αντίσταση της μπαταρίας, το h_{dc} είναι η απόδοση του μετατροπέα DC/DC, το $P_{dcdc}(i)$ είναι η ισχύς εξόδου του μετατροπέα DC/DC τη στιγμή i .

Κόστος συσκευής:

$$f4(x) = (N_{battref} * M_{bat} + N_{scref} * M_{sc} + P_{loadmax} * M_{dcdc}) / C_{min}$$

όπου $N_{battref}$ είναι ο αριθμός μπαταρίας, N_{scref} είναι αριθμός SC, M_{bat} είναι η τιμή της μπαταρίας, M_{sc} είναι η τιμή SC, M_{dcdc} είναι η τιμή του μετατροπέα DC-DC, C_{min} είναι η ελάχιστη τιμή της τιμής HESS. Το C_{min} χρησιμοποιείται για την κανονικοποίηση του κόστους της συσκευής.

Περιορισμοί

Περιορισμός Ισορροπίας Ισχύς

Η ισχύς εξόδου κυψελών καυσίμου και η ισχύς εξόδου HESS θα πρέπει ανταποκρίνονται στη ζήτηση φορτίου, η οποία περιλαμβάνει φορτίο πρόωσης, υπηρεσία φορτίου και φορτίο ξενοδοχείου.

$$P_{fc} + P_{sc} + P_{bat} = P_{req}$$

$$P_{req} = P_{propel} + P_{hot} + P_{ser}$$

Περιορισμός κυψέλης καυσίμου

Η ισχύς εξόδου της κυψέλης καυσίμου P_{fc} δεν μπορεί να είναι υψηλότερη από την περιορισμένη μέγιστη ισχύ εξόδου P_{fcmax} .

$$P_{fc} \leq P_{fcmax}$$

Περιορισμός μπαταρίας

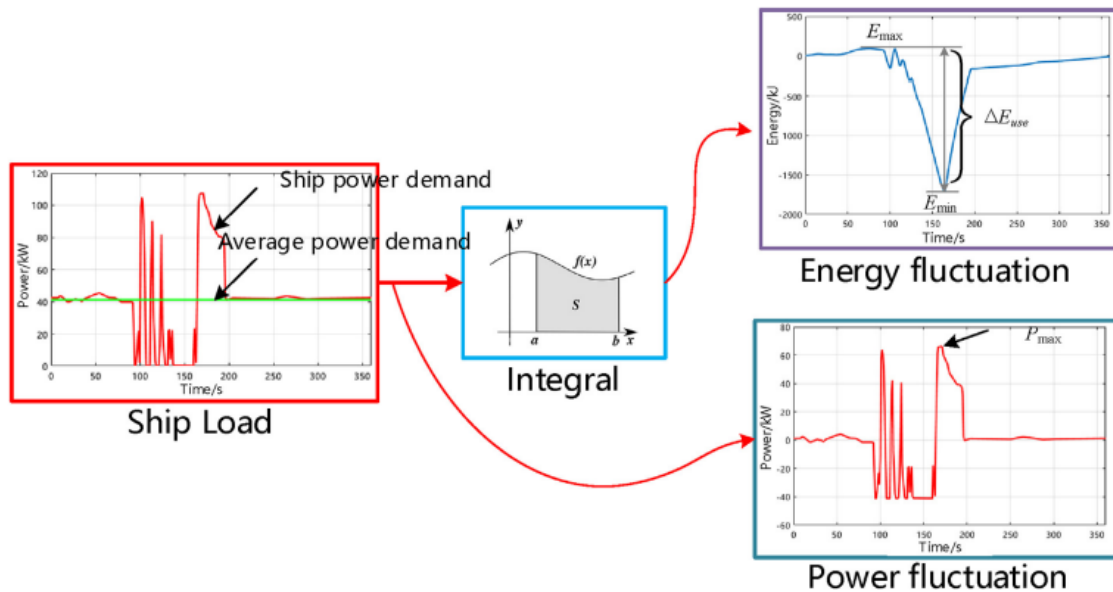
Το ρεύμα της μπαταρίας i_{bat} δεν μπορεί να είναι υψηλότερο από το μέγιστο περιορισμένο ρεύμα i_{batmax} .

$$i_{bat} \leq i_{batmax}$$

Περιορισμός Υπερπυκνωτή

Η τάση SC πρέπει να είναι υψηλότερη από τη μισή-μέγιστη τάση των SC και όχι υψηλότερη από τη μέγιστη τάση των SC.

$$V_{scmax} \geq V_{sc} \geq \frac{1}{2} V_{scmax}$$



Σχήμα 8.8 Διακύμανση ζήτησης

Για την κάλυψη των ενεργειακών απαιτήσεων, η ελάχιστη χωρητικότητα της μπαταρίας είναι η μέγιστη διακύμανση ενέργειας διαιρούμενη με το εύρος SoC, εκφράστηκε ως:

$$E_{batmin} = \frac{\Delta E_{use}}{\eta_{bat}(B_{socmax} - B_{socmin})}$$

Όπου

ΔE_{use} είναι η μέγιστη ενεργειακή διακύμανση, $\Delta E_{use} = 0,53 \text{ kW h}$, η_{bat} είναι ενεργειακή απόδοση μπαταρίας, $\eta_{bat} 0,8$ B_{socmax} και B_{socmin} είναι τα άνω και κάτω όρια του SoC της μπαταρίας αντίστοιχα, $B_{socmax} = 0,8$ και $B_{socmin} = 0,6$ Το E_{batmin} είναι το ελάχιστο ενεργειακή χωρητικότητα της μπαταρίας, $E_{batmin} = 3,38 \text{ kW h}$

Ο SC παρέχει το τμήμα υψηλής συχνότητας της ζήτησης ισχύος σε τυπική κατάσταση λειτουργίας. Ανάλυση των συνθηκών εργασίας δείχνει ότι οι SC θα πρέπει να παρέχουν αρκετή ενέργεια κατά την εκκίνηση του κινητήρα:

$$E_{scmin} = \frac{t_{start} * (P_{loadmax} - P_{loadmean})}{\eta_{dc} * \eta_{sc}}$$

όπου E_{scmin} είναι η ελάχιστη χωρητικότητα του SC για κάλυψη της ενέργειας που απαιτείται κατά την εκκίνηση του πλοίου.

Το $P_{loadmax}$ είναι το μέγιστο του φορτίο ζήτησης, $P_{loadmax} = 107 \text{ kW}$

Το $P_{loadmean}$ είναι ο μέσος όρος του φορτίου ζήτησης,

Ο μέσος όρος της ζήτησης είναι $P_{mean} = 40 \text{ kW}$.

t_{start} είναι ο χρόνος εκκίνησης του κινητήρα πρόωσης, $t_{start} = 10 \text{ s}$

Το $\eta_{dc/dc}$ είναι η απόδοση μετασχηματισμού DC-DC,

$\eta_{dc/dc} = 0,9$ η_{sc} είναι η ενεργειακή απόδοση SC,

$\eta_{sc} = 0,9$

$E_{scmin} = 0,23 \text{ kW h}$.

Σύμφωνα με το αρχικό πλοίο, η τάση της μπαταρίας έχει ρυθμιστεί στα 560 V. Χρησιμοποιώντας τα αποτελέσματα της εξίσωσης $E_{batmin} = \frac{\Delta E_{use}}{\eta_{bat}(B_{socmax} - B_{socmin})}$ η ελάχιστη χωρητικότητα της μπαταρίας είναι $E_{batmin}/v_{dcbus} = 6,03 \text{ A}\cdot\text{h}$.

Σύμφωνα με την Εξ.

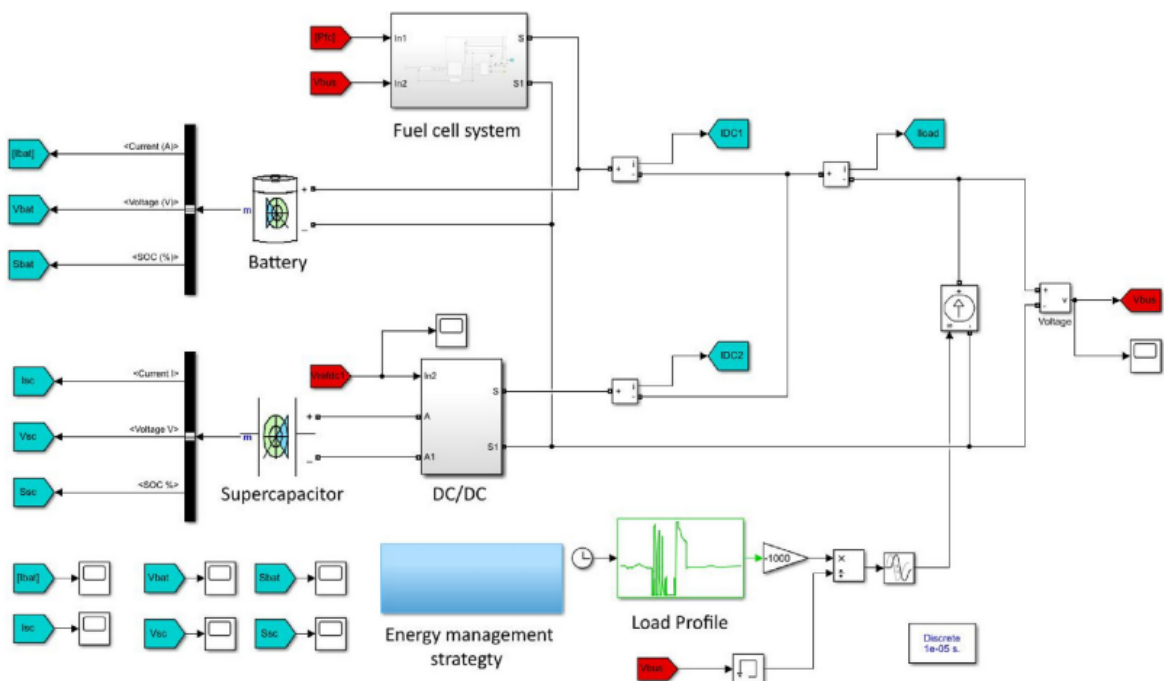
$E_{scmin} = \frac{t_{start} * (P_{loadmax} - P_{loadmean})}{\eta_{dc/dc} * \eta_{sc}}$, το HESS απαιτεί τουλάχιστον 8 στοιχεία SC σε σειρά. Σε αυτή τη μελέτη, η κοινή μέθοδος βελτιστοποίησης χρησιμοποιείται για τη βελτιστοποίηση των μεταβλητών (η χωρητικότητα της μπαταρίας, η τάση του υπερπυκνωτή και οι σταθερές χρόνου του φίλτρου T1 και T2). Βασισμένο στους τους περιορισμούς, το βέλτιστο εύρος χωρητικότητας της μπαταρίας είναι [10Ah, 60Ah], η τάση του υπερπυκνωτή είναι [288 V, 576 V], οι χρονικές σταθερές του φίλτρου T1 είναι [1s, 10s] και από τις σταθερές χρόνου φίλτρου T2 είναι [10s, 20s].

Whale optimization method

Η πιο κάτω εικόνα παρουσιάζει το μοντέλο του συστήματος ισχύος υλοποιώντας τα μαθηματικά μοντέλα ενός MATLAB/Simulink.

10

H. Chen et al. / Energy 197 (2020) 117285



Σχήμα 8.9 Μοντέλο στην MATLAB/Simulink

Προδιαγραφές μονάδων μπαταρίας και υπερπυκνωτών

Table 9 Προδιαγραφές των στοιχείων

Reference	NCM battery	Maxwell SC
manufacturer	CATL	Maxwell
Nominal voltage	3.6 V	48V
Operating Voltage range	2.7-4V	0-51V
Capacity/capacitance	10Ah	165F
Maximum charge current	10A	1900A
Maximum discharge current	20A	1900A

Ο Table 9 δείχνει τις προδιαγραφές της μπαταρίας και των υπερπυκνωτών. Οι προδιαγραφές χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό του αριθμού μπαταριών και SC σύμφωνα με τα βέλτιστα αποτελέσματα.

8.1 Πως λειτουργεί το κάθε στοιχείο

1.Υπερπυκνωτής:

Ο υπερπυκνωτής γενικά δεν είναι η κύρια πηγή ενέργειας κατά την κρουαζιέρα. Οι υπερπυκνωτές είναι οι πλέον κατάλληλοι για εφαρμογές υψηλής ισχύος και μικρής διάρκειας, όπως η παροχή επιπλέον ισχύος κατά την επιτάχυνση ή τους ελιγμούς. Κατά τη διάρκεια της πλεύσης, ο υπερπυκνωτής μπορεί να παραμείνει ως επί το πλείστον ανενεργός εκτός εάν υπάρχουν ξαφνικές απαιτήσεις ισχύος ή γρήγορες αλλαγές στις απαιτήσεις πρόωσης.

2.Κυψέλη καυσίμου:

Οι κυψέλες καυσίμου είναι εξαιρετικά αποδοτικές και είναι κατάλληλες για συνεχή παραγωγή ενέργειας για εκτεταμένες περιόδους. Κατά τη διάρκεια της κρουαζιέρας, η κυψέλη καυσίμου μπορεί να είναι η κύρια πηγή ενέργειας για το πλοίο. Παράγει ηλεκτρική ενέργεια κατά την αντίδραση του υδρογόνου (ή άλλου καυσίμου) με οξυγόνο από τον αέρα. Η σταθερή ισχύς της κυψέλης καυσίμου συμπληρώνει τις απαιτήσεις του συστήματος πρόωσης κατά τη συνεχή πλεύση.

3.Μπαταρία:

Οι μπαταρίες χρησιμοποιούνται για την αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας και την παροχή ισχύος σε περιόδους υψηλής ζήτησης ή όταν η παραγωγή ενέργειας της κυψέλης καυσίμου υπερβαίνει τις άμεσες ανάγκες του πλοίου. Κατά τη διάρκεια της πλεύσης, η μπαταρία συμβάλλει στην εξισορρόπηση της προσφοράς και της ζήτησης ισχύος, διασφαλίζοντας την ομαλή και σταθερή λειτουργία του συστήματος πρόωσης.

8.2 Τι συμβαίνει κατά τη διάρκεια του ταξιδιού

Συγκεκριμένα, πιο κάτω παρουσιάζονται οι φάσεις πλεύσης ενός πλοίου και ποιο στοιχείο χρησιμοποιείται στην κάθε μια:

1.Ελλιμενισμός (Docking):

Ο ελλιμενισμός είναι ένας κρίσιμος ελιγμός που απαιτεί ακριβή έλεγχο και διαχείριση ισχύος. Κατά τη διάρκεια της ελλιμενισμού, το πλοίο πρέπει να επιβραδύνει, να κάνει ελιγμούς με ακρίβεια και να σταματήσει τελείως στην καθορισμένη αποβάθρα ή αγκυροβόλιο. Η διαχείριση του συστήματος πρόωσης μπορεί να γίνει ως εξής:

- **Υπερπυκνωτής:** Ο υπερπυκνωτής μπορεί να παίξει ρόλο στην παροχή γρήγορων εκρήξεων ισχύος για ελιγμούς κατά τη σύνδεση στο λιμάνι. Η ικανότητα εκφόρτισης υψηλής ισχύος είναι κατάλληλη για σύντομες εκρήξεις ενέργειας που απαιτούνται για ακριβείς κινήσεις.
- **Κυψέλη καυσίμου:** Η κυψέλη καυσίμου μπορεί ακόμα να είναι ενεργή κατά τη διάρκεια του ελλιμενισμού, παρέχοντας συνεχή ισχύ σε χαμηλότερο επίπεδο για να διατηρείται λειτουργικά τα βασικά συστήματα του πλοίου, διατηρώντας παράλληλα ένα απόθεμα για τον έλεγχο της πρόωσης.
- **Μπαταρία:** Η μπαταρία είναι πιθανό να χρησιμοποιηθεί κατά τη σύνδεση για να χειριστεί τις παροδικές απαιτήσεις ισχύος και να διασφαλίσει τον ακριβή έλεγχο της ταχύτητας. Μπορεί να παρέχει ισχύ στο σύστημα πρόωσης όταν απαιτείται πρόσθετη ενέργεια για τους ελιγμούς.

2.Αναμονή (Stand by):

Κατά τις περιόδους αναμονής, το πλοίο μπορεί να είναι σε ηρεμία ή να λειτουργεί σε πολύ χαμηλά επίπεδα ισχύος, περιμένοντας περαιτέρω οδηγίες ή συμβάντα. Η διαχείριση του συστήματος πρόωσης μπορεί να γίνει ως εξής:

- **Υπερπυκνωτής:** Ο υπερπυκνωτής μπορεί να βρίσκεται σε κατάσταση χαμηλής ισχύος ή ακόμη και σε κατάσταση αδράνειας κατά την αναμονή, καθώς δεν απαιτείται ενεργά για απαιτήσεις υψηλής ισχύος.
- **Κυψέλη καυσίμου:** Η κυψέλη καυσίμου ενδέχεται να λειτουργεί σε επίπεδο χαμηλής ισχύος κατά τη διάρκεια της αναμονής για να διατηρήσει τα βασικά συστήματα και να διατηρήσει το πλοίο έτοιμο για άμεση δράση.
- **Μπαταρία:** Η μπαταρία είναι πιθανό να χρησιμοποιηθεί για την παροχή ρεύματος κατά τη διάρκεια της αναμονής για βοηθητικά συστήματα και για τυχόν απαιτούμενες λειτουργίες, όπως παρακολούθηση και επικοινωνία.

3.Απόπλευση (Casting off)

Η απόπλευση αναφέρεται στη διαδικασία απελευθέρωσης των γραμμών πρόσδεσης και προετοιμασίας του πλοίου για αναχώρηση. Κατά τη διάρκεια της απόπλευσης, η διαχείριση του συστήματος πρόωσης του πλοίου μπορεί να γίνει ως εξής:

- **Υπερπυκνωτής:** Ο υπερπυκνωτής μπορεί να μπει στο παιχνίδι κατά την απόπλευση για να παρέχει πρόσθετη ισχύ για τις αρχικές κινήσεις του πλοίου μακριά από το λιμάνι.
- **Κυψέλη καυσίμου:** Η κυψέλη καυσίμου θα παράγει ενεργά ισχύ για την υποστήριξη της πρόωσης και των βοηθητικών συστημάτων κατά την αναχώρηση του πλοίου.

- Μπαταρία: Η μπαταρία μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί κατά τη διάρκεια της απόπλευσης για να χειριστεί τις ποικίλες απαιτήσεις ισχύος και να παρέχει πρόσθετη ενέργεια ανάλογα με τις ανάγκες.

4.Πλεύση (cruising)

Κατά τη διάρκεια της πλεύσης σε ένα πλοίο μπαταρίας κυψελών καυσίμου υπερπυκνωτών, τα εξαρτήματα του συστήματος πρόωσης συνεργάζονται για να παρέχουν αποτελεσματικά συνεχή ισχύ για τη διατήρηση της επιθυμητής ταχύτητας και τροχιάς του πλοίου. Δείτε πώς κάθε στοιχείο μπορεί να είναι ενεργό κατά τη διάρκεια της κρουαζιέρας:

Το σύστημα ελέγχου παρακολουθεί διάφορες παραμέτρους, συμπεριλαμβανομένης της ζήτησης ισχύος, της ταχύτητας, της κατάστασης φόρτισης της μπαταρίας και της κυψέλης καυσίμου και άλλους παράγοντες όπως αισθητήρες που μπορεί να υπάρχουν, για τη βέλτιστη διαχείριση της ενεργοποίησης και της χρήσης κάθε εξαρτήματος.

Κατά τη διάρκεια της κρουαζιέρας, το σύστημα διαχείρισης ενέργειας (EMS) διαχειρίζεται πιο στοιχείο θα είναι ενεργό την κάθε φορά. Στοχεύει στο να διατηρήσει μια ισορροπία μεταξύ παραγωγής (μέσω κυψέλης καυσίμου) και κατανάλωσης ενέργειας έτσι ώστε να εξασφαλίσει την αποτελεσματική αλλά και αξιόπιστη λειτουργία του συστήματος πρόωσης μεγιστοποιώντας έτσι την αντοχή του πλοίου. Η συγκεκριμένη στρατηγική ελέγχου μπορεί να ποικίλλει βάσει στοιχείων όπως το σχεδιασμό, το μέγεθος και τις επιχειρησιακές απαιτήσεις του πλοίου.

9 Βιβλιογραφία

- [1] V. K. G. a. S. Sharma, «Overview on Microgrid System," 2018 Fifth International Conference on Parallel, Distributed and Grid Computing (PDGC),» *IEEE*, 2018.
- [2] D. M. A. H. M. Z. U. Khan, «Microgrids Technology: A Review Paper,» *Gyancity Journal of Electronics and Computer Science* , 2018.
- [3] H. M. D. D. S. E. J. Z. J. M. G. Moslem Uddin, «Microgrids: A review, outstanding issues and future trends,» *Energy Strategy Reviews*, 2023.
- [4] Z. J. W. L. M. B. O. M. S. Josep M. Guerrero, «Shipboard Microgrids: Maritime Islanded Power Systems Technologies,» σε *nternational Exhibition and Conference for Power Electronics, Intelligent Motion, Renewable Energy and Energy Management*,, Shanghai, China,, 2016.
- [5] F. Hardan, «Control and operation of a ship AC/DC microgrid under transient,» *International Journal of Electrical Power and Energy Systems*, 2022.
- [6] N. N. A. Bakar, «Optimal Configuration and Sizing of Seaport Microgrids including Renewable Energy and Cold Ironing—The Port of Aalborg Case Study,» *Energies*, 2022.
- [7] «IMO,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.imo.org/en/MediaCentre/HotTopics/Pages/Cutting-GHG-emissions.aspx>.
- [8] S. B. I. Zadeh, «Scope of the Literature on Efforts to Reduce the Carbon Footprint of Seaports,» *MDPI*, 2023.
- [9] «abc news,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.abc.net.au/news/2023-05-21/old-mine-shafts-make-renewable-energy-green-gravity-port-kembla/102367724>.
- [10] «Digby,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://digbymun.ca/tidal.html>.
- [11] J. M. G. J. C. V. B. Nur Najihah Abu Bakar, «A Review of the Conceptualization and Operational Management of Seaport Microgrids on the Shore and Seaside,» *energies*, 2021.
- [12] M. S. J. C. V. L. M. a. J. M. G. Zheming Jin, «Maritime DC microgrids - a combination of microgrid technologies and maritime onboard power system for future ships,» *IEEE*, 2016.
- [13] D. Naletina, «THE ECONOMIC IMPORTANCE OF MARITIME SHIPPING WITH SPECIAL REFERENCE ON CROATIA,» σε *19 th International Scientific Conference on Economic and Social Development*, Melbourne, 2017.
- [14] «marine insight,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.marineinsight.com/guidelines/a-guide-to-types-of-ships/>.

- [15] I. K. V. Mrzljak, «Analysis and Comparison of Ship Propulsion Systems,» *Journal of Maritime & Transportation Science*, 2022.
- [16] «prime source,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://primesourceco.com/latest-news/the-difference-between-a-2-stroke-and-4-stroke-engine/#:~:text=Both%20engines%20use%20the%20combustion,to%20complete%20one%20power%20stroke..>
- [17] «Vedantu,» [Ηλεκτρονικό]. Available: vedantu.com/physics/difference-between-two-stroke-and-four-stroke-engines.
- [18] T. McCoy, «Electric Ships Past, Present, and Future [Technology Leaders],» *IEEE*, 2015.
- [19] «transport and environment,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.transportenvironment.org/discover/rotterdam-tops-ranking-of-port-polluters-doing-little-to-support-green-fuels/>.
- [20] E. Parliment, «Integrated Maritime Policy of the European Union».
- [21] «NortonRoseFulbright,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.nortonrosefulbright.com/en/knowledge/publications/c50c4cd9/the-eu-green-deal-explained>.
- [22] «enel,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.enel.com/company/stories/articles/2023/04/european-green-deal>.
- [23] «Frontiers,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fenvs.2023.1264770/full#:~:text=According%20to%20European%20Environment%20Agency,intended%20targets%20for%20that%20year..>
- [24] «European Parliamnet,» [Ηλεκτρονικό]. Available: [https://www.europarl.europa.eu/thinktank/en/document/EPRS_BRI\(2022\)698900](https://www.europarl.europa.eu/thinktank/en/document/EPRS_BRI(2022)698900).
- [25] «Council of the EU,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.consilium.europa.eu/en/press/press-releases/2023/07/25/fueleu-maritime-initiative-council-adopts-new-law-to-decarbonise-the-maritime-sector/>.
- [26] J. A. A. S. I. G. C. Y. R. Alfred Kammer, «How War in Ukraine Is Reverberating Across World's Regions».
- [27] E. Council, «Impact of Russia's invasion of Ukraine on the markets: EU response».
- [28] «European commission,» [Ηλεκτρονικό]. Available: https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal/repowereu-affordable-secure-and-sustainable-energy-europe_en.

- [29] «Euroclimatejobs,» [Ηλεκτρονικό]. Available: https://www.euroclimatejobs.com/jobs/renewable_energy.
- [30] «OECD (2020), Best Available Techniques (BAT) for Preventing and Controlling».
- [31] A. P. I. F. G. aschalidou, «Anatomy of the atmospheric emissions from the transport sector in Greece: trends and challenges. Environ Sci Pollut,» *Environmental Science and Pollution Research*, 2022.
- [32] E. COMMISSION, «REPORT FROM THE COMMISSION TO THE COUNCIL AND THE EUROPEAN PARLIAMENT,» brussels, 2017.
- [33] «CIRCABC,» [Ηλεκτρονικό]. Available: https://circabc.europa.eu/ui/group/06f33a94-9829-4eee-b187-21bb783a0fbf/library/cbcfa4fc-cb8e-4cd7-bf7a-cbba10c28fb4?p=1&n=10&sort=modified_DESC.
- [34] t. e. p. a. t. council, «Directives,» *Official Journal of th european union*.
- [35] «AWE international,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.awemagazine.com/articles/medium-combustion-plant-directive-mcpd/>.
- [36] «Medium Combustion Plant Emissions Limitations».*Emmissions_EUETS*.
- [37] D. S. A. G. B. A. A. B. d. M. A. D. R. A. D. O. Macias, «Water/marine Zero Pollution Outlook A forward-looking, model-based analysis of water pollution in the EU,» *JRC Publications Repository*, 2022.
- [38] L. F. Z. T. S. H. Chan, «Recent development of hydrogen and fuel cell technologies: A review,» *Energy Reports*, 2021.
- [39] ., Z. T. S. H. C. Lixin Fan, «Recent development of hydrogen and fuel cell technologies: A review,» *Energy Reports*, 2021.
- [40] R. Q. A.-K. ., D. K. A.-Z. M. M. S. Muthana K. Al-Zaidi, «A Review: Fuel Cells Types and their Applications,» *IJSEAS*, 2021.
- [41] N. Jain, «PEM Fuel Cells: Demand Development and Challenges,» σε *National seminar on Energy and Environment Sustainability*, Dhanbad, 2013.
- [42] «boilercentral,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.boilercentral.com/boiler-advice/green-hydrogen-vs-blue-hydrogen/>.
- [43] D. M. F. S. Jose M. Marín Arcos, «The Hydrogen Color Spectrum: Techno-Economic Analysis of the Available Technologies for Hydrogen Production,» *MDPI*, 2023.

- [44] «insight,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.prysmiangroup.com/en/insight/telecoms/green-hydrogen-what-is-it-pros-and-cons>.
- [45] «AHDB,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://ahdb.org.uk/knowledge-library/hydrogen-electrolysis>.
- [46] E. Parliament, «EU hydrogen policy Hydrogen as an energy carrier for a climate neutral economy,» 2021.
- [47] S. G. Carroll, «Parliament backs EU's maritime fuel law to curtail shipping emissions,» *EURACTIV*, 2022.
- [48] «Sandia National Laboratories, Maritime Applications for Hydrogen Fuel Cells,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://energy.sandia.gov/programs/sustainable-transportation/hydrogen/fuel-cells/maritime-applications/>.
- [49] S. R. Aneeya Kumar Samantara, «Historical Background and Present Status of the Supercapacitors,» σε *SpringerBriefs in Materials* , 2018.
- [50] X. Z. Xiyue He, «A comprehensive review of supercapacitors: Properties, electrodes, electrolytes and thermal management systems based on phase change materials,» *ELSEVIER*, 2022.
- [51] B. L. Jiale Sun, «A Review on the Conventional Capacitors, Supercapacitors, and Emerging Hybrid Ion Capacitors: Past, Present, and Future,» *Advanced Energy and Sustainability Research*, 2022.
- [52] R. I. I. a. M. K. O. Noor I. Jalal, «A review on Supercapacitors: types and components,» *Journal of Physics: Conference Series*, 2021.
- [53] S. B. S. R. M. Pershaanaa, «Every bite of Supercap: A brief review on construction and enhancement of supercapacitor,» *Journal of Energy Storage*, 2022.
- [54] G. H. Nasrin Shafiei, «Biopolymer-based (nano)materials for supercapacitor applications,» σε *Biopolymer-Based Metal Nanoparticle Chemistry for Sustainable Applications*, 2021.
- [55] .. P. L. Narendra Lakal, «Supercapacitors: An introduction,» *ELSEVIER*, 2022.
- [56] M. E. Şahin, «A Comprehensive Review on Supercapacitor Applications and Developments,» *MDPI*, 2021.
- [57] abs, «Use of Supercapacitors in the Marine and,» 2017.
- [58] M. K. P. B. D. M. Marian Tomasov*, «Overview of Battery Models for Sustainable Power and Transport,» *ELSEVIER*, τόμ. Volume 40, 2019.

- [59] M. R. J. a. B. R. Haverkort, «Which battery model to use?».
- [60] «WebstaurantStore,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.webstaurantstore.com/guide/923/batteries-buying-guide.html>.
- [61] F. H. b. J. J. a. T. N. R. Borah a, «On battery materials and methods,» *Materials Today Advances*, 2019.
- [62] «batteryuniversity,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://batteryuniversity.com/article/whats-the-best-battery>.
- [63] S.-H. P. P. J. K. G. C. J. C. V. N. & J. N. C. Ruiyuan Tian, «Quantifying the factors limiting rate performance in battery electrodes,» *Nature Journal*, 2018.
- [64] A. G. Koumentakos, «Developments in Electric and Green Marine Ships,» *Power Systems Analysis Emphasising to the Connection of Electric Vehicles and Storage Devices—Policy Limitations across the Globe*, 2019.
- [65] M. T. A. F. O. D. B. a. R. B. J. S. Thongam, «All-electric ships—A review of the present state of the art,» σε *Eighth International Conference and Exhibition on Ecological Vehicles and Renewable Energies* , Monte Carlo, 2013.
- [66] «electrek,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://electrek.co/2023/06/07/electric-cruise-retractable-solar-panels-power-at-sea/>.
- [67] «yara,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.yara.com/news-and-media/media-library/press-kits/yara-birkeland-press-kit/>.
- [68] «riviera,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.rivieramm.com/news-content-hub/news-content-hub/worlds-most-powerful-all-electric-ferry-to-enter-operations-55117>.
- [69] P. A. a. I. G. S. Chander, «Design, modeling and simulation of DC-DC converter,» *IEEE*, 2010.
- [70] «Analysis of Four DC-DC Converters in Equilibrium».
- [71] S. Sabyasachi, «A Study on Recent DC-DC Converters,» *IJERA*, 2012.
- [72] M. H. TUSHAR, *COMPARATIVE STUDY ON DC-DC CONVERTERS*.
- [73] R. W. Erickson, «DC-DC Power Converters,» *IJERA*, 2017.
- [74] H. a. R. Khanna, «Various control methods for DC-DC buck converter,» *IEEE*, 2012.
- [75] S. H. Shafinaz A Lopa, «Design and Simulation of DC-DC Converters,» *IRJET*, 2016.
- [76] A. Ramanath, «DC/DC Converter Applications,» *EEPOWER*, 2022.

- [77] Z. Z. C. G. H. G. Hui Chen, «Optimization of sizing and frequency control in battery/supercapacitor hybrid energy storage system for fuel cell ship,» *Energy*, 2020.
- [78] C. J. T. T. Han J, «energy management system of a fuel cell/battery hybrid boat,» *energies*, 2014.
- [79] T. J. Lhomme W, «Zero emission casting off and docking maneuvers for - series hybrid excursion ships,» *Energy Conversion and Management*, 2019.
- [80] L.-R. J. B.-M. J. Dufo-Lopez R, «Comparrison of different lead acid battery lifetime prediction models for use in simulation of standalone photovoltaic systems,» *Applied Energy*, 2021.
- [81] H. H. Song Z, «Optimization for a hybrid energy storage system in electric vehicles using dynamic programing approach,» *ELSEVIER*, 2014.
- [82] V. V. Cortes C, «Support vector networks,» *Journal of Software Engineering and Applications*, 1995.
- [83] K. A. T. A. Ghorbani N, «Optimizing of a hybrid wind PV battery system ising GA-PSO and MOPSO for reducing cost and increasing reliability,» *Energy*, 2018.
- [84] Z. Z. C. G. ., ., H. G. Hui Chen, «Optimization of sizing and frequency control in battery/supercapacitor,» *Energy*, 2020.
- [85] «blue growth,» [Ηλεκτρονικό]. Available: https://www.blue-growth.org/Blue_Growth_Technology_Innovation/Hydrogen_Ferries_Cruise_Ships_Cargo_Vessels_Fuel_Cells/FCS_Alsterwasser_Alster_Touristik_Hydrogen_FuelCell_Ships_Hamburg_Riverboat.htm.