



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ
ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΑΠΟΔΟΣΗ ΣΤΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ
ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Συγγραφή:

ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ ΖΑΧΟΠΟΥΛΟΣ

Επιβλέπων καθηγητής: Χατζηαργυρίου Νικόλαος

ΑΘΗΝΑ (Ιούλιος 2021)



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ
ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

**ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΑΠΟΔΟΣΗ ΣΤΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ
ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ ΖΑΧΟΠΟΥΛΟΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ

Επίβλεψη Χατζηαργυρίου Νικόλαος , Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Εγκρίθηκε από την τριμελή επιτροπή την 7^η Ιουλίου 2021.

.....
Χατζηαργυρίου
Νικόλαος
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....
Παπαθανασίου
Σταύρος
Αν. Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....
Γεωργιλάκης
Πάυλος
Επ. Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Ιούλιος 2021

.....
Κωνσταντίνος Ζαχόπουλος
Διπλωματούχος Ηλεκτρολόγος Μηχανικός και Μηχανικός Υπολογιστών Ε.Μ.Π.

*Copyright© Κωνσταντίνος Ζαχόπουλος, 2021
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 το συγγραφέα.

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

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η βιβλιογραφική ανασκόπηση της ενεργειακής απόδοσης στον τομέα της παραγωγής, της αποθήκευσης και των HVDC. Αρχικά γίνεται ανασκόπηση της νομοθεσίας και του ρυθμιστικού πλαισίου που υπάρχει σήμερα γύρω από την ενεργειακή απόδοση και αναλύονται οι κατευθύνσεις της Ευρωπαϊκής Ένωσης και οι στόχοι της (βραχυπρόθεσμοι και μακροπρόθεσμοι) γύρω από αυτό τον τομέα. Ακολούθως αναλύεται η ενεργειακή αποδοτικότητα στον τομέα της συμβατικής παραγωγής με συγκρίσεις μεταξύ των συμβατικών καυσίμων αλλά και μεταξύ των χωρών παγκόσμια. Στην συνέχεια η ενεργειακή αποδοτικότητα στον τομέα αποθήκευσης αναλύεται μέσω της περιγραφής των διαθέσιμων σήμερα μέσων αποθήκευσης ενέργειας και των επίπεδων αποδοτικότητας εκάστου από αυτά. Γίνεται, επίσης, παρουσίαση της ιστορικής εξέλιξης, των πλεονεκτημάτων και των μειονεκτημάτων των δικτύων HVDC και επίσης γίνεται μία βιβλιογραφική ανασκόπηση σε μελέτες οι οποίες έχουν μέχρι σήμερα εξετάσει την αποδοτικότητα των HVDC σε σχέση με τα δίκτυα AC.

Λέξεις Κλειδιά

Ενεργειακή απόδοση, Παραγωγής Ενέργειας, Συστήματα αποθήκευσης ενέργειας, HVDC

ABSTRACT

The purpose of this dissertation is the literature review of energy efficiency in the field of production, storage and HVDC. Initially, the current legislation and regulatory framework on energy efficiency is reviewed and the European Union guidelines and objectives (short-term and long-term) around this area are analyzed. Then the energy efficiency in the field of conventional production is analyzed with comparisons between conventional fuels but also between countries worldwide. Following in the next chapter the energy efficiency in the storage sector is analyzed through the description of the currently available energy storage media and the efficiency levels of each of them. Finally in the last chapter the historical development, the advantages and disadvantages of HVDC networks are presented and a literature review of studies that have up to date examined the efficiency of HVDCs in relation to AC networks is made.

Key Words

Energy Efficiency, Energy Production, Energy Storage Systems, HVDC

Περιεχόμενα

ΠΕΡΙΛΗΨΗ	5
Λέξεις Κλειδιά	5
ABSTRACT	6
Key Words	6
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο	11
Εισαγωγικές έννοιες & Ενεργειακή αποδοτικότητα σε Ευρωπαϊκό επίπεδο	11
1.1 Εισαγωγή	11
1.2 Ορισμός ενεργειακής απόδοσης	12
1.2.1 Θεμελιώδεις έννοιες	12
1.2.2 Κόστος και οφέλη της ενεργειακής απόδοσης	13
1.2.3 Φαινόμενο αντίρροπου αποτελέσματος	14
1.2.4 Δυνατότητες της ενεργειακής απόδοσης	15
1.3 Χρηματοδότηση για ενεργειακή απόδοση	16
1.4 Οδηγία 2012/27/ΕΕ του Ευρωπαϊκού κοινοβουλίου σχετικά με την ενεργειακή απόδοση . 17	
1.5 Η Ευρωπαϊκή Πράσινη Συμφωνία	17
1.5.1 Σχεδιασμός ενός συνόλου βαθιά μετασχηματιστικών πολιτικών.....	19
1.5.2 Αύξηση της φιλοδοξίας της ΕΕ για το κλίμα για το 2030 και το 2050	20
1.5.3 Παροχή καθαρής, προσιτής και ασφαλούς ενέργειας.....	20
1.5.4 Κινητοποίηση της βιομηχανίας για μια καθαρή και κυκλική οικονομία	21
1.5.5 Κατασκευή και ανακαίνιση με ενεργειακά αποδοτικό τρόπο	22
1.5.6 Επιτάχυνση της μετάβασης σε βιώσιμη και έξυπνη κινητικότητα.....	22
1.5.7 Ενσωμάτωση της βιωσιμότητας σε όλες τις πολιτικές της ΕΕ.....	24
1.6 Αξιολόγηση του 2019 για την πρόοδο που έχει σημειωθεί	24
1.6.1 Περίληψη των ευρημάτων της έκθεσης	25
1.6.2 Πρόοδος προς την κατεύθυνση της ΕΕ για την ενεργειακή απόδοση 2020.....	27
1.6.3 Εθνικοί στόχοι.....	27
1.6.4 Ευρήματα της έρευνας	28
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο	31
Ενεργειακή αποδοτικότητα στον τομέα της συμβατικής παραγωγής	31
2.1 Εισαγωγή	31
2.1.1 Παραγωγή ενέργειας από ορυκτά καύσιμα	31
2.1.2 Αποδοτικότητα σταθμών ηλεκτροπαραγωγής με ορυκτά καύσιμα.....	36
2.2 Απόδοση της παραγωγής ανά χώρα	37

2.2.1 Απόδοση παραγωγής ενέργειας με καύση άνθρακα, φυσικό αέριο και πετρέλαιο	37
2.2.2 Συγκριτική αξιολόγηση με βάση τη μη σταθμισμένη μέση απόδοση	40
2.2.3 Συγκριτική αξιολόγηση με βάση τη μέση σταθμισμένη απόδοση	44
2.2.4 Συμπεράσματα ως προς την απόδοση ανά χώρα	46
2.3 Απόδοση της παραγωγής ανά τύπο καυσίμου.....	47
2.3.1 Πετρέλαιο	48
2.3.2 Φυσικό αέριο.....	50
2.3.3 Άνθρακας.....	52
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο	54
Ενεργειακή αποδοτικότητα στον τομέα της αποθήκευσης	54
3.1 Τεχνολογίες αποθήκευσης ενέργειας.....	54
3.2 Μπαταρίες.....	59
3.2.1 Μπαταρίες μολύβδου-οξέος.....	60
3.2.2 Μπαταρίες νικελίου-καδμίου (Ni – Cd).....	62
3.2.3 Μπαταρίες νικελίου- υδριδίου μετάλλου (Ni – MH)	62
3.2.4 Μπαταρίες νατρίου-θείου (Na – S)	64
3.2.5 Μπαταρίες ιόντων λιθίου (Li-Ion)	65
3.2.6 Συνοπτική παρουσίαση μπαταριών	66
3.3 Μπαταρίες Ροής	68
3.4 Υπεραγώγιμη μαγνητική αποθήκευση ενέργειας (Superconducting magnetic energy storage (SMES)).....	69
3.5 Αποθήκευση ενέργειας με σφόνδυλο (Flywheel Energy Storage - FES).....	71
3.6 Αποθήκευση υδροηλεκτρικής ενέργειας (Pumped hydro energy storage PHES)	73
3.7 Αποθήκευση θερμικής ενέργειας (TES)	75
3.8 Αποθήκευση ενέργειας πεπιεσμένου αέρα (Compressed Air Energy Storage CAES)	77
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο	79
Ενεργειακή αποδοτικότητα στα δίκτυα μεταφοράς HVDC	79
4.1 Εισαγωγή.....	79
4.2 Επισκόπηση τεχνολογίας HVDC.....	80
4.2.1 Πλεονεκτήματα των HVDC.....	80
4.2.2 Μειονεκτήματα των HVDC.....	82
4.3 Ιστορική εξέλιξη	83
4.4 Απόδοση HVDC συστημάτων	84
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο – Συμπεράσματα και Επεκτάσεις	89
5.1 Γενικά συμπεράσματα.....	89
5.2 Επεκτάσεις	92

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο

Εισαγωγικές έννοιες & Ενεργειακή αποδοτικότητα σε Ευρωπαϊκό επίπεδο

1.1 Εισαγωγή

Η Ευρωπαϊκή Επιτροπή θεωρεί την ενεργειακή απόδοση ως στρατηγική προτεραιότητα και προωθεί ως αρχή την φράση «ενεργειακή απόδοση πρώτα» [1]. Προτείνει να υπάρξει ουσιαστική επανεξέταση της ενεργειακής απόδοσης και να την αντιμετωπίσουμε ως πηγή ενέργειας από μόνη της. Χρησιμοποιώντας την ενέργεια πιο αποτελεσματικά, η ζήτηση ενέργειας μπορεί να μειωθεί, οδηγώντας σε χαμηλότερους λογαριασμούς ενέργειας για τους καταναλωτές, χαμηλότερες εκπομπές αερίων θερμοκηπίου και άλλων ρύπων, μειωμένη ανάγκη για ενεργειακή υποδομή και αυξημένη ενεργειακή ασφάλεια μέσω της μείωσης των εισαγωγών ενέργειας. Σε παγκόσμιο επίπεδο, η ενεργειακή απόδοση έχει συμβάλει στην ουσιαστική εξοικονόμηση κατανάλωσης ενέργειας.

Επί του παρόντος η εφαρμογή των πολιτικών ενεργειακής απόδοσης είναι δύσκολη [1] και το σύνολο των δυνατοτήτων που μπορεί δυνητικά να προσφέρουν οι πρακτικές ενεργειακής απόδοσης απέχουν πολύ από την πραγματοποίηση, για οικονομικούς και ρυθμιστικούς λόγους. Τα εμπόδια περιλαμβάνουν υψηλό αρχικό κόστος επένδυσης, πρόσβαση σε χρηματοδότηση, έλλειψη πληροφοριών, διαχωριστικά κίνητρα και επιπτώσεις ανάκαμψης.

Η ΕΕ έχει θέσει στόχους ενεργειακής απόδοσης και ένα σύνολο κανονισμών για την προώθηση της ενεργειακής απόδοσης σε ολόκληρη την οικονομία. Στο πλαίσιο της στρατηγικής της Ενεργειακής Ένωσης, η Ευρωπαϊκή Επιτροπή σχεδιάζει να προτείνει συγκεκριμένες στρατηγικές για τη θέρμανση και την ψύξη και για τον τομέα των μεταφορών. Επίσης θα δοθεί ιδιαίτερη προσοχή στη χρηματοδότηση της ενεργειακής απόδοσης, ενώ το Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο επανειλημμένα ζητά ισχυρότερους στόχους και πολιτικές ενεργειακής απόδοσης της ΕΕ [2-10].

1.2 Ορισμός ενεργειακής απόδοσης

1.2.1 Θεμελιώδεις έννοιες

Σε γενικές γραμμές, η ενεργειακή απόδοση αναφέρεται στο ποσό της ενέργειας που μπορεί να παραχθεί με μια δεδομένη εισροή ενέργειας. Συνήθως, η ενεργειακή απόδοση μετριέται ως η ποσότητα ενέργειας που παράγεται για μια δεδομένη ενεργειακή είσοδο και αναφέρεται ως ποσοστό μεταξύ 0% και 100%, για παράδειγμα η ποσότητα της μηχανικής ενέργειας που παράγει ένας ηλεκτρικός κινητήρας για μια δεδομένη είσοδο ηλεκτρικής ενέργειας.

Ωστόσο, μπορούν να χρησιμοποιηθούν και άλλα είδη εξόδου. Η οδηγία της ΕΕ για την ενεργειακή απόδοση χρησιμοποιεί έναν πολύ ευρύ ορισμό [1]:

«Ενεργειακή απόδοση»: ο λόγος εξόδου μιας λειτουργίας, υπηρεσίας, αγαθών ή της ενέργειας, προς την είσοδο της συγκεκριμένης ενέργειας.

Για να απεικονίσουμε αυτά τα είδη εξόδου, η θερμική άνεση σε ένα κτίριο είναι ένα παράδειγμα απόδοσης (Είσοδος: Η ενέργεια που προσφέρεται, Έξοδος: Η πραγματική ενέργεια που καταναλώνεται για την θέρμανση ή ψύξη), η μεταφορά προσώπων (με μέσα μεταφοράς) ή πληροφοριών είναι μια υπηρεσία, ένα κινητό για παράδειγμα είναι ένα αγαθό, η παραγωγή του οποίου απαιτεί ενέργεια.

Πολλές φορές για τον υπολογισμό της απόδοσης απαιτείται η χρήση ενός μέτρου σύγκρισης με οικονομικές προεκτάσεις. Το ακαθάριστο εγχώριο προϊόν (Α.Εγχ.Π. - ΑΕΠ) συχνά συγκρίνεται με τη χρήση ενέργειας (energy intensity - μετράται πχ σε κιλοβατώρες ανά ευρώ). Η εξοικονόμηση ενέργειας είναι η μείωση της χρήσης ενέργειας, χωρίς αναφορά στη παραγωγή (έξοδο).

Η αποτελεσματικότητα του συνολικού ενεργειακού συστήματος είναι ένα άλλο ζήτημα. Για παράδειγμα, οι αιχμές της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας απαιτούν εφεδρικούς σταθμούς παραγωγής ενέργειας άρα κατά συνέπεια και επιπλέον αποθηκευμένη ενέργεια που καθιστούν το ενεργειακό σύστημα λιγότερο αποδοτικό [1]. Με τον όρο αποτελεσματική χρήση ενέργειας εννοούμε την χρήση της με τέτοιο τρόπο κατά τον οποίο επιτυγχάνεται το μέγιστο όφελος. Ένας τρόπος για να επιτευχθεί αυτό είναι η μετατόπιση της κατανάλωσης ενέργειας σε

περιόδους όπου η ενέργεια είναι άφθονη και φθηνή (για παράδειγμα τη νύχτα, ή κατά τη διάρκεια ηλιόλουστων περιόδων ή περιόδων με ισχυρούς ανέμους όπου οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας παράγουν περισσότερη ενέργεια).

Τέλος, θα πρέπει να ληφθεί υπόψη ότι για την κατασκευή εγκαταστάσεων στις οποίες θα παράγεται ενέργεια απαιτείται επίσης κατανάλωση ενέργειας (για παράδειγμα για την διάτρηση πετρελαιοπηγών ή την κατασκευή ανεμογεννητριών απαιτούνται σημαντικά ποσοστά ενέργειας). Άρα τελικά η καθαρή ενέργεια είναι η ενέργεια που παράγεται μετά την αφαίρεση του ποσού ενέργειας που χρησιμοποιήθηκε. Η ανάλυση καθαρής ενέργειας εφαρμόζεται επίσης σε μέτρα που αποσκοπούν στην εξοικονόμηση ενέργειας.

Η ενεργειακή απόδοση μπορεί να βελτιωθεί σε όλα τα σημεία της αλυσίδας, από την παραγωγή ενέργειας έως την κατανάλωση ενέργειας. Οι αεριοστρόβιλοι συνδυασμένου κύκλου για παράδειγμα μπορούν να μετατρέψουν το αέριο σε ηλεκτρική ενέργεια με απόδοση έως και 60% [1]. Η θερμότητα που προκύπτει από την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας μπορεί να αξιοποιηθεί στα νοικοκυριά και τη βιομηχανία (συνδυασμένη θερμότητα και ενέργεια - τηλεθέρμανση). Οι γραμμές μεταφοράς συνεχούς ρεύματος υψηλής τάσης (HVDC) μπορούν να μειώσουν τις απώλειες ενέργειας στο δίκτυο. Τα έξυπνα δίκτυα βελτιώνουν την απόδοση σε όλο το σύστημα μετάδοσης ενέργειας επιτρέποντας την καλύτερη χρήση του δικτύου για τη σύνδεση παραγωγών και καταναλωτών ηλεκτρικής ενέργειας. Οι έξυπνοι μετρητές μπορούν να προωθήσουν την αποδοτικότερη χρήση ενέργειας ενθαρρύνοντας τους καταναλωτές να μειώσουν την κατανάλωση ενέργειας, ειδικά σε περιόδους αιχμής. Στον κατασκευαστικό τομέα, οι μονωμένοι τοίχοι και τα παράθυρα μπορούν να συμβάλουν στη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας χωρίς να διακυβεύεται η θερμική άνεση. Οι κλίβανοι συμπύκνωσης ή οι αντλίες θερμότητας μπορούν να μειώσουν την κατανάλωση ενέργειας στον τομέα της θέρμανσης. Η τεχνολογία LED βελτίωσε δραματικά την απόδοση του φωτισμού. Στον τομέα των μεταφορών, τα ελαφρά υλικά, ο αεροδυναμικός σχεδιασμός και οι αποδοτικοί κινητήρες μπορούν να βελτιώσουν την απόδοση καυσίμου των οχημάτων [1].

1.2.2 Κόστος και οφέλη της ενεργειακής απόδοσης

Η βελτιωμένη ενεργειακή απόδοση αναμένεται να αποφέρει ορισμένα οφέλη. Πρώτα απ' όλα, μειώνοντας τη χρήση ενέργειας, οι λογαριασμοί ενέργειας αναμενόμενο είναι να μειωθούν για τους βιομηχανικούς καταναλωτές, βελτιώνοντας έτσι την ανταγωνιστικότητά τους. Για τα

νοικοκυριά, οι χαμηλότεροι λογαριασμοί ενέργειας μειώνουν τον κίνδυνο ενεργειακής φτώχειας και αυξάνουν την αγοραστική δύναμη. Η μειωμένη ενεργειακή ζήτηση σημαίνει επίσης ότι οι εισαγωγές ενέργειας μπορούν να μειωθούν (συμβάλλοντας στην ενεργειακή ασφάλεια) και οι απαιτήσεις ενεργειακής υποδομής (όπως σταθμοί παραγωγής ενέργειας ή γραμμές μεταφοράς) μειώνονται [1].

Η χαμηλότερη ενεργειακή ζήτηση αναμένεται επίσης να οδηγήσει σε μείωση των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου, συμβάλλοντας ουσιαστικά στην προστασία του κλίματος και στην απαλλαγή από την χρήση του άνθρακα. Στο πλαίσιο αυτό, η μειωμένη χρήση ενέργειας μπορεί να συμβάλει στη βελτίωση της ποιότητας του αέρα και στη μείωση των επιπτώσεων στην υγεία, καθώς και στη μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων από την εξόρυξη και χρήση ενέργειας.

Τέλος, η εφαρμογή μέτρων ενεργειακής απόδοσης μπορεί να δημιουργήσει νέες θέσεις εργασίας στη βιομηχανία και τις ενεργειακές υπηρεσίες.

Οι βελτιώσεις στην ενεργειακή απόδοση απαιτούν μια αρχική επένδυση (και ενδεχομένως επαναλαμβανόμενο κόστος είτε για συντήρηση είτε για αναβαθμίσεις) και το κέρδος που προσφέρουν κατά τη διάρκεια ζωής της επένδυσης, έχει την μορφή εξοικονόμησης ενέργειας. Ένα μέτρο ενεργειακής απόδοσης λέγεται ότι είναι οικονομικά αποδοτικό όταν η επιτευχθείσα απόδοση υπερβαίνει τα αρχικά έξοδα της επένδυσης. Το Ινστιτούτο Ευρωπαϊκής Πολιτικής Περιβάλλοντος εξέτασε την απόδοση διαφόρων προγραμμάτων ενεργειακής απόδοσης στη Γερμανία, την Ιρλανδία και τη Σουηδία και διαπίστωσε ότι τα οφέλη υπερβαίνουν σταθερά το αρχικό κόστος επενδύσεων [1]

1.2.3 Φαινόμενο αντίρροπου αποτελέσματος

Σε πολλές περιπτώσεις, οι βελτιώσεις στην ενεργειακή απόδοση οδηγούν σε χαμηλότερη εξοικονόμηση ενέργειας από το αναμενόμενο και μπορεί ακόμη και να οδηγήσουν σε αύξηση της χρήσης ενέργειας κάτι το οποίο στην βιβλιογραφία ονομάζεται ως φαινόμενο αντίρροπου αποτελέσματος. Ο λόγος μπορεί να είναι ότι οι καταναλωτές δεν αντικαθιστούν απλά ένα παλιό προϊόν με ένα πιο αποδοτικό με τις ίδιες προδιαγραφές, αλλά κάνουν αναβάθμιση σε μεγαλύτερο προϊόν. Για παράδειγμα, μπορεί να αντικαταστήσουν ένα μικρό αλλά αναποτελεσματικό ψυγείο με ένα μεγαλύτερο, πιο αποδοτικό, που προσφέρει περισσότερο χώρο, αλλά έχει παρόμοια ή ακόμη μεγαλύτερη κατανάλωση ενέργειας. Ακόμα και αν ένα

προϊόν αντικατασταθεί από ένα πιο αποδοτικό, οι χαμηλότεροι λογαριασμοί ενέργειας σημαίνουν ότι οι καταναλωτές έχουν περισσότερα χρήματα για να δαπανήσουν για αγαθά και υπηρεσίες. Αυτό είναι γενικά ένα επιθυμητό κοινωνικό και οικονομικό αποτέλεσμα, αλλά συχνά συνεπάγεται πρόσθετη κατανάλωση ενέργειας που αναιρεί μέρος της εξοικονόμησης ενέργειας. Από την ανάλυση των δεδομένων της ΕΕ προκύπτει ότι 11 κράτη μέλη παρουσίασαν επιπτώσεις τέτοιου είδους άνω του 50%, με έξι από αυτά άνω του 100% [1].

1.2.4 Δυνατότητες της ενεργειακής απόδοσης

Επενδύσεις στην ενεργειακή απόδοση δύναται να επιφέρουν σημαντικά οικονομικά οφέλη. Ο Διεθνής Οργανισμός Ενέργειας εκτιμά, στην έκθεση της αγοράς ενεργειακής απόδοσης, ότι οι παγκόσμιες επενδύσεις στην ενεργειακή απόδοση κυμαίνονταν μεταξύ 310 δισεκατομμυρίων και 360 δισεκατομμυρίων δολαρίων το 2012 [1]. Ωστόσο, χάνονται πολλές ευκαιρίες για επενδύσεις στην ενεργειακή απόδοση, αν και φαίνεται να είναι οικονομικά συμφέρουσες. Υπάρχουν διάφορες εξηγήσεις για αυτό το «κενό ενεργειακής απόδοσης» [1].

Πρώτον, υπάρχουν περιπτώσεις «ξεχωριστών κινήτρων» όπου οι επενδύσεις στην ενεργειακή απόδοση δεν ωφελούν άμεσα τον επενδυτή, αλλά ένα άλλο μέρος. Ένα παράδειγμα είναι όταν ο ιδιοκτήτης επενδύει στη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης ενός κτιρίου, αλλά τα οφέλη της εξοικονόμησης αποδίδονται στον μισθωτή. Ομοίως, οι επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας, των οποίων το εισόδημα προέρχεται από την πώληση φυσικού αερίου ή ηλεκτρικής ενέργειας, μπορεί να μην έχουν εγγενή κίνητρα για να ενθαρρύνουν τους πελάτες τους να εξοικονομήσουν ενέργεια καθώς με αυτόν τον τρόπο πρακτικά μειώνεται το εισόδημά τους.

Δεύτερον, το υψηλό αρχικό επενδυτικό κόστος μπορεί να αποθαρρύνει τις επενδύσεις ενεργειακής απόδοσης και η πρόσβαση στη χρηματοδότηση μπορεί να είναι δύσκολη για μικρότερα έργα. Επιπλέον, η εμπιστοσύνη των επενδυτών μπορεί να μετριαστεί από την αβεβαιότητα σχετικά με το ποσό της εξοικονόμησης ενέργειας και την έλλειψη ικανότητας ρευστοποίησης των περισσότερων επενδύσεων ενεργειακής απόδοσης που εμποδίζουν την εύκολη ή γρήγορη έξοδο τους από το έργο, χαρακτηριστικό που επιζητούν οι περισσότεροι επενδυτές.

Τρίτον, υπάρχουν τα εμπόδια συμπεριφοράς τα οποία περιλαμβάνουν την αδράνεια ως προς την δράση των κρατικών και ιδιωτικών μηχανισμών, τη βραχυπρόθεσμη σκέψη, την αβεβαιότητα, την έλλειψη πληροφοριών και την δυσκολία που απαιτείται για τη λήψη

πληροφοριών. Μια μελέτη του 2013 από το ινστιτούτο Fraunhofer ISI εκτιμά ότι η υλοποίηση του πλάνου που αφορά την ενεργειακή απόδοση της ΕΕ μπορεί να οδηγήσει σε εξοικονόμηση ενέργειας 41% έως το 2030, μη λαμβάνοντας υπόψη οφέλη από την εξοικονόμηση καυσίμων και υπό την προϋπόθεση ότι αν υπάρχουν εμπόδια όπως η έλλειψη πληροφοριών ή «ξεχωριστά κίνητρα» επίσης δεν θα ληφθούν υπόψη [1].

1.3 Χρηματοδότηση για ενεργειακή απόδοση

Σύμφωνα με την Επιτροπή, περισσότερα από 100 δισεκατομμύρια ευρώ (συμπεριλαμβανομένων περίπου 89 δισεκατομμυρίων ευρώ στον τομέα της στέγασης και 19 δισεκατομμύρια ευρώ στη βιομηχανία) πρέπει να επενδύονται κάθε χρόνο για την επίτευξη του στόχου ενεργειακής απόδοσης του 2030 – ποσό το οποίο είναι διπλάσιο από τα τρέχοντα επίπεδα [1].

Η ΕΕ παρέχει χρηματοδότηση για μέτρα ενεργειακής απόδοσης μέσω των Ευρωπαϊκών Διαρθρωτικών και Επενδυτικών Ταμείων, του προγράμματος έρευνας και καινοτομίας «Horizon 2020», του ευρωπαϊκού τοπικού προγράμματος ενεργειακής βοήθειας (ELENA - European local energy assistance programme) και του Ευρωπαϊκού Ταμείου Ενεργειακής Απόδοσης (EEEF European Energy Efficiency Fund). Το EEEF είναι μια σύμπραξη δημόσιου-ιδιωτικού τομέα που επικεντρώνεται στη χρηματοδότηση έργων που εκτελούνται από, ή για λογαριασμό, τοπικών και περιφερειακών αρχών. Το μέσο Private Finance for Energy Efficiency (PF4EE) της European Investment Bank παρέχει μακροπρόθεσμη χρηματοδότηση για επενδύσεις ενεργειακής απόδοσης, υποστηριζόμενο από το ταμείο LIFE για προστασία πιστωτικού κινδύνου και υπηρεσίες εμπειρογνομόνων.

Τα μέτρα ενεργειακής απόδοσης είναι μεταξύ των επενδύσεων που μπορούν να υποστηριχθούν από το Ευρωπαϊκό Ταμείο Στρατηγικών Επενδύσεων (EFSD), το οποίο στοχεύει να προσελκύσει 315 δισεκατομμύρια ευρώ σε ιδιωτικές επενδύσεις.

Το Investor Confidence Project (ICP) Europe, υποστηριζόμενο μέσω του προγράμματος EU Horizon 2020, στοχεύει στη δημιουργία μιας αγοράς για «έργα ενεργειακής απόδοσης έτοιμων για επενδυτές», μειώνοντας το κόστος συναλλαγής, τον κίνδυνο και τα γενικά έξοδα για έργα ανακαίνισης κτιρίων. Το ICP ελέγχει ρυθμιστικά τη διαδικασία αξιοποιώντας τις βέλτιστες πρακτικές για ανακαίνισης κτιρίων και υποβάλλοντας έργα σε έλεγχο τρίτων [1].

Η εθνική χρηματοδότηση της ενεργειακής απόδοσης στοχεύει στην άρση των εμποδίων για πιθανούς επενδυτές. Για παράδειγμα, στη Γερμανία, η δημόσια τράπεζα KfW παρέχει δάνεια χαμηλού επιτοκίου και επιχορηγήσεις για επενδύσεις ενεργειακής απόδοσης στον οικιακό τομέα, τους δήμους και τη βιομηχανία.

1.4 Οδηγία 2012/27/ΕΕ του Ευρωπαϊκού κοινοβουλίου σχετικά με την ενεργειακή απόδοση

Η οδηγία 2012/27/ΕΕ εκδόθηκε από την ευρωπαϊκή Ένωση το 2012 και αφορούσε την ενεργειακή απόδοση, την τροποποίηση των οδηγιών 2009/125/ΕΚ και 2010/30/ΕΕ και την κατάργηση των οδηγιών 2004/8/ΕΚ και 2006/32/ΕΚ. Με την συγκεκριμένη οδηγία θεσπίστηκε κοινό πλαίσιο μέτρων για την προώθηση της ενεργειακής απόδοσης εντός της Ένωσης προκειμένου να διασφαλιστεί επίτευξη ενός πρωταρχικού στόχου για το 2020 της Ένωσης για 20 % στην ενεργειακή απόδοση και για να προετοιμαστεί το έδαφος για περαιτέρω βελτιώσεις της ενεργειακής απόδοσης πέραν της προαναφερόμενης χρονολογίας. Η οδηγία θέσπιζε κανόνες που αποσκοπούσαν στην άρση των φραγμών στην αγορά ενέργειας και στην υπερνίκηση των αδυναμιών της αγοράς που παρεμποδίζουν την απόδοση στον εφοδιασμό και τη χρήση ενέργειας και προέβλεπε τη θέσπιση ενδεικτικών εθνικών στόχων ενεργειακής απόδοσης για το 2020.

Οι απαιτήσεις που καθορίζονταν στην παρούσα οδηγία συνιστούσαν ελάχιστες απαιτήσεις και δεν εμποδίζουν τα κράτη μέλη να διατηρούν ή να λαμβάνουν αυστηρότερα μέτρα. Τα μέτρα αυτά έπρεπε να ήταν συμβατά με το δίκαιο της Ένωσης.

1.5 Η Ευρωπαϊκή Πράσινη Συμφωνία

Η ατμόσφαιρα του πλανήτη και το κλίμα αλλάζει με κάθε χρόνο που περνάει. Ένα εκατομμύριο από τα οκτώ εκατομμύρια είδη στον πλανήτη κινδυνεύουν να χαθούν. Τα δάση και οι ωκεανοί μολύνονται και καταστρέφονται. Η Ευρωπαϊκή Πράσινη Συμφωνία αποτελεί απάντηση σε αυτές τις προκλήσεις. Πρόκειται για μια νέα αναπτυξιακή στρατηγική που στοχεύει στη συνολική μεταμόρφωση της κοινωνίας της ΕΕ, με μια σύγχρονη, οικονομικά αποδοτική και

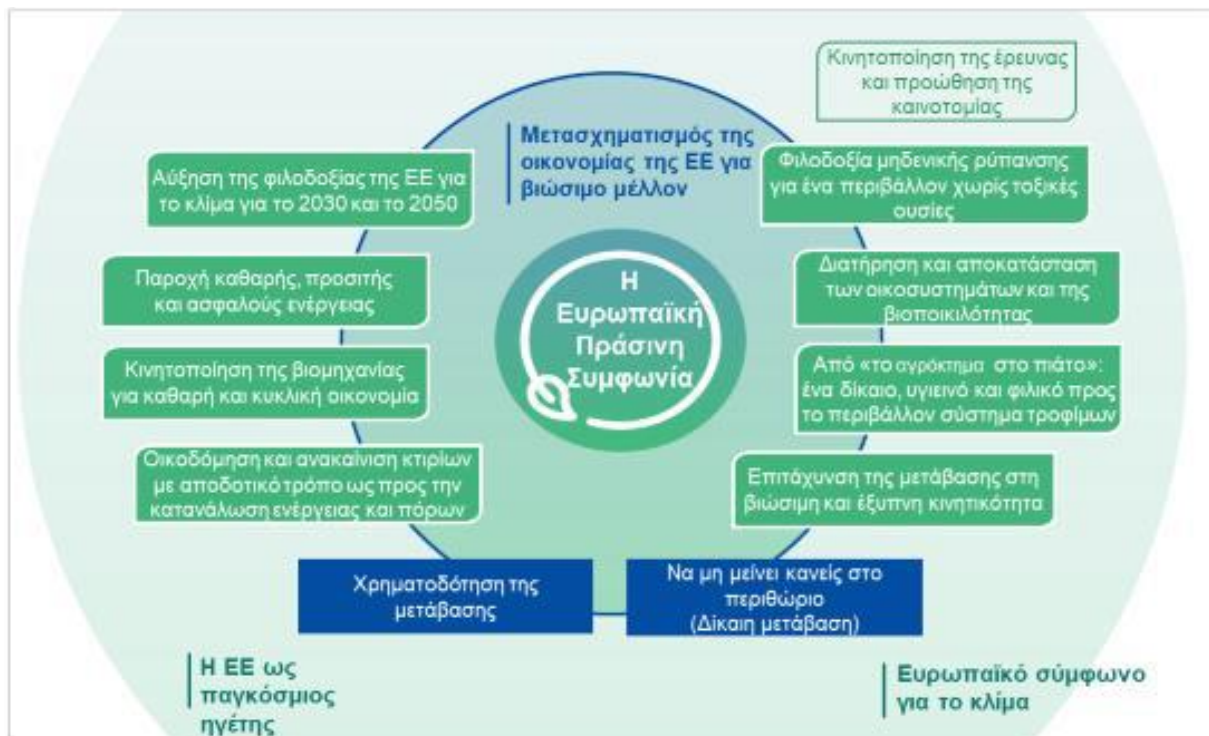
ανταγωνιστική οικονομία όπου δεν υπάρχουν καθαρές εκπομπές αερίων θερμοκηπίου μέχρι το 2050 και όπου η οικονομική ανάπτυξη αποσυνδέεται από τη χρήση πόρων.

Στοχεύει επίσης στην προστασία, διατήρηση και ενίσχυση του φυσικού κεφαλαίου της ΕΕ, καθώς και στην προστασία της υγείας και της ευημερίας των πολιτών από κινδύνους και επιπτώσεις που σχετίζονται με το περιβάλλον. Ταυτόχρονα, αυτή η μετάβαση πρέπει να είναι δίκαιη και χωρίς αποκλεισμούς. Πρέπει να δώσει προτεραιότητα στους ανθρώπους και να προσέξει τις περιφέρειες, τις βιομηχανίες και τους εργαζομένους που θα αντιμετωπίσουν τις μεγαλύτερες προκλήσεις. Δεδομένου ότι θα επιφέρει ουσιαστική αλλαγή, η ενεργός συμμετοχή του κοινού και η εμπιστοσύνη στη μετάβαση είναι υψίστης σημασίας για να λειτουργήσουν οι πολιτικές και να γίνουν αποδεκτές. Απαιτείται ένα νέο σύμφωνο για την προσέγγιση των πολιτών σε όλη τους την ποικιλομορφία, με τις εθνικές, περιφερειακές, τοπικές αρχές, την κοινωνία των πολιτών και τη βιομηχανία να συνεργάζονται στενά με τα θεσμικά όργανα και τους συμβουλευτικούς φορείς της ΕΕ. [111].

Η περιβαλλοντική φιλοδοξία της Πράσινης Συμφωνίας δεν μπορεί να επιτευχθεί εάν η Ευρώπη δράσει μόνη της. Οι αιτίες της κλιματικής αλλαγής και της απώλειας της βιοποικιλότητας είναι παγκόσμιες και δεν τις περιορίζουν τα εθνικά σύνορα. Η ΕΕ μπορεί να χρησιμοποιήσει την επιρροή, την εμπειρογνωσία και τους οικονομικούς της πόρους για να κινητοποιήσει τους γείτονες και τους εταίρους της ώστε να ακολουθήσουν και αυτοί μια βιώσιμη πορεία. Η ΕΕ θα εξακολουθήσει να ηγείται των διεθνών προσπαθειών και επιθυμεί να χτίσει συμμαχίες με όσους συμμερίζονται τις απόψεις της. Επίσης, αναγνωρίζει την ανάγκη να διατηρηθεί η ασφάλεια του εφοδιασμού και η ανταγωνιστικότητά της, ακόμη κι αν οι άλλοι διστάζουν να δράσουν [111].

Η Πράσινη Συμφωνία αποτελεί αναπόσπαστο μέρος της στρατηγικής αυτής της Επιτροπής για την υλοποίηση της ατζέντας των Ηνωμένων Εθνών για το 2030 και των στόχων της αειφόρου ανάπτυξης, και των άλλων προτεραιοτήτων που ανακοινώνονται στις πολιτικές κατευθυντήριες γραμμές του Προέδρου Von der Leyen.

Στον παρακάτω πίνακα απεικονίζονται τα διάφορα στοιχεία της Πράσινης Συμφωνίας.



Εικ. 1.1: Η Ευρωπαϊκή Πράσινη Συμφωνία [11]

1.5.1 Σχεδιασμός ενός συνόλου βαθιά μετασχηματιστικών πολιτικών

Για να υλοποιηθεί η Ευρωπαϊκή Πράσινη Συμφωνία, είναι αναγκαίο να επανεξεταστούν οι πολιτικές για τον εφοδιασμό με καθαρή ενέργεια όλης της οικονομίας, για τη βιομηχανία, την παραγωγή και την κατανάλωση, τις υποδομές μεγάλης κλίμακας, τις μεταφορές, τα τρόφιμα και τη γεωργία, τις κατασκευές, τη φορολογία και τις κοινωνικές παροχές. Για την επίτευξη αυτών των στόχων, είναι σημαντικό να αυξηθεί η αξία που δίνεται στην προστασία και την αποκατάσταση των φυσικών οικοσυστημάτων, στη βιώσιμη χρήση των πόρων και στη βελτίωση της ανθρώπινης υγείας. Αυτό είναι όπου η μετασχηματιστική αλλαγή είναι περισσότερο απαραίτητη και δυνητικά πιο ωφέλιμη για την οικονομία, την κοινωνία και το φυσικό περιβάλλον της ΕΕ. Η ΕΕ θα πρέπει επίσης να προωθήσει και να επενδύσει στον απαραίτητο ψηφιακό μετασχηματισμό και τα απαραίτητα εργαλεία, καθώς αυτά είναι απαραίτητα στοιχεία για τις αλλαγές.

Ενώ όλοι αυτοί οι τομείς δράσης είναι αλληλένδετοι και αλληλοενισχύονται, θα πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη προσοχή όταν υπάρχουν πιθανές αντισταθμίσεις μεταξύ οικονομικών, περιβαλλοντικών και κοινωνικών στόχων. Η Πράσινη Συμφωνία θα κάνει συνεπή χρήση όλων

των μοχλών πολιτικής: ρύθμιση και τυποποίηση, επενδύσεις και καινοτομία, εθνικές μεταρρυθμίσεις, διάλογος με τους κοινωνικούς εταίρους και διεθνή συνεργασία. Ο Ευρωπαϊκός Πυλώνας Κοινωνικών Δικαιωμάτων θα καθοδηγήσει τη δράση για να διασφαλίσει ότι κανείς δεν θα μείνει πίσω.

Τα νέα μέτρα από μόνα τους δεν θα είναι αρκετά για την επίτευξη των στόχων της Ευρωπαϊκής Πράσινης Συμφωνίας. Εκτός από την ανάληψη νέων πρωτοβουλιών, η Επιτροπή θα συνεργαστεί με τα κράτη μέλη για να εντείνει τις προσπάθειες της ΕΕ για να εξασφαλίσει την επιβολή και την αποτελεσματική εφαρμογή της ισχύουσας νομοθεσίας και των πολιτικών που σχετίζονται με την Πράσινη Συμφωνία. [11].

1.5.2 Αύξηση της φιλοδοξίας της ΕΕ για το κλίμα για το 2030 και το 2050

Η Επιτροπή έχει ήδη ορίσει ένα σαφές όραμα για τον τρόπο επίτευξης της κλιματικής ουδετερότητας έως το 2050. Αυτό το όραμα θα πρέπει να αποτελέσει τη βάση για τη μακροπρόθεσμη στρατηγική που θα υποβάλει η ΕΕ στη Σύμβαση-πλαίσιο των Ηνωμένων Εθνών για την αλλαγή του κλίματος στις αρχές του 2020. Για αυτό τον σκοπό θα πρέπει να καθιερωθεί νομοθεσία για την επίτευξη του στόχου του 2050 για την κλιματική ουδετερότητα. Ο νόμος για το κλίμα θα διασφαλίσει επίσης ότι όλες οι πολιτικές της ΕΕ συμβάλλουν στον στόχο της ουδετερότητας του κλίματος και ότι όλοι οι τομείς διαδραματίζουν τον ρόλο τους.

Η ΕΕ έχει ήδη αρχίσει να εκσυγχρονίζει και να μετασχηματίζει την οικονομία αποσκοπώντας στην κλιματική ουδετερότητα. Μεταξύ του 1990 και του 2018 μείωσε τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου κατά 23 %, ενώ η οικονομία σημείωσε ανάπτυξη κατά 61 % [111]. Ωστόσο, με τις τρέχουσες πολιτικές, οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου θα μειωθούν μόνο κατά 60 % έως το 2050 [111]. Πρέπει ακόμη να γίνουν πολλά, αρχής γενομένης από μια πιο φιλόδοξη δράση για το κλίμα την επόμενη δεκαετία.

1.5.3 Παροχή καθαρής, προσιτής και ασφαλούς ενέργειας

Η περαιτέρω απανθρακοποίηση του ενεργειακού συστήματος είναι ζωτικής σημασίας για την επίτευξη των κλιματικών στόχων το 2030 και το 2050. Η παραγωγή και η χρήση ενέργειας στο σύνολο των οικονομικών τομέων αντιπροσωπεύουν περισσότερο από το 75% των εκπομπών

των αερίων θερμοκηπίου της ΕΕ. Πρέπει να δοθεί προτεραιότητα στην ενεργειακή απόδοση. Πρέπει να αναπτυχθεί ένας τομέας ηλεκτρικής ενέργειας που βασίζεται σε μεγάλο βαθμό σε ανανεώσιμες πηγές, που συμπληρώνεται από ταχεία σταδιακή απανθρακοποίηση του ενεργειακού συστήματος. Ταυτόχρονα, ο ενεργειακός εφοδιασμός της ΕΕ πρέπει να είναι ασφαλής και προσιτός για τους καταναλωτές και τις επιχειρήσεις. Για να συμβεί αυτό, είναι απαραίτητο να διασφαλιστεί ότι η ευρωπαϊκή αγορά ενέργειας είναι πλήρως ολοκληρωμένη, διασυνδεδεμένη και ψηφιοποιημένη, σεβόμενη ταυτόχρονα την τεχνολογική ουδετερότητα.

Η μετάβαση προς την καθαρή ενέργεια πρέπει να περιλαμβάνει και να ωφελεί τους καταναλωτές. Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας θα διαδραματίσουν ουσιαστικό ρόλο. Η αύξηση της υπεράκτιας αιολικής παραγωγής θα είναι ουσιαστική, με βάση την περιφερειακή συνεργασία μεταξύ των κρατών μελών. Η έξυπνη ενσωμάτωση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, της ενεργειακής απόδοσης και άλλων βιώσιμων λύσεων σε διάφορους τομείς θα συμβάλει στην επίτευξη του άνθρακα με το χαμηλότερο δυνατό κόστος. Η ταχεία μείωση του κόστους των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, σε συνδυασμό με τη βελτίωση του σχεδιασμού των πολιτικών στήριξης, έχει ήδη μειώσει τον αντίκτυπο στους ενεργειακούς λογαριασμούς των νοικοκυριών για την ανάπτυξη ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.

1.5.4 Κινητοποίηση της βιομηχανίας για μια καθαρή και κυκλική οικονομία

Η επίτευξη μιας ουδέτερης κλιματικά και κυκλικής οικονομίας απαιτεί την πλήρη κινητοποίηση της βιομηχανίας. Χρειάζονται 25 χρόνια για να μεταμορφωθεί ένας βιομηχανικός τομέας. Για να είμαστε έτοιμοι το 2050, πρέπει να ληφθούν αποφάσεις και ενέργειες τα επόμενα χρόνια.

Από το 1970 έως το 2017, η ετήσια παγκόσμια εξόρυξη υλικών τριπλασιάστηκε και συνεχίζει να αυξάνεται [111], θέτοντας σημαντικό παγκόσμιο κίνδυνο. Περίπου οι μισές από τις συνολικές εκπομπές αερίων θερμοκηπίου και περισσότερο από το 90% της απώλειας βιοποικιλότητας προέρχονται από την εξόρυξη πόρων και την επεξεργασία υλικών, καυσίμων και τροφίμων. Η βιομηχανία της ΕΕ έχει ξεκινήσει τον μετασχηματισμό αλλά εξακολουθεί να αντιπροσωπεύει το 20% των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου της ΕΕ. Επίσης είναι σημαντικό να ληφθεί υπόψη πως μόνο το 12% των υλικών που χρησιμοποιεί προέρχεται από την ανακύκλωση [111].

Ο μετασχηματισμός ενός βιομηχανικού κλάδου και όλων των αλυσίδων αξίας αποτελεί ευκαιρία για να διευρυνθεί η βιώσιμη οικονομική δραστηριότητα που διαθέτει υψηλή ένταση εργασίας. Οι παγκόσμιες αγορές παρουσιάζουν σημαντικές προοπτικές για τις τεχνολογίες χαμηλών εκπομπών και τα βιώσιμα προϊόντα και υπηρεσίες. Ομοίως, η κυκλική οικονομία παρέχει σημαντικές προοπτικές για νέες δραστηριότητες και θέσεις εργασίας. Ωστόσο, ο μετασχηματισμός πραγματοποιείται με πολύ αργούς ρυθμούς και η πρόοδος δεν είναι ούτε ευρεία ούτε ομοιόμορφη. Η Ευρωπαϊκή Πράσινη Συμφωνία θα στηρίξει και θα επιταχύνει τη μετάβαση της βιομηχανίας της ΕΕ σε ένα βιώσιμο μοντέλο ανάπτυξης χωρίς αποκλεισμούς.

1.5.5 Κατασκευή και ανακαίνιση με ενεργειακά αποδοτικό τρόπο

Η κατασκευή, η χρήση και η ανακαίνιση κτιρίων απαιτούν σημαντικές ποσότητες ενέργειας και ορυκτών πόρων (π.χ. άμμος, χαλίκι, τσιμέντο). Τα κτίρια αντιπροσωπεύουν επίσης το 40% της κατανάλωσης ενέργειας. Σήμερα, το ετήσιο ποσοστό ανακαίνισης του κτηριακού τομέα κυμαίνεται από 0,4 έως 1,2% στα κράτη μέλη. Αυτό το ποσοστό θα χρειαστεί τουλάχιστον να διπλασιαστεί για να επιτευχθούν οι στόχοι της ΕΕ για την ενεργειακή απόδοση και το κλίμα. Παράλληλα, 50 εκατομμύρια καταναλωτές αγωνίζονται να διατηρήσουν τα σπίτια τους ικανοποιητικά ζεστά.

Για να αντιμετωπίσει τη διπλή πρόκληση της ενεργειακής απόδοσης και της οικονομικής προσιτότητας, η ΕΕ και τα κράτη μέλη θα πρέπει να συμμετάσχουν σε ένα «κύμα ανακαίνισης» δημόσιων και ιδιωτικών κτιρίων. Ενώ η αύξηση των ποσοστών ανακαίνισης αποτελεί πρόκληση, η ανακαίνιση μειώνει τους λογαριασμούς ενέργειας και μπορεί να μειώσει την ενεργειακή φτώχεια.

1.5.6 Επιτάχυνση της μετάβασης σε βιώσιμη και έξυπνη κινητικότητα

Ο τομέας των μεταφορών αντιπροσωπεύει το ένα τέταρτο των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου στην ΕΕ και εξακολουθούν να αυξάνονται [111]. Για να επιτευχθεί ουδετερότητα στο κλίμα, απαιτείται μείωση κατά 90% των εκπομπών στον τομέα μεταφορών έως το 2050. Οι οδικές, σιδηροδρομικές, αεροπορικές και πλωτές μεταφορές θα πρέπει όλοι να συμβάλουν στη μείωση. Η επίτευξη βιώσιμων μεταφορών σημαίνει προτεραιότητα των χρηστών και παροχή σε αυτούς

πιο προσιτών, πιο υγιεινών και καθαρότερων εναλλακτικών λύσεων στις τρέχουσες συνήθειες κινητικότητας.

Ο τομέας των μεταφορών χρειάζεται ισχυρή ώθηση. Αυτό θα αυξήσει την αποτελεσματικότητα του συστήματος μεταφορών [111]. Κατά προτεραιότητα, ένα σημαντικό μέρος του 75% των εσωτερικών εμπορευματικών μεταφορών που μεταφέρονται σήμερα οδικώς θα πρέπει να μετατοπιστεί σε σιδηροδρομικές και εσωτερικές πλωτές οδούς. Αυτό θα απαιτήσει μέτρα για καλύτερη διαχείριση και για την αύξηση της χωρητικότητας των σιδηροδρόμων και των εσωτερικών πλωτών οδών, την οποία θα προτείνει η Επιτροπή έως το 2021. Η Επιτροπή θα εξετάσει επίσης την απόσυρση και την υποβολή μιας νέας πρότασης για την αναθεώρηση της οδηγίας για τις συνδυασμένες μεταφορές [111] για να την καταστήσει αποτελεσματικό εργαλείο για την υποστήριξη πολυτροπικών εμπορευματικών μεταφορών που περιλαμβάνουν σιδηροδρομικές και πλωτές μεταφορές, συμπεριλαμβανομένων των θαλάσσιων μεταφορών μικρών αποστάσεων

Η αυτοματοποιημένη και συνδεδεμένη πολυτροπική κινητικότητα θα διαδραματίσει έναν αυξανόμενο ρόλο, μαζί με τα έξυπνα συστήματα διαχείρισης της κυκλοφορίας που επιτρέπονται από την ψηφιοποίηση. Το σύστημα μεταφορών και η υποδομή της ΕΕ θα καταστούν κατάλληλα για την υποστήριξη νέων υπηρεσιών βιώσιμης κινητικότητας που μπορούν να μειώσουν τη συμφόρηση και τη ρύπανση, ιδίως στις αστικές περιοχές. Η Επιτροπή θα βοηθήσει στην ανάπτυξη έξυπνων συστημάτων για τη διαχείριση της κυκλοφορίας.

Το κόστος των μεταφορών πρέπει να αντικατοπτρίζει τον αντίκτυπο που έχουν οι μεταφορές στο περιβάλλον και στην υγεία. Οι επιδοτήσεις ορυκτών καυσίμων θα πρέπει να σταματήσουν και, στο πλαίσιο της αναθεώρησης της οδηγίας φορολόγησης της ενέργειας, η Επιτροπή θα εξετάσει εκ του σύνεγγυς τις τρέχουσες φορολογικές απαλλαγές, μεταξύ άλλων και για τα αεροπορικά και ναυτιλιακά καύσιμα, και θα διερευνήσει τον καλύτερο δυνατό τρόπο αντιμετώπισης των τρόπων διαφυγής. Ομοίως, η Επιτροπή θα προτείνει την επέκταση του ευρωπαϊκού συστήματος εμπορίας δικαιωμάτων εκπομπών στον ναυτιλιακό τομέα, καθώς και τη μείωση των δικαιωμάτων του συστήματος εμπορίας εκπομπών της ΕΕ που διατίθενται δωρεάν στις αεροπορικές εταιρείες. Αυτό θα συντονιστεί με δράσεις σε παγκόσμιο επίπεδο, ιδίως στον Διεθνή Οργανισμό Πολιτικής Αεροπορίας και τον Διεθνή Ναυτιλιακό Οργανισμό. Η Επιτροπή θα εξετάσει επίσης με νέο βλέμμα την πολιτική διάσταση του τρόπου με τον οποίο θα επιτευχθεί η αποτελεσματική τιμολόγηση της χρήσης οδικού δικτύου στην ΕΕ.

Οι μεταφορές θα πρέπει να καταστούν δραστικά λιγότερο ρυπογόνες, ιδίως στις πόλεις. Ένας συνδυασμός μέτρων θα πρέπει να αφορά τις εκπομπές, την κυκλοφορική συμμόρφωση των πόλεων και τη βελτίωση των δημόσιων συγκοινωνιών. Η Επιτροπή θα προτείνει αυστηρότερα πρότυπα για τις εκπομπές ατμοσφαιρικών ρύπων από οχήματα με κινητήρα εσωτερικής καύσης. Η Επιτροπή θα προτείνει επίσης την αναθεώρηση, έως τον Ιούνιο του 2021, της νομοθεσίας σχετικά με τα πρότυπα επιδόσεων για τις εκπομπές CO₂ των αυτοκινήτων και των ημιφορτηγών, ώστε να εξασφαλιστεί η σαφής μετάβαση, από το 2025 και μετά, προς την κινητικότητα μηδενικών εκπομπών.

1.5.7 Ενσωμάτωση της βιωσιμότητας σε όλες τις πολιτικές της ΕΕ

Για να επιτευχθούν οι φιλοδοξίες που θέτει η Ευρωπαϊκή Πράσινη Συμφωνία, υπάρχουν σημαντικές επενδυτικές ανάγκες. Η Επιτροπή εκτιμά ότι για την επίτευξη των σημερινών στόχων για το κλίμα και την ενέργεια το 2030 θα απαιτηθούν 260 δισεκατομμύρια ευρώ πρόσθετων ετήσιων επενδύσεων [11]. Αυτή η ροή επενδύσεων θα πρέπει να διατηρηθεί με την πάροδο του χρόνου. Το μέγεθος της επενδυτικής πρόκλησης απαιτεί κινητοποίηση τόσο του δημόσιου όσο και του ιδιωτικού τομέα.

Η Επιτροπή θα παρουσιάσει ένα επενδυτικό σχέδιο για την αειφόρο Ευρώπη για να καλύψει τις πρόσθετες ανάγκες χρηματοδότησης. Θα συνδυάσει ειδική χρηματοδότηση για τη στήριξη βιώσιμων επενδύσεων και προτάσεις για ένα βελτιωμένο πλαίσιο ενεργοποίησης που θα ευνοεί τις πράσινες επενδύσεις. Η τεχνική βοήθεια και οι συμβουλευτικές υπηρεσίες είναι αναγκαία εργαλεία τα οποία θα βοηθήσουν τους υπεύθυνους των έργων να εντοπίσουν και να προετοιμάσουν έργα και να αποκτήσουν πρόσβαση σε πηγές χρηματοδότησης.

1.6 Αξιολόγηση του 2019 για την πρόοδο που έχει σημειωθεί

Όπως αναφέρθηκε στην προηγούμενη ενότητα μέσω της πράσινης συμφωνίας καθορίζεται μια πορεία προς την ουδετερότητα του κλίματος έως το 2050 και ζητείται η αύξηση των προσπαθειών για την απαλλαγή από τον άνθρακα έως το 2030. Δεδομένου ότι το 75% των αερίων του θερμοκηπίου που εκπέμπονται στην ΕΕ προέρχονται από την προμήθεια και τη χρήση της ενέργειας, η περαιτέρω πρόοδος στην ενεργειακή απόδοση είναι απαραίτητη για την εκπλήρωση των δεσμεύσεών μας για την ουδετερότητα του άνθρακα και τους πιο φιλόδοξους

κλιματικούς στόχους την επόμενη δεκαετία. Η ενεργειακή απόδοση αποτελεί προτεραιότητα στην Πράσινη Συμφωνία. Ακόμη μεγαλύτερη σημασία για την πρόοδο, είναι η εφαρμογή της υφιστάμενης νομοθεσίας και των δεσμεύσεων ενεργειακής απόδοσης, μαζί με την ευρεία εφαρμογή της πρώτης αρχής ενεργειακής απόδοσης [12].

Καθώς η προσοχή επικεντρώνεται τώρα στην επόμενη δεκαετία και στη μακροπρόθεσμη προοπτική έως το 2050, είναι εξίσου σημαντικό να έχουμε κατά νου την πρόοδο που έγινε μέχρι σήμερα. Τυχόν κενά και καθυστερήσεις σήμερα θα επηρεάσουν τους δρόμους για την επίτευξη των στόχων του 2050. Επιπλέον, ο αντίκτυπος της κρίσης COVID-19 θα διαδραματίσει επίσης τον ρόλο του.

Για εξεταστεί το κατά πόσο οι στόχοι του 2020 επιτευχθήκαν δημιουργήθηκε μια έκθεση η οποία υποβλήθηκε από την Επιτροπή σύμφωνα με το άρθρο 24 παράγραφος 3 της οδηγίας 2012/27 / ΕΕ για την ενεργειακή απόδοση, όπως τροποποιήθηκε από την οδηγία (ΕΕ) 2018/2002 («οδηγία για την ενεργειακή απόδοση»).

Αυτή η έκθεση παρέχει τις τελευταίες πληροφορίες για την πρόοδο που σημειώθηκε έως το 2018 για την επίτευξη των στόχων ενεργειακής απόδοσης της ΕΕ κατά 20% για το 2020. Δεν λαμβάνει ακόμη υπόψη τον πιθανό αντίκτυπο της κρίσης COVID-19 στην επίτευξη του στόχου του 2020. Οι επίσημες ευρωπαϊκές στατιστικές για την ενέργεια χρησιμοποιήθηκαν ως η κύρια πηγή δεδομένων, εφαρμόζοντας τη μεθοδολογία για τον υπολογισμό των ενεργειακών ισοζυγίων που χρησιμοποιήθηκαν έως το 2018 (προκειμένου να διατηρηθεί η συνέπεια με τις προηγούμενες εκθέσεις και τη μεθοδολογία που χρησιμοποιήθηκε για τον καθορισμό στόχων ενεργειακής απόδοσης). Η έκθεση βασίζεται επίσης στην έκθεση προόδου για την ενεργειακή απόδοση του 2018 στις ετήσιες εκθέσεις που υπέβαλαν τα κράτη μέλη το 2019 και συμπληρωματική ανάλυση που πραγματοποιήθηκε το 2019 και στις αρχές του 2020 [12].

1.6.1 Περίληψη των ευρημάτων της έκθεσης

Τα κύρια ευρήματα είναι τα εξής:

- Η κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας μειώθηκε κατά 0,7% το 2018 σε σύγκριση με το 2017. Η τελική κατανάλωση ενέργειας αυξήθηκε κατά 0,1% από έτος σε έτος. Ωστόσο, και οι δύο δείκτες υπερβαίνουν την καθορισμένη πορεία για τους στόχους του 2020.

- Οι καιρικές διακυμάνσεις συνεχίζουν να επηρεάζουν το επίπεδο κατανάλωσης ενέργειας. Ο θερμότερος χειμώνας το 2018 μείωσε τη ζήτηση ενέργειας για θέρμανση χώρου, αλλά αυτός ο αντίκτυπος αντισταθμίστηκε από την αύξηση της κατανάλωσης ενέργειας στους τομείς των μεταφορών και της βιομηχανίας.
- Η ανάπτυξη των δραστηριοτήτων σε όλους τους τομείς, συνεχίζει να αυξάνει την κατανάλωση ενέργειας και οι νέες πολιτικές και μέτρα που εφαρμόστηκαν από τα κράτη μέλη το 2018 δεν ήταν επαρκή για την αντιστάθμισή της.
- Τα ευρήματα των ετήσιων εκθέσεων ενεργειακής απόδοσης του 2019 από το σύνολο των κρατών μελών δείχνουν ότι ορισμένα κράτη πέτυχαν πολύ χαμηλότερη εξοικονόμηση από ό,τι απαιτούνταν για το 2018, το οποίο σημαίνει ότι δεν επιτευχθήκαν οι σωρευτικές απαιτήσεις εξοικονόμησης για την περίοδο 2014-2020.

Η μείωση της κατανάλωσης πρωτογενούς ενέργειας μπορεί να ερμηνευθεί ως θετική εξέλιξη. Ωστόσο, ο ρυθμός της μείωσης που υπάρχει σήμερα, εάν συνεχιστεί, θα ήταν ανεπαρκής για την επίτευξη του στόχου που έχει οριστεί [12]. Δεδομένου του περιορισμένου χρόνου για την εφαρμογή νέων πολιτικών, φαίνεται όλο και πιο απίθανο να επιτευχθούν οι στόχοι του 2020 χωρίς ισχυρό αντίκτυπο εξωτερικών παραγόντων, όπως η κρίση COVID-19. Ωστόσο, εξακολουθεί να είναι σημαντικό να επιταχυνθούν γρήγορα οι προσπάθειες, καθώς τυχόν εναπομένον κενό παράδοσης στους στόχους του 2020 ή μια ανάκαμψη της ζήτησης ενέργειας μετά την κρίση COVID-19 θα έκανε επίσης την επίτευξη των στόχων του 2030 πιο δύσκολη.

Για να εκτιμηθεί καλύτερα η αυξανόμενη τάση κατανάλωσης ενέργειας και να εντοπίσει ένας πιθανός δρόμος προς το μέλλον, τον Ιούλιο του 2018 η Επιτροπή δημιούργησε μια ειδική ομάδα για την κινητοποίηση των προσπαθειών για την επίτευξη των στόχων ενεργειακής απόδοσης της ΕΕ για το 2020. Κατά τη διάρκεια των συναντήσεων της ομάδας εργασίας το 2019, τα κράτη μέλη τόνισαν την ανάγκη να εφαρμοστεί πλήρως η υφιστάμενη νομοθεσία, να κινητοποιηθεί καλύτερα η διαρθρωτική χρηματοδότηση της ΕΕ και να ληφθούν πρόσθετα μέτρα που θα προσφέρουν γρήγορη εξοικονόμηση. Επιπλέον, αναγνωρίστηκε η ανάγκη να δοθεί μεγαλύτερη έμφαση στην εξασφάλιση ότι τα κτίρια που υποβάλλονται σε σημαντικές ανακαινίσεις επιτυγχάνουν ελάχιστα πρότυπα ενεργειακής απόδοσης. Ωστόσο, αυτό δεν θα εξασφαλίσει την εξοικονόμηση ενέργειας που απαιτείται βραχυπρόθεσμα, αλλά μάλλον θα συμβάλει στον στόχο του 2030.

1.6.2 Πρόοδος προς την κατεύθυνση της ΕΕ για την ενεργειακή απόδοση 2020

Η τελική κατανάλωση ενέργειας στην ΕΕ μειώθηκε κατά 5,8%, από 1194 Μtoe το 2005 σε 1124 Μtoe το 2018. Αυτό είναι 3,5% υψηλότερο από τον τελικό στόχο κατανάλωσης ενέργειας το 2020 των 1086 Μtoe. Μειώθηκε με μέσο ετήσιο ρυθμό 0,42% μεταξύ 2005 και 2018, αλλά από το 2014 (όταν η ζήτηση θέρμανσης ήταν πολύ χαμηλότερη λόγω ενός εξαιρετικά ζεστού χειμώνα), αυξήθηκε κατά 5,3% το 2018 σε σύγκριση με το 2014. Το 2018, αυξήθηκε κατά 0,1% σε σύγκριση με το προηγούμενο έτος. Το 2018, υψηλότερη κατανάλωση ενέργειας παρατηρήθηκε κυρίως στους τομείς των μεταφορών (+ 1,3% σε ετήσια βάση σε σύγκριση με το 2017) και στους κλάδους (+ 0,6%). Αντίθετα, η κατανάλωση ενέργειας μειώθηκε στον τομέα των κατοικιών (-1,6%) και στον τομέα των υπηρεσιών (-1,4%).

Ο τομέας των μεταφορών αντιστοιχούσε στο 34% της τελικής κατανάλωσης ενέργειας το 2018, ακολουθούμενος από τη βιομηχανία και τους οικιστικούς τομείς (και οι δύο 25%), ο τομέας των υπηρεσιών (13%) και άλλοι τομείς όπως η γεωργία, η αλιεία και η δασοκομία (3%).

Η πρωτογενής κατανάλωση ενέργειας στην ΕΕ-28 μειώθηκε κατά 9,8%, από 1721 Μtoe το 2005 σε 1552 Μtoe το 2018. Αυτό είναι 4,65% υψηλότερο από το στόχο του 2020 για 1483 Μtoe. Μειώθηκε κατά μέσο όρο κατά 0,8% ετησίως μεταξύ 2005 και 2018. Μετά από τρία χρόνια αύξησης, σημειώθηκε πτώση 0,7% από έτος σε έτος το 2018.

1.6.3 Εθνικοί στόχοι

Μέχρι το 2018, 12 κράτη μέλη κατάφεραν να μειώσουν ή να διατηρήσουν το τελικό επίπεδο κατανάλωσης ενέργειας για την επίτευξη των ενδεικτικών στόχων τους έως το 2020. Για την πρωτογενή κατανάλωση ενέργειας, κράτη μέλη ήταν κάτω από τις υποθετικές γραμμικές τροχιές τους το 2018. Συνολικά, η τελική κατανάλωση ενέργειας από 11 κράτη μέλη (μείωση από 17 το 2017) ήταν κάτω από τον ενδεικτικό τελικό ενεργειακό στόχο για το 2020. Ομοίως, 13 κράτη μέλη (μείωση από 14 το 2017) πέτυχαν ή κατόρθωσαν να διατηρήσουν το επίπεδο κατανάλωσης πρωτογενούς ενέργειας κάτω από τον ενδεικτικό στόχο 2020 το 2018.

Το 2018, κανένα κράτος μέλος δεν αναθεώρησε τον στόχο της ενεργειακής απόδοσης με αποτέλεσμα οι εθνικοί στόχοι να μην προσθέτουν ακόμη και τους στόχους της ΕΕ. Για την τελική κατανάλωση ενέργειας, οι εθνικοί ενδεικτικοί στόχοι ανέρχονται συνολικά σε 1085

Mtoe, δηλαδή 1 Mtoe κάτω από τον στόχο που έχει τεθεί για την ΕΕ. για την κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας, προσθέτουν έως και 1533 Mtoe, δηλαδή 50 Mtoe πάνω από το στόχο που έχει τεθεί για την ΕΕ.

1.6.4 Ευρήματα της έρευνας

Η ανοδική τάση της κατανάλωσης ενέργειας που παρατηρήθηκε από το 2014 διακόπηκε το 2018, εν μέρει λόγω των θερμότερων χειμερινών θερμοκρασιών. Ωστόσο, οι θετικές εξελίξεις το 2018 δεν ήταν αρκετές για να οδηγήσει την ΕΕ να επιτύχει τους στόχους ενεργειακής απόδοσης του 2020, πριν από την έλευση της κρίσης COVID-19. Αυτό δείχνει ότι η αύξηση της οικονομικής δραστηριότητας, που δεν συνοδεύεται από νέες και πρόσθετες πολιτικές ενεργειακής απόδοσης, μπορεί να οδηγήσει σε υψηλότερη ζήτηση ενέργειας. Αυτό θα παραμείνει ζήτημα, όταν η ζήτηση ενέργειας ανακάμψει μετά την κρίση COVID-19, με σκοπό την επίτευξη των στόχων ενεργειακής απόδοσης του 2030.

Ωστόσο, η κατάσταση διαφέρει μεταξύ τομέων. Από την έκδοση της οδηγίας για την ενεργειακή απόδοση το 2012, ο τομέας των μεταφορών γνώρισε συνεχή αύξηση της κατανάλωσης ενέργειας και των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου παρά τις βελτιώσεις στην απόδοση. Η ανακοίνωση της Επιτροπής για μια ευρωπαϊκή πράσινη συμφωνία επισημαίνει αυτό το ζήτημα και υποδεικνύει το σχέδιο της Επιτροπής να παρουσιάσει μια νέα στρατηγική για έξυπνες και βιώσιμες μεταφορές αργότερα το 2020. Θα υπάρξουν επίσης άλλα ειδικά μέτρα, όπως η αναθεώρηση της οδηγίας για τη φορολογία της ενέργειας, η οποία θα εξετάσει προσεκτικά το ρόλο της φορολογίας στον τομέα των μεταφορών, καθώς και τις τρέχουσες εξαιρέσεις για αεροπορικές και θαλάσσιες δραστηριότητες. Επιπλέον, η χρήση ηλεκτρικών οχημάτων πρέπει να προωθηθεί περαιτέρω και η πολιτική μεταφοράς επιβατών και εμπορευματικών μεταφορών στις σιδηροδρομικές μεταφορές πρέπει να συνεχιστεί και να βελτιωθεί περαιτέρω, λαμβάνοντας υπόψη την ανώτερη ενεργειακή απόδοση των σιδηροδρομικών μεταφορών.

Χωρίς την έναρξη της κρίσης COVID-19, θα ήταν απίθανο οι νέες πολιτικές να αλλάξουν την κατάσταση επαρκώς για να επιτύχουν τον στόχο του 2020 για ενεργειακή απόδοση. Ωστόσο, ορισμένες καθυστερημένες επιπτώσεις των τρεχουσών πολιτικών ενδέχεται να εξακολουθούν να εμφανίζονται, ενώ ο καιρός και άλλοι εξωτερικοί παράγοντες ενδέχεται επίσης να διαδραματίσουν σημαντικό ρόλο στην επέκταση ή τον περιορισμό του χάσματος. Δεδομένου

ότι όλα αυτά είναι, ωστόσο, προσωρινά ή συγκεκριμένα γεγονότα, οι μεταγενέστερες αλλαγές στην κατανάλωση ενέργειας δεν μπορούν να θεωρηθούν δομικές ή μακροχρόνιες.

Η τρέχουσα απόκλιση από τους στόχους δεν δίνει χώρο για εφησυχασμό. Είναι πολύ πιθανό ότι οι εθνικές συνεισφορές ενεργειακής απόδοσης για το 2030 - που περιγράφονται στα Εθνικά Σχέδια Ενέργειας και Κλίματος που έχουν υποβληθεί στην Επιτροπή έως το τέλος του 2019 σύμφωνα με τον Κανονισμό Διακυβέρνησης - θα είναι συνολικά μη ικανές ως προς την επίτευξη των στόχων ενεργειακής απόδοσης της ΕΕ το 2030. Αυτό το χάσμα παροχής στις προσπάθειες ενεργειακής απόδοσης για το 2020 και το κενό φιλοδοξίας για το 2030 απαιτούν ισχυρή δράση σε εθνικό επίπεδο και σε επίπεδο ΕΕ. Η Επιτροπή ετοιμάζει επί του παρόντος σχέδιο αξιολόγησης των επιπτώσεων για την αύξηση του στόχου μείωσης των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου της ΕΕ για το 2030 σε τουλάχιστον 50% και προς 55% σε σύγκριση με τα επίπεδα του 1990 με υπεύθυνο τρόπο. Αυτό περιλαμβάνει την πιθανή ανάγκη η ενεργειακή απόδοση να συμβάλει ουσιαστικά στην επίτευξη αυτού του υψηλότερου στόχου μείωσης των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου το 2030.

Για την επίτευξη των υφιστάμενων στόχων για το κλίμα και την ενέργεια του 2030 θα απαιτηθούν 260 δισεκατομμύρια ευρώ επιπλέον επενδύσεων στο ενεργειακό σύστημα ετησίως το 2021-2030. Θα απαιτηθεί μεγαλύτερη επενδυτική ώθηση για τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης στους οικιακούς και τριτογενείς τομείς.

Η Επιτροπή θα συνεχίσει επίσης να επικεντρώνεται στην επιβολή της νομοθεσίας της ΕΕ. Το άρθρο 7 της τροποποιημένης οδηγίας για την ενεργειακή απόδοση βελτιώνει τις διατάξεις παρακολούθησης και ελέγχου για εξοικονόμηση ενέργειας. Επιπλέον, για να επιτευχθεί υψηλότερος στόχος μείωσης των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, έχει προωθηθεί η επόμενη αναθεώρηση της οδηγίας για την ενεργειακή απόδοση και αναμένεται έως τον Ιούνιο του 2021. Θα αξιολογηθεί ολόκληρη η οδηγία για την ενεργειακή απόδοση. Εάν αποφασιστεί, η επόμενη αναθεώρηση αναμένεται να επικεντρωθεί σε νέους τομείς όπου η ενεργειακή απόδοση θα μπορούσε να ενισχυθεί ή / και να ωθηθεί. Επιπλέον, η εφαρμογή της πρώτης αρχής της ενεργειακής απόδοσης θα εφαρμοστεί ευρύτερα σε τομείς πολιτικής, λαμβάνοντας υπόψη τα πρόσθετα οφέλη της εξοικονόμησης ενέργειας και υποστηρίζοντας τη μετάβαση.

Στα κτίρια, η επερχόμενη πρωτοβουλία «Κύμα ανακαίνισης» στοχεύει στην ενίσχυση των ανακαίνισεων και στη συμβολή στην ανάκαμψη από τον οικονομικό αντίκτυπο του COVID-19 σύμφωνα με μια δίκαιη βάση για όλους. Επιπλέον, η αναθεώρηση των βέλτιστων από πλευράς κόστους απαιτήσεων ελάχιστης ενεργειακής απόδοσης για νέα και υπάρχοντα κτίρια

που υποβάλλονται σε σημαντικές ανακαινίσεις και την εφαρμογή των σχεδόν μηδενικών ενεργειακών προτύπων αναμένεται να βελτιώσει βραχυπρόθεσμα την ενεργειακή απόδοση του κτιρίου. Η επιβολή και η συμμόρφωση σε τοπικό επίπεδο πρέπει να βελτιωθούν και για το λόγο αυτό η Επιτροπή ενίσχυσε την καθιερωμένη συνεργασία της τους τοπικούς διαύλους. Επιπλέον, οι εργασίες για τα πρότυπα ενεργειακής απόδοσης και την επισήμανση των προϊόντων θα συνεχιστούν και το νέο σχέδιο εργασίας για τον οικολογικό σχεδιασμό 2020-2024 βρίσκεται υπό προετοιμασία και θα μπορούσαν να εξεταστούν νέες ταχέως αναπτυσσόμενες περιοχές, όπως κέντρα δεδομένων και δίκτυα τηλεπικοινωνιών.

Εκτός από τις νομοθετικές προσπάθειες, η Επιτροπή θα εργαστεί για την κινητοποίηση των χρηματοδοτικών μέσων που έχει στη διάθεσή της για την ανάπτυξη ψηφιακών λύσεων και την εφαρμογή έξυπνης ψηφιοποίησης (AI, αυτοματοποίηση, Big Data, Internet of Things κ.λπ.) για να επιταχύνει τη διαδικασία βελτίωσης. Επιπλέον, η Επιτροπή θα συμπεριλάβει στο μέλλον αναθεωρήσεις εκθέσεων σχετικά με την ενεργειακή απόδοση του τομέα της Τεχνολογίας πληροφοριών και επικοινωνίας (συμπεριλαμβανομένων των κέντρων δεδομένων) ως έναν σημαντικό και ταχέως αναπτυσσόμενο τελικό καταναλωτή ενέργειας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο

Ενεργειακή αποδοτικότητα στον τομέα της συμβατικής παραγωγής

2.1 Εισαγωγή

2.1.1 Παραγωγή ενέργειας από ορυκτά καύσιμα

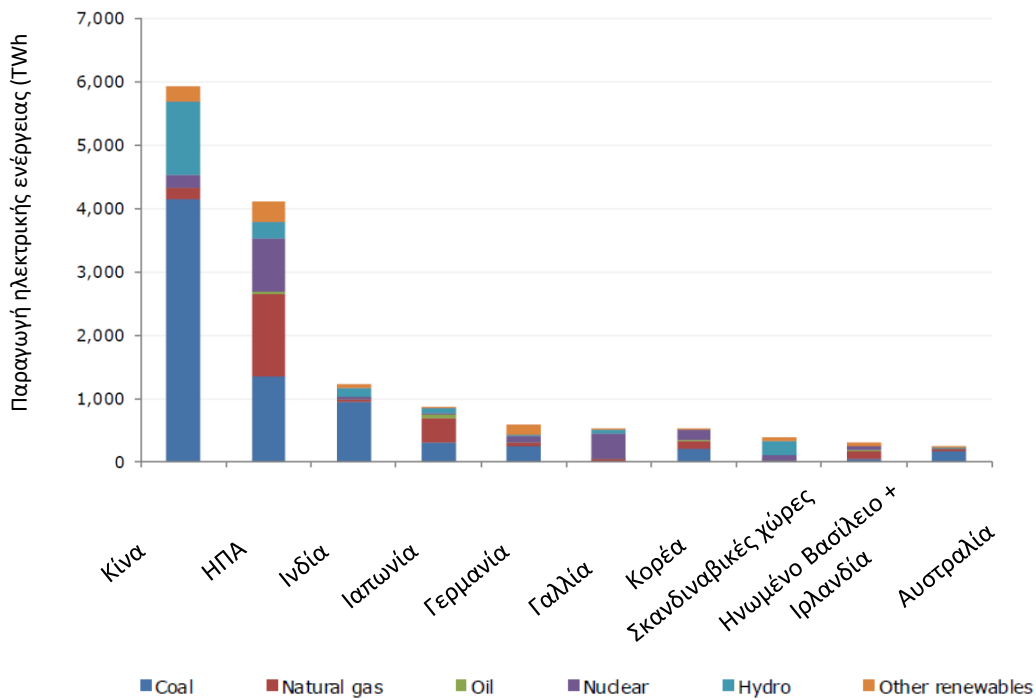
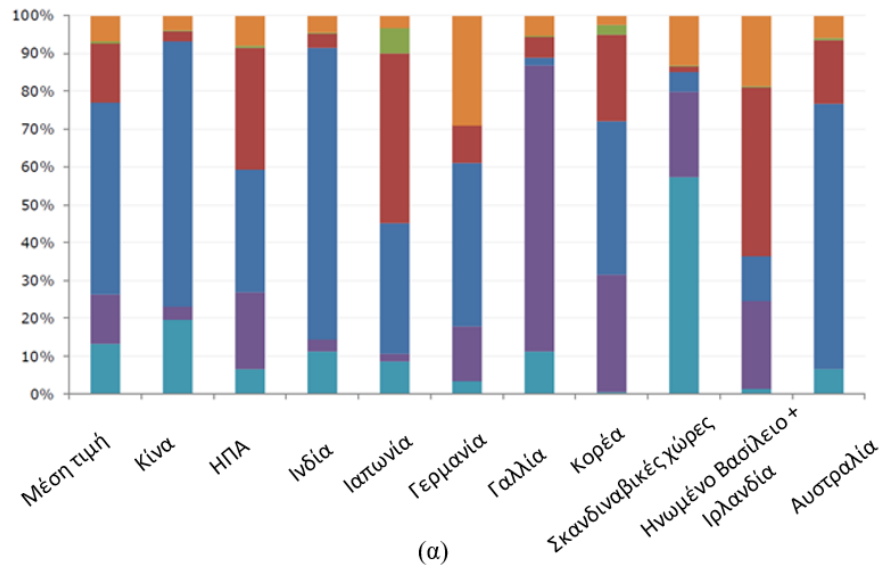
Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με ορυκτά καύσιμα αποτελεί μια σημαντική πηγή εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου. Σε παγκόσμιο επίπεδο, οι εκπομπές από την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και θερμότητας (από την καύση ορυκτών καυσίμων) το 2015 αντιστοιχούσε στο 42% των συνολικών εκπομπών αερίων θερμοκηπίου (IEA Emissions, 2017) [106].

Το 2016, η συνολική παραγωγή ενέργειας (συμπεριλαμβανομένων των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και της πυρηνικής ενέργειας) ήταν μεγαλύτερη στην Κίνα με περίπου 5.936 TWh, ξεπερνώντας τις Ηνωμένες Πολιτείες (4.119 TWh), (Εικόνα 2.1). Η Ιαπωνία παρήγαγε 873 TWh. Το μερίδιο των ορυκτών καυσίμων στο συνολικό μείγμα καυσίμων για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας ήταν 67%. Η Γαλλία, η οποία έχει μεγάλο μερίδιο πυρηνικής ενέργειας (76%) και οι σκανδιναβικές χώρες με μεγάλο μερίδιο υδροηλεκτρικής ενέργειας (57%) το 2016 αποτέλεσαν εξαιρέσεις με τα πολύ χαμηλά ποσοστά ορυκτών καυσίμων.

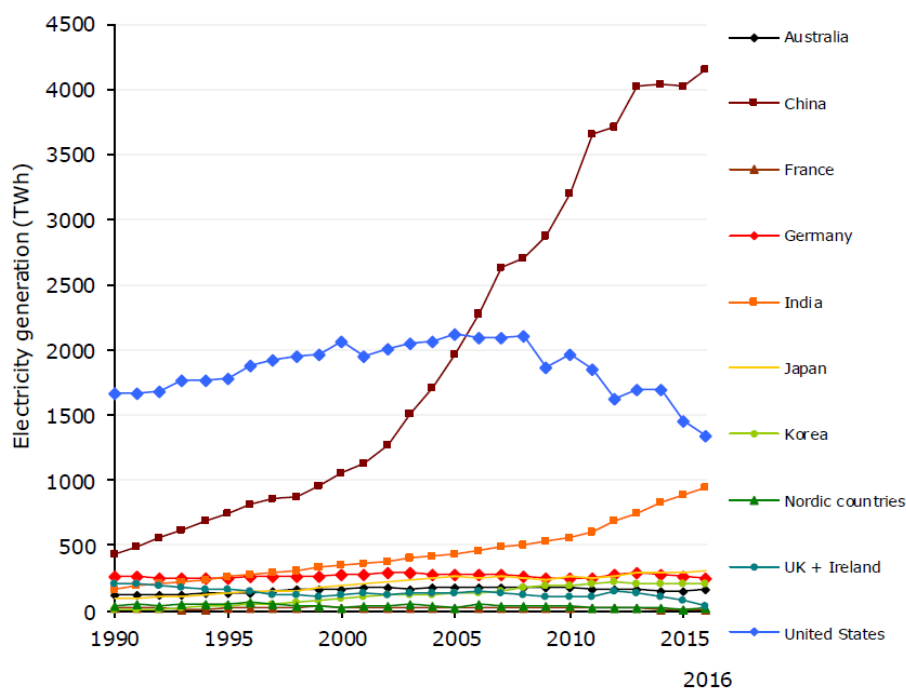
Κατά τη σύγκριση των πηγών ορυκτών καυσίμων, η εικόνα 2.1 δείχνει ότι ο άνθρακας χρησιμοποιείται συχνότερα σε όλες τις χώρες εκτός από την Ιαπωνία, τη Γαλλία και το Ηνωμένο Βασίλειο και την Ιρλανδία όπου το φυσικό αέριο χρησιμοποιείται περισσότερο. Η Αυστραλία, η Κίνα και η Ινδία παρουσίασαν πολύ υψηλό μερίδιο άνθρακα στο συνολικό μείγμα καυσίμων για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας (περίπου 70-77%) το 2016. Το μερίδιο της παραγωγής ενέργειας με πετρέλαιο είναι συνήθως περιορισμένο. Μόνο η Ιαπωνία, η Κορέα και οι Ηνωμένες Πολιτείες έχουν τα μεγαλύτερα ποσά σε απόλυτες τιμές [106].

Στα σχήματα 2.2 - 2.5 παρουσιάζεται η ποσότητα παραγωγής άνθρακα, φυσικού αερίου, πετρελαίου και η συνολική παραγωγή ενέργειας από ορυκτά αντίστοιχα την περίοδο 1990 - 2016, από κοινούς σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής και δημόσιους σταθμούς ΣΗΘ ανά χώρα.

Η συνολική παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με καύση άνθρακα σε όλες τις χώρες αυξήθηκε από 3.043 σε 7.644 TWh (+ 151%) κατά την περίοδο 1990 - 2014, αλλά μειώθηκε σε 7.436 TWh το 2016 (-3% σε σύγκριση με το 2014). Οι ΗΠΑ είδαν το μερίδιό τους στην παραγωγή ενέργειας με καύση άνθρακα να συρρικνώνεται κατά 8% σε σύγκριση με το 2015, κυρίως λόγω των εθνικών και περιφερειακών κανονισμών που προωθήσαν το φυσικό αέριο και τις ανανεώσιμες τεχνολογίες εις βάρος της καύσης άνθρακα [106].



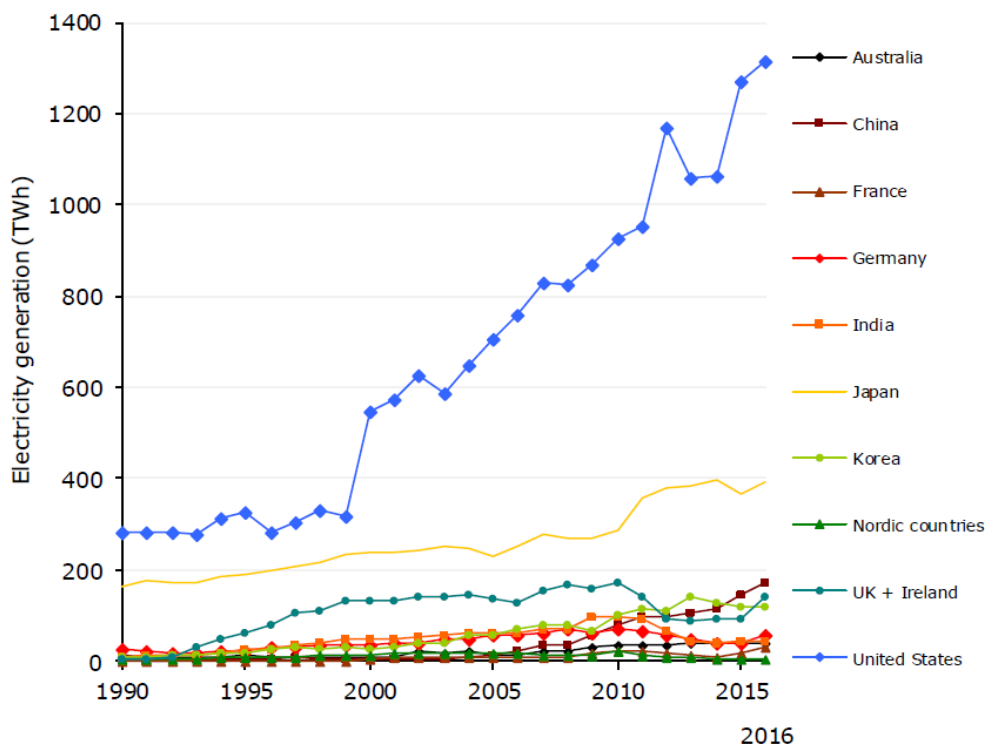
(β) Εικ.2.1 (α) Απόλυτη και (β) σχετική δημόσια παραγωγή ενέργειας ανά πηγή το 2016.



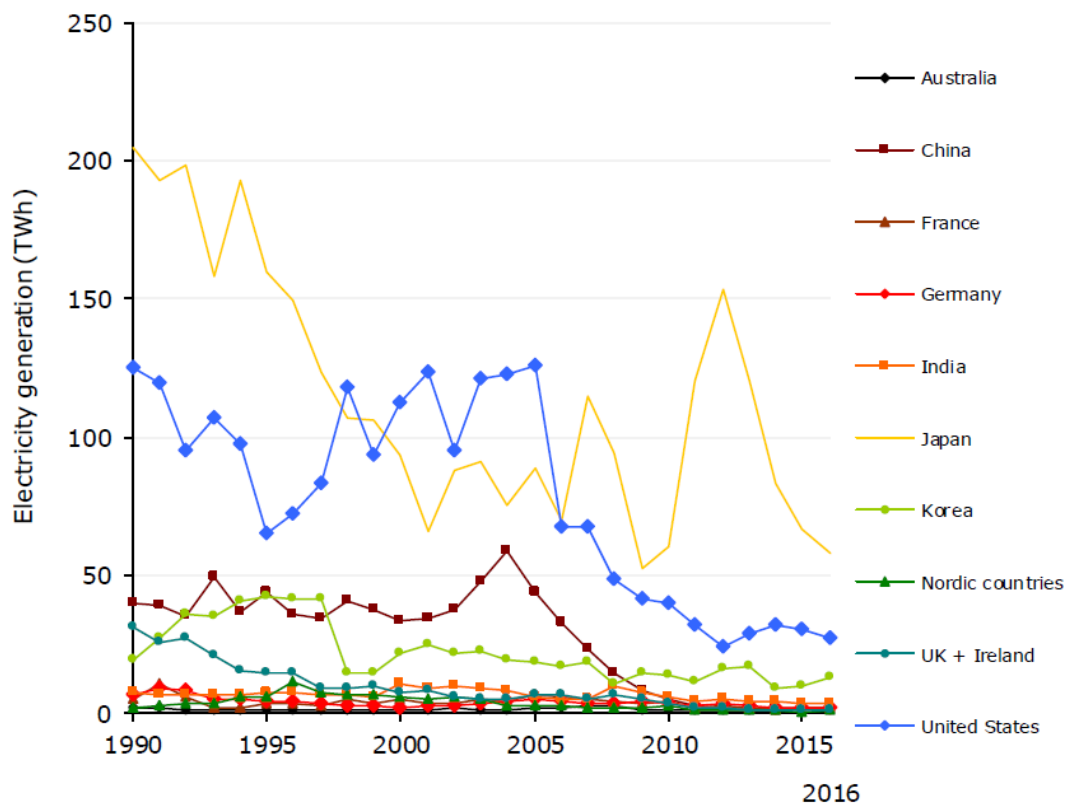
Εικ. 2.2 Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από άνθρακα από το 1990 έως το 2016 [106]

Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με φυσικό αέριο σε όλες τις χώρες αυξήθηκε από 514 σε 2.316 TWh κατά την περίοδο 1990 - 2016 (+ 451%), με αύξηση 8% το 2016 σε σύγκριση με το 2015. Η εικόνα 2.3 δείχνει ότι οι Ηνωμένες Πολιτείες σημείωσαν περαιτέρω αύξηση από 1.273 TWh σε 1.316 TWh (+ 3%) το 2016 σε σύγκριση με το 2015, το οποίο τροφοδοτήθηκε από την ανάπτυξη του σχιστολιθικού αερίου. Στην Ιαπωνία, η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με αέριο αυξήθηκε σημαντικά μετά το ατύχημα στην Φουκουσίμα (από 285 TWh το 2010 σε 380 TWh το 2012).

Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με πετρέλαιο διαδραματίζει περιορισμένο ρόλο και η σημασία της έχει μειωθεί περαιτέρω με την πάροδο του χρόνου, ειδικά στην περίπτωση των τριών κορυφαίων χωρών παραγωγής ενέργειας με πετρέλαιο (ΗΠΑ, Ιαπωνία και Νότια Κορέα). Ωστόσο, το Σχήμα 2.4 δείχνει ότι η Ιαπωνία σχεδόν τριπλασίασε την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από το πετρέλαιο το 2012 σε σύγκριση με το 2010 - πιθανότατα οφείλεται στην ανάγκη ανάπτυξης αποθεματικής χωρητικότητας, καθώς οι πυρηνικοί σταθμοί έκλεισαν μετά το ατύχημα της Φουκουσίμα.

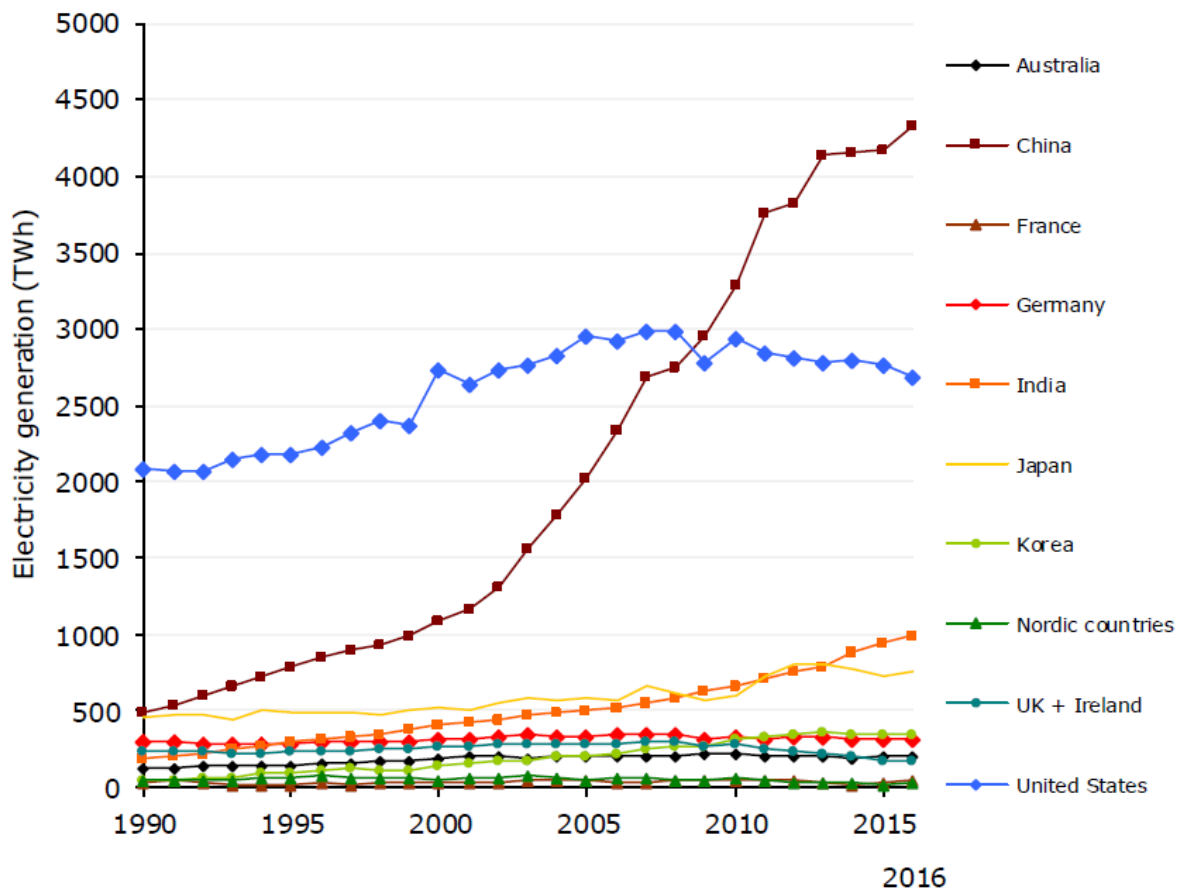


Εικ. 2.3 Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με χρήση φυσικού αερίου από το 1990 έως το 2016 [106]



Εικ. 2.4 Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με πετρέλαιο από το 1990 έως το 2016 [106]

Η εικ. 2.5 δείχνει ότι η Κίνα, οι ΗΠΑ και η Ινδία είχαν την μεγαλύτερη απόλυτη αύξηση στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ορυκτά καύσιμα από το 1990 έως το 2016. Η συνολική παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ορυκτά αυξήθηκε σταθερά από 3.998 το 1990 σε 9.860 TWh (+ 147%) το 2016. Από το σύνολο των χωρών που μελετήθηκαν μόνο η Κίνα και η Ινδία έχουν αυξήσει σημαντικά την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ορυκτά από το 2013 έως το 2016. Οι περισσότερες ευρωπαϊκές χώρες έχουν μειώσει την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ορυκτά κατά τη διάρκεια αυτής της τριετούς περιόδου (-7% για τη Γερμανία, -34% για σκανδιναβικές χώρες και -22% για το Ηνωμένο Βασίλειο και την Ιρλανδία). Η Ιαπωνία μείωσε την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ορυκτά την ίδια περίοδο από 803 TWh σε 751 TWh (-6%).



Εικ. 2.5 Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ορυκτά καύσιμα από το 1990 έως το 2016 για χώρες που αναλύθηκαν [106]

2.1.2 Αποδοτικότητα σταθμών ηλεκτροπαραγωγής με ορυκτά καύσιμα

Σε αυτήν την ενότητα αναλύεται ο τρόπος με τον οποίο υπολογίζεται η αποδοτικότητα παραγωγής ηλεκτροπαραγωγών σταθμών από χώρες και περιοχές. Αντί να γίνεται συγκέντρωση απλώς της απόδοσης για διαφορετικούς τύπους καυσίμων σε έναν μόνο δείκτη απόδοσης, καθορίζονται ξεχωριστοί δείκτες αναφοράς ανά πηγή καυσίμου. Αυτό συμβαίνει επειδή η απόδοση για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με φυσικό αέριο είναι γενικά υψηλότερη από την απόδοση για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με καύση άνθρακα. Οι επιλογές για διαφοροποίηση των καυσίμων έχουν γίνει στο παρελθόν συχνά σε κυβερνητικό επίπεδο για στρατηγικούς σκοπούς, π.χ. διαφοροποίηση καυσίμων και κόστος καυσίμου.

Οι πιο διαδεδομένοι σταθμοί παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με καύση άνθρακα είναι οι συμβατικοί σταθμοί λέβητα με βάση τον κύκλο Rankine. Το καύσιμο καίγεται σε λέβητα και με την παραγόμενη θερμότητα, το πεπιεσμένο νερό θερμαίνεται μέχρι να γίνει ατμός. Ο ατμός οδηγεί ένα στρόβιλο και παράγει ηλεκτρική ενέργεια. Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι οποιοδήποτε καύσιμο μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε αυτού του είδους τις εγκαταστάσεις.

Μια εναλλακτική λύση για τον ανωτέρω κύκλο ατμού είναι ο αεριοστρόβιλος, όπου τα αέρια καύσης εκτονώνονται μέσω ενός στροβίλου και οδηγούν μια γεννήτρια. Το αέριο εξόδου από τον στρόβιλο εξακολουθεί να έχει σημαντικές ποσότητες ενέργειας που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την αναθέρμανση ατμού ο οποίος με την σειρά του θα οδηγήσει δεύτερο ατμοστρόβιλο και άλλη γεννήτρια. Αυτός ο συνδυασμός κύκλου αερίου και ατμού ονομάζεται «αεριοστρόβιλος συνδυασμένου κύκλου» (CCGT). Ένα εργοστάσιο CCGT τροφοδοτείται γενικά με φυσικό αέριο. Επίσης είναι δυνατή η καύση άνθρακα και η καύση βιομάζας με αεριοποίηση, π.χ. σε ολοκληρωμένες εγκαταστάσεις συνδυασμένου κύκλου αεριοποίησης άνθρακα (IGCC). Αυτές οι τεχνολογίες δεν χρησιμοποιούνται ευρέως.

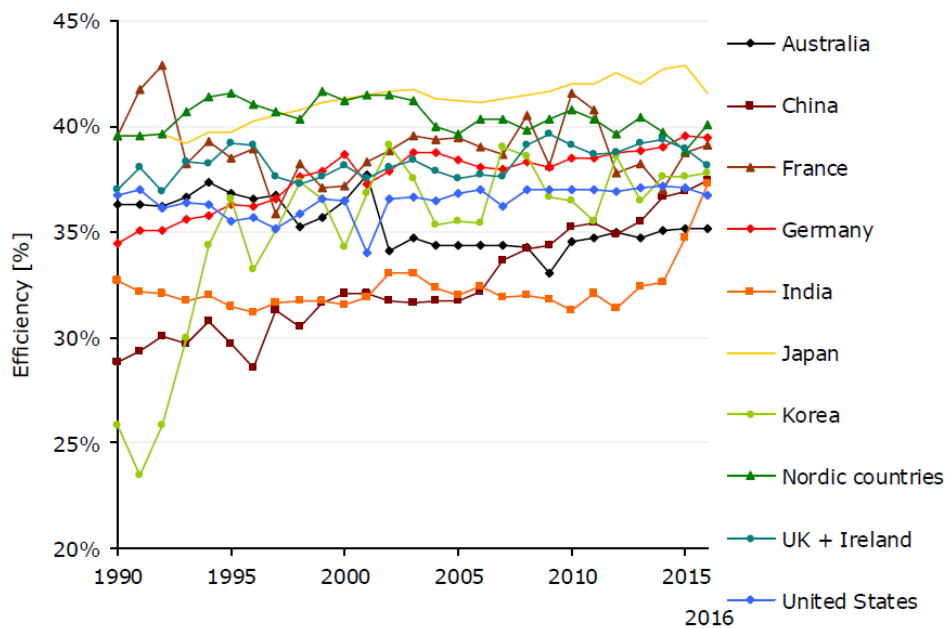
Η απόδοση παραγωγής ενός συμβατικού σταθμού λέβητα με βάση τον κύκλο Rankine, είναι το πολύ 47%, ενώ η απόδοση παραγωγής ενός συνδυασμένου κύκλου μπορεί να είναι πάνω από 61% (Siemens. 2012; GE 20145). Οι εγκαταστάσεις αεριοστρόβιλου ανοικτού κύκλου (μόνο αεριοστρόβιλος) εφαρμόζονται επίσης ευρέως.

2.2 Απόδοση της παραγωγής ανά χώρα

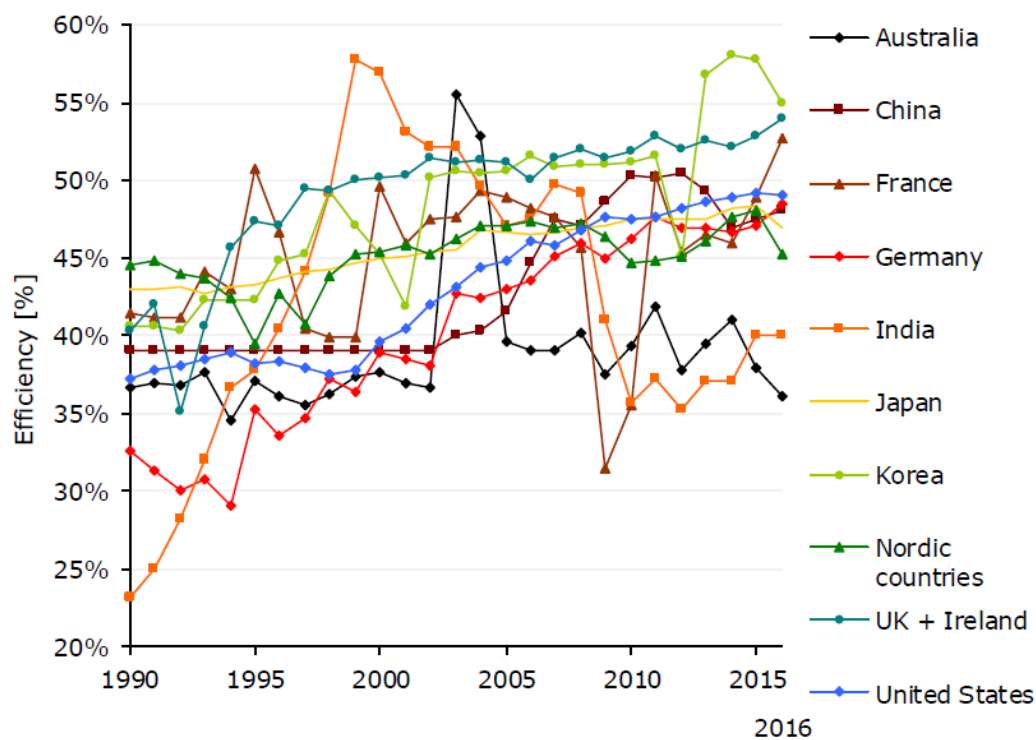
2.2.1 Απόδοση παραγωγής ενέργειας με καύση άνθρακα, φυσικό αέριο και πετρέλαιο

Τα Σχήματα 2.6 – 2.8 δείχνουν την τάση απόδοσης για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με άνθρακα, φυσικό αέριο και πετρέλαιο, αντίστοιχα, για την περίοδο 1990 - 2016. Το Σχήμα 2.9 δείχνει την αποδοτικότητα της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από ορυκτά καύσιμα με τη σταθμισμένη μέση απόδοση της παραγωγής για τους διάφορους τύπους καυσίμων.

Η αποτελεσματικότητα για την παραγωγή ενέργειας με καύση άνθρακα το 2016 κυμαίνεται από 35% για την Αυστραλία έως 42% για την Ιαπωνία. Αξίζει να σημειωθεί ότι τα τελευταία πέντε χρόνια, η Κίνα και η Ινδία, δύο από τους μεγαλύτερους παραγωγούς ηλεκτρικής ενέργειας με καύση άνθρακα, συνέχισαν να βελτιώνουν την αποτελεσματικότητα της παραγωγής ενέργειας με καύση άνθρακα. Οι περισσότερες από τις άλλες χώρες παρουσίασαν πολύ περιορισμένη βελτίωση ή μείωση της αποτελεσματικότητας.



Εικ. 2.6 Μέση απόδοση της παραγωγής ενέργειας με καύση άνθρακα από το 1990 έως το 2016. [106]

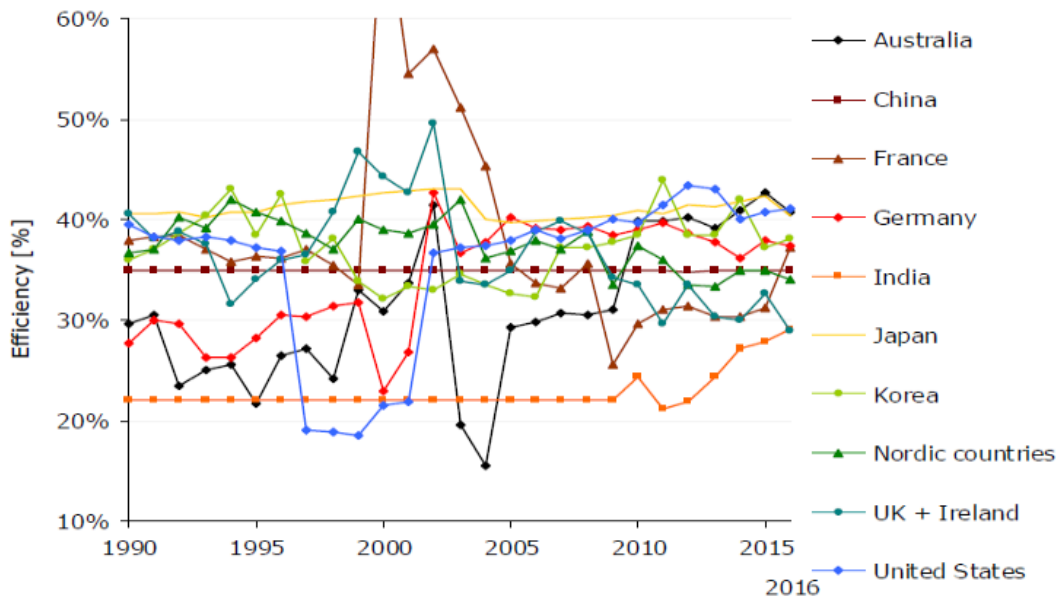


Εικ. 2.7 Μέση απόδοση παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με αέριο από το 1990 έως το 2016 για τις χώρες που αναλύθηκαν [106]

Σε αντίθεση με άλλα καύσιμα, η απόδοση της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με αέριο έχει βελτιωθεί σημαντικά τις τελευταίες δύο δεκαετίες. Οι μεγαλύτερες βελτιώσεις απόδοσης για την περίοδο 1990 - 2016 παρατηρούνται για στην Ινδία, στη Γερμανία και στη Νότια Κορέα. Το 2016, η αποτελεσματικότητα κυμαίνεται από 36% για την Αυστραλία έως 55% για τη Νότια Κορέα. Η αύξηση της απόδοσης για τη Νότια Κορέα τα τελευταία χρόνια μπορεί να οφείλεται στην πρόσφατη κατασκευή ορισμένων πολύ αποδοτικών μονάδων ηλεκτροπαραγωγής συνδυασμένου κύκλου.

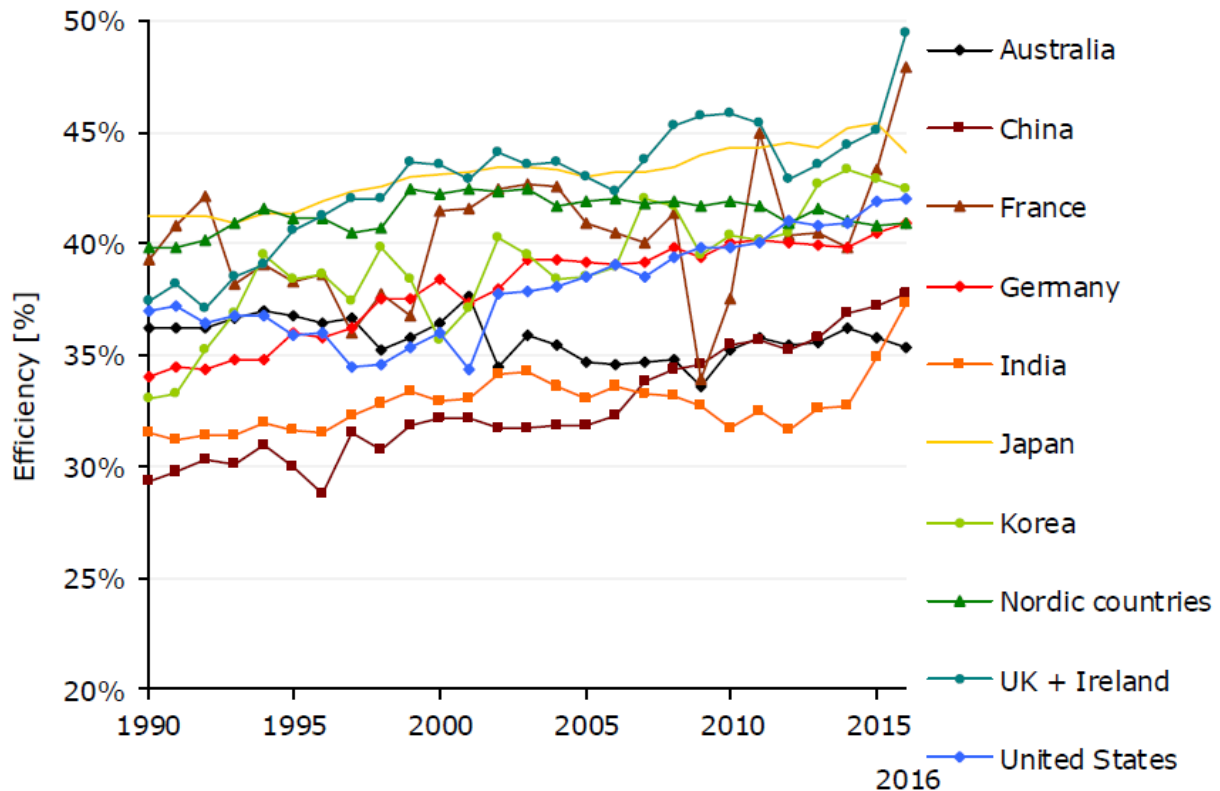
Η απόδοση παραγωγής για σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στην Ινδία φαίνεται να έχει κάποιες ασυνέπειες κατά τα έτη 1999 και 2000, καθώς η μέση απόδοση περίπου 57% είναι κοντά στο όριο της καλύτερης διαθέσιμης τεχνολογίας (Best available technology BAT) και επομένως μπορεί να θεωρηθεί μη ρεαλιστική για την Ινδία εκείνη την εποχή. Η ξαφνική αιχμή για την Αυστραλία το 2003 και το 2004 είναι επίσης αξιοσημείωτη και μπορεί να υποδηλώνει ασυνέπειες στα στατιστικά στοιχεία.

Για ορισμένες χώρες, όπως η Γαλλία, η αποτελεσματικότητα μεταβάλλεται έντονα με την πάροδο του χρόνου. Αυτό μπορεί να εξηγηθεί από το γεγονός ότι οι ώρες λειτουργίας από έτος σε έτος των σταθμών ηλεκτροπαραγωγής με αέριο ποικίλλουν σημαντικά. Τα 4/5 της γαλλικής δημόσιας ενέργειας προέρχονται από πυρηνικούς σταθμούς, με το φυσικό αέριο να ευθύνεται μόνο για το 6% το 2016.



Εικ. 2.8 Μέση απόδοση της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με πετρέλαιο από το 1990 έως το 2016 [106]

Το 2016, η απόδοση για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με πετρέλαιο κυμαίνεται από 29% για την Ινδία, το Ηνωμένο Βασίλειο και την Ιρλανδία και έως 41% για τις Ηνωμένες Πολιτείες και την Αυστραλία. Το γράφημα δείχνει μεγάλες διακυμάνσεις στην αποδοτικότητα για παραγωγή ενέργειας με πετρέλαιο, π.χ. για τη Γαλλία η αποδοτικότητα κορυφώνεται πάνω από τα επίπεδα BAT. Η εξήγηση για τη διακύμανση θα μπορούσε εν μέρει να είναι η διακύμανση των ετήσιων ωρών λειτουργίας, καθώς η λειτουργία σε σημαντικά χαμηλότερες ώρες λειτουργίας συνήθως μειώνει την αποδοτικότητα, ή μια άλλη εξήγηση θα μπορούσε να είναι η αβεβαιότητα των δεδομένων στην περίπτωση μη ρεαλιστικά μεγάλων αλλαγών (αλλαγών τέτοιου μεγέθους που προκαλούν ερωτηματικά για την ποιότητα των μετρήσεων). Πρέπει να σημειωθεί ότι η παραγωγή ενέργειας με πετρέλαιο είναι σχετικά μικρή (κάτω από 3 TWh το 2016) σε όλες τις χώρες εκτός από την Ιαπωνία, τη Νότια Κορέα και τις ΗΠΑ. Επομένως, ο συνολικός αντίκτυπος στη μέση απόδοση παραγωγής με ορυκτά καύσιμα είναι περιορισμένος.



Εικ. 2.9 Μέση απόδοση παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από ορυκτά καύσιμα γενικά από το 1990 έως το 2016 [106]

Για συνολική παραγωγή ενέργειας με ορυκτά καύσιμα, η απόδοση κυμαίνεται από 35% για την Αυστραλία έως 49% για το Ηνωμένο Βασίλειο και την Ιρλανδία το 2016.

2.2.2 Συγκριτική αξιολόγηση με βάση τη μη σταθμισμένη μέση απόδοση

Σχετικά με την απόδοση ενέργειας που παρατηρείται μεταξύ διαφορετικών χωρών, υπάρχουν αρκετοί πιθανοί δείκτες για την απόδοση συγκριτικής αξιολόγησης της παραγωγής ενέργειας. Ένας πιθανός δείκτης είναι η σύγκριση της αποτελεσματικότητας των επιμέρους χωρών με την προκαθορισμένη αποτελεσματικότητα των βέλτιστων πρακτικών. Η δυσκολία σε αυτήν τη μέθοδο είναι ο ορισμός της αποτελεσματικότητας της βέλτιστης πρακτικής. Η αποτελεσματικότητα της βέλτιστης πρακτικής θα μπορούσε π.χ. να βασίζεται σε:

- Στη χώρα με την καλύτερη απόδοση στον κόσμο ή σε μια περιοχή.
- Στο εργοστάσιο με την καλύτερη απόδοση στον κόσμο ή σε μια περιοχή.

- Στην καλύτερη δυνατή πρακτική απόδοση, με την καλύτερη διαθέσιμη τεχνολογία (Best available technology BAT).

Μια διαφορετική μέθοδος για τη συγκριτική αξιολόγηση της αποδοτικότητας είναι η σύγκριση της αποτελεσματικότητας των χωρών με τη μέση απόδοση. Ένα πλεονέκτημα αυτής της μεθόδου είναι η προβολή της απόδοσης των χωρών έναντι της μέσης απόδοσης.

Η μέση απόδοση υπολογίζεται ανά πηγή καυσίμου και ανά έτος και μπορεί να είναι είτε σταθμισμένη είτε μη σταθμισμένη.

Σε αυτήν την ενότητα, υπολογίζεται ένας δείκτης αναφοράς για την απόδοση παραγωγής ενέργειας με ορυκτά καύσιμα την απόδοση των χωρών και των περιοχών με τη μη σταθμισμένη μέση απόδοση των επιλεγμένων χωρών. Υπολογίζονται ξεχωριστοί δείκτες αναφοράς ανά καύσιμο για άνθρακα, πετρέλαιο, φυσικό αέριο και για τη συνολική παραγωγή ενέργειας με ορυκτά καύσιμα για τη σύγκριση της απόδοσης. Ο δείκτης αναφοράς βασίζεται στην απόδοση εκάστης χώρας ανά πηγή καυσίμου διαιρούμενη με τη μέση απόδοση ανά πηγή καυσίμου. Οι ξεχωριστοί δείκτες συγκριτικής αξιολόγησης σταθμίζονται από την παραγωγή ισχύος για να φτάσουν σε μια συνολική ένδειξη για την παραγωγή ενέργειας από ορυκτά καύσιμα.

Ο τύπος για τη μη σταθμισμένη μέση απόδοση για τον άνθρακα (BC1) δίνεται παρακάτω. Οι τύποι πετρελαίου και φυσικού αερίου είναι παρόμοιοι.

$$BC1 = \sum E_{Ci} / n \quad (2.2)$$

Όπου:

- **BC1**: Αυτή είναι η μέση απόδοση της παραγωγής ενέργειας με καύση άνθρακα για τις επιλεγμένες χώρες.
- **E_{ci}** Απόδοση Άνθρακα για χώρα ή περιοχή *i* (*i* = 1,...*n*)
- **n** Ο αριθμός χωρών και περιοχών

Για να προσδιορίσουμε την απόδοση μιας χώρας σε σχέση με την απόδοση αναφοράς, διαιρούμε την απόδοση μιας χώρας για ένα συγκεκριμένο έτος με την απόδοση αναφοράς κατά το ίδιο έτος. Ο τύπος του δείκτη για την απόδοση της ενέργειας με καύση άνθρακα δίνεται παρακάτω:

$$B_{ci} = E_{ci} / BC1 \quad (2.4)$$

Όπου:

Bci Δείκτης συγκριτικής αξιολόγησης της απόδοσης άνθρακα για τη χώρα ή την περιοχή i

Οι χώρες που έχουν καλύτερη απόδοση από τον μέσο όρο για ένα συγκεκριμένο έτος δείχνουν αριθμούς άνω του 100% και αντίστροφα. Για να καταλήξουμε σε μια συνολική σύγκριση της απόδοσης ορυκτής ισχύος, υπολογίζουμε τον σταθμισμένο μέσο όρο των τριών δεικτών, όπως φαίνεται στον παρακάτω τύπο:

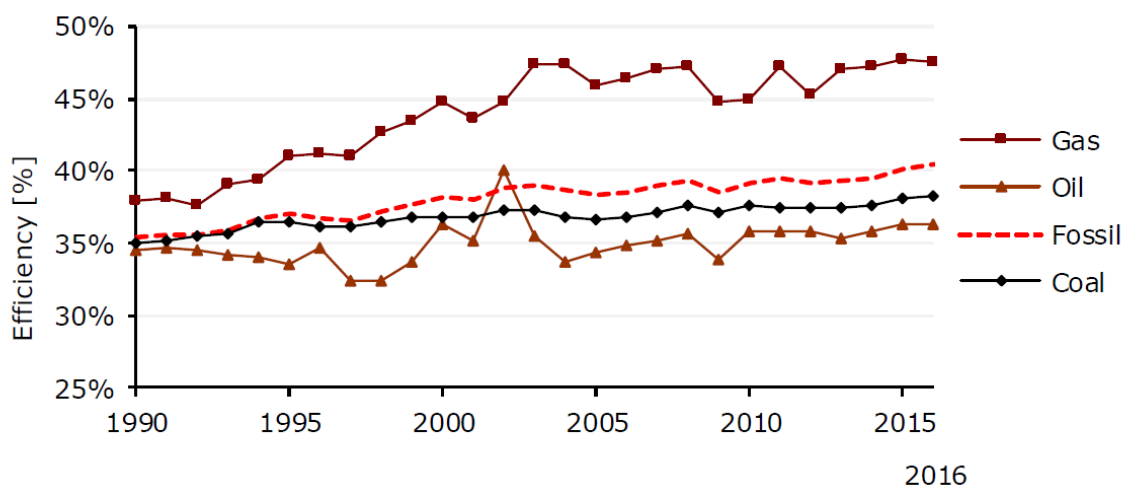
$$Bfi = (Bci * Pci + Bgi * Pgi + Boi * Poi) / (Pci + Pgi + Poi) \quad (2.5)$$

Όπου :

Δείκτης αναφοράς Bfi, Bci, Bgi και Boi για την απόδοση της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με χρήση ορυκτών καυσίμων, καυσίμων άνθρακα, αερίου και πετρελαίου αντίστοιχα, για τη χώρα ή την περιοχή i.

PCi, PGi and POi Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με καύση άνθρακα, με αέριο και πετρέλαιο για χώρα ή περιοχή i

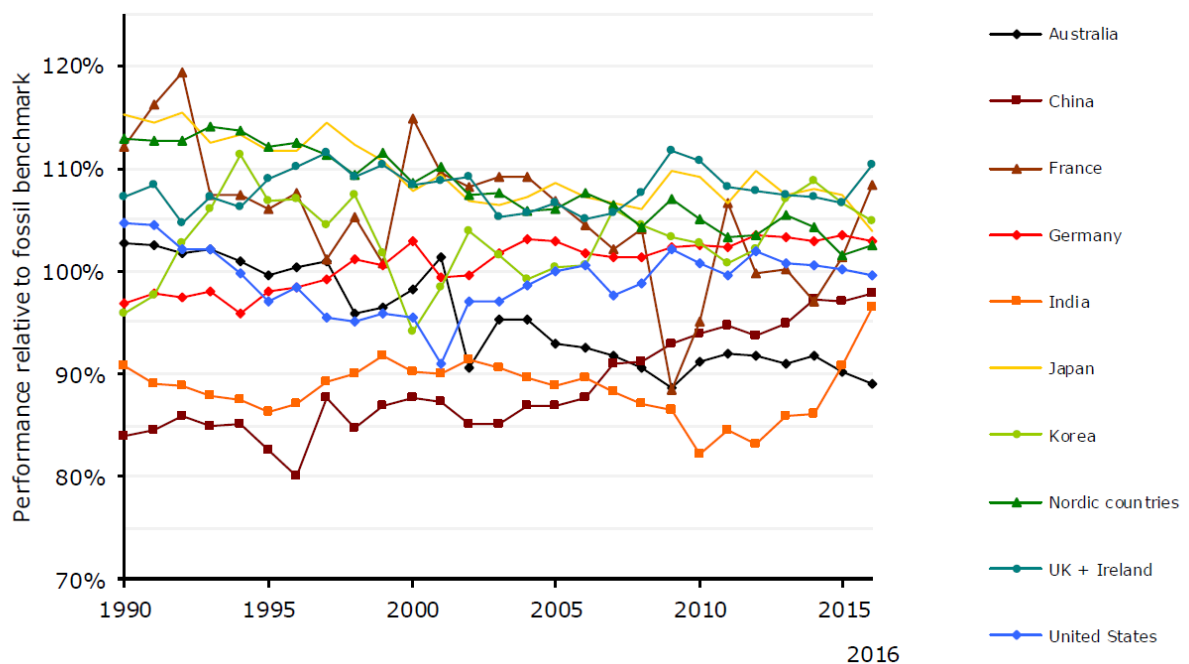
Το Σχήμα 2.10 δείχνει τη μέση αποτελεσματικότητα για όλες τις χώρες και περιοχές που εξετάζονται. Επειδή αυτές οι αποδόσεις δεν σταθμίζονται, δεν αντιπροσωπεύουν τη συνολική απόδοση παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Ένας αποδοτικός σταθμός παραγωγής ενέργειας σε μια χώρα θα μπορούσε να επηρεάσει τη μέση απόδοση εάν η απόλυτη παραγωγή ενέργειας στη χώρα είναι μικρή όπως αναφέρθηκε και σε ανωτέρω ενότητα.



Εικ. 2.10 Μη σταθμισμένη μέση απόδοση [106]

Όπως φαίνεται στο ανωτέρω διάγραμμα, η απόδοση για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με αέριο δείχνει σημαντική αύξηση από 38% το 1990 σε 48% το 2016 (μέση ετήσια βελτίωση 0,9%). Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με αέριο υπερδιπλασιάστηκε κατά την περίοδο 1990 - 2016. Η αύξηση της απόδοσης για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με άνθρακα ήταν πιο περιορισμένη, από 35% σε 38% (μέση ετήσια βελτίωση 0,3%). Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με καύση άνθρακα αυξήθηκε σχετικά λιγότερο (διπλή αύξηση κατά την περίοδο 1990 - 2016) και σημαντικό μέρος της αύξησης της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με καύση άνθρακα πραγματοποιήθηκε στην Ινδία, όπου η αποδοτικότητα παραγωγής άνθρακα εξακολουθεί να είναι σημαντικά χαμηλότερη από τα επίπεδα BAT (best available technology) .

Η εικόνα 2.11 δείχνει την χρονική εξέλιξη του δείκτη αναφοράς για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με ορυκτά. Η μείωση του δείκτη αναφοράς για μια χώρα μπορεί να σημαίνει ότι η αποδοτικότητα της παραγωγής ενέργειας στη χώρα έχει μειωθεί ή ότι η μη σταθμισμένη μέση απόδοση έχει αυξηθεί.



Εικ. 2.11 Σταθμισμένη μέση τιμή παραγωγής για αποδοτικότητα σταθμών ηλεκτροπαραγωγής με καύση ορυκτών (με βάση τη μη σταθμισμένη μέση απόδοση).

2.2.3 Συγκριτική αξιολόγηση με βάση τη μέση σταθμισμένη απόδοση

Σε αυτήν την ενότητα, υπολογίζεται ένας δεύτερος δείκτης αναφοράς για την απόδοση παραγωγής ενέργειας με ορυκτά καύσιμα. Αυτό γίνεται συγκρίνοντας την αποτελεσματικότητα των χωρών και των περιοχών με τη μέση σταθμισμένη απόδοση των επιλεγμένων χωρών. Ο δείκτης αναφοράς βασίζεται στην απόδοση χώρας ανά πηγή καυσίμου διαιρούμενη με τη σταθμισμένη μέση απόδοση ανά πηγή καυσίμου. Οι ξεχωριστοί δείκτες συγκριτικής αξιολόγησης σταθμίζονται από την παραγωγή ισχύος για να φτάσουν σε μια συνολική ένδειξη για την παραγωγή ενέργειας με ορυκτά.

Όπως και πριν για να προσδιορίσουμε την απόδοση μιας χώρας σε σχέση με την απόδοση αναφοράς, διαιρούμε την απόδοση μιας χώρας για ένα συγκεκριμένο έτος με την απόδοση αναφοράς κατά το ίδιο έτος. Ο τύπος του δείκτη για την απόδοση της ενέργειας με καύση άνθρακα δίνεται παρακάτω:

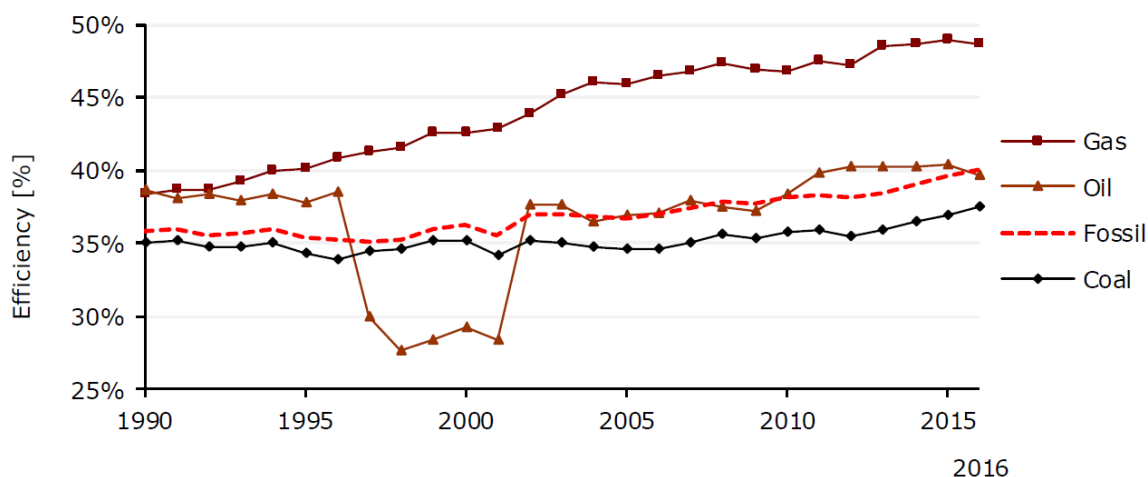
$$B_{ci} = E_{ci} / BC2 \quad (2.4)$$

Όπου:

B_{ci} Δείκτης συγκριτικής αξιολόγησης της απόδοσης άνθρακα για τη χώρα ή την περιοχή *i*

E_{ci} Απόδοση Άνθρακα για χώρα ή περιοχή *i* (*i* = 1,...*n*)

Το Σχήμα 2.12 δείχνει τη σταθμισμένη μέση απόδοση για όλες τις χώρες και περιοχές που εξετάζονται. Η μέση σταθμισμένη απόδοση παραγωγής για όλες τις χώρες και περιοχές μαζί για το 2016 είναι 37% για τον άνθρακα, 49% για το φυσικό αέριο, 40% για την παραγωγή ενέργειας με πετρέλαιο και 40% για την ενέργεια που προέρχεται από τα ορυκτά γενικά.



Εικ. 2.12 Μέση σταθμισμένη αποδοτικότητα όλων των χωρών και περιοχών (%). [106]

Για τη σταθμισμένη μέση απόδοση, η απόδοση για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με αέριο δείχνει μια σημαντική αύξηση από 38% το 1990 σε 49% το 2016 (μέση ετήσια βελτίωση 1,0%).

Η απόδοση για την παραγωγή πετρελαίου μειώθηκε το 2016 σε σύγκριση με τα προηγούμενα χρόνια. Αυτό μπορεί να εξηγηθεί από τη μείωση της απόδοσης για τους μεγαλύτερους ηλεκτροπαραγωγούς όπως, οι Ηνωμένες Πολιτείες και η Ιαπωνία. Η αρνητική αιχμή από το 1997 έως το 2001 για την αποδοτικότητα παραγωγής με βάση το πετρέλαιο οφείλεται στις κορυφές αρνητικής απόδοσης για τις Ηνωμένες Πολιτείες τα τελευταία χρόνια, κάτι που πιθανότατα οφείλεται σε ασυνέπειες δεδομένων.

Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με καύση άνθρακα αυξήθηκε περισσότερο από δυο φορές κατά την περίοδο 1990 - 2016. Ωστόσο, μόνο μια περιορισμένη αύξηση της απόδοσης παρατηρείται από 35% σε 37% (μέση ετήσια βελτίωση 0,3%). Ο λόγος για αυτό είναι ότι ένα σημαντικό μέρος της αύξησης της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με καύση άνθρακα πραγματοποιήθηκε στην Ινδία, όπου η αποδοτικότητα παραγωγής άνθρακα εξακολουθεί να είναι σημαντικά χαμηλότερη από τα επίπεδα BAT (best available technology).

Οι διαφορές με τη μη σταθμισμένη μέση προσέγγιση (Εικ 2.12) είναι σημαντικές. Γενικά, αυτό μπορεί να εξηγηθεί από το γεγονός ότι ο αντίκτυπος των χωρών με μεγάλη παραγωγή παραγωγής ενέργειας μειώνεται με τη μη σταθμισμένη προσέγγιση, ενώ ο αντίκτυπος των μικρών χωρών μεγεθύνεται. Για παράδειγμα, η Κορέα και οι Ηνωμένες Πολιτείες συγκαταλέγονται μεταξύ των μεγαλύτερων παραγωγών ενέργειας από αέριο και επίσης μεταξύ

των πιο αποδοτικών. Στη μη σταθμισμένη μέση προσέγγιση, ο αντίκτυπός τους στον μέσο όρο είναι χαμηλότερος από ό, τι στη μέση σταθμισμένη προσέγγιση, με αποτέλεσμα χαμηλότερη συνολική μέση απόδοση για όλες τις χώρες συνδυαστικά.

2.2.4 Συμπεράσματα ως προς την απόδοση ανά χώρα

Για την περίοδο 1990-2016 τα ακόλουθα συμπεράσματα μπορούν να εξαχθούν κατά την εξέταση των σταθμισμένων μέσων αποδόσεων για τις χώρες που μελετήθηκαν:

- Παραγωγή ισχύος με αέριο: Η αποδοτικότητα για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με αέριο δείχνει μια ισχυρή αύξηση από 38% το 1990 σε 49% το 2016 (μέση ετήσια βελτίωση 1,0%). Ο λόγος για αυτή τη βελτίωση είναι κυρίως η μεγάλη ποσότητα (πιο αποτελεσματικής) νέας παραγωγικής ικανότητας. Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με αέριο αυξήθηκε περισσότερο από τρεις φορές κατά την περίοδο 1990 - 2016.

- Παραγωγή ισχύος με καύση άνθρακα: παρατηρείται μόνο περιορισμένη αύξηση της απόδοσης από 35% έως 37% (μέση ετήσια βελτίωση 0,3%). Ο λόγος για αυτό είναι ότι ένα σημαντικό μέρος της αύξησης της παραγωγής ενέργειας με καύση άνθρακα πραγματοποιήθηκε στην Ινδία όπου η απόδοση παραμένει πολύ κάτω από τα επίπεδα για την καλύτερη διαθέσιμη τεχνολογία.

- Παραγωγή ισχύος με χρήση πετρελαίου: η απόδοση για την παραγωγή με καύση πετρελαίου αυξήθηκε σημαντικά μετά το 2009, αλλά πρόσφατα ήταν σταθερή στο 40% επειδή δεν υπήρξαν περαιτέρω αυξήσεις απόδοσης για τις μεγαλύτερες ηλεκτροπαραγωγές χώρες, τις Ηνωμένες Πολιτείες και την Ιαπωνία.

- Παραγωγή ισχύος με χρήση πετρελαίου: η απόδοση αυξήθηκε από 36% σε 40% που αντιστοιχεί σε ετήσια μέση βελτίωση 0,4%. Η περιορισμένη βελτίωση της αποδοτικότητας παραγωγής προκαλείται από τη μεγάλη εγκατεστημένη βάση που αντικαθίσταται αργά και την κυριαρχία του άνθρακα ως καυσίμου για τη δημόσια παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

Εάν όλες οι μονάδες που λειτουργούν επί του παρόντος σε αυτές τις χώρες αντικατασταθούν από μονάδες που λειτουργούν σύμφωνα με τις βέλτιστες διαθέσιμες τεχνολογίες (BAT), οι απόλυτες εκπομπές CO₂ που σχετίζονται με την παραγωγή ορυκτής ενέργειας θα ήταν 20% χαμηλότερες λόγω της βελτιωμένης απόδοσης παραγωγής (χωρίς να λαμβάνεται υπόψη η εναλλαγή καυσίμων).

Η Κίνα, οι Ηνωμένες Πολιτείες και η Ινδία εμφανίζουν πολύ υψηλές δυνατότητες μείωσης εκπομπών 785, 380 και 189 Mt αντίστοιχα. Το απόλυτο δυναμικό μείωσης υπαγορεύεται σε μεγάλο βαθμό από τη συνολική ποσότητα ενέργειας που παράγεται στη χώρα και από το βαθμό στον οποίο αυτό συμβαίνει χρησιμοποιώντας τη χρήση αναποτελεσματικών τεχνολογιών που καίνε καύσιμα υψηλής έντασης CO₂.

Στις περισσότερες από τις χώρες που αξιολογήθηκαν, το μερίδιο της παραγωγής πυρηνικής και υδροηλεκτρικής ενέργειας παρέμεινε σταθερό κατά την τελευταία δεκαετία (2000 - 2016) ή αργά μειώθηκε. Στην Ιαπωνία και σε μικρότερο βαθμό στη Γερμανία και τη Νότια Κορέα, το μερίδιο της πυρηνικής ενέργειας μειώθηκε σημαντικά μετά το περιστατικό της Φουκουσίμα.

Το έτος 2000, η παραγωγή από ανανεώσιμες πηγές εκτός της υδροηλεκτρικής ενέργειας δεν υπερέβαινε το 1% της παραγόμενης ισχύος στο κοινό μείγμα με λίγες μόνο εξαιρέσεις (Γερμανία, Σκανδιναβικές χώρες, Ηνωμένες Πολιτείες). Ωστόσο, στις περισσότερες χώρες παρατηρείται σημαντική υιοθέτηση της χρήσης τεχνολογιών παραγωγής ανανεώσιμων πηγών ενέργειας από το 2000 έως το 2016. Η μεγαλύτερη μέση αύξηση του μεριδίου των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (εξαιρουμένης της υδροηλεκτρικής ενέργειας) στο δημόσιο μείγμα 2000-2016 σημειώθηκε στη Γερμανία, το Ηνωμένο Βασίλειο και την Ιρλανδία και τις σκανδιναβικές χώρες. Συγκεκριμένα, το μερίδιο παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από τον άνεμο αυξήθηκε την τελευταία δεκαετία και πρόσφατα εξελίχθηκε η παραγωγή ενέργειας με βάση την ηλιακή ενέργεια.

Τέλος, θα πρέπει να σημειωθεί ότι υπάρχουν αβεβαιότητες στα δεδομένα, συμπεριλαμβανομένων των διαφορών μεταξύ των ισοζυγίων IEA του τρέχοντος και του περασμένου έτους και των ραγδαίων διακυμάνσεων που δεν μπορούν πάντα να εξηγηθεί. Αυτό σημαίνει ότι κάποιος πρέπει να προσέχει την εξαγωγή οριστικών συμπερασμάτων από τα δεδομένα.

2.3 Απόδοση της παραγωγής ανά τύπο καυσίμου

Στην παρούσα ενότητα διερευνάται η απόδοση των συστημάτων τα οποία χρησιμοποιούν συμβατικά ορυκτά καύσιμα και συγκεκριμένα η μεταβολή της τιμής της, κατά το πέρασμα των ετών από το 2008 μέχρι και το 2020 [193].

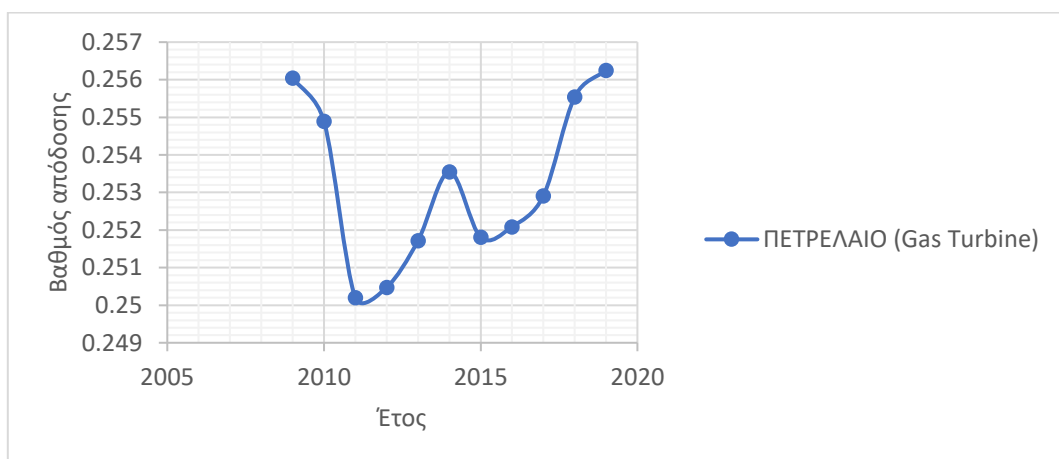
Τα καύσιμα που αναλύονται είναι το πετρέλαιο, το φυσικό αέριο και ο άνθρακας. Οι εφαρμογές οι οποίες θα συγκριθούν παρακάτω αφορούν αεριοστρόβιλους, μηχανές εσωτερικής καύσης συστήματα παραγωγής ατμού και τέλος συστήματα συνδυασμένου κύκλου. Επίσης παρουσιάζονται ανά περίπτωση και συγκριτικά διαγράμματα για το σύνολο των καυσίμων ανά τύπο συστήματος.

2.3.1 Πετρέλαιο

Όσον αφορά το πετρέλαιο παρατηρούμε από τα διαγράμματα ότι κατά τον πέρασμα των ετών γενικά υπάρχει αυξητική τάση για την απόδοση. Η χαμηλότερη τιμή απόδοσης συγκριτικά παρατηρείται για σύστημα αεριοστρόβιλου με πετρέλαιο (από το σύνολο των συστημάτων) με μια μέση τιμή να κυμαίνεται περίπου στο 25,4% [193].

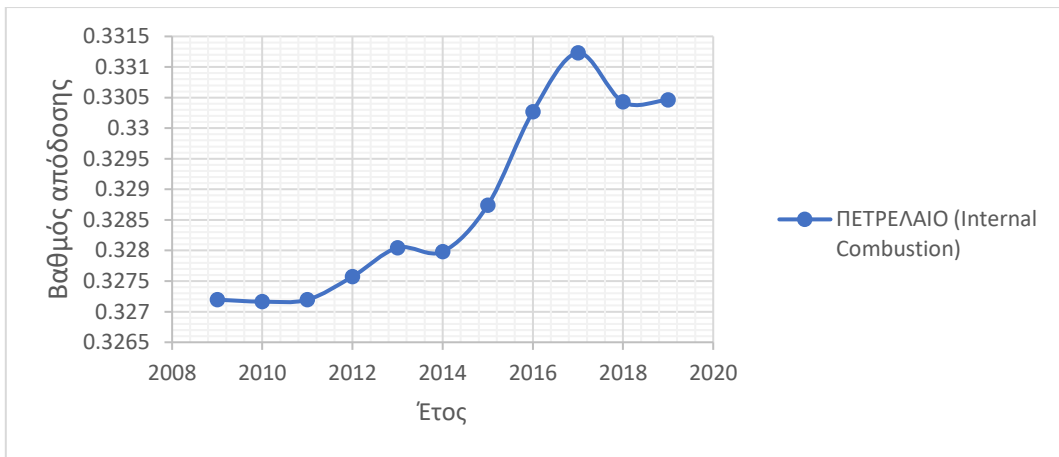
Ακολουθούν τα συστήματα εσωτερικής καύσης με μέση τιμή απόδοσης 32,9% , εν συνεχεία τα συστήματα παραγωγής ατμού με μέση τιμή 33,1 % και τέλος τα συστήματα συνδυασμένου κύκλου με μέση απόδοση 33,9 % [193].

Από το σύνολο των συστημάτων παρατηρούμε πως την μεγαλύτερη βελτίωση σε βάθος δωδεκαετίας είχαν τα συστήματα εσωτερικής καύσης και συνδυασμένου κύκλου όπως φαίνεται στα ακόλουθα διαγράμματα.

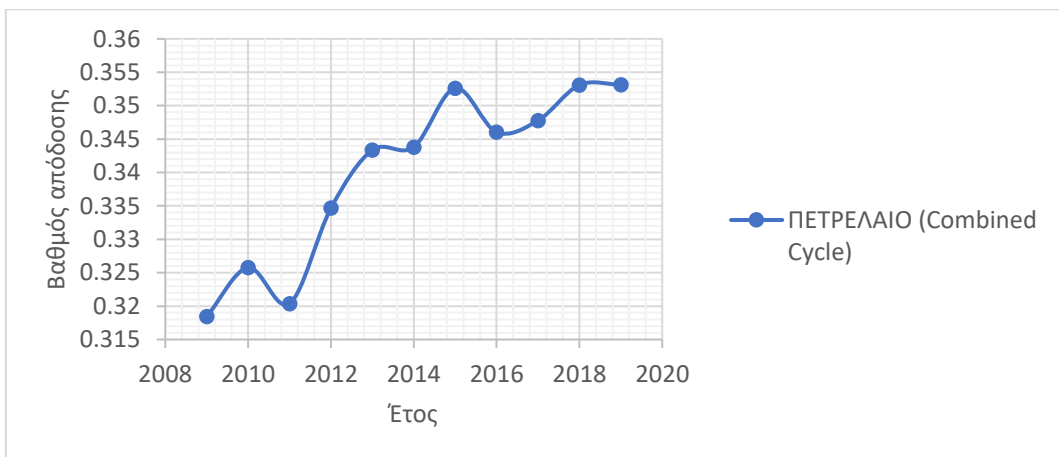


Εικ. 2.13 Απόδοση για αεριοστρόβιλους με καύσιμο το πετρέλαιο συναρτήσει του έτους

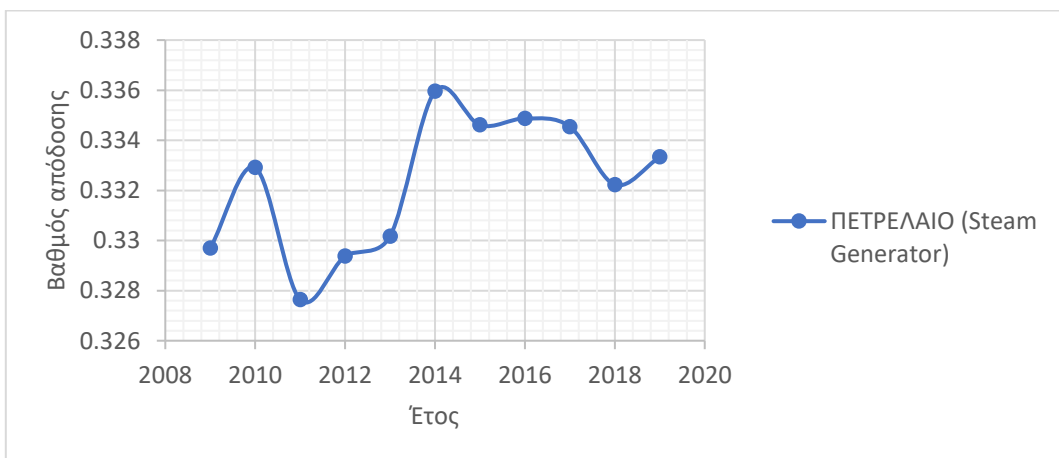
[193]



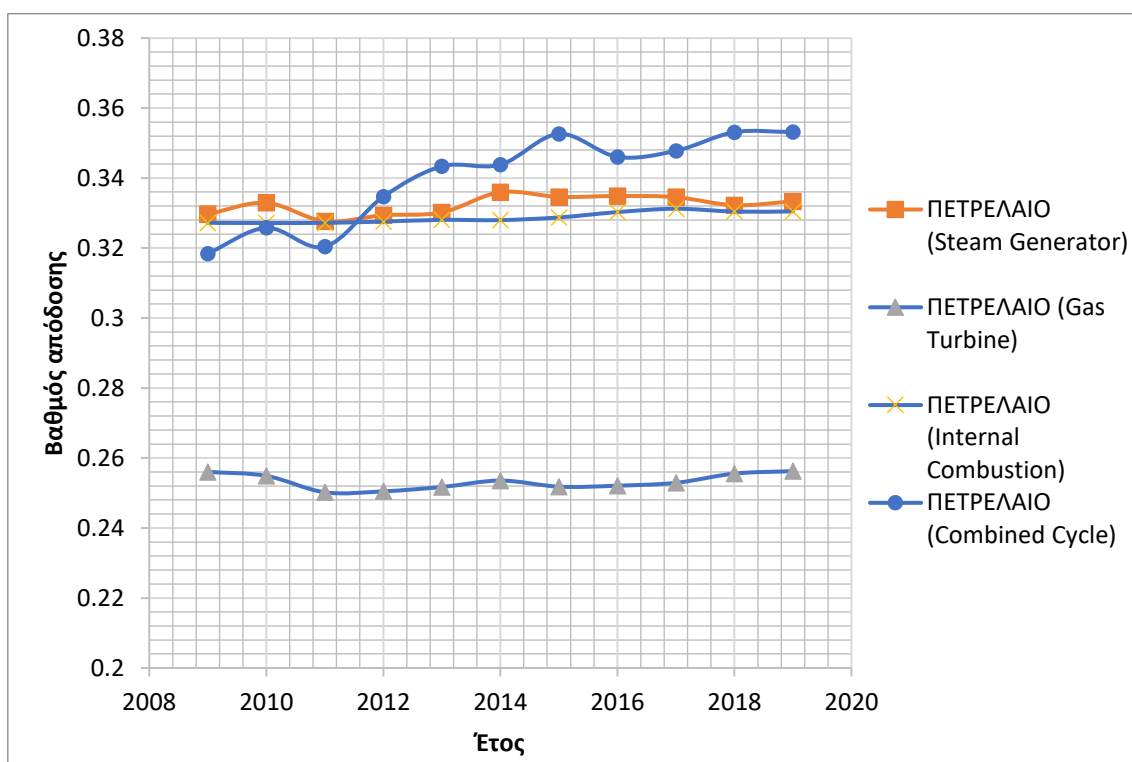
Εικ. 2.14 Απόδοση για μηχανές εσωτερικής καύσης με καύσιμο το πετρέλαιο συναρτήσει του έτους [193]



Εικ. 2.15 Απόδοση για συνδυασμένους κύκλους με καύσιμο το πετρέλαιο συναρτήσει του έτους [193]



Εικ. 2.16 Απόδοση για ατμοπαραγωγούς με καύσιμο το πετρέλαιο συναρτήσει του έτους [193]

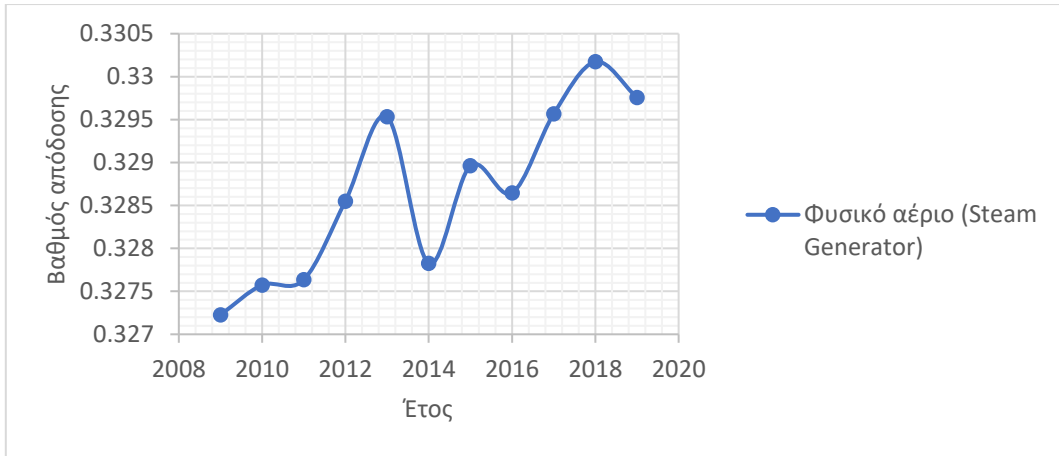


Εικ. 2.17 .Συγκριτικό διάγραμμα για συστήματα με καύσιμο το πετρέλαιο συναρτήσει του έτους

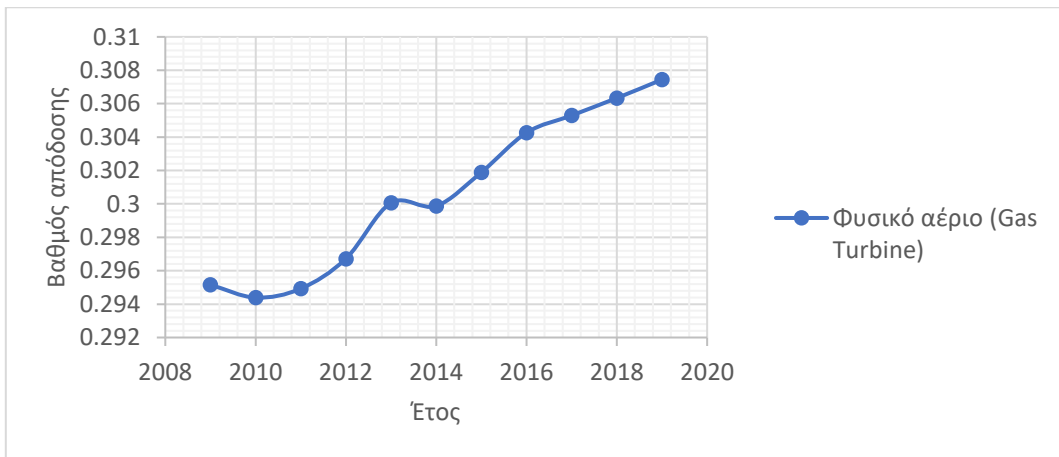
2.3.2 Φυσικό αέριο

Όσον αφορά το φυσικό αέριο παρατηρούμε από τα διαγράμματα ότι όπως και σε αυτήν την περίπτωση γενικά υπάρχει αυξητική τάση για την απόδοση. Η χαμηλότερη τιμή απόδοσης συγκριτικά παρατηρείται για σύστημα αεριοστρόβιλου με πετρέλαιο (από το σύνολο των συστημάτων) με μια μέση τιμή να κυμαίνεται περίπου στο 29,85% [193].

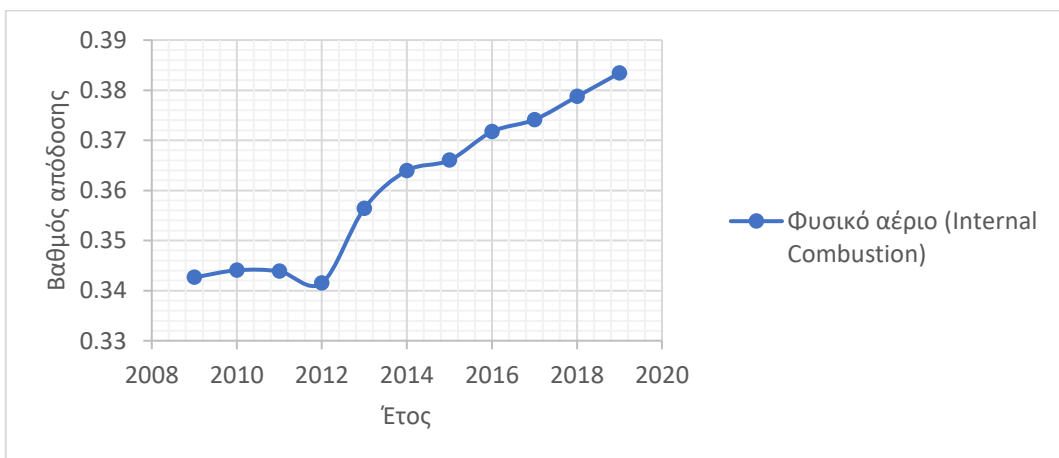
Ακολουθούν τα συστήματα παραγωγής ατμού με μέση τιμή απόδοσης 32,5% , εν συνεχεία τα συστήματα εσωτερικής καύσης με μέση τιμή 36,5 % και τέλος τα συστήματα συνδυασμένου κύκλου με μέση απόδοση 44,7 % [193].



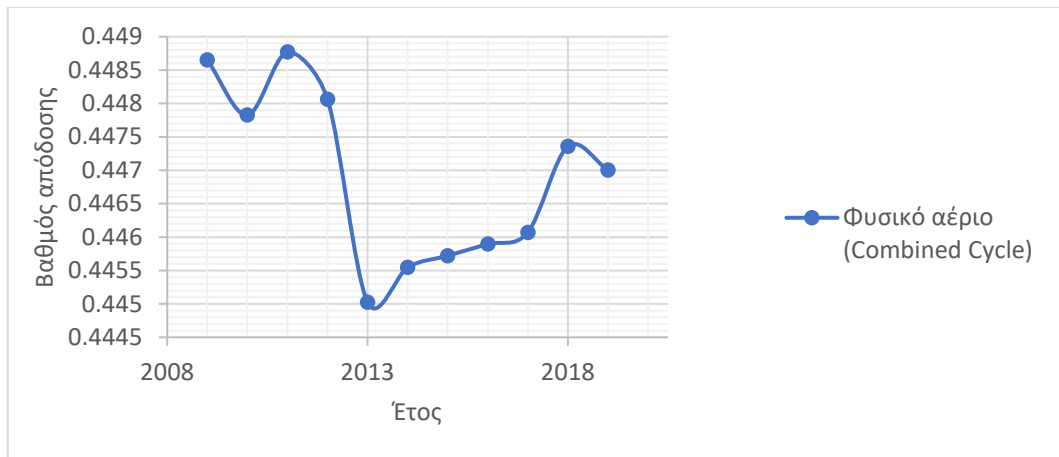
Εικ. 2.18 Απόδοση για ατμοπαραγωγούς με καύσιμο το φυσικό αέριο συναρτήσει του έτους [193]



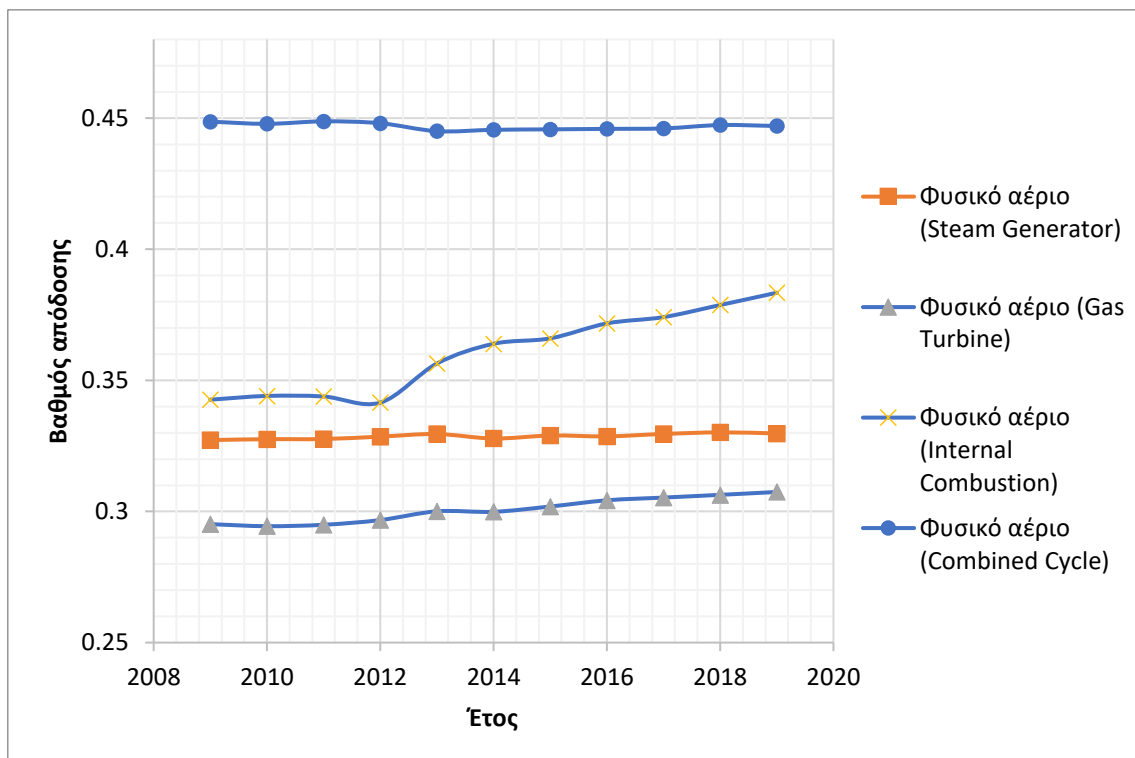
Εικ. 2.19 Απόδοση για αεριοστρόβιλους με καύσιμο το φυσικό αέριο συναρτήσει του έτους [193]



Εικ. 2.20 Απόδοση για μηχανές εσωτερικής καύσης με καύσιμο το φυσικό αέριο συναρτήσει του έτους [193]



Εικ. 2.21 Απόδοση για συνδυασμένους κύκλους με καύσιμο το φυσικό αέριο συναρτήσει του έτους [193]

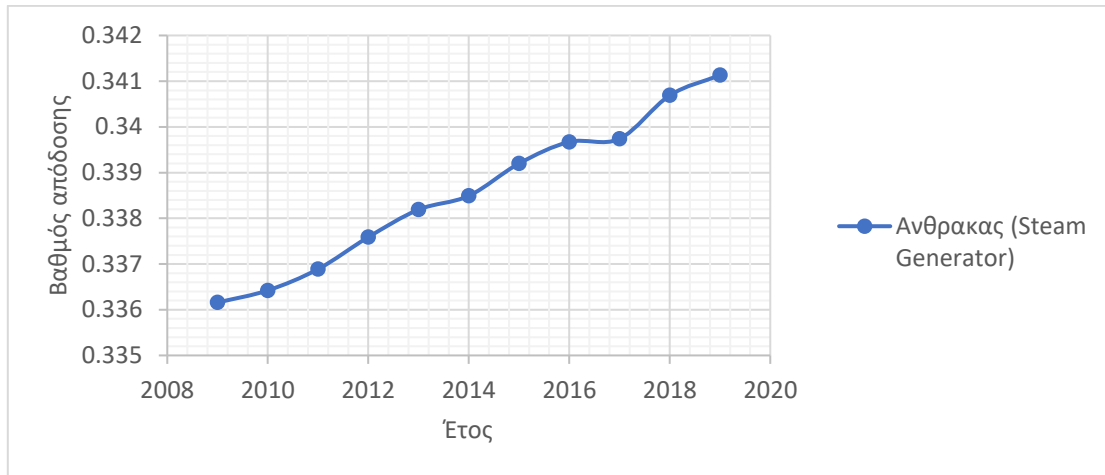


Εικ. 2.22 Απόδοση για αεριοστρόβιλους με καύσιμο το πετρέλαιο συναρτήσει του έτους

2.3.3 Άνθρακας

Όσον αφορά τον άνθρακα υπάρχουν πληροφορίες μόνο για τους ατμοπαραγωγούς από το 2009 έως και το 2019. Από το διάγραμμα παρατηρούμε ότι σε αυτήν την περίπτωση υπάρχει

αυξητική τάση για την απόδοση. Βλέπουμε πως το 2009 η απόδοση ήταν 33,6% ενώ το 2019 αυξήθηκε σε 34,1 %



Εικ. 2.13 Απόδοση για αεριοστρόβιλους με καύσιμο το πετρέλαιο συναρτήσει του έτους [193]

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο

Ενεργειακή αποδοτικότητα στον τομέα της αποθήκευσης

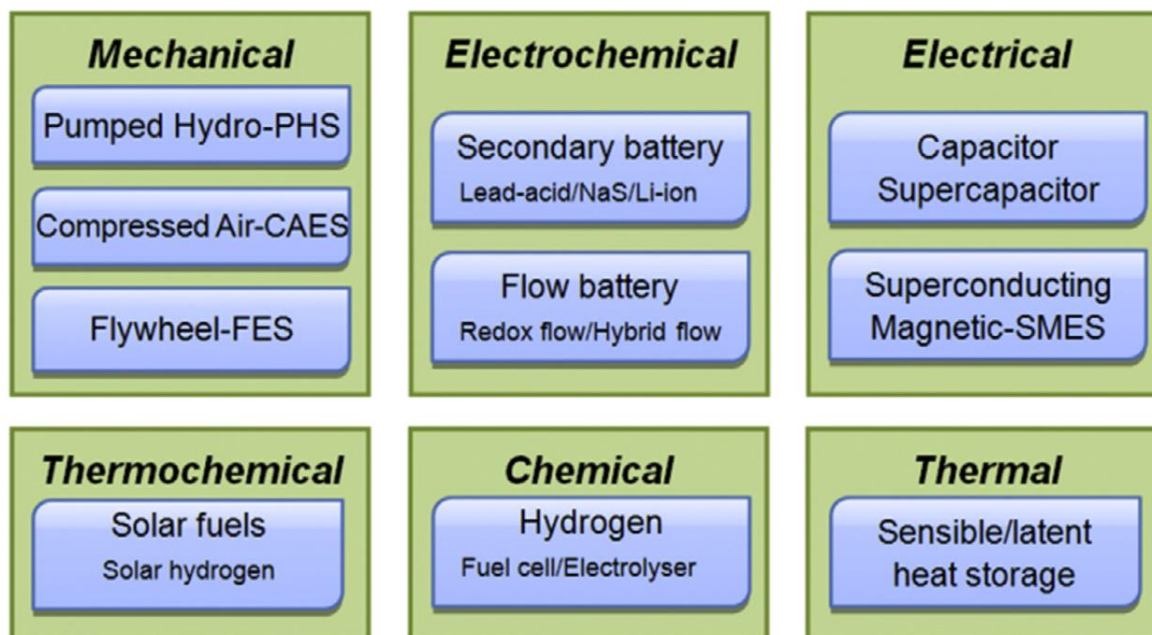
3.1 Τεχνολογίες αποθήκευσης ενέργειας

Η παγκόσμια παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας έχει αυξηθεί ραγδαία την τελευταία δεκαετία. Για τη διατήρηση της σταθερότητας ισχύος στο ηλεκτρικό δίκτυο, οι ανάγκες φορτίου ικανοποιούνται κυρίως μέσω μονάδων παραγωγής ηλεκτρισμού ορυκτών καυσίμων. Για την επίτευξη του στόχου μείωσης των εκπομπών CO₂, η μελλοντική παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας θα απαιτήσει τη μείωση της εξάρτησης της από τα ορυκτά καύσιμα, την αυξανόμενη χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και το μεγαλύτερο σεβασμό προς το περιβάλλον. Ωστόσο, οι περισσότερες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας είναι από την φύση τους μη σταθερές, γεγονός που αποτελεί μεγάλη πρόκληση στην παραγωγή ενέργειας για τη διασφάλιση της σταθερότητας και της αξιοπιστίας του δικτύου ισχύος.

Η αποθήκευση ενέργειας είναι το βασικό συστατικό για τη δημιουργία συστημάτων βιώσιμης ενέργειας. Οι τρέχουσες τεχνολογίες, όπως τα φωτοβολταϊκά πάνελ και οι ανεμογεννήτριες, μπορούν να παράγουν ενέργεια με βιώσιμο και φιλικό προς το περιβάλλον τρόπο. Οι τεχνολογίες αποθήκευσης ενέργειας έχουν τη δυνατότητα να αντισταθμίσουν το πρόβλημα των αυξομειώσεων των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας αποθηκεύοντας την παραγόμενη ενέργεια και στη συνέχεια καθιστώντας την προσβάσιμη κατόπιν ζήτησης.

Εκτός από τις εφαρμογές στο ενεργειακό δίκτυο, οι τεχνολογίες αποθήκευσης ενέργειας έχουν επίσης τη δυνατότητα να διαμορφώσουν και έναν άλλο τομέα, αυτόν των μεταφορών. Συσκευές αποθήκευσης ενέργειας θα μπορούσαν να αντικαταστήσουν τα συστήματα κίνησης των σημερινών τεχνολογιών μεταφοράς από έναν κινητήρα με βάση τα χημικά καύσιμα σε έναν κινητήρα με βάση την ηλεκτρική ενέργεια. Το ηλεκτρικό αυτοκίνητο είναι ένα πρωταρχικό παράδειγμα του πώς οι τεχνολογίες αποθήκευσης ενέργειας μπορούν να μετατρέψουν το σύστημα μεταφορών σε ένα πιο βιώσιμο μοντέλο. Οι ηλεκτρονικές συσκευές, που έχουν γίνει πανταχού παρούσες στη σύγχρονη κοινωνία, εξαρτώνται επίσης σε μεγάλο βαθμό από τις τεχνολογίες αποθήκευσης ενέργειας.

Το παρακάτω σχήμα δείχνει την ταξινόμηση των συστημάτων αποθήκευσης ενέργειας:



Εικ. 3.1 Ταξινόμηση των τεχνολογιών αποθήκευσης ενέργειας αναλόγως της μορφής αποθηκευμένης ενέργειας [112]

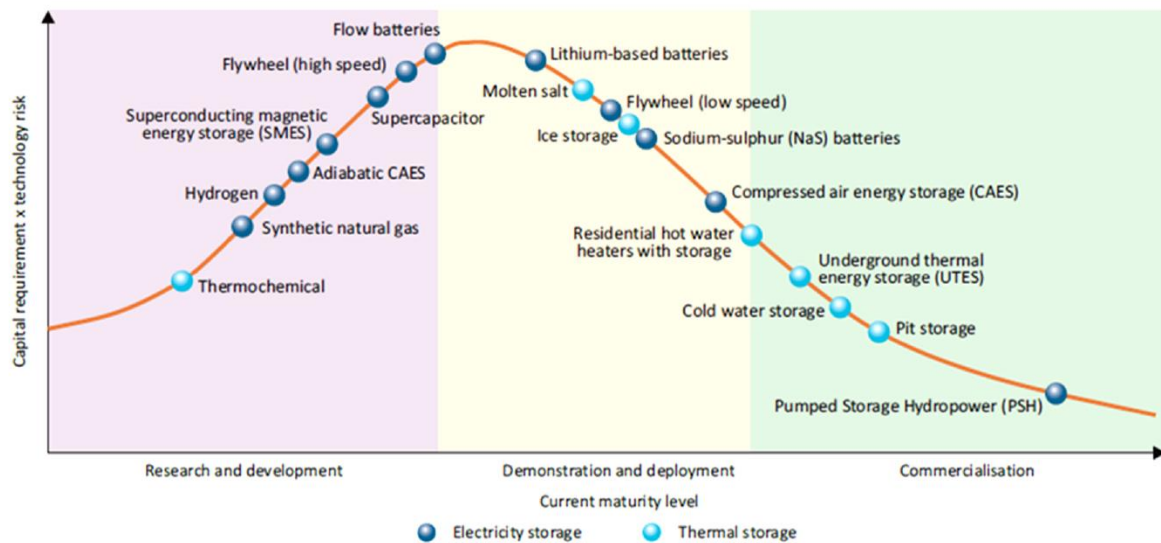
Έχουν καταβληθεί μεγάλες προσπάθειες για την αναζήτηση λύσεων, συμπεριλαμβανομένης της αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας (Electrical Energy Storage EES), της ευελιξίας παροχής φορτίων μέσω της διαχείρισης της ζήτησης, της διασύνδεσης με εξωτερικά δίκτυα κ.λπ. Μεταξύ όλων των πιθανών λύσεων, η EES έχει αναγνωριστεί ως μία από τις πιο πολλά υποσχόμενες προσεγγίσεις. Η τεχνολογία EES αναφέρεται στη διαδικασία μετατροπής της ενέργειας από μία μορφή (κυρίως ηλεκτρική ενέργεια) σε μια άλλη επιθυμητή μορφή και την αποθήκευση της σε διάφορα μέσα. Τότε η αποθηκευμένη ενέργεια μπορεί να μετατραπεί ξανά σε ηλεκτρική ενέργεια όταν απαιτηθεί. Η EES μπορεί να έχει πολλές ελκυστικές προτάσεις αξίας για τη λειτουργία του δικτύου ισχύος και την εξισορρόπηση φορτίου, όπως:

- Κάλυψη αιχμών ηλεκτρικού φορτίου.
- Μείωση της διακοπτόμενης παραγωγής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές
- Βελτίωση της ποιότητας / αξιοπιστίας της ισχύος.
- Ικανοποίηση αναγκών αυτονομίας και φορτίων οχημάτων.
- Υποστήριξη της υλοποίησης έξυπνων δικτύων.
- Βοηθώντας στη διαχείριση της κατανεμημένης παραγωγής ενέργειας.
- Μείωση της εισαγωγής ηλεκτρικής ενέργειας κατά τις περιόδους αιχμής.

Τα οφέλη της τεχνολογίας EES μπορούν να ταξινομηθούν σε δύο γενικές κατηγορίες που κάνουν την αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας ενδιαφέρουσα. Από τη μία πλευρά, η EES

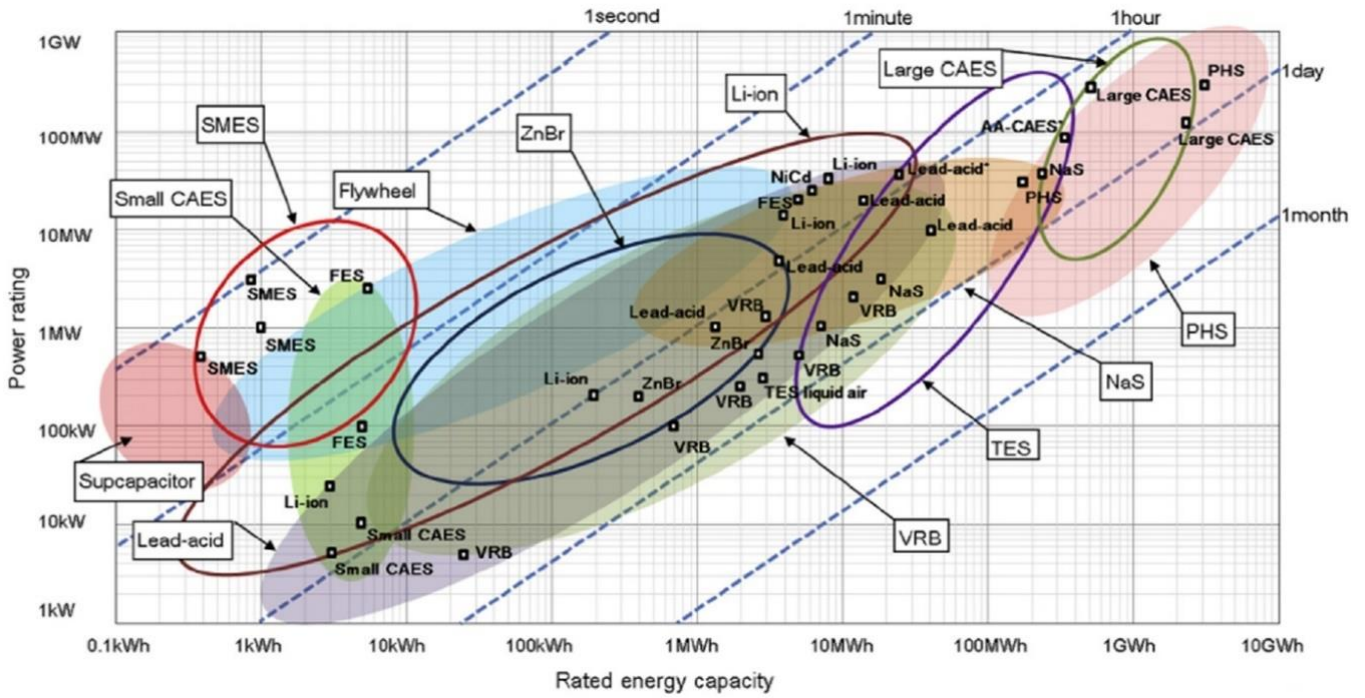
υψηλής ενέργειας θα συμβάλει στη βελτίωση της κερδοφορίας, δηλαδή εξασφαλίζει οικονομικά οφέλη για τους ενδιαφερόμενους φορείς του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας. Από την άλλη πλευρά, η EES υψηλής ισχύος παρέχει αξιοπιστία, ασφάλεια και παραγωγικότητα, δηλαδή παρέχει τεχνικά οφέλη

Η ωριμότητα των διαφορετικών τεχνολογιών εξαρτάται από την έρευνα που έχει γίνει από τη δημιουργία κάθε τεχνολογίας μέχρι σήμερα. Με αυτόν τον τρόπο, εμφανίζεται ένα διάγραμμα του επιπέδου ανάπτυξης.

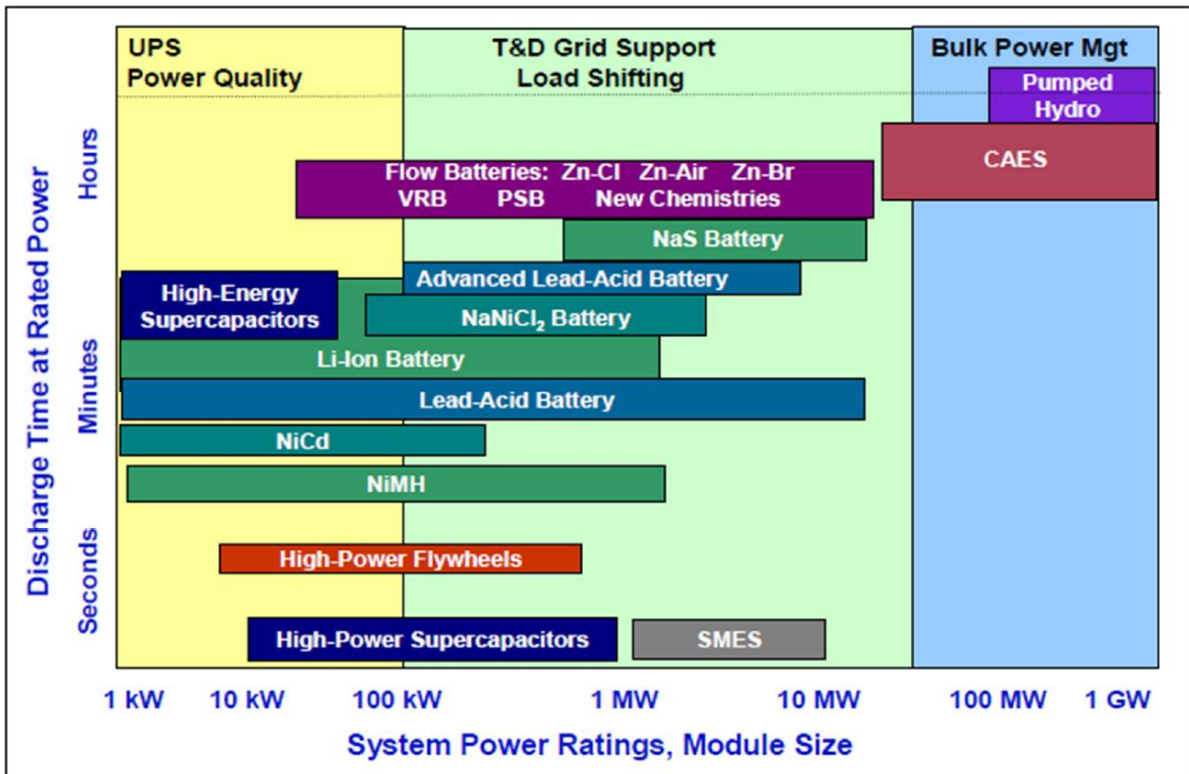


Εικ. 3.2 Ωριμότητα τεχνολογιών αποθήκευσης ενέργειας [113]

Είναι σημαντικό να γίνεται σύγκριση των διάφορων υπαρχουσών τεχνολογιών από διάφορες απόψεις. Έτσι, τα επόμενα δύο γραφήματα δείχνουν τη θέση των διαφόρων τύπων ESS σε σχέση με τη ισχύ, την ονομαστική ενεργειακή χωρητικότητα και τη διάρκεια του χρόνου εκφόρτισης:



Εικ. 3.3 Σύγκριση της ονομαστικής ισχύος και της ονομαστικής ενεργειακής χωρητικότητας με τη διάρκεια του χρόνου εκφόρτισης στην ονομαστική ισχύ [112]

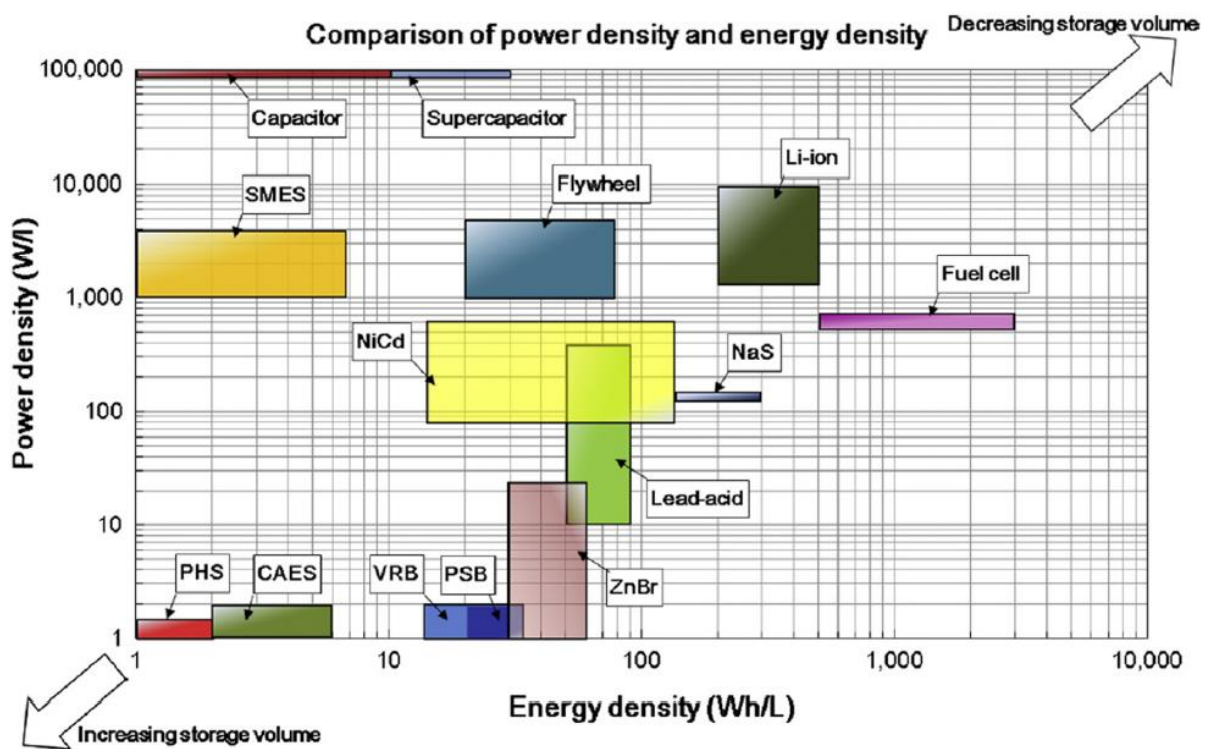


Εικ. 3.4 Αξιολόγηση ισχύος σε σχέση με τον χρόνο εκφόρτισης για διάφορες τεχνολογίες [115]

Οι παραπάνω εικόνες δείχνουν τους τομείς γενικής εφαρμογής των τρεχόντων συστημάτων EES καθώς και ένα εύρος καθοδήγησης για πιθανές μελλοντικές εφαρμογές. Από αυτά τα γραφήματα, είναι δυνατή η κατηγοριοποίηση των τεχνολογιών EES βάσει του ονομαστικού χρόνου εκφόρτισης και της ονομαστικής ισχύος:

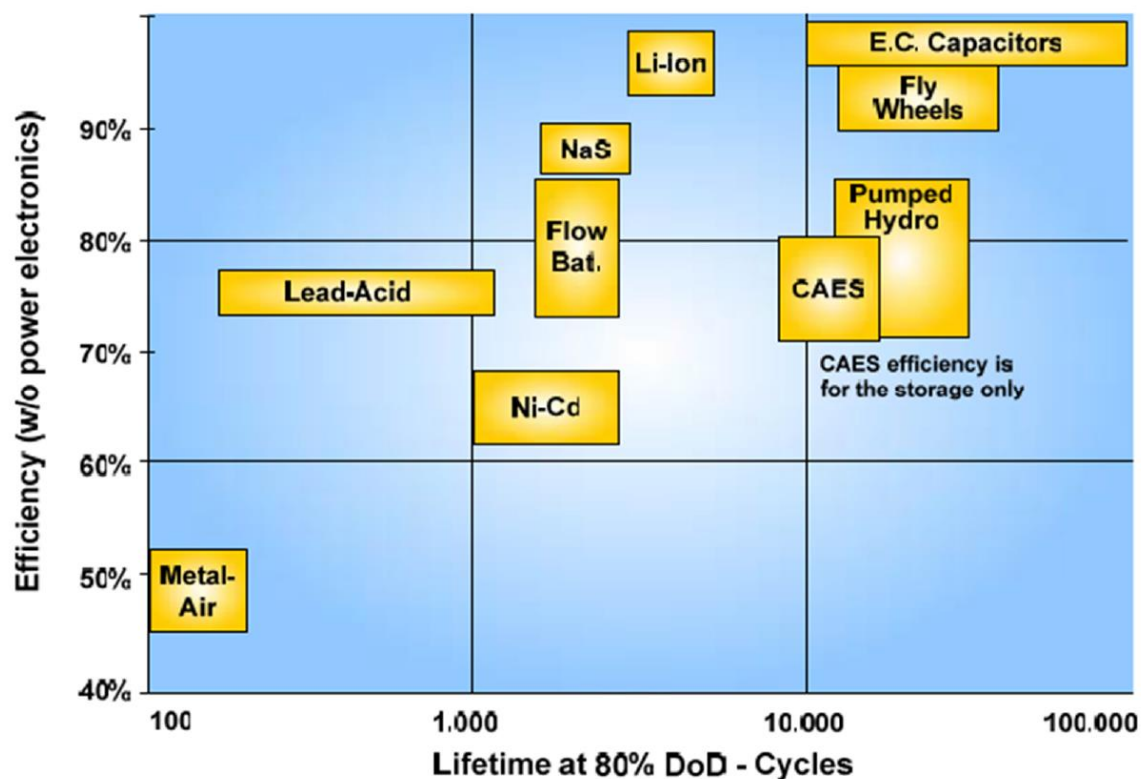
- Χρόνος εκφόρτισης λιγότερο από 1 ώρα (supercapacitor, flywheel και SMES)
- Χρόνος εκφόρτισης έως περίπου 10 ώρες (ηλεκτροχημικές μπαταρίες, μόλυβδου-οξέος, Liion, NiCd, ZnBr ...)
- Χρόνος εκφόρτισης περισσότερο από 10 ώρες (αποθήκευση ενέργειας υγρού αέρα, VRB, κυψέλες καυσίμου ...)

Είναι δυνατή η σύγκριση της ισχύος και της ενεργειακής πυκνότητας των παραπάνω συστημάτων:



Εικ. 3.5 Σύγκριση πυκνότητας ισχύος και ενεργειακής πυκνότητας [112]

Επίσης στην συνέχεια παρατίθεται ένα γράφημα σχετικά με την απόδοση σε σχέση με τη διάρκεια ζωής κάθε τεχνολογίας:



Εικ. 3.6 Αποδοτικότητα και διάρκεια ζωής των τεχνολογιών αποθήκευσης ενέργειας [115]

3.2 Μπαταρίες

Η ηλεκτρική ενέργεια είναι μια από τις κυρίαρχες μορφές ενέργειας που χρησιμοποιείται και έχει γίνει όλο και περισσότερο απαραίτητη από την έναρξη της ηλεκτρικής εποχής. Ωστόσο, η στιγμιαία ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας ποικίλλει σημαντικά καθημερινά και εποχιακά. Οι τεχνολογίες αποθήκευσης ενέργειας έχουν μεγάλη σημασία για την εξισορρόπηση της προσφοράς και της ζήτησης παραγωγής, διανομής και χρήσης ηλεκτρικής ενέργειας. Η αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας μεγάλης κλίμακας σε επίπεδο ηλεκτρικού δικτύου (grid-level large-scale electrical energy storage GLEES) είναι μια διαδικασία αποθήκευσης ενέργειας (διαφόρων μορφών) και η μετατροπή της σε ηλεκτρική ενέργεια όταν αυτό απαιτηθεί [112].

Οι συμβατικές τεχνολογίες αποθήκευσης ενέργειας συνήθως έχουν χαμηλή ενεργειακή απόδοση, απαιτούν τεράστιες επενδύσεις κεφαλαίου και έχουν προβλήματα που εξαρτώνται

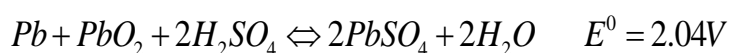
από την τοποθεσία του έργου. Συγκριτικά, οι μπαταρίες, συμπεριλαμβανομένων των συμβατικών μπαταριών και των μπαταριών ροής, είναι ώριμες τεχνολογικά συσκευές αποθήκευσης ενέργειας που είναι γνωστές για την εύκολη διαμόρφωση, την γρήγορη απόκριση, την ευέλικτη εγκατάσταση και τους σύντομους κύκλους κατασκευής [116,117].

Μέχρι στιγμής, έχουν αναπτυχθεί πολλές τεχνολογίες αποθήκευσης ενέργειας μπαταρίας για την ικανοποίηση των απαιτήσεων διαφόρων πεδίων με βάση συγκεκριμένες απαιτήσεις εφαρμογής, όπως ενεργειακή πυκνότητα, ειδική χωρητικότητα, απόδοση εκφόρτισης, απόδοση ισχύος, χρόνος απόκρισης, διάρκεια κύκλου, ασφάλεια και κόστος. Διάφορα άρθρα αξιολόγησης επικεντρώνονται στις βασικές αρχές και στην έρευνα των μπαταριών [118–127]. Ωστόσο, λίγες μελέτες επικεντρώνονται στις τεχνολογίες αποθήκευσης ενέργειας της μπαταρίας για εφαρμογή σε δίκτυα μεταφοράς ενέργειας,

Υπάρχουν αρκετές υποσχόμενες τεχνολογίες μπαταριών οι οποίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν στα δίκτυα μεταφοράς ενέργειας (π.χ. μπαταρίες μόλυβδου-οξέος, μπαταρίες νικελίου-καδμίου [Ni – Cd], μπαταρίες νικελίου-υδριδίου [Ni-MH], μπαταρίες νατρίου-θείου [Na – S], ιόντων λιθίου [Li-ion] και μπαταρίες ροής οι οποίες παρουσιάζονται και αναλύονται ακολούθως, όσον αφορά τον λειτουργικό τους μηχανισμό, την κατασκευή και το σχεδιασμό της μπαταρίας, καθώς και τα αντίστοιχα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα.

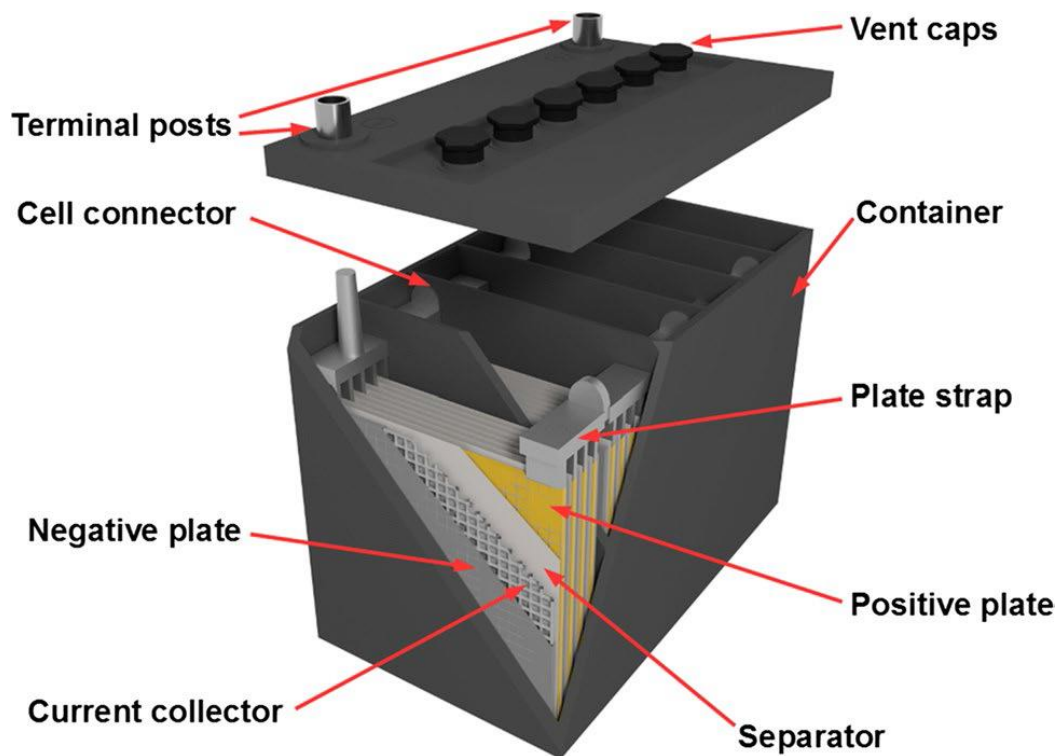
3.2.1 Μπαταρίες μόλυβδου-οξέος

Η μπαταρία μόλυβδου-οξέος είναι μια τεχνολογία μπαταρίας με μακρά ιστορία. Συνήθως, η μπαταρία μόλυβδου-οξέος αποτελείται από διοξείδιο του μόλυβδου (PbO₂), μεταλλικό μόλυβδο (Pb) και διάλυμα θεικού οξέος (H₂SO₄) ως αρνητικό ηλεκτρόδιο, θετικό ηλεκτρόδιο και ηλεκτρολύτη, αντίστοιχα (Εικ. 3.7) [128]. Η μπαταρία μόλυβδου-οξέος απαιτεί ένα δοχείο που είναι συνήθως κατασκευασμένο από θερμοπλαστικό υλικό (π.χ. ακρυλονιτρίλιο-βουταδιένιο-στυρένιο, ρητίνη στυρολίου-ακρυλονιτρίλιου, πολυανθρακικό, χλωριούχο πολυβινύλιο, πολυολεφίνη) [129]. Η λειτουργία της δευτερεύουσας μπαταρίας μόλυβδου-οξέος βασίζεται στην ακόλουθη εξίσωση [130].



Έχουν αναπτυχθεί διάφορα είδη μπαταριών μόλυβδου-οξέος, όπως η μπαταρία πλήρωσης (η οποία απαιτεί τακτική συμπλήρωση με αποσταγμένο νερό) και η σφραγισμένη μπαταρία χωρίς

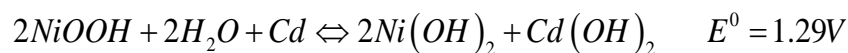
συντήρηση, συμπεριλαμβανομένης της μπαταρίας μολυβδου-οξέος (VRLA). Στην πράξη, η μπαταρία μολυβδου-οξέος έχει γενική απόδοση 75-80% με ενεργειακή πυκνότητα 30-50 Wh / kg. Η ονομαστική τάση της μπαταρίας μολυβδου-οξέος είναι ~ 2 V [131]. Επιπλέον, η μπαταρία μολυβδου-οξέος έχει χαμηλή τιμή (300-600 \$ / kWh), είναι εύκολη στην κατασκευή, και επιτρέπει την εύκολη ανακύκλωση των εξαρτημάτων της μπαταρίας (> 97% όλου του μολυβδου μπαταρίας μπορεί να ανακυκλωθεί) [129]. Ωστόσο, η πρακτική εφαρμογή της μπαταρίας μολυβδου-οξέος για δίκτυα μεταφοράς ενέργειας είναι περιορισμένη λόγω της σχετικά μικρής διάρκειας ζωής (500-1000 κύκλοι) και της χαμηλής ενεργειακής πυκνότητας που προκύπτει από την εγγενή υψηλή πυκνότητα μολυβδου. Επιπλέον, απαιτείται σύστημα θερμικής διαχείρισης για μπαταρίες μολυβδου-οξέος λόγω της χαμηλής απόδοσης σε χαμηλή θερμοκρασία.



Εικ. 3.7 Σχηματική απεικόνιση μπαταριών μολυβδου-οξέος. [132].

3.2.2 Μπαταρίες νικελίου-καδμίου (Ni – Cd)

Η μπαταρία Ni – Cd είναι μια άλλη ώριμη τεχνολογία με μακρά ιστορία πάνω από 100 χρόνια. Γενικά, η μπαταρία Ni – Cd αποτελείται από ένα θετικό ηλεκτρόδιο υδροξειδίου του νικελίου, ένα αρνητικό ηλεκτρόδιο υδροξειδίου του καδμίου, έναν αλκαλικό ηλεκτρολύτη και έναν διαχωριστή. Μια μπαταρία Ni – Cd συναρμολογείται συνήθως με μια πλαστική ή μεταλλική θήκη που περιέχει μια πλάκα στεγανοποίησης εφοδιασμένη με αυτοσφραγιζόμενη βαλβίδα ασφαλείας. Τα πλαστικά δοχεία για μπαταρία Ni – Cd είναι κατασκευασμένα από πολυπροπυλένιο, πολυστυρόλιο και πλαστικά επιβραδυντικά φλόγας, τα οποία είναι προτιμότερα από το αντίστοιχο με βάση το μέταλλο και έχουν σχετικά υψηλή αντοχή στη διάβρωση, χαμηλό βάρος και ευκολία οπτικού ελέγχου της στάθμης του ηλεκτρολύτη [129]. Ο μηχανισμός λειτουργίας φόρτισης και εκφόρτισης των μπαταριών Ni – Cd μπορεί να παρουσιαστεί ως κάτωθι (2):

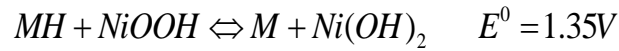


Οι μπαταρίες Ni – Cd έχουν ενεργειακή πυκνότητα 50–75 Wh / kg και είναι γνωστές για τη σχετικά μεγάλη διάρκεια ζωής τους (2000–2500 κύκλοι), το ευρύ εύρος θερμοκρασίας λειτουργίας, τις καλές ιδιότητες φόρτισης και τις χαμηλές απαιτήσεις συντήρησης. Η απόδοση αυτών των μπαταριών έχει εύρος από 70 έως 90%. Ωστόσο έχουν σχετικά υψηλό κόστος (~ \$ 1000 / kWh) λόγω της δαπανηρής διαδικασίας κατασκευής και περιέχουν ένα τοξικό στοιχείο βαρέων μετάλλων (Cd) και είναι γνωστές για το «φαινόμενο μνήμης». Το φαινόμενο μνήμης της μπαταρίας Ni – Cd αναφέρεται στην τάση του να προσαρμόζει τις ηλεκτρικές ιδιότητες σε έναν συγκεκριμένο κύκλο λειτουργίας που έχει υποβληθεί για μεγάλο χρονικό διάστημα. Αυτό το αποτέλεσμα μπορεί να μετριαστεί με ορθή διαχείριση της μπαταρίας [112, 129]. Τα κύρια πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των μπαταριών Ni – Cd παρουσιάζονται στον Πίνακα 3.1.

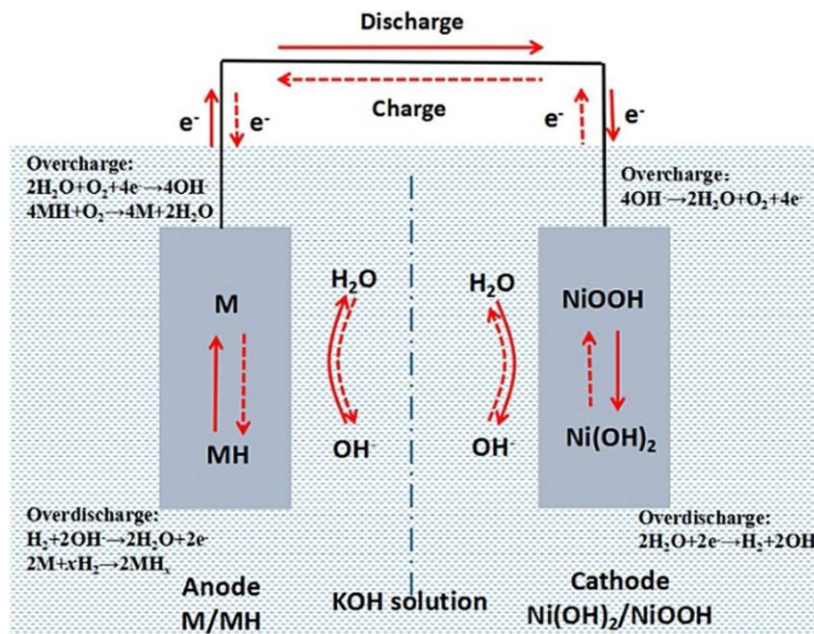
3.2.3 Μπαταρίες νικελίου- υδριδίου μετάλλου (Ni – MH)

Οι μπαταρίες Ni – MH μελετήθηκαν για πρώτη φορά στη δεκαετία του 1960 και κυκλοφορούν στην αγορά για πάνω από 20 χρόνια ως φορητές μπαταρίες [130]. Περιλαμβάνουν μεταλλικές υδριδικές ανόδους (π.χ. τύπου AB5- [La Ce Pr Nd Ni Co Mn Al] ή τύπου A2B7- [La Ce Pr Nd Mg Ni Co Mn Al Zr], ή τύπου AB2 [VTi Zr Ni Cr- Co Mn Al Sn] και ενεργά μεταλλικά υδρίδια,

ηλεκτρόδιο νικελίου, υδροξείδιο νικελίου, KOH, KOH / LiOH, KOH / NaOH / LiOH). Ένας διαχωριστής χρησιμοποιείται συνήθως ως μονωτής μεταξύ ανόδων και καθόδων, λειτουργεί ως μέσο απορρόφησης ηλεκτρολυτών και αποτελείται από συνθετικό υλικό. Η εξίσωση που περιγράφει τις μπαταρίας Ni – MH είναι η εξής :



Όσον αφορά τις μπαταρίες Ni – MH, τόσο η άνοδος όσο και η κάθοδος είναι πορώδεις δομές με μεγάλη επιφάνεια, παρέχοντας έτσι χαμηλή εσωτερική αντίσταση και υψηλή απόδοση (της τάξεως του 90%). Η κάθοδος γενικά κατασκευάζεται με εμποτισμό ή επικόλληση ενώσεων νικελίου στο αφρώδες νικέλιο ή σε ένα πολύ πορώδες υπόστρωμα, και η άνοδος είναι ένα διάτρητο φύλλο ή πλέγμα νικελίου επικαλυμμένο με κράμα υδρογόνου. Στην πράξη, οι μπαταρίες Ni – MH μπορούν να χρησιμοποιηθούν στις τηλεπικοινωνίες, για την παροχή αδιάλειπτης τροφοδοσίας και για την τροφοδοσία υβριδικών ηλεκτρικών οχημάτων λόγω της υψηλής ενέργειας και ισχύος τους (40–110 Wh / kg, 200–1200 W / kg) [133]. Είναι φιλικές προς το περιβάλλον, έχουν ευρύ φάσμα θερμοκρασιών λειτουργίας (–30 έως 70 ° C), υψηλή ανοχή στην μη σωστή φόρτιση, χαρακτηριστικά μεγάλης διάρκειας ζωής, χαμηλή συντήρηση και χαμηλό κόστος [129]. Τα κύρια πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των μπαταριών Ni – MH παρουσιάζονται στον Πίνακα 3.1.



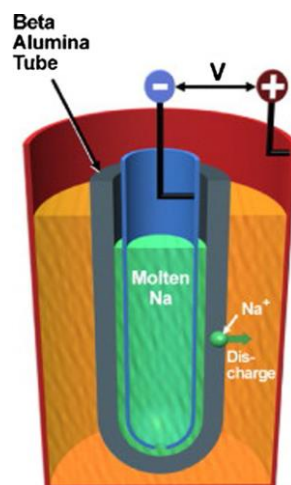
Εικ. 3.8 Σχηματική απεικόνιση μπαταριών Ni – MH. [134].

3.2.4 Μπαταρίες νατρίου-θείου (Na – S)

Η μπαταρία Na – S εφευρέθηκε για πρώτη φορά από τη Ford το 1967 και θεωρείται ως ένας από τους πιο υποσχόμενους υποψήφιους για εφαρμογές δικτύου μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας. Αποτελούνται από ανόδους Na, καθόδους S και αγωγίσιμους κεραμικούς ηλεκτρολύτες Na⁺ (π.χ. β" - Al₂O₃) σε θερμοκρασία λειτουργίας 300-350 °C. Λαμβάνοντας υπόψη τη φύση του μονωτή των υλικών S, οι κάθοδοι S γενικά πληρώνονται με έναν αγωγίσιμο πορώδη άνθρακα ή γραφίτη που λειτουργούν ως συλλέκτες ρεύματος. Το περίβλημα των μπαταριών Na – S είναι συνήθως κατασκευασμένο από ανοξείδωτο ατσάλι. Η χημική εξίσωση που περιγράφει την φόρτιση και εκφόρτιση των μπαταριών Na – S παρουσιάζεται στην κάτωθι εξίσωση:



Η μπαταρίες Na – S έχουν θεωρητική ενεργειακή πυκνότητα 760 Wh / kg και η πραγματική τους ενέργεια και πυκνότητα ισχύος είναι 150-240 Wh / kg και 150-230 W / kg, αντίστοιχα. Οι μπαταρίες Na – S έχουν σχετικά μεγάλη διάρκεια ζωής, συνήθως ~ 2500 κύκλους με απόδοση 75-90 %. Ως αποτέλεσμα χαρακτηρίζονται από σχετικά υψηλή ειδική ενέργεια και πυκνότητα ισχύος, υψηλή ισχύς ρεύματος, υψηλή αντίσταση αυτοεκφόρτισης, υψηλή ηλεκτρική απόδοση, χαμηλό θόρυβο και υψηλή φιλικότητα στο περιβάλλον. Ωστόσο, το σημαντικότερο μειονέκτημα των μπαταριών Na – S είναι η απαίτηση μιας πηγής θερμότητας και η εξαιρετικά εξώθερμη αντίδραση μεταξύ Na και S, αυξάνοντας έτσι τον κίνδυνο εκδήλωσης πυρκαγιάς. Το αρχικό κόστος κεφαλαίου των μπαταριών Na – S είναι ~ 350 \$ / kWh και αυτό το κόστος αναμένεται να μειωθεί καθώς αυξάνεται η παραγωγική ικανότητα [112].



Εικ. 3.9 Σχηματική απεικόνιση των μπαταριών Na – S. [135]

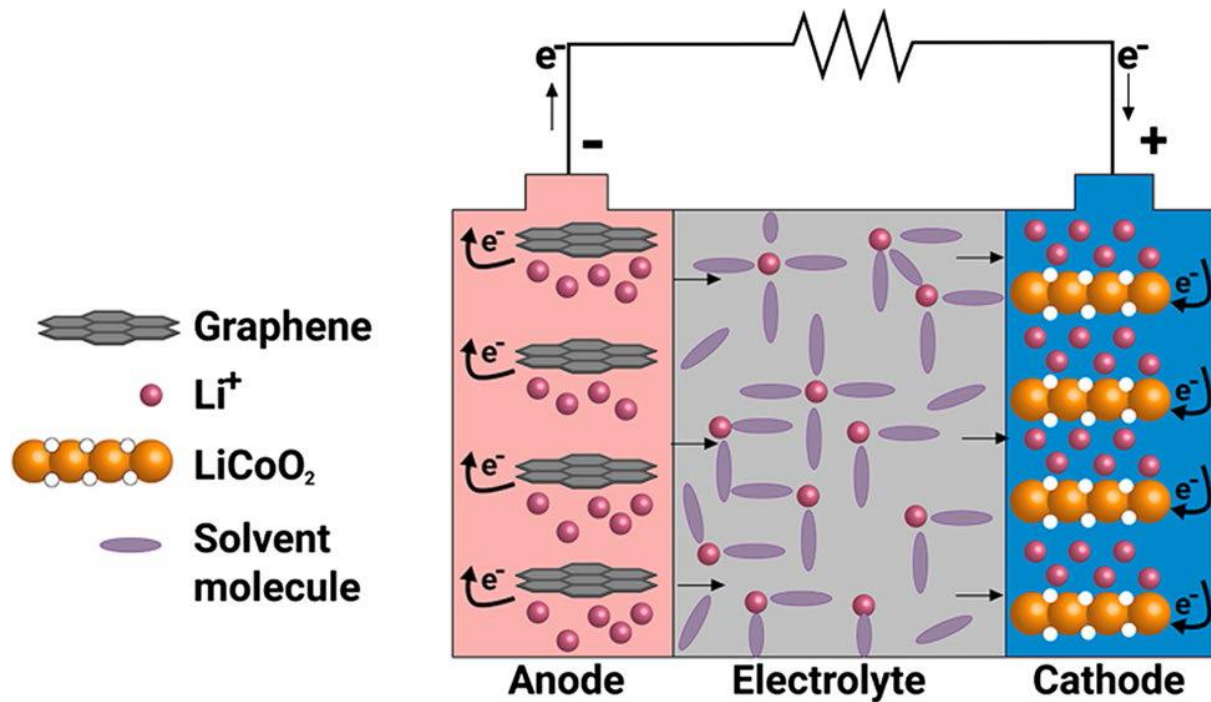
3.2.5 Μπαταρίες ιόντων λιθίου (Li-Ion)

Από τη στιγμή που οι πρώτες εμπορικές μπαταρίες ιόντων λιθίου παρήχθησαν το 1990 από τη Sony, αυτού του είδους οι μπαταρίες έχουν γίνει μια από τις σημαντικότερες τεχνολογίες μπαταριών, που καθοδηγούν την αγορά στον τομέα της αποθήκευσης ενέργειας. Ως μπαταρία τύπου “rocking chair”, η μπαταρία ιόντων λιθίου λειτουργεί από κίνηση του ιόντος Li + μεταξύ δύο ηλεκτροδίων κατά τη διάρκεια των διαδικασιών φόρτισης και εκφόρτισης. Γενικά, οι μπαταρίες ιόντων λιθίου περιλαμβάνουν θετικά και αρνητικά ηλεκτρόδια και ηλεκτρολύτες που οδηγούν σε ιόντα λιθίου. Συνήθως, τα θετικά υλικά ηλεκτροδίων είναι μεταλλικά οξείδια σε μορφή στρώσεων ή δομή σήραγγας (π.χ. οξείδιο λιθίου κοβαλτίου [LiCoO₂], οξείδιο λιθανίου μαγγανίου [LiMn₂O₄], LiFePO₄) τοποθετημένα πάνω σε συλλέκτη ρεύματος αλουμινίου. Το αρνητικό ηλεκτρόδιο είναι συνήθως ένας γραφιτικός άνθρακας σε έναν συλλέκτη ρεύματος χαλκού.

Ο ηλεκτρολύτης για τις μπαταρίες ιόντων λιθίου μπορεί να χωριστεί σε δύο κατηγορίες, δηλαδή τους υγρούς ηλεκτρολύτες και τους ημιστερεούς / στερεάς κατάστασης ηλεκτρολύτες. Οι υγροί ηλεκτρολύτες αποτελούνται συνήθως από άλατα λιθίου (π.χ. LiPF₆, LiBF₄, LiN [CF₃SO₂]₂) και βορικό δι-οξάλατο λιθίου [LiBOB]) διαλυμένα σε οργανικά ανθρακικά άλατα (π.χ. ανθρακικό προπυλένιο, ανθρακικό αιθυλένιο, ανθρακικό διμεθύλιο, ανθρακικό αιθύλιο, και ανθρακικό διαιθύλιο και τα μείγματά τους). Ο ημιστερεός ηλεκτρολύτης είναι τυπικά ένας πολυλύτης πολυμερούς, ο οποίος είναι ένα αγωγίμο ιοντικό υλικό αποτελούμενο από άλατα λιθίου και μήτρες πολυμερούς υψηλού μοριακού βάρους (π.χ. πολυ (αιθυλενοξείδιο), πολυβινυλιδενοφθορίδιο, πολυβινυλιδενο φθορίδιο-εξαφθοροπροπυλένιο) ή με διαλύτες.

Γενικά, οι μπαταρίες ιόντων λιθίου χαρακτηρίζονται από μεγάλη διάρκεια ζωής (υψηλότερη από 1000 κύκλους), υψηλή απόδοση (σχεδόν 90%), χαμηλό ρυθμό αυτοεκφόρτισης (2-8% ανά μήνα) και μεγάλο εύρος θερμοκρασίας λειτουργίας (Οι εμπορικές μπαταρίες ιόντων λιθίου μπορούν να φορτίζουν μεταξύ 0 και 45 ° C και η εκφόρτιση μπορεί να λάβει χώρα μεταξύ - 40 και 65 ° C). Μπορούν να κατασκευαστούν σε μια ευρεία γκάμα μεγεθών και σχημάτων, όπως επίπεδες ή "στοιβαγμένες" πρισματικές, κυλινδρικές σπειροειδείς και κυψέλες σε μικρά (0,1 Ah) έως μεγάλα (160 Ah) μεγέθη [112, 129].

Τα κύρια μειονεκτήματα των μπαταριών ιόντων λιθίου είναι η σχετικά χαμηλή ενεργειακή πυκνότητα (240 Wh / kg, 640 Wh / L), η πιθανή αποικοδόμηση όταν αποφορτίζονται κάτω από 2 V σε υψηλές θερμοκρασίες (65 ° C) και ο κίνδυνος κατά την υπερφόρτιση. Ο Πίνακας 3.1 παραθέτει τα κύρια πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα αυτού του είδους μπαταριών



Εικ. 3.10 Σχηματική απεικόνιση μπαταριών ιόντων λιθίου. [116].

3.2.6 Συνοπτική παρουσίαση μπαταριών

Πίνακας 3.1 Κύρια πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα διαφόρων τύπων μπαταριών [129]

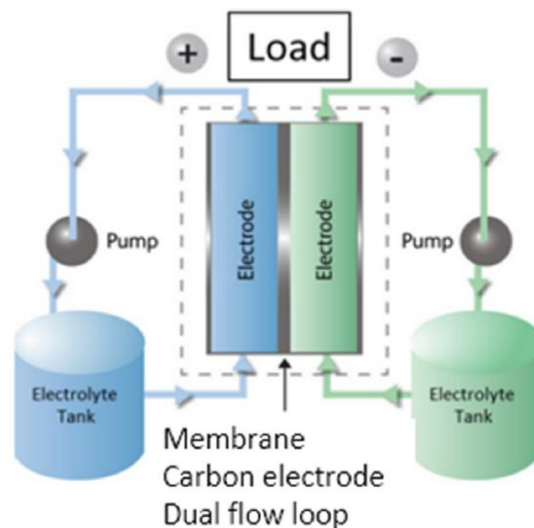
Τύπος Μπαταρίας	Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα
Μόλυβδου οξέος	Χαμηλό κόστος Διαθεσιμότητα μεγάλων ποσοτήτων με διάφορα μεγέθη και σχέδια Υψηλή τάση μπαταρίας Καλή απόδοση υψηλής ισχύος Καλή διατήρηση φόρτισης για εφαρμογές διαλείπουσας χρήσης	Περιορισμένη ενεργειακή πυκνότητα Σχετικά σύντομη διάρκεια κύκλου Μη αναστρέψιμη πόλωση των ηλεκτροδίων (παραγωγή θείωσης μετά από μακροχρόνια αποθήκευση σε κατάσταση αποφόρτισης) Πιθανή εμφάνιση υδρογόνου

	<p>Διαθεσιμότητα σε σχέδια χωρίς απαίτηση συντήρησης</p> <p>Υψηλή δυνατότητα ανακύκλωσης των εξαρτημάτων της μπαταρίας</p>	
Ni-Cd	<p>Μεγάλη διάρκεια ζωής</p> <p>Ικανότητα αντοχής σε ηλεκτρική και φυσική κακοποίηση</p> <p>Εξαιρετική μακροχρόνια αποθήκευση</p> <p>Χαμηλή συντήρηση</p>	<p>Περιορισμένη ενεργειακή πυκνότητα</p> <p>Σχετικά υψηλό κόστος (σε σύγκριση με τις μπαταρίες μόλυβδου-οξέος)</p> <p>Φαινόμενο μνήμης</p> <p>Περιέχουν τοξικό στοιχείο (κάδμιο)</p> <p>Περιέχει καυστικό αλκαλικό ηλεκτρολύτη</p>
Ni-MH	<p>Σχετικά υψηλή πυκνότητα ενέργειας</p> <p>Καλή απόδοση σε υψηλή θερμοκρασία</p> <p>Καλή χωρητικότητα σε υψηλή ισχύ</p> <p>Μεγάλη διάρκεια ζωής</p> <p>Καλή διατήρηση φόρτισης</p> <p>Δυνατότητα γρήγορης επαναφόρτισης</p> <p>Μη απαίτηση συντήρησης</p> <p>Υψηλή ασφάλεια σε χρήση υψηλής τάσης</p> <p>Ασφάλεια κατά την φόρτιση και την αποφόρτιση, συμπεριλαμβανομένης της ανοχής στην καταχρηστική φόρτιση και την εκφόρτιση</p> <p>Περιβαλλοντικά αποδεκτά και ανακυκλώσιμα υλικά</p>	<p>Σχετικά υψηλό κόστος (σε σύγκριση με τις μπαταρίες μόλυβδου-οξέος)</p> <p>Μειωμένη απόδοση σε χαμηλή θερμοκρασία</p>
Na-S	<p>Σχετικά υψηλή πυκνότητα ενέργειας</p> <p>Σχετικά μεγάλη διάρκεια ζωής</p> <p>Υψηλή αντίσταση αυτοεκφόρτισης</p>	<p>Υψηλή θερμοκρασία λειτουργίας</p> <p>Υψηλό κόστος</p>
Li-ion	<p>Σχετικά υψηλή πυκνότητα ενέργειας</p> <p>Χαμηλό κόστος συντήρησης</p> <p>Μεγάλο εύρος θερμοκρασίας λειτουργίας</p> <p>Μεγάλη διάρκεια ζωής</p> <p>Μεγάλη διάρκεια αποθήκευσης χωρίς λειτουργία</p> <p>Δυνατότητα γρήγορης φόρτισης</p> <p>Χωρίς φαινόμενο μνήμης</p> <p>Ευελιξία σχεδιασμού</p>	<p>Σχετικά υψηλό κόστος</p> <p>Κακή απόδοση σε υψηλή θερμοκρασία</p> <p>Απαίτηση προστατευτικού κυκλώματος</p>

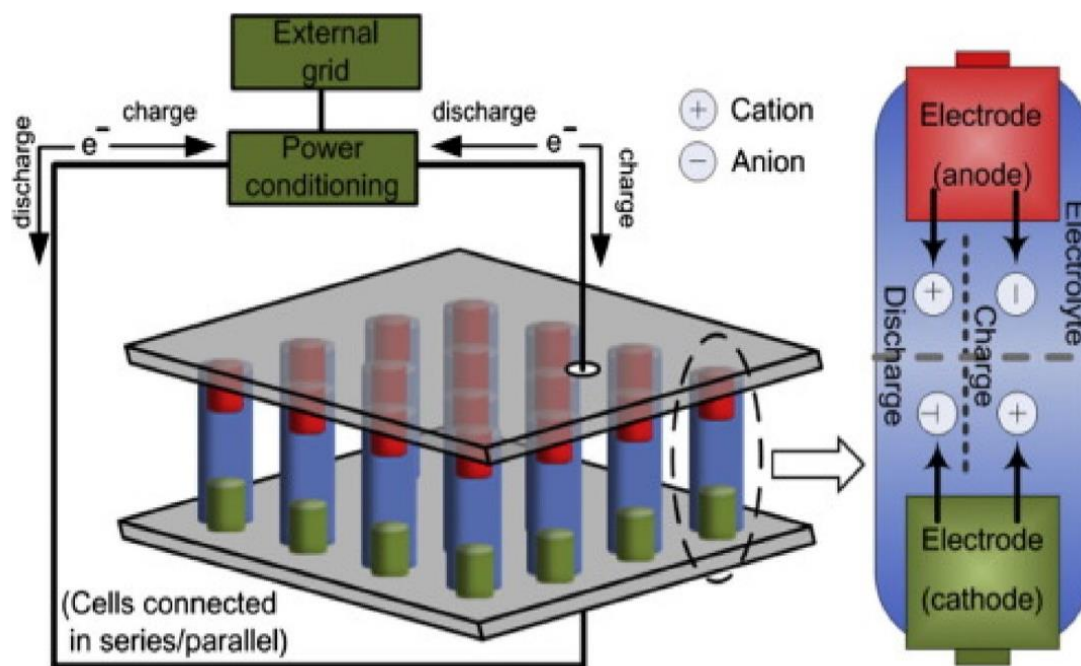
3.3 Μπαταρίες Ροής

Οι μπαταρίες ροής τείνουν να αντικαταστήσουν τις συμβατικές μπαταρίες. Αποτελούνται από δύο ηλεκτρολύτες σε υγρή κατάσταση (Εικ. 3.11), σε αντίθεση με τις στερεές ενώσεις σε τυπικές μπαταρίες που έχουν περιορισμένη χωρητικότητα αποθήκευσης ενέργειας. Διάφοροι τύποι ηλεκτρολυτών χρησιμοποιούνται σε μια μπαταρία ροής, (βρώμιο ως κεντρικό στοιχείο με ψευδάργυρο (ZnBr), νάτριο (NaBr), βανάδιο (VBr) και πολλά άλλα ως άνοδοι, ενώ μια πρόσφατη προσθήκη είναι πολυθειούχο νάτριο.) Οι μπαταρίες ροής έχουν σχετικά υψηλότερη χωρητικότητα αποθήκευσης ενέργειας και επακόλουθη απελευθέρωση (15 MWh – 120 MWh) Επίσης η απόδοση αποθήκευσης είναι περίπου 75%). Άλλα πλεονεκτήματα είναι η γρήγορη επαναφόρτιση, η μεγάλη διάρκεια ζωής (περίπου μια δεκαετία), η δυνατότητα πλήρους εκφόρτισης, τα μη τοξικά υλικά στη δομή και οι λειτουργία σε χαμηλές θερμοκρασίες. Η κινητικότητα των μηχανικών εξαρτημάτων είναι το κύριο μειονέκτημα του συστήματος και ο κύριος περιορισμός της εμπορικής εφαρμογής των μπαταριών ροής [140]. Η τοποθέτηση των μπαταριών σε ένα σύστημα δικτύου απεικονίζεται στο Σχ. 3.11 [154].

Έχουν παρατηρηθεί αστάθειες χωρητικότητας στις μπαταρίες ροής λόγω της ανάμειξης του ηλεκτρολύτη (ενεργού συστατικού, βαναδίου) που διαχέεται και από τις δύο πλευρές κατά μήκος της μεμβράνης, η οποία τελικά οδηγεί σε μια μη αναστρέψιμη απώλεια χωρητικότητας και αποτελεσματικότητας [140,146,151]



Εικ. 3.11 Δομή μιας μπαταρίας ροής [193].



Εικ. 3.12 Διάγραμμα που δείχνει το ρόλο των μπαταριών στην πηγή του συστήματος πλέγματος [193].

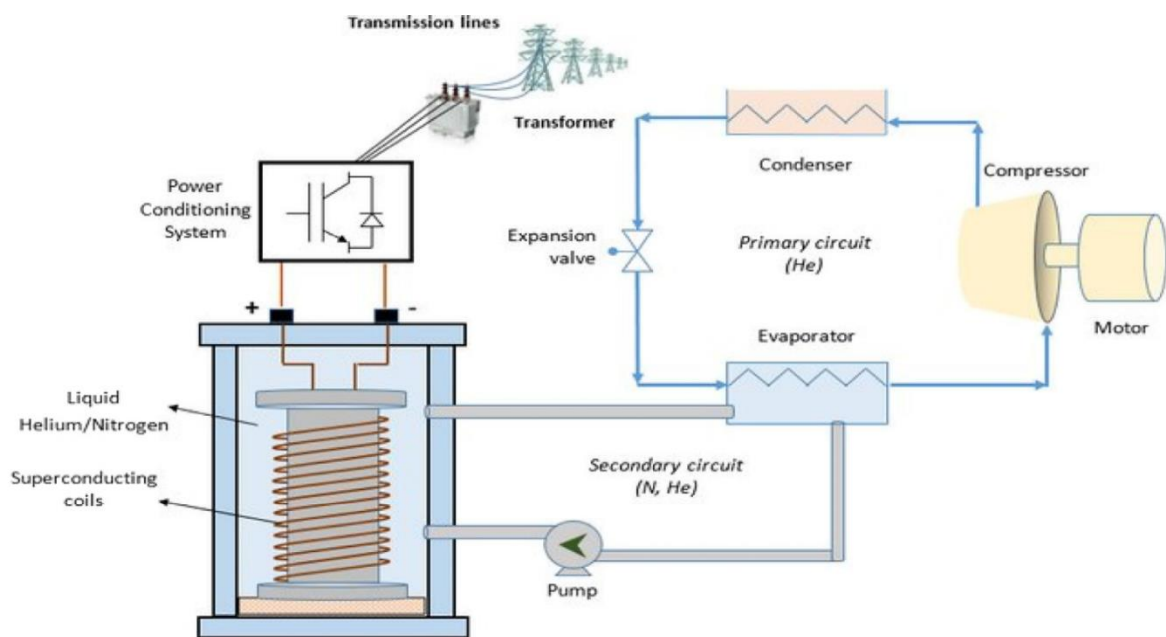
3.4 Υπεραγώγιμη μαγνητική αποθήκευση ενέργειας (Superconducting magnetic energy storage (SMES))

Μια άλλη τεχνολογία αποθήκευσης είναι η υπεραγώγιμη μαγνητική αποθήκευση ενέργειας (Superconducting magnetic energy storage (SMES)), η οποία χαρακτηρίζεται ως στιγμιαία και εξαιρετικά αποτελεσματική, περίπου 95% για έναν κύκλο φόρτισης-εκφόρτισης. Τα συστήματα αυτού του είδους διαθέτουν τη δυνατότητα εκφόρτισης της συνολικής αποθηκευμένης ενέργειας σε μικρό χρονικό διάστημα, συνήθως μικρότερο από 100 ms, σε σύγκριση με τις μπαταρίες. Η ροή συνεχούς ρεύματος σε ένα πηνίο υπεραγώγιμου υλικού δημιουργεί ένα μαγνητικό πεδίο που αποθηκεύει ενέργεια. Ωστόσο, το σύστημα πρέπει να ψύχεται συνεχώς. Είναι το πιο κατάλληλο σύστημα για παροχή σταθερής και άμεσης τροφοδοσίας καθώς και ρύθμιση της σταθερότητας του δικτύου με πολύ υψηλή ισχύ σε σύντομο χρονικό διάστημα [138,144]. Τα συστήματα SMES μπορούν να σταθεροποιήσουν τα ηλεκτρικά δίκτυα, παρέχοντας ποιοτική ισχύ στους καταναλωτές, αν και είναι δαπανηρά. Η δομή των SMES περιλαμβάνει αποσπόμενα δομικά στοιχεία αποκεντρωμένης παραγωγής ενέργειας (Distributed generation (DG)) που συνδέονται με το δίκτυο. Μια μονάδα παραγωγής

ηλεκτρικής ενέργειας και μια μονάδα μετατροπής και αποθήκευσης είναι τα στοιχεία μιας εμπορικής εγκατάστασης DG.

Οι μονάδες μετατροπής και αποθήκευσης αποτελούνται από έναν ηλεκτρολύτη, μια κυψέλη καυσίμου και δεξαμενές ικανές να ελέγχουν τις γρήγορες διακυμάνσεις της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και τις ξαφνικές απαιτήσεις των καταναλωτών. Οι απώλειες αντίστασης στα συστήματα SMES μετά τη φόρτιση είναι σχεδόν μηδενικές λόγω του υπεραγωγισμού πηνίου. Ένας ειδικός μηχανισμός ψύξης απαιτείται εγκατεστημένος ως μέρος των SMES για την ψύξη του πηνίου και την διατήρηση της θερμοκρασίας του κάτω από την κρίσιμη τιμή.

Τα συστήματα SMES λειτουργούν με βάση την αρχή της φόρτισης του πηνίου με την ηλεκτρική παροχή και τη διατήρηση της θερμοκρασίας του συστήματος σε κρίσιμες τιμές. Η αποθήκευση ενέργειας είναι μόνιμη χωρίς απώλεια φόρτισης και μπορεί να αποδεσμευτεί όταν απαιτείται [156]. Αυτό είναι καλό πλεονέκτημα του συγκεκριμένου συστήματος αποθήκευσης ενέργειας που το καθιστά εξαιρετικά χρήσιμο. Η λειτουργία του συστήματος απεικονίζεται διαγραμματικά στο Σχ. 3.13.



Εικ. 3.13 Διάγραμμα του συστήματος υπεραγωγίσιμης μαγνητικής αποθήκευσης ενέργειας [193].

3.5 Αποθήκευση ενέργειας με σφόνδυλο (Flywheel Energy Storage - FES)

Οι συσκευές FES αποτελούνται από διάφορους τύπους σφόνδουλων, μια γεννήτρια - κινητήρα και μαγνητικούς βραχίονες τοποθετημένους μέσα σε ένα περίβλημα [164].

Οι σφόνδυλοι υψηλής χωρητικότητας με μικρότερες απώλειες τριβής (200 KW με σφόνδυλο βάρους 200 kg) απαιτούνται για τα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας. Η απόδοση εξαρτάται από το χρόνο αποθήκευσης ενέργειας π.χ. μια μέση απόδοση 85% μπορεί να μειωθεί σε 78% και 45% μετά από 5 ώρες και 24 ώρες (μία πλήρης ημέρα) αντίστοιχα. Ως εκ τούτου, οι σφόνδυλοι είναι ανεπαρκείς για την αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας σε μακροπρόθεσμη βάση, αλλά μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε συνδυασμό με άλλες συσκευές. Αυτά τα συστήματα FES αποτελούνται από ανθρακονήματα και μπορεί να είναι χαμηλής ταχύτητας (6×10^3 rpm) ή υψηλής ταχύτητας ($\sim 10^5$ rpm) [162]. Ωστόσο, τα FES υψηλής ταχύτητας έχουν υψηλό κόστος [143].

Τα συστήματα σφονδύλου λειτουργούν συνήθως σε υψηλό κενό αέρα και διαθέτουν τα εξής χαρακτηριστικά:

- Μηδαμινές απώλειες τριβής
- Μικρή αντίσταση στον αέρα
- Μεγάλη διάρκεια ζωής
- Ασφαλή ως προς το περιβάλλον
- Χρειάζονται αμελητέα συντήρηση.

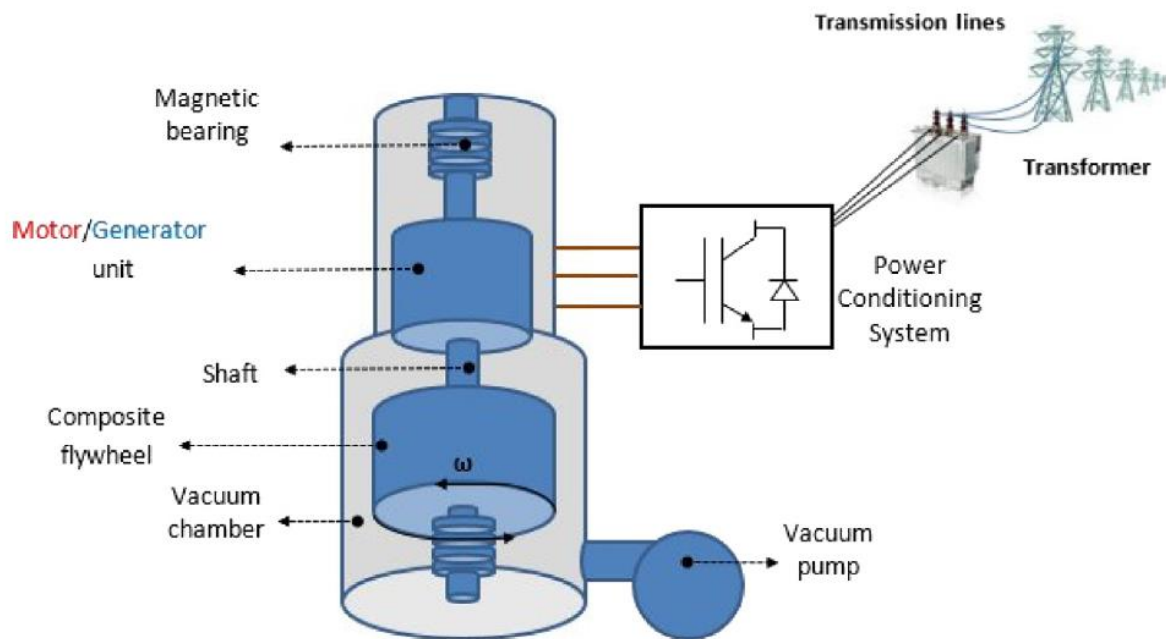
Τα συστήματα FES είναι ικανά να βοηθήσουν στον έλεγχο της συχνότητας του ηλεκτρικού δικτύου και να διασφαλίσουν την ποιότητα της παροχής ηλεκτρικής ενέργειας. Χρησιμοποιούνται κυρίως με την παραγωγή ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας όπου οι διακυμάνσεις είναι υψηλές και συχνές. Η χαμηλή ενεργειακή πυκνότητα και το υψηλότερο κόστος για τη διασφάλιση της ασφάλειας του συστήματος είναι τα κύρια μειονεκτήματα. Προς το παρόν, η κύρια χρήση του είναι ως βοηθητικό του συστήματος μπαταριών [165]. Λόγω των καλύτερων χαρακτηριστικών, η παγκόσμια αγορά συστημάτων αποθήκευσης ενέργειας σφόνδουλο αναμένεται να αυξηθεί με υψηλότερο ρυθμό. Τα πλεονεκτήματα των FES είναι πολλά:

- Μεγάλος χρόνος ζωής
- Ελάχιστη περιοδική συντήρηση,
- Σύντομος χρόνος επαναφόρτισης,
- Χωρίς ευαισθησία στη θερμοκρασία,
- Απόδοση 85% -90%
- Αξιοπιστία,
- Υψηλός ρυθμός φόρτισης και εκφόρτισης,
- Υψηλή απόδοση ισχύος,
- Μεγάλη ικανότητα αποθήκευσης ενέργειας
- Μη ρυπογόνα

Τα κύρια μειονεκτήματα και περιορισμοί θα μπορούσαν να είναι:

- Χαμηλή ειδική ενέργεια (ενέργεια ανά μάζα συστήματος),
- Σύντομος χρόνος εκφόρτισης,
- Πολυπλοκότητα δομής,
- Μηχανική καταπόνηση και κόπωση,
- Ανησυχίες για την ασφάλεια λόγω της υψηλής ταχύτητας του ρότορα και της πιθανότητας θραύσης και υψηλού κόστους [136, 142].

Οι σφόνδυλοι είναι μια λιγότερο ώριμη τεχνολογία σε σύγκριση με τις μπαταρίες, ενώ το τρέχον κόστος είναι πολύ υψηλό καθιστώντας τα μη ανταγωνιστικά στην αγορά. Ωστόσο, το κόστος του συστήματος μπορεί να διατηρηθεί μικρότερο με τη χρήση σφόνδυλων μικρής χωρητικότητας.



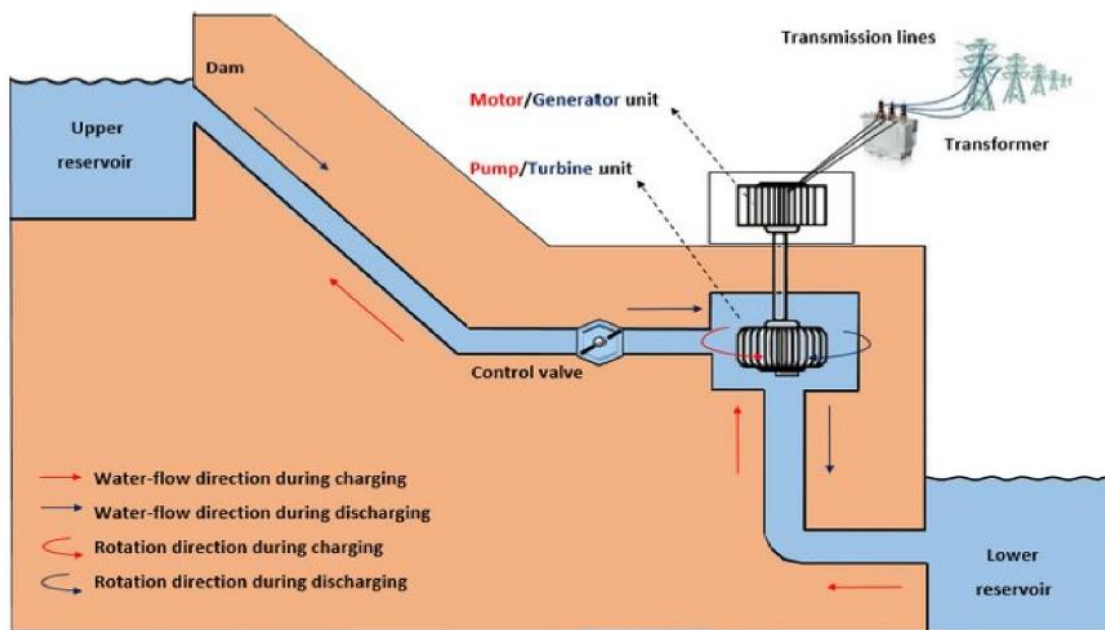
Εικ. 3.14 Σχηματικό διάγραμμα του συστήματος αποθήκευσης ενέργειας σφονδύλου [193].

3.6 Αποθήκευση υδροηλεκτρικής ενέργειας (Pumped hydro energy storage PHES)

Δύο υδάτινες μάζες που βρίσκονται φυσικά ή τεχνητά σε υψηλότερα και χαμηλότερα υψόμετρα αποτελούν την προϋπόθεση για την αποθήκευση υδροηλεκτρικής ενέργειας. Το νερό ωθείται στο υδάτινο σώμα υψηλότερου υψόμετρου χρησιμοποιώντας επιπλέον ηλεκτρισμό κατά τη διάρκεια μειωμένης ζήτησης ενέργειας, ενώ κατά τις ώρες αιχμής, το νερό από την άνω δεξαμενή διοχετεύεται μέσω σωλήνων προς το χαμηλότερο επίπεδο σε μια υδροηλεκτρική γεννήτρια, και στην συνέχεια καταλήγει πάλι στο χαμηλότερο επίπεδο [155, 157]. Έτσι, ο κινητήρας / γεννήτρια και η αναστρέψιμη αντλία-στρόβιλος είναι τα κύρια συστατικά των συστημάτων PHES, εκτός από τις δύο μεγάλες δεξαμενές νερού που αναφέρθηκαν ανωτέρω. Αυτό το σύστημα μπορεί να ξεκινήσει σε λίγα λεπτά και να συνεχίσει να λειτουργεί σε σχέση με τον όγκο του αποθηκευμένου νερού στην δεξαμενή νερού. Τα προβλήματα αυτού του μηχανισμού είναι η εξάρτηση από τη γεωγραφική θέση και τις κλιματολογικές συνθήκες της περιοχής που βρίσκεται εγκατεστημένο. Η απόδοση μετατροπής κυμαίνεται από 65% έως 80% με βάση τις κλιματολογικές συνθήκες και τα χαρακτηριστικά του εξοπλισμού [155]. Γενικά, απαιτούνται 4 KWh για την παραγωγή 3 KWh ενώ η χωρητικότητα αποθήκευσης ενέργειας εξαρτάται από την υψομετρική διαφορά και τον όγκο του νερού. Οι υπολογισμοί της

βιβλιογραφίας έδειξαν ότι μια μάζα ενός τόνου νερού από υψόμετρο 100 m θα μπορούσε να παράγει 0,272 kWh. Η αποθήκευση ενέργειας σε αυτό το σύστημα μπορεί να παραταθεί για μεγαλύτερες περιόδους. Ο Jung [150] ανέφερε ότι το PHEs είναι μια από τις παλαιότερες μεθόδους αποθήκευσης ενέργειας. Τα πρώτα εργοστάσια κατασκευάστηκαν στην Ελβετία και την Ιταλία το 1890. Κυρίως, χρησιμοποιούνται οι υπάρχουσες συνθήκες τοπογραφίας και υδρολογίας της περιοχής, εάν υπάρχουν, διαφορετικά κατασκευάζονται τεχνητές δεξαμενές νερού (η μια επάνω και η άλλη σε χαμηλότερο επίπεδο) (Εικ. 3.15). Το λειτουργικό κόστος ανά μονάδα ενέργειας έχει αναφερθεί ως το φθηνότερο στα συστήματα PHEs [137, 160]. Ωστόσο, η κατασκευή δεξαμενών και άλλων υποδομών απαιτεί πολύ υψηλό επενδυτικό κόστος.

Η τεχνολογία των PHEs είναι ώριμη και καθιερωμένη για την αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας. Μπορεί εύκολα να διαθέσει ηλεκτρική ενέργεια κατά τη διάρκεια της αιχμής ζήτησης ενέργειας χωρίς να απαιτείται χρόνος. Η αποθήκευση ενέργειας στο σύστημα PHEs μπορεί επίσης να βοηθήσει ως πηγή «black start» σε περίπτωση διακοπής ρεύματος. Ωστόσο, οι κύριοι περιορισμοί για το PHEs σχετίζονται με το υψηλότερο κόστος εγκατάστασης της τεχνολογίας. Επίσης οι γεωγραφικές και τοπογραφικές δυνατότητες αποτελούν ενδεχόμενα προβλήματα για την εν λόγω τεχνολογία. Λόγω των πιο αναμενόμενων πλεονεκτημάτων, το PHEs αποτελεί περίπου το 90% της παγκόσμιας χωρητικότητας αποθήκευσης ενέργειας. Το 2017, υπήρχαν περίπου 270 σταθμοί PHEs στον κόσμο που παράγουν ισχύ 127 GW. Οι Ηνωμένες Πολιτείες έχουν 40 έργα PHEs με αθροιστική ισχύ 22 GW, ενώ η Ευρωπαϊκή Ένωση (ΕΕ) λειτουργεί περίπου 160 σταθμούς PHEs με συνολική χωρητικότητα 47,44 GW (Pure PHEs, 24,91 GW και μικτό 22,53 GW). Ο υπόλοιπος κόσμος διαθέτει 70 εργοστάσια PHEs [145, 153].



Εικ. 3.15 Σχηματικό διάγραμμα συστήματος PHES. [193]

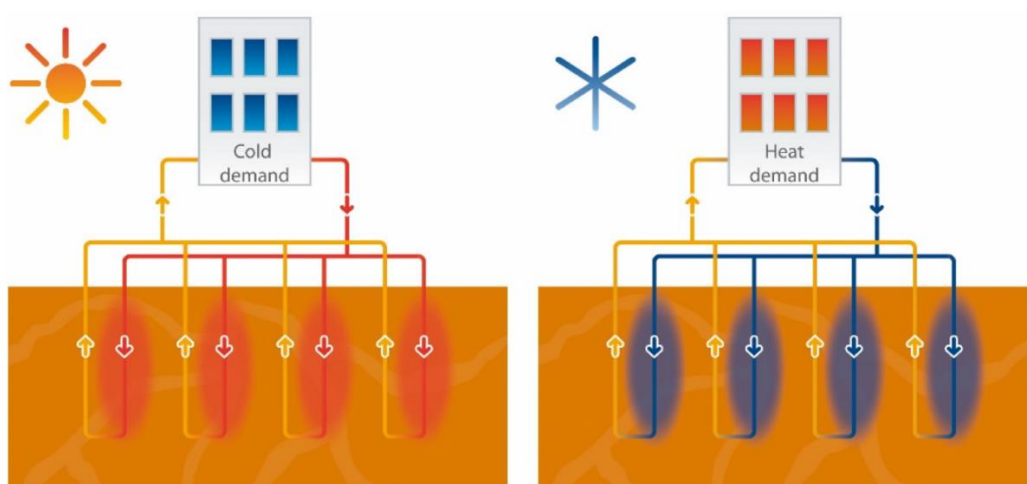
3.7 Αποθήκευση θερμικής ενέργειας (TES)

Η αποθήκευση θερμικής ενέργειας (TES) έχει υιοθετηθεί ευρέως. Η ενέργεια που αποθηκεύεται ως θερμότητα ανακτάται με την επαναφορά του ψυχρού ή ζεστού υλικού σε κανονικές συνθήκες, οι οποίες χρησιμοποιούνται ξανά για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας χρησιμοποιώντας κινητήρες θερμότητας. Η είσοδος ενέργειας σε αυτό το σύστημα είναι γενικά οι ηλεκτρικές αντιστάσεις. Ως εκ τούτου, η συνολική απόδοση των TES κυμαίνεται από 30 έως 60%, το οποίο φαίνεται χαμηλό. Τα συστήματα TES θα μπορούσαν να είναι δύο τύπων. χαμηλής ή υψηλής θερμοκρασίας σε σύγκριση με τη θερμοκρασία δωματίου. Οι Ibrahim και Adriaan [147] ταξινόμησαν τα TES ως εξής: α) βιομηχανική ψύξη (κάτω από $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$) β) ψύξη κτιρίου (στους $0-12\text{ }^{\circ}\text{C}$), γ) θέρμανση κτιρίου (στους $25-50\text{ }^{\circ}\text{C}$) και δ) βιομηχανική αποθήκευση θερμότητας (υψηλότερη από $175\text{ }^{\circ}\text{C}$). Διάφορα υλικά χρησιμοποιούνται στα συστήματα TES για την αποθήκευση ενέργειας από την οποία εξαρτάται η χωρητικότητα αποθήκευσης της συσκευής. Οι Sharma et al. (2016) [163] μελέτησαν υλικό πολυαιθυλενογλυκόλης (PEG) που έχει σημαντικά πλεονεκτήματα για χρήση ως υλικό TES λόγω της σταθερής θερμοκρασίας τήξεως (στην περιοχή των $55-60\text{ }^{\circ}\text{C}$ με απόκλιση 6,5%). Ωστόσο, η αύξηση του αριθμού των θερμικών κύκλων μπορεί να προκαλέσει σταδιακή μείωση της λανθάνουσας θερμότητας της σύντηξης. Κατά τη διάρκεια των πολλαπλών θερμικών

κύκλων του FT-IR, δεν μπορούσαν να παρατηρηθούν καταγραφόμενες αλλαγές που επιβεβαιώνουν τη σταθερότητα της σύνθεσης πολυαιθυλενογλυκόλης (PEG). Ωστόσο, οι ερευνητικές μελέτες σχετικά με την καταλληλότητα του PEG συνεχίστηκαν. Οι θερμοχημικές δοκιμές και η τεχνοοικονομική ανάλυση έδειξαν την αξιοπιστία του PEG 6000.

Μια ερευνητική ομάδα [161] ανέπτυξε και δοκίμασε το MF-3 (ένα υλικό αλλαγής φάσης) για την αποθήκευση της ηλιακής ενέργειας σε αποθήκευση ζεστού νερού. Κατέγραψαν την υψηλότερη χωρητικότητα αποθήκευσης ενέργειας των 126 kJ / kg με απόδοση 97,4% σε σύγκριση με ορισμένα πρόσθετα υλικά. Η υψηλότερη πυκνότητα αποθήκευσης ενέργειας έδειξε τη θερμική αποτελεσματικότητα του MF-3. Αν και αυτό το υλικό απαιτεί σχετικά μικρότερο φυσικό μέγεθος από το σύστημα με βάση το νερό, η τιμή αποθήκευσης ενέργειας ήταν ακόμη περίπου διπλάσια από πολλές μονάδες αποθήκευσης που χρησιμοποιούνται σήμερα.

Η αποθήκευση θερμικής ενέργειας είναι τεχνικά κατάλληλη για τη διαχείριση ενέργειας στα κτίρια. Μπορεί να βοηθήσει στον έλεγχο του κόστους και στην παροχή άνετων συνθηκών στα εσωτερικά περιβάλλοντα, καθώς και στη μείωση των εκπομπών θερμοκηπίου. Η πρόσφατη αύξηση των απαιτήσεων των κτιρίων θέρμανσης και ψύξης μπορεί να ικανοποιηθεί και να αντιμετωπιστεί αποτελεσματικά μέσω των TES (Σχήμα 3.16), τα οποία μπορούν επίσης να μειώσουν τις διακυμάνσεις της ηλεκτρικής ενέργειας και να ικανοποιήσει τις μεταβαλλόμενες απαιτήσεις σε διάφορες χρονικές στιγμές [161]. Τα TES έχουν χαμηλή θερμική αδράνεια.



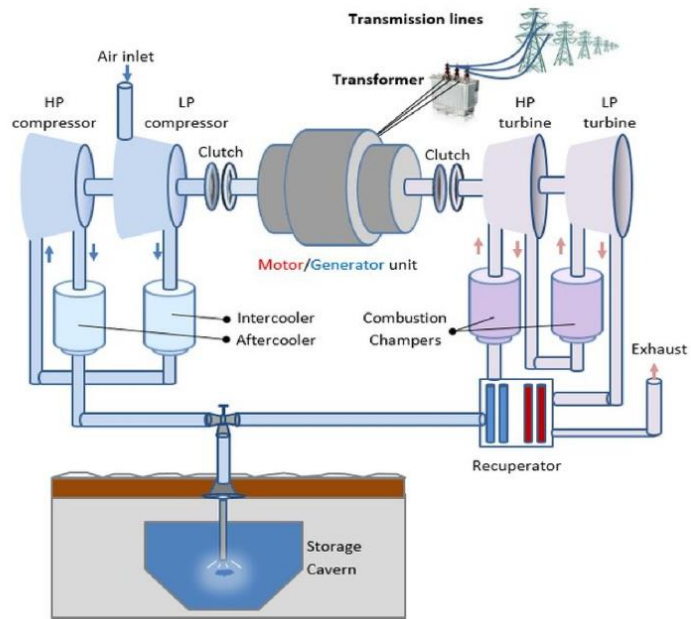
Εικ. 3.16 Σχηματική παρουσίαση της διάταξης θέρμανσης και ψύξης ενός συστήματος TES. [149]

3.8 Αποθήκευση ενέργειας πεπιεσμένου αέρα (Compressed Air Energy Storage CAES)

Στα συστήματα CAES, ο αέρας συμπιέζεται σε μια υπόγεια δεξαμενή χρησιμοποιώντας ηλεκτρική ενέργεια κατά τη διάρκεια μειωμένης αιχμής. Ο πεπιεσμένος αέρας απελευθερώνεται κατά τη διάρκεια της αιχμής, ο οποίος στρέφει τη μονάδα τουρμπίνας / γεννήτριας για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας ξανά. Η CAES είναι η μόνη τεχνολογία (εκτός από τα υδροηλεκτρικά συστήματα) που έχει την ικανότητα να εφαρμοστεί εμπορικά για την αποθήκευση ενέργειας (μεμονωμένες μονάδες μεγέθους 100 MW ή περισσότερο). Η ενεργειακή πυκνότητα για τα CAES είναι περίπου 12 kWh / m³ με απόδοση περίπου 70% [159].

Τα συστήματα CAES αποθηκεύουν ενέργεια ως αέριο, το οποίο συμπιέζεται σε δεξαμενή (Εικ. 3.17) και στη συνέχεια απελευθερώνεται ξανά για περιστροφή του στροβίλου και της γεννήτριας για την αναπαραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας [152]. Αυτά τα συστήματα μπορούν να αντικαταστήσουν (μερικώς ή πλήρως) υδροηλεκτρικά συστήματα λόγω χαρακτηριστικών μεγαλύτερης χωρητικότητας, μεγάλης διάρκειας ζωής και χαμηλότερου κόστους ανά KW [158]. Κατά τη συμπίεση και διαστολή του αέρα και την ανταλλαγή θερμότητας λαμβάνουν χώρα εξωθερμικές και ενδοθερμικές διεργασίες. Διατίθενται τρία σχέδια των συστημάτων CAES τα οποία είναι: Ισοθερμική αποθήκευση, αδιαβατική αποθήκευση και διαβατική αποθήκευση [141]. Τα ισοθερμικά και αδιαβατικά συστήματα είναι κατάλληλα για λιγότερες απαιτήσεις ισχύος, ενώ τα διαβατικά συστήματα αποθήκευσης ταιριάζουν στα εμπορικά συστήματα CAES λόγω της υψηλότερης πυκνότητας και της ευελιξίας αποθήκευσης.

Η καύση ορυκτών καυσίμων και οι εκπομπές CO₂ αποτελούν περιορισμό στον κλασικό σχεδιασμό του συστήματος CAES που μπορεί να προκαλέσει περιβαλλοντικά προβλήματα. Ωστόσο, αυτό το πρόβλημα έχει ελεγχθεί σε προηγμένα συστήματα αδιαβατικών CAES λόγω της ικανότητας παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας χωρίς ορυκτά καύσιμα, καθώς δεν υπάρχει διαδικασία καύσης [139]. Έτσι, όχι μόνο η απόδοση της εγκατάστασης μπορεί να αυξηθεί στο 70%, αλλά το τροποποιημένο σύστημα έχει αποδειχθεί ως βέλτιστο για μεσαίες και μικρότερες εφαρμογές.



Εικ. 3.17 Σχηματικό διάγραμμα της εγκατάστασης αποθήκευσης πεπιεσμένου αέρα: [159]

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο

Ενεργειακή αποδοτικότητα στα δίκτυα μεταφοράς HVDC

4.1 Εισαγωγή

Αρχικά ένας από τους λόγους που τα συστήματα εναλλασσόμενου ρεύματος (AC) εκτόπισαν το συνεχές ρεύμα (DC) ήταν επειδή οι μετασχηματιστές επέτρεπαν την αποδοτική μεταφορά ηλεκτρικής ενέργειας αυξάνοντας την τάση για μετάδοση και μειώνοντας την τάση σε επίπεδο που απαιτείται για χρήση. Ανεξάρτητα από το αν χρησιμοποιείται AC ή DC, υπάρχει πάντα ανάγκη χρήσης κατάλληλου επιπέδου τάσης αναλόγως της απόστασης μετάδοσης και της μεταφορικής ισχύος. Τα συστήματα μετάδοσης συνεχούς ρεύματος υψηλής τάσης (HVDC) έχουν σημαντικά πλεονεκτήματα έναντι της μετάδοσης AC, όπως θα περιγραφεί στην συνέχεια. Οι εξελίξεις στις τοπολογίες του μετατροπέα και στις μεθόδους ελέγχου έχουν επιταχύνει την ανάπτυξη συστημάτων HVDC τα τελευταία χρόνια. Εκτός από τα προηγούμενα επίσης οι εξελίξεις στην τεχνολογία ημιαγωγών αυξάνουν τα οφέλη των συστημάτων HVDC. Επομένως, στο άμεσο μέλλον τα συστήματα ισχύος θα συνεχίσουν να είναι εναλλασσόμενου ρεύματος; με την διείσδυση συστημάτων συνεχούς ρεύματος να αυξάνεται με την πάροδο του χρόνου. Όχι μόνο το DC είναι καλά εδραιωμένο για συστήματα υψηλής τάσης (HV), αλλά υπάρχει αυξανόμενο ενδιαφέρον διεθνώς για τη χρήση DC για συστήματα μέσης και χαμηλής τάσης (συστήματα MVDC και LVDC).

Η υψηλή διείσδυση συστημάτων DC σε δίκτυα μεταφοράς και διανομής εναλλασσόμενου ρεύματος θα προσφέρει πολλά οφέλη για τη μετάβαση σε ένα σύστημα χαμηλής κατανάλωσης άνθρακα. Αυτό ισχύει ιδιαίτερα όταν εξετάζουμε τη σύνδεση των παραθαλάσσιων αιολικών πάρκων, όπου απαιτούνται υποθαλάσσια καλώδια.

Η ανάπτυξη συστημάτων HVDC είναι υψίστης σημασίας για την επίτευξη αποτελεσματικής μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας, τη διασύνδεση διαφορετικών συστημάτων εναλλασσόμενου ρεύματος, καθώς και την ενσωμάτωση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.

4.2 Επισκόπηση τεχνολογίας HVDC

4.2.1 Πλεονεκτήματα των HVDC

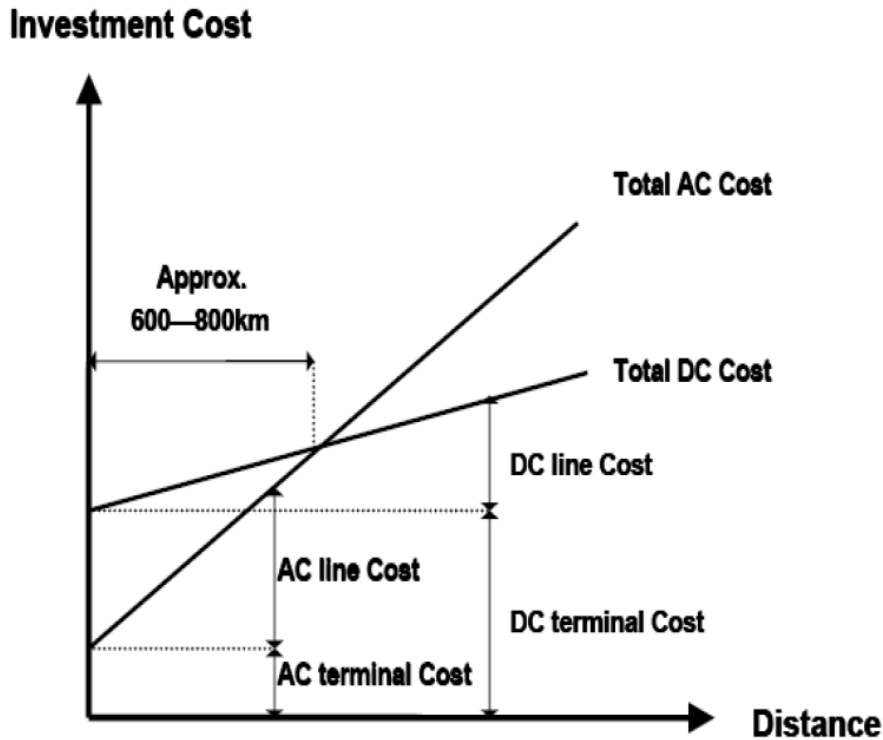
Το σύστημα μετάδοσης HVDC έχει σημαντικά πλεονεκτήματα σε διάφορους τομείς οι οποίοι αναφέρονται κάτωθι::

A. Διασύνδεση δικτύων ισχύος [167-175]

Το σημαντικό πλεονέκτημα των συστημάτων HVDC είναι ότι θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί ως γραμμή σύνδεσης για τη διασύνδεση ξεχωριστών δικτύων AC. Όταν υπάρχουν δύο χωριστά ασύγχρονα συστήματα εναλλασσόμενου ρεύματος, και πχ το ένα λειτουργεί σε συχνότητα 50Hz και το άλλο στα 60Hz ή όπου τα δύο συστήματα λειτουργούν στην ίδια συχνότητα αλλά με διαφορετικές γωνίες φάσης, η χρήση σύνδεσης DC για τη σύνδεση των δύο συστημάτων εναλλασσόμενου ρεύματος είναι η μόνη πρακτική μέθοδος. Η ισχύς DC είναι ανεξάρτητη από τη συχνότητα και τη σχετική φάση των συστημάτων ισχύος. Η διασύνδεση HVDC μεταξύ δύο συστημάτων εναλλασσόμενου ρεύματος δεν θα επιφέρει εναλλαγές ισχύος και κίνδυνο διακοπής λόγω υπερφόρτωσης.

B. Οικονομικά Πλεονεκτήματα

Για την ίδια χωρητικότητα μετάδοσης, οι γραμμές μετάδοσης HVDC κοστίζουν λιγότερο από τις γραμμές μεταφοράς HVAC στο ίδιο μήκος. Το Σχήμα 4.1 [176] δείχνει το κόστος επένδυσης και μετάδοσης εναέριων γραμμών με AC και HVDC. Όπως φαίνεται από το Σχήμα 5, πάνω από μια συγκεκριμένη απόσταση (την απόσταση εξισορρόπησης), το κόστος της γραμμής μετάδοσης HVDC είναι πολύ μικρότερο από τη γραμμή μεταφοράς AC. Ένα διπολικό σύστημα έχει μόνο δύο γραμμές σε σύγκριση με τρεις γραμμές σε ένα σύστημα AC που έχει ως αποτέλεσμα μικρότερο κόστος στη σχεδίαση των πύργων στήριξης και την κατασκευή για την παροχή της ίδιας ισχύος χωρητικότητας. Το έργο Three Gorges στην Κίνα θα απαιτούσε γραμμές AC 5 x 500kV σε σύγκριση με τις χρησιμοποιούμενες διπολικές γραμμές HVDC των $2 \times \pm 500\text{kV}$, 3000MW [172].



Εικ. 4.1 Κόστος HVDC-HVAC [176]

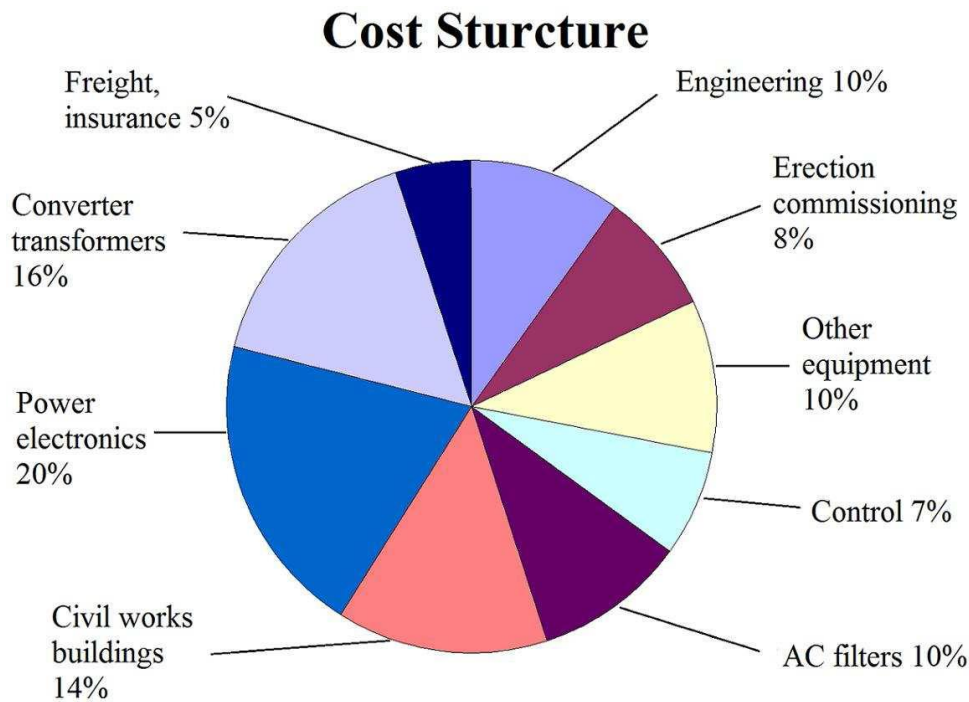
Γ. Μαζική μεταφορά ισχύος σε μεγάλη απόσταση

Τα HVDC συστήματα έχουν καλή απόδοση στην μαζική μεταφορά ισχύος σε μεγάλη απόσταση με υπόγεια και υποβρύχια καλώδια. Μπορούν να μεταφέρουν περισσότερη ισχύ σε λιγότερες γραμμές από ό, τι τα συστήματα AC υπό την ίδια κατάσταση. Σε ένα σύστημα εναλλασσόμενου ρεύματος η άεργη ροή ισχύος που προκαλείται από την αντίσταση του καλωδίου περιορίζει την απόσταση μετάδοσης και προσθέτει κόστος [171, 177]. Επιπλέον, απαιτείται αντιστάθμιση άεργης ισχύος στο σύστημα μετάδοσης εναλλασσόμενου ρεύματος για παροχή ισχύος σε μεγάλες αποστάσεις. Οι χαμηλότερες απώλειες γραμμής και τα οικονομικά οφέλη κάνουν το HVDC μια καλύτερη εναλλακτική λύση για την παροχή ισχύος σε μεγάλες αποστάσεις. Χρησιμοποιώντας υπόγεια και υποβρύχια καλώδια, δεν υπάρχει περιορισμός απόστασης για την παροχή ισχύος και περίπου το ήμισυ των απωλειών γραμμής συγκρίσιμου συστήματος εναλλασσόμενου ρεύματος [170]. Το σύστημα μετάδοσης HVDC θεωρείται καλύτερη επιλογή για τη σύνδεση υπεράκτιων αιολικών πάρκων στο δίκτυο ή για την παροχή ισχύος από απομακρυσμένους πόρους σε μεγάλες αστικές περιοχές. [173]

4.2.2 Μειονεκτήματα των HVDC

A. Κόστος

Όπως φαίνεται από το Σχήμα 4.2, το υψηλότερο κόστος κατασκευής του συστήματος μετάδοσης HVDC δαπανάται σε ηλεκτρονικά ισχύος και στους μετατροπείς.



Εικ.4.2 Κατανομή κόστους [166]

Η κατασκευή ενός υποσταθμού με μετατροπείς είναι πολύ πιο ακριβή από έναν συνηθισμένο υποσταθμό με παρόμοια ισχύ, επειδή ένα σύστημα HVDC χρειάζεται πολλά περισσότερα στοιχεία [166].

B. Αρμονικές

Όλοι οι ηλεκτρονικοί μετατροπείς παράγουν αρμονικές κατά τη διαδικασία μετατροπής. Στα σύγχρονα συστήματα HVDC, εφόσον ο αριθμός των συνδεδεμένων μετατροπέων έχει αυξηθεί, οι αρμονικές αυξήθηκαν επίσης [166]. Οι αρμονικές επηρεάζουν την ποιότητα ισχύος, τις ηλεκτρονικές συσκευές και μπορεί να οδηγήσουν ακόμη και σε ταλάντωση του συστήματος

[175]. Οι αρμονικές αναγνωρίζονται ως ένα από τα μεγαλύτερα προβλήματα στα συστήματα HVDC.

Δ. Σταθερότητα των δικτύων

Στο μέλλον, τα ηλεκτρικά δίκτυα αναμένεται να έχουν όλο και περισσότερες διασυνδέσεις HVDC. Οι αλληλεπιδράσεις μεταξύ αυτών των πολλαπλών εξαρτημάτων των HVDC θα γίνουν πιο σημαντικές. Οι αποτυχίες επικοινωνίας μεταξύ αυτών των συστημάτων ενδέχεται να οδηγήσουν σε αστάθεια του συστήματος [166].

4.3 Ιστορική εξέλιξη

Αν και υπήρχαν παλαιότερα πειραματικά συστήματα HVDC, το πρώτο εμπορικό σύστημα ήταν το σύστημα Gotland Island των 20 MW που τέθηκε σε λειτουργία το 1954. Αυτό το σύστημα LCC HVDC χρησιμοποίησε βαλβίδες τόξου υδραργύρου. Το 1970 ξεκίνησε η πρώτη χρήση θυρίστορ σε έναν εμπορικό σύνδεσμο HVDC (Gotland Island). Το τελευταίο και μεγαλύτερο σύστημα HVDC με βάση βαλβίδες τόξου υδραργύρου ήταν το σύστημα Nelson River που τέθηκε σε λειτουργία το 1971. Η παράδοση μεγάλης ποσότητας ισχύος σε απόσταση αποδίδεται καλύτερα μέσω εναέριας γραμμής ή καλωδίων και η τεχνολογία των καλωδίων όρισε το HVDC ως την καλύτερη επιλογή.

Οι βελτιώσεις στην τεχνολογία IGBT επέτρεψαν να τεθούν σε λειτουργία τα συστήματα HVDC με βάση τις VSC, με το πρώτο να είναι η σύνδεση 50 MW στο νησί Gotland το 1999 [77]. Αυτό ακολουθήθηκε γρήγορα από το DirectLink Interconnector (Αυστραλία) το 2000 που διασύνδεσε δύο πολιτείες (Queensland και New South Wales) [78]. Ένα σύστημα HVDC με βάση το Tjæreborg (Δανία) τέθηκε επίσης σε λειτουργία το 2000. Χρησιμοποιήθηκε για τη διασύνδεση ενός αιολικού πάρκου. Η ισχύς του ήταν 7,2 MW. Η σύνδεση MurrayLink μεταξύ Berri (Νότια Αυστραλία) και Red Cliffs (Victoria) ήταν, στα 180 χλμ., το μεγαλύτερο υπόγειο σύστημα μετάδοσης HVDC. Ξεκίνησε να λειτουργεί το 2002 [75].

Το σύστημα HVDC Trans Bay Cable που ολοκληρώθηκε το 2010 ήταν το πρώτο σύστημα που χρησιμοποίησε την τεχνολογία Modular Multilevel Converters (MMC) [79].

Τα συστήματα HVDC με βάση τους μετατροπείς τάσης (voltage source converters (VSC)) υιοθετήθηκε γρήγορα για την παροχή ισχύος σε υπεράκτιες πλατφόρμες και την παροχή ισχύος

από υπεράκτια αιολικά πάρκα. Ένας σύνδεσμος HVDC λειτούργησε στην πλατφόρμα Troll A Off-shore (πρώτη και δεύτερη γραμμή) το 2005.

Το BorWin1 επίσης είναι ένα σύστημα HVDC για την εισαγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ένα αιολικό πάρκο ανοικτής θάλασσας (χρησιμοποιώντας PWM δύο επιπέδων) και τέθηκε σε λειτουργία το 2009. Υπήρξε μια ραγδαία ανάπτυξη στα αιολικά πάρκα αυτή την περίοδο και το 2015 τέθηκε σε λειτουργία το BorWin2 (MMC), το HelWin1 (MMC), το HelWin2, το DolWin1 (χρησιμοποιώντας ένα Cascaded Two-Level Converter [80]).

Το πρώτο πολυτεματικό σύστημα HVDC ήταν το πρόγραμμα τερματικών Ιταλία-Κορσικής – Σαρδηνίας (γνωστό ως SACOI). Αυτό ξεκίνησε ως ένα σύστημα δύο τερματικών LCC HVDC μεταξύ της ηπειρωτικής Ιταλίας και του νησιού της Σαρδηνίας. Ομοίως, ένα δεύτερο πολυτεματικό σχήμα HVDC είναι, το Quebec – New England Transmission, το οποίο ξεκινά από τον Υποσταθμό Radisson (Κεμπέκ) και διασχίζει το Sandy Pond στη Μασαχουσέτη (ΗΠΑ). Το 1992 ξεκίνησε να λειτουργεί ένας τρίτος σταθμός μετατροπής στη Nicolet για την τροφοδοσία της περιοχής του Μόντρεαλ. Και τα δύο αυτά συστήματα χρησιμοποιούν LCC HVDC. Το HVDC με βάση τις VSC είναι γενικά καλύτερο για πολυτεματική λειτουργία και είναι κατάλληλο για καλωδιακά συστήματα, καθώς η πολικότητα της τάσης DC δεν αλλάζει. Το έργο μετατροπής πηγής τάσης πέντε τερματικών Νήσων Zhoushan HVDC τέθηκε σε λειτουργία το 2014 [81]. Το σύστημα τεσσάρων τερματικών North-East Agra UHVDC τέθηκε σε λειτουργία το 2017.

4.4 Απόδοση HVDC συστημάτων

Η αποτελεσματικότητα παίζει τεράστιο ρόλο στα συστήματα ισχύος. Ο στόχος στα συστήματα ισχύος είναι να επιτευχθεί η υψηλότερη δυνατή απόδοση από ένα συγκεκριμένο σύστημα. Ωστόσο, πολλές προκλήσεις θα μπορούσαν να προκύψουν κατά την προσπάθεια επίτευξης υψηλής απόδοσης. Προκειμένου να μειωθούν οι απώλειες, η μεταφορά μεγάλης ποσότητας ενέργειας είτε από ανανεώσιμες πηγές είτε από συμβατικές γεννήτριες πρέπει να πραγματοποιηθεί μέσω υψηλής τάσης. Τόσο για μετάδοση DC όσο και για εναλλασσόμενο ρεύμα, μια τάση υψηλού επιπέδου για την ίδια ποσότητα αποσταλμένης ισχύος μειώνει το ρεύμα, το οποίο, με τη σειρά του, μειώνει την απώλεια κατά μήκος της γραμμής.

Επομένως, από την άποψη της αποτελεσματικότητας, μια μικρότερη ποσότητα ενέργειας χάνεται στα συστήματα HVDC και επίσης το συνεχές ρεύμα εξαλείφει την άεργη ισχύ. Μια γραμμή DC αποτελείται από δύο αγωγούς για μετάδοση ισχύος: Δηλαδή, τον αρνητικό (-) αγωγό και τον θετικό (+) αγωγό. Από την άλλη πλευρά, η γραμμή AC για μετάδοση αποτελείται από τρεις γραμμές (ή τρεις φάσεις). Επομένως, τα HVDC θα απαιτούσαν λιγότερους αγωγούς με αποτέλεσμα λιγότερες χρήσεις γης και φθηνότερο εξοπλισμό αγωγού.

Οι κύριες χρήσεις του HVDC περιλαμβάνουν τη σύνδεση υπεράκτιων αιολικών πάρκων σε υπεράκτιους υποσταθμούς και τη μετάδοση ισχύος διαμέσου της θάλασσας, όπου δεν υπάρχουν εναέριες γραμμές.

Δεδομένου ότι η τάση DC είναι σταθερή, οι αγωγοί HVDC μεταφέρουν περισσότερη ισχύ σε σύγκριση με τους αντίστοιχους HVAC. Ωστόσο, το AC εναλλάσσεται περιοδικά. Επομένως, στο AC, η RMS τάση (root mean square) θεωρείται να είναι πρότυπο, όπου η RMS είναι μόνο περίπου το 75% της μέγιστης τάσης AC. Το πάχος της μόνωσης και η απόσταση του αγωγού του συστήματος HVAC βασίζονται στην τάση αιχμής και όχι στην τιμή RMS. Από την άλλη πλευρά, δεδομένου ότι το DC λειτουργεί σε σταθερή τάση, επιτρέπει στη μόνωση και το μέγεθος του αγωγού να μεταφέρει το 100% της ισχύος.

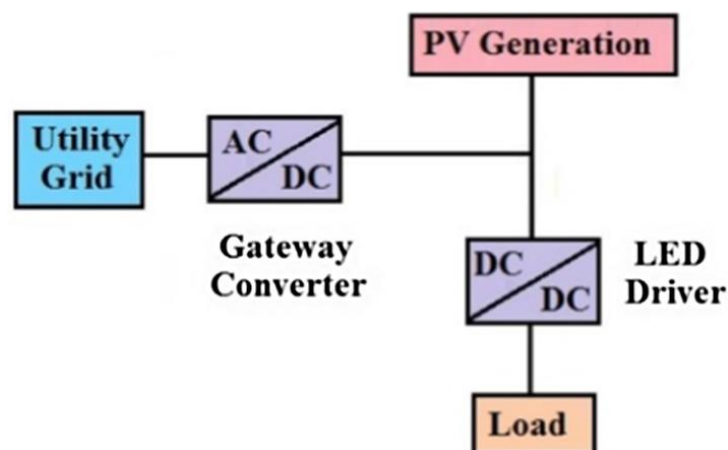
Παρόλο που η ιδέα της χρήσης ισχύος DC για ηλεκτρική διανομή μπορεί να φαίνεται περίεργη για κάποιους, με αυτό τον τρόπο ξεκίνησε το σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας [178,179]. Ωστόσο, η τεχνολογία του DC αντικαταστάθηκε από αυτήν του AC επειδή, η DC δεν είχε κανένα μέσο μεταβολής του επιπέδου τάσης. Το AC, από την άλλη πλευρά, θα μπορούσε να το κάνει λόγω του ηλεκτρομαγνητικού μετασχηματιστή του και επομένως το επίπεδο τάσης θα μπορούσε να αυξηθεί για μεταφορά ισχύος σε μεγάλες αποστάσεις και στη συνέχεια να μειωθεί για χρήση. Έτσι, το κυρίαρχο σύστημα ισχύος έγινε το AC και το DC αφέθηκε για ορισμένες εξειδικευμένες εφαρμογές [180].

Ωστόσο, σήμερα μπορούμε να δούμε ότι το DC έχει επανεμφανιστεί σε διαφορετικά μέρη του δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας. Η πλευρά της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, η οποία παραδοσιακά χρησιμοποιούσε τριφασικές σύγχρονες μηχανές AC, παρακολουθεί τώρα μια ισχυρή ώθηση όλου του κόσμου προς τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (ΑΠΕ). Μεταξύ αυτών, τα ηλιακά φωτοβολταϊκά (PV) παράγουν ισχύ DC, και διαφορετικά αιολικά πάρκα [181,182] παράγουν επίσης ισχύ DC ως ενδιάμεσο στάδιο πριν από τη μετατροπή της σε AC. Μελετώντας και τη μετάδοση ισχύος, οι γραμμές HVDC έχουν αποδειχθεί μια επιτυχημένη επιλογή και διάφορες εγκαταστάσεις για αυτές μπορεί να βρεθούν σε όλο τον κόσμο. Σημαντικός αριθμός

ερευνητικών προσπαθειών, όπως οι [183,184] έχουν κατευθυνθεί προς αυτόν τον τομέα και τα τελευταία χρόνια, τα HVDC μπορούν να θεωρηθούν ώριμη τεχνολογία αυτή τη στιγμή με την Siemens [185] και την ABB [186] να παρέχουν ολοκληρωμένες λύσεις . Από την πλευρά της οικιακής και εμπορικής χρήσης ενέργειας, τα σύγχρονα ηλεκτρονικά φορτία χρησιμοποιούν κατά κόρων ρεύμα DC. Προσωπικοί υπολογιστές, φορητοί υπολογιστές, οθόνες LCD κ.λπ. χρησιμοποιούν τροφοδοσία DC και καταφεύγουν σε μετατροπή AC / DC για σύνδεση στο τρέχον σύστημα τροφοδοσίας. Ο φωτισμός, ο οποίος είναι ένας άλλος μεγάλος καταναλωτής ενέργειας εξελίσσεται επίσης ως καταναλωτής ενέργειας DC με το φωτισμό με διόδους εκπομπής φωτός (LED) [187,188] για σπίτια και γραφεία.

Αρκετές βιβλιογραφικές αναφορές υπάρχουν σήμερα οι οποίες μελετούν την απόδοση των HVDC. Ακολούθως παρατίθενται κάποιες από αυτές οι οποίες συγκρίνουν την απόδοση μεταξύ των δικτύων εναλλασσόμενου και συνεχούς ρεύματος

Οι συγγραφείς της μελέτης [189] μελετούν ένα μικροδίκτυο DC όπου η ενέργεια που παράγεται μέσω ηλιακών φωτοβολταϊκών πάνελ συνδέεται με το φορτίο τους (LED φώτα). Το σχήμα 4.3 δείχνει αυτήν τη διαμόρφωση. Οι συγγραφείς αναφέρουν ότι στην κατοχυρωμένη με δίπλωμα ευρεσιτεχνίας συγκεκριμένη διαμόρφωση επιτρέπει υψηλότερη απόδοση σε σύγκριση με την περίπτωση του ίδιου συστήματος με εναλλασσόμενο ρεύμα. Οι συγγραφείς αναφέρουν μια εγκατάσταση στη Βόρεια Καρολίνα όπου εγκαταστάθηκε ένα σύστημα εναλλασσόμενου ρεύματος δίπλα στο DC για σύγκριση απόδοσης. Αναφέρουν ότι το σύστημα DC χρησιμοποίησε φωτοβολταϊκή ενέργεια 8% πιο αποτελεσματικά σε σύγκριση με το σύστημα AC.



Εικ.4.3 Διαμόρφωση διάταξης που μελετήθηκε [189]

Οι συγγραφείς της πηγής [190] αναφέρουν ότι το σύστημα διανομής DC μπορεί να προσφέρει υψηλότερη απόδοση λόγω της μείωσης στα στάδια μετατροπής ισχύος. Δίνουν μια σύγκριση απόδοσης ενός μικροδίκτυου DC και AC και επιλέγουν 48 V ως επίπεδο τάσης για DC. Η εργασία τους βασίζεται στην υπόθεση ότι τα φορτία DC (ακόμη και τα φορτία υψηλής ισχύος) είναι συμβατά με αυτό το επίπεδο τάσης. Οι συγγραφείς αναφέρουν ότι η ανάλυσή τους δείχνει υψηλότερη απόδοση του συστήματος διανομής DC σε σύγκριση με το σύστημα AC.

Οι Vossos et al. [191] εκτιμήσαν την πιθανή εξοικονόμηση ενέργειας με τη χρήση του άμεσου DC σε κατοικίες στις ΗΠΑ με net metering. Οι συγγραφείς καταλήγουν στο συμπέρασμα ότι, ενώ αντιπροσωπεύουν μεταβλητά φορτία, το συνεχές DC μπορεί να εξοικονομήσει περίπου 5% της συνολικής ηλεκτρικής ενέργειας σε εφαρμογή χωρίς αποθήκευση ενέργειας και περίπου 14% για εφαρμογή με αποθήκευση. Κάποιες από τις παραδοχές από τους συγγραφείς είναι ότι όλα τα φορτία κατοικιών είναι εσωτερικά DC και ότι οι απώλειες διανομής εντός κτιρίου για AC και DC είναι συγκρίσιμες.

Η αναφ. [192] είναι μια άλλη συγκριτική μελέτη αποτελεσματικότητας για τη διανομή DC και AC που στοχεύει στα εμπορικά κτίρια. Οι συγγραφείς καταλήγουν στο συμπέρασμα ότι εάν δεν υπάρχει τοπική πηγή DC, τότε η διανομή DC δεν έχει κανένα σημαντικό πλεονέκτημα. Οι συγγραφείς καταλήγουν στο συμπέρασμα ότι η βελτίωση της απόδοσης λόγω DC είναι μόνο 1,3% και είναι της άποψης ότι η αποδοτικότητα από μόνη της δεν είναι σημαντικός παράγοντας για την υιοθέτηση διανομής ισχύος DC σε κτίρια.

Οι συγγραφείς της έρευνας [110] παρουσιάζουν πλεονέκτημα αποδοτικότητας της διανομής DC έναντι εναλλασσόμενου ρεύματος για ένα γραφείο. Ο φωτισμός LED είναι το μόνο φορτίο.

Οι συγγραφείς καταλήγουν στο συμπέρασμα ότι για τη δοκιμή τους, μετρήθηκε εξοικονόμηση ενέργειας 2% για το σύστημα DC σε σύγκριση με το AC. Αναφέρουν επίσης ότι το πλεονέκτημα απόδοσης του DC μπορεί να φτάσει έως και 5% σε διπλάσιο επίπεδο ισχύος.

Ο Πίνακας 4.1 δίνει μία σύνοψη των παραπάνω ερευνών:

Πίνακας 4.1 Μελέτες για απόδοση DC σε σχέση με AC δίκτυα.

Έρευνα	Σύντομη Περιγραφή μελέτης	Αποτελέσματα
<i>Fregosi D et al</i> [189]	Μικροδίκτυο DC όπου η ενέργεια που παράγεται μέσω ηλιακών φωτοβολταϊκών πάνελ συνδέεται με το φορτίο τους	Το σύστημα DC χρησιμοποίησε φωτοβολταϊκή ενέργεια 8% πιο αποτελεσματικά σε σύγκριση με το σύστημα AC.
Vossos et al. [191]	Εξοικονόμηση ενέργειας με τη χρήση του άμεσου DC σε κατοικίες στις ΗΠΑ με net metering	Το συνεχές DC μπορεί να εξοικονομήσει περίπου 5% της συνολικής ηλεκτρικής ενέργειας σε εφαρμογή χωρίς αποθήκευση ενέργειας και περίπου 14% για εφαρμογή με αποθήκευση
<i>Brenquier J et al.</i> [192]	Μελέτη αποτελεσματικότητας για τη διανομή DC και AC που στοχεύει στα εμπορικά κτίρια.	DC σε κτίρια: Εάν δεν υπάρχει τοπική πηγή DC, τότε η διανομή DC δεν έχει σημαντικό πλεονέκτημα: η βελτίωση της απόδοσης λόγω DC είναι 1,3%
<i>Boeke U, Wendt M.</i> [110]	Διανομή DC έναντι εναλλασσόμενου ρεύματος για ένα γραφείο. Ο φωτισμός LED είναι το μόνο φορτίο	Μετρήθηκε εξοικονόμηση ενέργειας 2% για το σύστημα DC σε σύγκριση με το AC. Το πλεονέκτημα απόδοσης του DC μπορεί να φτάσει έως και 5% σε διπλάσιο επίπεδο ισχύος

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο – Συμπεράσματα και Επεκτάσεις

5.1 Γενικά συμπεράσματα

Η Ευρωπαϊκή Επιτροπή θεωρεί την ενεργειακή απόδοση ως στρατηγική προτεραιότητα. Χρησιμοποιώντας την ενέργεια πιο αποτελεσματικά, η κατανάλωση ενέργειας μπορεί να μειωθεί, οδηγώντας σε χαμηλότερους λογαριασμούς ενέργειας για τους καταναλωτές, χαμηλότερες εκπομπές αερίων θερμοκηπίου και άλλων ρύπων, μειωμένη ανάγκη για ενεργειακή υποδομή και αυξημένη ενεργειακή ασφάλεια μέσω της μείωσης των εισαγωγών ενέργειας. Η ΕΕ έχει θέσει στόχους ενεργειακής απόδοσης και ένα σύνολο κανονισμών για την προώθηση της ενεργειακής απόδοσης σε ολόκληρη την οικονομία. Για να επιτευχθούν αυτοί οι στόχοι η δημιουργήθηκε η Ευρωπαϊκή Πράσινη Συμφωνία η οποία αποτελεί μια νέα αναπτυξιακή στρατηγική που στοχεύει στη συνολική μεταμόρφωση της κοινωνίας της ΕΕ, με μια σύγχρονη, οικονομικά αποδοτική και ανταγωνιστική οικονομία όπου δεν θα υπάρχουν καθαρές εκπομπές αερίων θερμοκηπίου μέχρι το 2050 και όπου η οικονομική ανάπτυξη αποσυνδέεται από τη χρήση πόρων. Στοχεύει επίσης στην προστασία, διατήρηση και ενίσχυση του φυσικού κεφαλαίου της ΕΕ, καθώς και στην προστασία της υγείας και της ευημερίας των πολιτών από κινδύνους και επιπτώσεις που σχετίζονται με το περιβάλλον.

Η ΕΕ έχει ήδη αρχίσει να εκσυγχρονίζει και να μετασχηματίζει την οικονομία αποσκοπώντας στην κλιματική ουδετερότητα. Μεταξύ του 1990 και του 2018 μείωσε τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου κατά 23 %, ενώ η οικονομία σημείωσε ανάπτυξη κατά 61 % [111]. Ωστόσο, με τις τρέχουσες πολιτικές, οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου θα μειωθούν μόνο κατά 60 % έως το 2050 [111]. Πρέπει ακόμη να γίνουν πολλά, αρχής γενομένης από μια πιο φιλόδοξη δράση για το κλίμα την επόμενη δεκαετία.

Όσον αφορά την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με ορυκτά καύσιμα, αποτελεί μια σημαντική πηγή εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου. Σε παγκόσμιο επίπεδο, οι εκπομπές από την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και θερμότητας (από την καύση ορυκτών καυσίμων) το 2015 αντιστοιχούσε στο 42% των συνολικών εκπομπών αερίων θερμοκηπίου.

Κατά τη σύγκριση των πηγών ορυκτών καυσίμων ο άνθρακας χρησιμοποιείται συχνότερα σε όλες τις χώρες εκτός από την Ιαπωνία, τη Γαλλία και το Ηνωμένο Βασίλειο και την Ιρλανδία

όπου το φυσικό αέριο χρησιμοποιείται περισσότερο. Η απόδοση για την παραγωγή ενέργειας με καύση άνθρακα το 2016 κυμαίνεται από 35% για την Αυστραλία έως 42% για την Ιαπωνία.

Η απόδοση της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με αέριο έχει βελτιωθεί σημαντικά τις τελευταίες δύο δεκαετίες. Οι μεγαλύτερες βελτιώσεις απόδοσης για την περίοδο 1990 - 2016 παρατηρούνται για στην Ινδία, στη Γερμανία και στη Νότια Κορέα. Το 2016, η απόδοση κυμαίνεται από 36% για την Αυστραλία έως 55% για τη Νότια Κορέα.

Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με πετρέλαιο διαδραματίζει περιορισμένο ρόλο και η σημασία της έχει μειωθεί περαιτέρω με την πάροδο του χρόνου, ειδικά στην περίπτωση των τριών κορυφαίων χωρών παραγωγής ενέργειας με πετρέλαιο (ΗΠΑ, Ιαπωνία και Νότια Κορέα). Το 2016, η απόδοση για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με πετρέλαιο κυμαίνεται από 29% για την Ινδία, το Ηνωμένο Βασίλειο και την Ιρλανδία και έως 41% για τις Ηνωμένες Πολιτείες και την Αυστραλία.

Στην συνέχεια από την σύγκριση των συστημάτων αεριοστρόβιλων, μηχανών εσωτερικής καύσης συστημάτων παραγωγής ατμού και τέλος συστημάτων συνδυασμένου κύκλου προέκυψαν τα ακόλουθα αποτελέσματα ανά τύπο καυσίμου.

- **Πετρέλαιο:** Η χαμηλότερη τιμή απόδοσης συγκριτικά παρατηρείται για σύστημα αεριοστρόβιλου με μια μέση τιμή να κυμαίνεται περίπου στο 25,4%. Ακολουθούν τα συστήματα εσωτερικής καύσης με μέση τιμή απόδοσης 32,9% , εν συνεχεία τα συστήματα παραγωγής ατμού με μέση τιμή 33,1 % και τέλος τα συστήματα συνδυασμένου κύκλου με μέση απόδοση 33,9 %.
- **Φυσικό αέριο:** Η χαμηλότερη τιμή απόδοσης συγκριτικά παρατηρείται για σύστημα αεριοστρόβιλου με πετρέλαιο (από το σύνολο των συστημάτων) με μια μέση τιμή να κυμαίνεται περίπου στο 29,85%. Ακολουθούν τα συστήματα παραγωγής ατμού με μέση τιμή απόδοσης 32,5% , εν συνεχεία τα συστήματα εσωτερικής καύσης με μέση τιμή 36,5 % και τέλος τα συστήματα συνδυασμένου κύκλου με μέση απόδοση 44,7 %.
- **Άνθρακας:** Όσον αφορά τον άνθρακα σχετικά με τους αμοπαγωγούς παρατηρείται μία αυξητική τάση για την απόδοση από το 2009 έως και το 2019,: το 2009 η απόδοση ήταν 33,6% ενώ το 2019 αυξήθηκε σε 34,1 %

Ακολούθως, μελετήθηκε η απόδοση συστημάτων αποθήκευσης ενέργειας. Αρχικά μελετήθηκαν συμβατικές μπαταρίες (Μπαταρίες μόλυβδου-οξέος, Μπαταρίες νικελίου-καδμίου (Ni – Cd), Μπαταρίες νικελίου- υδριδίου μετάλλου (Ni – MH), Μπαταρίες νατρίου-θειού (Na – S), Μπαταρίες ιόντων λιθίου (Li-Ion)). Παρατηρήθηκε ότι μεγαλύτερη απόδοση

σε σχέση με την διάρκεια ζωής έχουν οι μπαταρίες ιόντων λιθίου οι οποίες όμως συνοδεύονται από κάποια μειονεκτήματα (πχ σχετικά υψηλό κόστος, κακή απόδοση σε υψηλή θερμοκρασία, απαίτηση προστατευτικού κυκλώματος) και στην συνέχεια ακολουθούν οι μπαταρίες νατρίου-θείου(Na – S) και οι μπαταρίες νικελίου- υδριδίου μετάλλου (Ni – MH). Τελευταίες στην σειρά ήταν οι μπαταρίες μόλυβδου-οξέος.

Μελετήθηκαν επίσης επιπλέον συστήματα αποθήκευσης ως προς την απόδοσή τους. Πιο συγκεκριμένα μελετήθηκαν Μπαταρίες Ροής, Συστήματα Υπεραγώγιμης μαγνητική αποθήκευσης ενέργειας (Superconducting magnetic energy storage (SMES)), Αποθήκευση ενέργειας με σφόνδυλο (Flywheel Energy Storage - FES), Αποθήκευση υδροηλεκτρικής ενέργειας (Pumped hydro energy storage PHES), Αποθήκευση θερμικής ενέργειας (TES), Αποθήκευση ενέργειας πεπιεσμένου αέρα (Compressed Air Energy Storage CAE). Παρατηρήθηκε ότι μεγαλύτερη απόδοση σε σχέση με την διάρκεια ζωής έχουν οι συστήματα αποθήκευσης ενέργειας με σφόνδυλο (Flywheel Energy Storage - FES). Στην συνέχεια τοποθετούνται τα συστήματα αποθήκευσης υδροηλεκτρικής ενέργειας και τα συστήματα αποθήκευσης πεπιεσμένου αέρα. Έπειτα, σχεδόν στα ίδια επίπεδα αποδοτικότητας κατατάσσονται και οι εφαρμογές για αποθήκευση με μπαταρίες ροής με το μειονέκτημα όμως ότι αυτά τα συστήματα έχουν περιορισμένους κύκλους λειτουργίας σε σχέση με τα υπόλοιπα συστήματα που μελετήθηκαν. Κάθε ένα από τα ανωτέρω συστήματα έχει τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα του, τα οποία θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη για την εκάστοτε εφαρμογή ώστε πάντα να επιλέγεται το κατάλληλο.

Τέλος όσον αφορά τα δίκτυα HVDC υπάρχουν αρκετά πλεονεκτήματα στην χρήση τους λόγω της βελτίωσης της αποδοτικότητας. Συγκεκριμένα μπορούμε να συμπεράνουμε τα εξής:

Το σημαντικότερο πλεονέκτημα των συστημάτων HVDC είναι ότι θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί ως γραμμή σύνδεσης για τη διασύνδεση ξεχωριστών δικτύων AC. Η ισχύς DC είναι ανεξάρτητη από τη συχνότητα και τη σχετική φάση των συστημάτων ισχύος. Η διασύνδεση HVDC μεταξύ δύο συστημάτων εναλλασσόμενου ρεύματος δεν θα επιφέρει εναλλαγές ισχύος και κίνδυνο διακοπής λόγω υπερφόρτωσης.

Επίσης για την ίδια χωρητικότητα μετάδοσης, οι γραμμές μετάδοσης HVDC κοστίζουν λιγότερο από τις γραμμές μεταφοράς HVAC στο ίδιο μήκος. Τέλος τα HVDC συστήματα έχουν καλή απόδοση στην μαζική μεταφορά ισχύος σε μεγάλη απόσταση με υπόγεια και υποβρύχια καλώδια. Μπορούν να μεταφέρουν περισσότερη ισχύ σε λιγότερες γραμμές από ό, τι τα συστήματα AC υπό την ίδια κατάσταση.

5.2 Επεκτάσεις

Η ενεργειακή απόδοση φαίνεται να αποτελεί έναν ιδιαίτερα σημαντικό στόχο για την Ευρωπαϊκή Ένωση. Στο πλαίσιο αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό να μελετηθεί πώς οι τεχνολογίες που μελετήθηκαν στην παρούσα διπλωματική (συστήματα αποθήκευσης, συστήματα HVDC και συστήματα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας) είναι δυνατό να βελτιωθούν, ώστε να συμβάλλουν στους περιβαλλοντικούς στόχους που θέτει η Ευρωπαϊκή Ένωση.

Αν και υπάρχουν αρκετά πλεονεκτήματα στην χρήση των HVDC δικτύων, φαίνεται να υπάρχει ακόμα ένα ευρύ περιθώριο μελετών οι οποίες θα πρέπει να γίνουν για την σωστή και πλήρη αξιολόγηση αυτού του είδους δικτύων σε σχέση με τα αντίστοιχα δίκτυα AC που χρησιμοποιούνται κατά κόρων σήμερα.

Σχετικά με τα δίκτυα HVDC είναι επίσης σημαντικό να μελετηθεί η συνολική απόδοση που θα μπορούσαν να προσφέρουν σε συνδυασμό με τη χρήση συστημάτων DC σε διάφορους τομείς. Πληροφορίες αναφέρονται στη διπλωματική σχετικά με τη χρήση τους σε κτίρια, ωστόσο, επιπλέον συστήματα μπορούν να μελετηθούν: off-shore αιολικά πάρκα, χρήση DC συστημάτων σε τρένα και μέσα μεταφοράς (railway systems), κλπ. Είναι σημαντικό να μελετηθούν από κοινού τα συστήματα αυτά ώστε να εκτιμηθεί η συνολική απόδοση που είναι δυνατό να προσφέρουν τα δίκτυα HVDC. Βέβαια υπάρχει ακόμα ευρύ περιθώριο μελετών οι οποίες θα πρέπει να γίνουν για την σωστή και πλήρη αξιολόγηση αυτού του είδους δικτύων σε σχέση με τα αντίστοιχα δίκτυα AC που χρησιμοποιούνται κατά κόρων σήμερα.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. European Parliament, Understanding energy efficiency, October 2015
2. Framework for energy efficiency labelling, Alex Wilson, EPRS, European Parliament, October 2015.
3. Assessing the Energy-Efficiency Gap, Todd Gerarden, Richard Newell and Robert Stavins, Duke University and Harvard Kennedy School, January 2015.
4. Capturing the Multiple Benefits of Energy Efficiency: A Guide to Quantifying the Value Added, IEA, 2014.
5. EU Energy Law: Energy efficiency in the European Union, Joseph Curtin (ed.), Claeys & Casteels, 2014.
6. Energy efficiency: the ever neglected priority of the European Energy Strategy, Tania Zgajewski, Egmont Institute, June 2014.
7. Energy efficiency and the ETS, DG IPOL, European Parliament, 2013.
8. Review of costs and benefits of energy savings, Institute for European Environmental Policy, May 2013.
9. Energy Efficiency Market Report 2014, International Energy Agency, 2014.
10. EU energy efficiency policy: achievements and outlook, DG IPOL, European Parliament, 2010.
11. Ανακοίνωση της επιτροπής προς το Ευρωπαϊκό κοινοβούλιο, , το συμβούλιο, την ευρωπαϊκή οικονομική και κοινωνική επιτροπή και την επιτροπή των περιφερειών Βρυξέλλες *Η Ευρωπαϊκή Πράσινη Συμφωνία*, 11.12.2019
12. REPORT FROM THE COMMISSION TO THE EUROPEAN PARLIAMENT AND THE COUNCIL 2019 assessment of the progress made by Member States towards the national energy efficiency targets for 2020 and towards the implementation of the Energy Efficiency Directive as required by Article 24(3) of the Energy Efficiency Directive 2012/27/EU
13. Clean Energy Council (2015). Clean Energy Australia report 2015.
14. Climate Council (2017). Renewables Ready: States leading the charge. <https://www.climatecouncil.org.au/uploads/9a3734e82574546679510bdc99d57847.pdf>
15. Ecofys (2017). International comparison of fossil power efficiency and CO2 intensity - Update 2017. Utrecht, The Netherlands.
16. European Commission (2006). European Directive: Integration Pollution, Prevention and Control, Best Available Techniques.
17. European Commission (2013). Reference document on best available techniques for large combustion plants.
18. European Commission (2016). Quarterly Report on European Electricity Markets. https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/quarterly_report_on_european_electricity_markets_q4_2015-q1_2016.pdf
19. Frankfurt School-UNEP Centre/BNEF (2017). Global Trends in Renewable Energy Investments 2017
20. Graus, W. (2009). International comparison of fossil power efficiency and CO2 intensity. Ecofys. Utrecht, The Netherlands.

21. IEA (2003). Electricity in India. Providing power for the millions. International Energy Agency (IEA). Paris, France.
22. IEA (2005). CO₂ emissions from fuel combustion. International Energy Agency (IEA). Paris, France.
23. IEA (2009). Cleaner Coal in China. International Energy Agency (IEA). Paris, France.
24. IEA (2018). World energy balances. International Energy Agency (IEA). Paris, France.
25. IEA Emissions (2017). CO₂ emissions from fuel combustion highlights
26. <https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/CO2EmissionsfromFuelCombustionHighlights2017.pdf>
27. IEA ETP (2014). Energy Technology Perspectives. Available online: <http://www.iea.org/etp/etp2014/restrictedaccessarea/>
28. Neville R. Watson,* and Jeremy D. Watson *An Overview of HVDC Technology*, 2020
29. Institute for Sustainable Energy Policies (2015). Renewables Japan Status Report 2015
30. Phylipsen, G.J.M. K. Blok and E. Worrell (1998). “Benchmarking the energy efficiency of the Dutch energy-intensive industry”, A preliminary assessment of the effect on energy consumption and CO₂ emissions, Department of Science, Technology and Society, Utrecht University. Utrecht, The Netherlands.
31. Phylipsen, G.J.M., W.H.J. Graus, K. Blok, Y. Hofman, M. Voogt (2003). International Comparisons of Energy Efficiency - Results For Iron & Steel, Cement And Electricity Generation, Ecofys. Utrecht, The Netherlands.
32. Siemens (2008). Olympic efficiencies. Available online: http://www.siemens.com/innovation/pool/en/publikationen/publications_pof/pof_spring_2008/energy/coal_china/pof108_energie_coalchina_en.pdf
33. CIGRE WG B6.31. Medium Voltage Direct Current (MVDC) Feasibility Study. Technical Brochure 793. 2020. Available online: <https://e-cigre.org/> (accessed on 5 March 2020).
34. CIGRE WG B4.55. HVDC Connection of offshore Wind Power Plants. Technical Brochure 619. May 2015. Available online: <https://e-cigre.org/> (accessed on 13 July 2015).
35. Ryndzionek, R.; Sienkiewicz, L. Evolution of the HVDC Link Connecting Offshore Wind Farms to Onshore Power Systems. *Energies* **2020**, *13*, 1914. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]
36. Korompili, A.; Wu, Q.; Zhao, H. Review of VSC HVDC connection for offshore wind power integration. *Renew. Sustain. Energy Rev.* **2016**, *59*, 1405–1414. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]
37. Jiang-Häfner, Y.; Lundberg, P. VSC HVDC Transmission Supporting Variable Electricity Generation, CIGRE Session, Paris, 2016, Paper C5-204. Available online: <https://e-cigre.org/> (accessed on 17 April 2020).
38. Gupta, K.K.; Bhatnagar, P. *Multilevel Inverters: Conventional and Emerging Topologies and Their Control*; Academic Press: London, UK, 2018. [[Google Scholar](#)]
39. Mohan, N.; Underland, T.M.; Robbins, W.P. *Power Electronics: Converters, Applications, and Design*, 3rd ed.; John Wiley & Sons: New York, NY, USA, 2003. [[Google Scholar](#)]
40. Rashid, M.H. (Ed.) *Power Electronics Handbook*, 3rd ed.; Butterworth-Heinemann: Burlington, MA, USA, 2011. [[Google Scholar](#)]

41. Holmes, D.G.; Lipo, T.A. Pulse Width Modulation for Power Converter: Principles and Practice; IEEE Press: Piscataway, NJ, USA, 2003. [[Google Scholar](#)]
42. Wu, B. High-Power Converters and AC Drives; IEEE Press: Piscataway, NJ, USA, 2006. [[Google Scholar](#)]
43. Shepherd, W.; Zhang, L. Power Converter Circuits; Marcel Dekker: New York, NY, USA, 2004. [[Google Scholar](#)]
44. Sharkh, S.M.; Abusara, M.A.; Hussain, B. Power Electronic Converters for Microgrids; John Wiley & Sons: Singapore, 2014. [[Google Scholar](#)]
45. General Electric Canada Inc. Power Converter Handbook: Theory, Design, Application; UYK Technologies: Bailieboro, ON, Canada, 2005. [[Google Scholar](#)]
46. Adamson, C.; Hingorani, N.G. High Voltage Direct Current Power Transmission; Garraway: London, UK, 1960. [[Google Scholar](#)]
47. Kimbark, E.K. Direct Current Transmission: Volume 1; John Wiley & Sons: New York, NY, USA, 1971. [[Google Scholar](#)]
48. Uhlmann, E. Power Transmission by Direct Current; Springer: Berlin/Heidelberg, Germany, 1975. [[Google Scholar](#)]
49. Arrillaga, J. High Voltage Direct Current Transmission, 2nd ed.; IEEE: London, UK, 1998. [[Google Scholar](#)]
50. Padiyar, K.R. HVDC Power Transmission Systems: Technology and System Interactions; John Wiley & Sons: New Delhi, India, 1990. [[Google Scholar](#)]
51. Yazdani, A.; Iravani, R. Voltage-Sourced Converters in Power Systems: Modeling, Control and Applications; John Wiley & Sons: Hoboken, NJ, USA, 2010. [[Google Scholar](#)]
52. Jovcic, D.; Ahmed, K. High Voltage Direct Current Transmission: Converters, Systems and DC Grids; John Wiley & Sons: Chichester, UK, 2015. [[Google Scholar](#)]
53. Kim, C.-K.; Sood, V.K.; Jang, G.-S.; Lim, S.-J.; Lee, S.-J. HVDC Transmission: Power Conversion Applications in Power Systems; John Wiley & Sons: Singapore, 2009. [[Google Scholar](#)]
54. Arrillaga, J.; Liu, Y.H.; Watson, N.R. Flexible Power Transmission: The HVDC; John Wiley & Sons: Chichester, UK, 2007. [[Google Scholar](#)]
55. Arrillaga, J.; Liu, Y.H.; Watson, N.R.; Murray, N.J. Self-Commutating Converters for High Power Applications; John Wiley & Sons: Chichester, UK, 2009. [[Google Scholar](#)]
56. Chaudhuri, N.R.; Chaudhuri, B.; Majumder, R.; Yazdani, A. Multi-terminal Direct-Current Grids: Modeling, Analysis, and Control; IEEE Press: Piscataway, NJ, USA, 2014. [[Google Scholar](#)]
57. Sharifabadi, K.; Harnefors, L.; Nee, H.-P. Design, Control, and Application of Modular Multilevel Converters for HVDC Transmission Systems; John Wiley & Sons: Hoboken, NJ, USA, 2016. [[Google Scholar](#)]
58. Acha, E.; Roncero-Sanchez, P.; de la Villa, A.; Castro, L.M.; Kazemtabrizi, B. VSC-FACTS-HVDC: Analysis, Modelling and Simulation in Power Grids; John Wiley & Sons: Chichester, UK, 2019. [[Google Scholar](#)]
59. ABB. ABB Review: Special Report 60 Years of HVDC. July 2014. Available online: <https://new.abb.com/about/technology/abb-review> (accessed on 15 July 2020).
60. Kharade, J.M.; Savagave, N.G. A Review of HVDC Converter Topologies. Int. J. Innov. Res. Sci. Eng. Technol. **2017**, 6, 1822–1830. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]

61. Wang, F.; Bertling, L.; Le, T.; Mannikoff, A.; Bergman, A. An Overview Introduction of VSC-HVDC: State-of-art and Potential Applications in Electric Power Systems. In Proceedings of the Cigrè International Symposium, Bologna, Italy, 13–15 September 2011. [[Google Scholar](#)]
62. Abbas, A.M.; Lehn, P.W. PWM based VSC-HVDC systems—A review. In Proceedings of the 2009 IEEE Power and Energy Society General Meeting, Calgary, AB, Canada, 26–30 July 2009. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]
63. Buigues, G.; Valverde, V.; Etxegarai, A.; Eguia, P.; Torres, E. Present and future multiterminal HVDC systems: Current status and forthcoming. In Proceedings of the International conference on Renewable Energies and Power Quality, Malaga, Spain, 4–6 April 2017; pp. 83–88. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]
64. Barnes, M.; Beddard, A. Voltage Source Converter HVDC Links—The state of the Art and Issues Going Forward. *Energy Procedia* **2012**, *24*, 108–122. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]
65. Rodríguez, J.; Lai, J.-S.; Peng, F.Z. Multilevel Inverters: A Survey of Topologies, Controls, and Applications. *IEEE Trans. Ind. Electron.* **2020**, *49*, 724–738. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]
66. Bahrman, M. HVDC Technology: Line Commutated Converters. Presentation at IEEE PES T&D, Chicago. 15 April 2014. Available online: <https://www.ieee-pes.org/presentations/td2014/td2014p-000668.pdf> (accessed on 4 June 2020).
67. Maza-Ortega, J.M.; Acha, E.; Garcia, S.; Gomez-Exposito, A. Overview of power electronics technology and applications in power generation transmission and distribution. *J. Mod. Power Sys. Clean Energy* **2017**, *5*, 499–514. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]
68. Rudervall, R.; Charpentier, J.P.; Sharma, R. High Voltage Direct Current (HVDC) Transmission Systems Technology Review Paper, Energy Week 2000, Washington, DC, USA, 7–8 March 2000. Available online: <http://large.stanford.edu/courses/2010/ph240/hamerly1/docs/energyweek00.pdf> (accessed on 14 April 2020).
69. CIGRE Working Group B4.46. Voltage Source Converter (VSC) HVDC for Power Transmission—Economic Aspects and Comparison with Other AC and DC Technologies, Technical Brochure 492. April 2012. Available online: <https://e-cigre.org/> (accessed on 30 May 2020).
70. Siemens. High Voltage Direct Current Transmission—Proven Technology for Power Exchange, Answers for Energy, Siemens AG, Erlangen, Germany. 2011. Available online: www.siemens.com/energy/hvdc (accessed on 15 June 2017).
71. CIGRE B14.17. Semiconductor Power Devices for Use in HVDC and FACTS Controllers, Technical Brochure 112. 1997. Available online: <https://e-cigre.org/> (accessed on 30 May 2020).
72. Jacobson, B. Developments in Multiterminal HVDC, IEEE EPEC 2911, Winnipeg, Canada. 2011. Available online: http://www.ieee.ca/epec11/admin/04-0800-hvdc_plenary_jacobson.pdf (accessed on 14 April 2020).
73. CIGRE WG B4.47. Special Aspects of AC Filter Design for HVDC Systems, Technical Brochure 553. 2013. Available online: <https://e-cigre.org/> (accessed on 10 June 2020).
74. Jacobson, B.; Jiang-Häfner, Y.; Rey, P.; Asplund, G.; Jeroense, M.; Gustafsson, A.; Bergkvist, M. HVDC with Voltage Source Converters and Extruded Cables For Up To ± 300

- kV And 1000 MW, CIGRE Paris 2006, Paper B4-105. Available online: <https://e-cigre.org/> (accessed on 5 May 2020).
75. Mattsson, I.; Ericsson, A.; Railing, B.D.; Miller, J.J.; Williams, B.; Moreau, G.; Clarke, C.D. MurrayLink, The Longest Underground HVDC Cable In The World, Paper B4-2013, CIGRE 2004. Available online: <https://e-cigre.org/> (accessed on 6 April 2020).
 76. CIGRE WG 14.05. Interaction between HVDC Convertors and Nearby Synchronous Machines. Final Report. Technical Brochure No. 119. 1997. Available online: <https://e-cigre.org/> (accessed on 30 May 2020).
 77. Axelsson, U.; Holm, A.; Liljegren, C.; Aberg, M.; Eriksson, K.; Tollerz, O. The Gotland HVDC Light Project -Experiences from Trial and Commercial Operation. In Proceedings of the 16th International Conference and Exhibition on Electricity Distribution, Amsterdam, The Netherlands, 18–21 June 2001. [[Google Scholar](#)]
 78. Railing, B.D.; Miller, J.J.; Moreau, G.; Wasborg, J.; Jiang-Häfner, Y.; Stanley, D. The Directlink VSC-Based HVDC Project and Its Commissioning, CIGRE Session, Paris, 2002, Paper 14-0198. Available online: <https://e-cigre.org/> (accessed on 6 April 2020).
 79. Westerweller, T.; Orini, A.; Parquet, D. Trans Bay Cable—World’s First HVDC System Using Multilevel Voltage-Sourced Converter, CIGRE Session, Paris, 2010, Paper B4-101. Available online: <https://e-cigre.org/> (accessed on 17 April 2020).
 80. Jacobson, B.; Karlsson, P.; Asplund, G.; Harnefors, L.; Jonsson, T. VSC-HVDC Transmission with Cascaded Two-Level Converters, CIGRE Session, Paris, 2010, Paper B4-110. Available online: <https://e-cigre.org/> (accessed on 17 April 2020).
 81. Tang, G.; He, Z.; Pang, H.; Huang, X.; Zhang, X.-P. Basic Topology and Key Devices of the Five-Terminal DC Grid. CSEE J. Power Energy Syst. **2015**, 1, 22–35. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]
 82. Wikipedia. Available online: https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_HVDC_projects (accessed on 8 April 2020).
 83. Williamson, A.; Astrom, U.; Lescale, V.F.; Wu, D.; Westman, B. Latest development in transmission with 800 kV DC. Presented at the HVDC 2006 Congress, Natal, South Africa, 12–14 July 2006. [[Google Scholar](#)]
 84. CIGRE WG B4.32. HVDC Converter Stations for Voltages above +/- 600 kV, Technical Brochure 215. 2002. Available online: <https://e-cigre.org/> (accessed on 17 April 2020).
 85. CIGRE WG B4.45. Technological Assessment of 800kV HVDC Applications, Technical Brochure 417. 2010. Available online: <https://e-cigre.org/> (accessed on 30 May 2020).
 86. CIGRE WG B4/C1.65. Recommended voltages for HVDC grids, Technical Brochure 684. 2017. Available online: <https://e-cigre.org/> (accessed on 30 May 2020).
 87. Barnes, M.; Van Hertem, D.; Teeuwsen, S.P.; Callavik, M. HVDC Systems in Smart Grids. Proc. IEEE **2017**, 105, 2082–2098. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]
 88. Bahrman, M.P.; Johnson, B.K. The ABCs of HVDC transmission technologies. IEEE Power Energy Mag. **2007**, 5, 32–44. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]
 89. CIGRE WG 14.29. Coordination of Controls of Multiple FACTS/HVDC Links in the Same System, Technical Brochure 149. 1999. Available online: <https://e-cigre.org/> (accessed on 17 April 2020).

90. Badrzadeh, B.; Emin, Z.; Hillberg, E.; Jacobson, D.; Kocewiak, L.; Lietz, G.; da Silva, F.; Val Escudero, M. The Need for Enhanced Power System Modelling Techniques and Simulation Tools. *CIGRE Sci. Eng. J.* **2020**, *17*, 30–46. [[Google Scholar](#)]
91. CIGRE WG B4.57. Guide for the Development of Models for the HVDC Converters in a HVDC Grid, Technical Brochure 604. 2014. Available online: <https://e-cigre.org/> (accessed on 13 July 2015).
92. Watson, N.R.; Arrillaga, J. *Power Systems Electromagnetic Transients Simulation*, 2nd ed.; IET: London, UK, 2018. [[Google Scholar](#)]
93. CIGRE WG B4.72. DC Grid Benchmark Models for System Studies, Technical Brochure 804. June 2020. Available online: <https://e-cigre.org/> (accessed on 9 July 2020).
94. CIGRE WG 14.25. Cross-Modulation of Harmonics in HVDC schemes, Technical Brochure 143. 1999. Available online: <https://e-cigre.org/> (accessed on 27 February 2012).
95. Vaid, R.; Das, M.K.; Gole, A.M. A new practical approach to evaluate critical gain for an HVDC based damping controller using wide area measurement system. In *Proceedings of the 15th IET International Conference on AC and DC Power Transmission (ACDC 2019)*, Coventry, UK, 5–7 February 2019; pp. 1–6. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]
96. CIGRE WG B4.58. Control Methodologies for Direct Voltage and Power Flow in a Meshed HVDC Grid, Technical Brochure 699. 2017. Available online: <https://e-cigre.org/> (accessed on 15 November 2017).
97. CIGRE WG B4.60. Designing HVDC Grids for Optimal Reliability and Availability Performance, Technical Brochure 713. 2017. Available online: <https://e-cigre.org/> (accessed on 14 February 2018).
98. Cui, S.; Sul, S.-K. A Comprehensive DC Short-Circuit Fault Ride Through Strategy of Hybrid Modular Multilevel Converters (MMCs) for Overhead Line Transmission. *IEEE Trans. Power Electron.* **2016**, *31*, 7780–7796. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]
99. Trainer, D.R.; Davidson, C.C.; Oates, C.D.M.; Macleoda, N.M.; Critchley, D.R.; Crookes, R.W. A New Hybrid Voltage-Sourced Converter for HVDC Power Transmission, *Proceedings of CIGRE Session, Paris 2010*, Paper B4_111_2010. Available online: <https://e-cigre.org/> (accessed on 17 April 2020).
100. Xu, L.; Andersen, B.R.; Cartwright, P. VSC transmission operating under unbalanced AC conditions- analysis and control design. *IEEE Trans. Power Deliv.* **2005**, *20*, 427–434. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]
101. Ashabani, M.; Freijedo, F.D.; Golestan, S.; Guerrero, J.M. Inducverters: PLL-Less Converters With Auto-Synchronization and Emulated Inertia Capability. *IEEE Trans. Smart Grid* **2016**, *7*, 1660–1674. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]
102. Gierschner, M.; Knaak, H.; Eckel, H. Fixed-reference-frame-control: A novel robust control concept for grid side inverters in HVDC connected weak offshore grids. In *Proceedings of the 16th European Conference on Power Electronics and Applications*, Lappeenranta, Finland, 26–28 August 2014; pp. 1–7. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]
103. Unruh, P.; Nuschke, M.; Strauß, P.; Welck, F. Overview on Grid-Forming Inverter Control Methods. *Energies* **2020**, *13*, 2589. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]
104. IEEE Standards Board. *IEEE Std 1204-1997(R2003): IEEE Guide for Planning DC Links Terminating at AC Locations Having Low Short-Circuit Capacities*; IEEE: New York, NY, USA, 1997; (Reaffirmed 2003). [[Google Scholar](#)]

105. CIGRE WG B4.33. HVDC and FACTS for Distribution Systems, Technical Brochure 280. 2005. Available online: <https://e-cigre.org/> (accessed on 13 July 2015).
106. Sam Nierop and Simon Humperdinck, International comparison of fossil power efficiency and CO2 intensity - Update 2018
107. Richard Baxter, Mustang Prairie Energy, *Energy Storage Financing: Performance Impacts on Project Financing* September, Sandia National Laboratories Albuquerque, New Mexico 87185 and Livermore, California 945502018
108. IRENA 2020, *Electricity Storage Valuation Framework Assessing system value and ensuring project viability*, March 2020
109. *Implementation Appraisal: Energy Efficiency*, Gertrud Malmersjo, EPRS, European Parliament, May 2015
110. Boeke U, Wendt M. DC power grids for buildings. In: 2015 IEEE First International Conference on DC Microgrids (ICDCM). 2015. p. 210–14.
111. Η ευρωπαϊκή πράσινη συμφωνία
112. Xing Luo, Jihong Wang, Mark Dooner, Jonathan Clarke, “Overview of current development in electrical energy storage,” 2014.
113. IEA, “Technology Roadmap,” 2014.
114. A.A. Akhil, G. Huff, A.B. Currier, B.C. Kaun, D.M. Rastler, “Electricity Storage Handbook,” Sandia National Laboratories, 2013.
115. J.I. San Martyn, I. Zamora, J.J. San Martyn V. Aperribay, P. Eguva, “Energy Storage Technologies for Electric Applications,” 2011.
116. B. Bolund, H. Bernhoff, and M. Leijon, Flywheel energy and power storage systems.
117. N. Hiroshima, H. Hatta, M. Koyama, K. Goto, Y. Kogo, Optimization of flywheel rotor made of three-dimensional composites, 2015.
118. J.-F. C. Stephen McCluer, “Comparing Data Center Batteries, Flywheels, and Ultracapacitors,” APC American Power Conversion White Paper #65, Revision 1, 2008-2009.
119. US Department of Energy, “Flywheel Energy Storage,”
120. P. Fairley, Flywheels get their spin back, 2015.
121. EUROBAT’s Industrial Battery Committee, “Battery Energy Storage for Smart Grid Applications,” EUROBAT, 2013.
122. M. Sc. Georg Fuchs, Dipl.-Ing. Benedikt Lunz, Dr. Matthias Leuthold, Prof. Dr.rer. nat. Dirk Uwe Sauer, “Technology Overview on Electricity Storage,” 2012.
123. Ecoult and Energy Storage Solutions, UltraBattery®: The New Dimension in Lead-Acid Battery Technology. Available: <http://www.ecoult.com/technology/ultrabattery/>.
124. IBM Corp, “Lithium-Ion still plagued by serious overheating issues,” 2013, 2013.
125. L. Mitsubishi Heavy Industries, MHI to Introduce Large-capacity Lithium-ion Battery Energy Storage System. Available: <http://www.mhiglobal.com/news/story/1211221593.html>.
126. Haisheng Chen, Thang Ngoc Cong, Wei Yang, Chunqing Tan, Yongliang Li, Yulong Ding, “Progress in electrical energy storage system: A critical review,” National Natural Science Foundation of China and Chinese Academy of Sciences, ScienceDirect, 2008.

127. Zhenguo Yang, Jianlu Zhang, Michael C. W. Kintner-Meyer, Xiaochuan Lu, Daiwon Choi, John P. Lemmon, Jun Liu, "Electrochemical Energy Storage for Green Grid," Pacific Northwest National Laboratory, Richland, Washington 99352, United States, 2010.
128. EnerVault Corporation, ICB Redox Flow battery. Available: www.enervault.com.
129. Energy Storage Association, Zinc-Bromine Flow Batteries. Available: <http://energystorage.org/energy-storage/technologies/zinc-bromine-znbr-flow-batteries>.
130. M. Skyllas-Kazacos, M. H. Chakrabarti, S. A. Hajimolana, F. S. Mjalli and M. Saleem, Progress in Flow Battery Research and Development. Available: <http://jes.ecsdl.org/content/158/8/R55.abstract>.
131. Lynn Margaret Rice, Carbon-based Materials for Energy Storage: A dissertation submitted in partial satisfaction of the requirements for the degree Master of Science in Chemical Engineering. University of California, 2012.
132. Joel Hruska, New supercapacitor technology could store, conduct power on the same copper wires. Available: <http://www.extremetech.com/computing/183839-new-supercapacitor-technology-could-store-conduct-power-on-the-same-copperwires>.
133. A. Arteconi, N. J. Hewitt, and F. Polonara, "Applied Energy. Volume 93: State of the art of thermal storage for demand-side management," Northern Ireland, UK Volume 93, Pages 371-389, May. 2012.
134. L. F. Cabeza, Advances in thermal energy storage systems: Methods and applications.
135. A. Hauer, S. Hiebler, and M. Reu, Wärmespeicher: 5, vollständig überarbeitete Auflage. Available: http://www.bine.info/fileadmin/content/Produkte-im-hop/Buchreihe/Leseprobe_Waermespeicher.pdf.
136. Amiryar, Mustafa E., Pullen, Keith R., 2017. A review of flywheel energy storage system technologies and their applications. *Appl. Sci.* 7, 1–21. <http://dx.doi.org/10.3390/app7030286>, 286.
137. ARUP, 2014. *Five Minute Guide To Electricity Storage Technologies*. ARUP, London, UK, 2014. Available online: <https://www.arup.com/perspectives/publications/research/section/five-minute-guide-to-electricity-storage>.
138. Bueno, C., Carta, J.A., 2006. Wind-powered pumped hydro storage systems, a means of increasing the penetration of renewable energy in the Canary Islands. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 10, 312–340.
139. Bullough, C., Gatzert, J., Koller, M., Nowi, A., Zunft, S., 2004. Advanced adiabatic compressed air energy storage for the integration of wind energy. In: *Proc. Eur. Wind Energy Conf. Vol. 25. EWEC. Nov. 2004*. Available at: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0196890414007018>.
140. Chen, Haisheng, Cong, Thang Ngoc, Yang, Wei, Tan, Chunqing, Li, Yongliang, Ding, Yulong, 2008. Progress in electrical energy storage system: A critical review. *Prog. Nat. Sci.* 19, 291–312. <http://dx.doi.org/10.1016/j.pnsc.2008.07.014>.
141. Cheng, J., Choobineh, F.F., 2017. A comparative study of the storage assisted wind power conversion systems. In: *Proc. 6th Int. Conf. Clean Elect. Power*, pp. 608–613. 2017.
142. Cooper, A., 2016. Advantages and disadvantages of the flywheel energy storage system (FESS). Retrieved on April 21, 2020 from <https://www.ewindfly.net/fessadvantages.html>.

143. Díaz-González, F., Sumper, O., Gomis-Bellmunt, F.D., Bianchi, A., 2013. Energy management of flywheel-based energy storage device for wind power smoothing. *Appl. Energy* 110, 207–219.
144. DTI (Department of Trade and Industry) Report, 2004. *Review of Electrical Energy Storage Technologies and Systems and their Potential for the UK*.
145. Fortune Business Insights, 2019. *Energy and power: Advanced energystorage energy market*. Retrieved on April 21, 2020 from <https://www.fortunebusinessinsights.com/industry-reports/advanced-energystorage-system-market-100817>.
146. Hwang, G., Kim, S., In, D., Lee, D., Ryu, C., 2018. Application of the commercial ion exchange membranes in the all vanadium redox flow battery. *J. Ind. Eng. Chem.* 60, 360–365. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jiec.2017.11.023>.
147. Ibrahim, H., Adrian, Ilinca, 2013. *Techno-economic analysis of different energy storage technologies*. In: Zobia, Ahmed Faheem (Ed.), *Energy Storage*. IntechOpen Limited, 7th floor, 10 Lower Thames Street, London, EC3R 6AF, UK, <http://dx.doi.org/10.5772/52220> (Chapter one).
148. Ibrahim, H., Ilinca, A., Perron, J., 2008a. Energy storage systems, characteristics, and comparisons. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 12 (5), 1221–1250. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2007.01.023>.
149. IRENA (International Renewable Energy Agency), ETSA (Energy Technology System Analysis), 2013. *Thermal energy storage*. Retrieved on April 27, 2020 from https://iea-etsa.org/E-TechDS/PDF/E17IR%20ThEnergy%20Stor_AH_Jan2013_final_GSOK.pdf.
150. Jung, J., 2010. *Storage of Energy in Smart Grids (Armazenamento de Energia Em Smart Grids)*. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brazil, 2010. Available online: <https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/33071/000788113.pdf?se>.
151. Jung, M., Lee, W., Krishan, N.N., Kim, S., Gupta, G., Komsyska, L., 2018. Porous–Nafion/PBI composite membranes and Nafion/PBI blend membranes for vanadium redox flow batteries. *Appl. Surf. Sci.* 450, 301–311. <http://dx.doi.org/10.1016/j.apsusc.2018.04.198>.
152. Khamis, Z.M., Badarudin, Ahmad, A., Rahman, A.A., Hairi, M.H., 2010. Overview of mini-scale compressed air energy storage system. In: *Proc. Int. Power Eng. Optim. Conf.* pp. 458–462, Jun. 2010.
153. Kougiass, Ioannis, Szabó, Sándor, 2017. Pumped hydroelectric storage utilization assessment: Forerunner of renewable energy integration or Trojan horse? *Energy* 140, 318–329. <http://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2017.08.106>, Part 1.
154. Liu, C., Li, F., Ma, L.P., Cheng, H.M., 2010. Advanced materials for energy storage. *Adv. Mater.* 22, E28–E62.
155. Mears, D. Gotschall, Epri-Doe, H., 2003. *Handbook of Energy Storage for Transmission and Distribution Applications*. Electric Power Research Institute Report #1001834, December 2003.
156. Moghadasi, H., Heydari, H., Farhadi, M., 2010. Pareto optimality for the design of SMES solenoid coils verified by a magnetic field analysis. *IEEE Trans. Appl. Supercond.* 21 (1), 13–20, 26, 2010.

157. Mohd, Alaa, Ortjohann, Egon, Schmelter, Andreas, Hamsic, Nedzad, Morton, Danny, 2008. *Challenges in integrating distributed Energy storage systems into a future smart grid*. In: *IEEE International Symposium on Industrial Electronics, June 30–July 2. 2008*.
158. Molina, M.G., 2017. *Energy storage and power electronics technologies: A strong combination to empower the transformation to the smart grid*. *Proc. IEEE* 105 (11), 2191–2219.
159. Multon, B., Ruer, J., *l'électricité, Stocker, 2003. Oui, c'est indispensable, et c'est possible! pourquoi, où, comment? Publication ECRIN en contribution au débat national sur l'énergie, Avril 2003*.
160. Nadeem, F., Hussain, S.M.S., Tiwari, P.K., Goswami, A.K., Ustun, T.S., 2019. *Comparative review of energy storage systems, their roles, and impacts on future power systems in*. *IEEE Access* 7, 4555–4585. <http://dx.doi.org/10.1109/ACCESS.2018.2888497>.
161. Parameshwaran, R., Kalaiselvam, S., Harikrishnan, S., Elayaperumala, A., 2012. *Sustainable thermal energy storage technologies for buildings: A review*. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 16 (5), 2394–2433. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2012.01.058>.
162. Pena-Alzola, R., Sebastian, R., Quesada, J., Colmenar, A., 2011. *Review of the flywheel-based energy storage systems*. In: *2011 International Conference, Power Engineering Energy Electrical Drives. IEEE*, pp. 1–6.
163. Sharma, R.K., Ganesan, V.V., Tyagi, T.M.I., Mahlia, P., Mehrali, M., 2016. *Accelerated thermal cycle and chemical stability testing of Polyethylene glycol (PEG) 6000 for solar thermal energy storage*. *Sol. Energy Mater. Sol. Cells* 151, 235–239. <http://dx.doi.org/10.1016/j.solmat.2015.12.023>.
164. J. Ruddell 24 July 2019 *Flywheel Energy Storage Systems A*. Rutherford Appleton Laboratory,
165. Ding, K., Zhi, J., 2016. *Wind power peak-valley regulation and frequency control technology in large-scale wind power grid integration*. In: *Technological and Regulatory Issues*. pp. 211–232. <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-849895-8.00006-3> (Chapter 6).
166. ANDERSEN, B.R., 2006. *HVDC transmission-opportunities and challenges*. *AC and DC Power Transmission, 2006. ACDC 2006. The 8th IEE International Conference on*, vol., no., pp. 24- 29, 28-31 March 2006.
167. ABB: *HVDC link for asynchronous interconnections [online]*. Available from: <http://www.abb.com/industries/db0003db004333/64dd9a2bc43af1f8c12574810047d841.aspx> [Accessed 20 Jan 2010].
168. CARLSSON, L. *HVDC: A “firewall” against disturbances in high-voltage grids [online]*. Available from: <http://www02.abb.com/global/gad/gad02077.nsf/lupLongContent/EF200FA82E4CD6E0C125706900427AD6> [Accessed 26 Nov 2009].
169. POVH, D., RETZMANN, D., TELTSCH, E., KERIN, U., MIHALIC, R., 2006. *Advantages of Large AC/DC System Interconnections*. CIGRE, 2006.
170. BAHRMAN, M.P. AND JOHNSON, B.K., 2007. *The ABCs of HVDC Transmission Technologies*. *IEEE power & energy magazine*. pp. 32-44.
171. LARRUSKAIN, D.M., ZAMORA, I., MAZON, A.J., ABARRATEGUI, O., MONASTERIO, J. *Transmission and Distribution Networks: AC versus DC*.

172. BAHRMAN, M.P., 2006. OVERVIEW OF HVDC TRANSMISSION. *Power Systems Conference and Exposition, 2006 Atlanta*. pp. 18-23.
173. BAHRMAN, M.P., 2008. HVDC transmission overview. *Transmission and Distribution Conference and Exposition, 21-24 April 2008 Chicago*. pp. 1-7.
174. SCHMIDT, G., FIEGL, B., KOLBECK, S., 1996. HVDC transmission and the environment. *Power Engineering Journal*, 10(5), pp.204-210.
175. LUO, L.F., LI, Y., NAKAMURA, K., KROST, G., LI, J., XU, J.L., LIU, F.S., 2008. Harmonic Characteristics of New HVDC Transmission System Based on New Converter Transformer.
176. ABB: HVDC transmission for lower investment cost [online]. Available from: <http://www.abb.com/industries/db0003db004333/678bb83d3421169dc1257481004a4284.aspx> [Accessed 9 March 2010]
177. ABB: HVDC cable transmissions for long distance water crossing [online]. Available from: <http://www.abb.com/industries/db0003db004333/1720aca1b49de5fac125748100499ca9.aspx> [Accessed 9 March 2010]
178. Sulzberger CL. Triumph of AC - from Pearl Street to Niagara. *IEEE Power Energy Mag* May 2003;99(3):64–7.
179. Sulzberger CL. Triumph of AC. 2. The battle of the currents. *IEEE Power Energy Mag* Jul. 2003;1(4):70–3.
180. Nordman B, Christensen K. DC local power distribution: technology, deployment, and pathways to success. *IEEE Electrif Mag* Jun. 2016;4(2):29–36.
181. Chen Z, Guerrero JM, Blaabjerg F. A review of the state of the art of power electronics for wind turbines. *IEEE Trans Power Electron* Aug. 2009;24(8):1859–75.
182. Blaabjerg F, Liserre M, Ma K. Power electronics converters for wind turbine systems. *IEEE Trans Ind Appl* Mar. 2012;48(2):708–19.
183. Liu J, Tai N, Fan C, Chen S. A hybrid current-limiting circuit for DC line fault in multiterminal VSC-HVDC system. *IEEE Trans Ind Electron* Jul. 2017;64(7):5595–607.
184. Wickramasinghe HR, Konstantinou G, Pou J, Agelidis VG. Interactions between Indirect DC-Voltage estimation and circulating current controllers of MMC-based HVDC transmission systems. *IEEE Trans Power Syst* 2017;PP(99):1.
185. HV Direct Current Transmission System (HVDC). Available from: <https://www.energy.siemens.com/hq/en/power-transmission/hvdc/>.
186. HVDC. Available from: <http://new.abb.com/systems/hvdc>.
187. Uddin S, Shareef H, Mohamed A, Hannan MA, Mohamed K. LEDs as energy efficient lighting systems: A detail review. In: *2011 IEEE Student Conference on Research and Development*. 2011. p. 468–72.
188. Chew SH et al. Design considerations for ELVDC power distribution system integrated directly with DC energy sources for LED lighting in high-rise built environment. In: *2015 IEEE International Telecommunications Energy Conference (INTELEC)*. 2015. p. 1–6.
189. Fregosi D et al. A comparative study of DC and AC microgrids in commercial buildings across different climates and operating profiles. In: *2015 IEEE First International Conference on DC Microgrids (ICDCM)*. 2015. p. 159–64.

190. Manandhar U, Ukil A, Jonathan TKK. *Efficiency comparison of DC and AC microgrid. IEEE Innovative Smart Grid Technol – Asia (ISGT ASIA) 2015;2015:1–6.*
191. Vossos V, Garbesi K, Shen H. *Energy savings from direct-DC in U.S. residential buildings. Energy Build 2014;68(Part A):223–31.*
192. Brenguier J, Vallet M, Vaillant F. *Efficiency gap between AC and DC electrical power distribution system. In: 2016 IEEE/IAS 52nd Industrial and Commercial Power Systems Technical Conference (I CPS). 2016. p. 1–6.*
193. https://www.ge.com/content/dam/gepower-gdp/global/en_US/documents/product/gas-power-systems-product-catalog-2019.pdf