

ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

**Αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας από ανανεώσιμες
πηγές ενέργειας-εφαρμογές στην Κύπρο**



ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΑΛΕΞΑΝΔΡΟΣ ΣΟΦΟΚΛΕΟΥΣ

A.M. : 1675

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ : ΙΩΑΝΝΗΣ ΚΑΤΣΙΓΙΑΝΝΗΣ

ΧΑΝΙΑ 2019

**Αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας από ανανεώσιμες
πηγές ενέργειας-εφαρμογές στην Κύπρο**

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΑΛΕΞΑΝΔΡΟΣ ΣΟΦΟΚΛΕΟΥΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΙΩΑΝΝΗΣ ΚΑΤΣΙΑΓΙΑΝΝΗΣ

Copyright© Αλέξανδρος Σοφοκλέους 2019

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 τους συγγραφείς.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η διπλωματική αυτή εργασία έχει στόχο να δώσει στον αναγνώστη της μια εικόνα των μεθόδων αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας που υπάρχουν σήμερα στα διάφορα συστήματα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές στην Κύπρο.

Πιο συγκεκριμένα στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται μια αναφορά στους λόγους που επιβάλλουν την αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας και την γενική ενεργειακή εικόνα σε παγκόσμιο και ελληνικό επίπεδο. Παρουσιάζονται οι διατάξεις ενεργειακής αποθήκευσης και αναφέρονται λεπτομερώς τα τεχνικά και οικονομικά χαρακτηριστικά που αποτελούν μια διάταξη.

Στο δεύτερο κεφάλαιο παρουσιάζονται οι σημαντικότερες μορφές ανανεώσιμων πηγών ενέργειας που παίζουν το σημαντικότερο ρόλο στην παραγωγή, αποθήκευση και διανομή της ηλεκτρικής ενέργειας. Οι μορφές αυτές είναι η αιολική, ηλιακή και υδροηλεκτρική ενέργεια.

Το κεφάλαιο τρία αναφέρεται στις διατάξεις μακροπρόθεσμης ενεργειακής αποθήκευσης αρχίζοντας με μια εισαγωγή στη πιο διαδεδομένη μορφή αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας σε χημική μορφή – τεχνολογία μπαταριών. Παρουσιάζονται και αναλύονται λεπτομερώς τα είδη μπαταριών. Περισσότερη έμφαση και ενδιαφέρον δίνεται στις μπαταρίες ροής (Flow Batteries), νέας γενιάς συσσωρευτών υψηλής ενεργειακής αποθήκευσης. Στη συνέχεια του κεφαλαίου περιγράφεται και αναλύεται το σύστημα αντλησιοταμίευσης που βρίσκει εφαρμογή στους υδροηλεκτρικούς παραγωγικούς σταθμούς ενέργειας, τα συστήματα ενεργειακής αποθήκευσης συμπιεσμένου αέρα και το κεφάλαιο τελειώνει με μια μεγάλη εκτεταμένη αναφορά στα συστήματα κυψελών καυσίμου (fuelcell) που παρουσιάζουν εξαιρετικό ενδιαφέρον.

Το τέταρτο κεφάλαιο τέσσερα αναφερόμαστε στις διατάξεις βραχυπρόθεσμης ενεργειακής αποθήκευσης, όπου στην κατηγορία αυτή ανήκουν οι σφόνδυλοι, οι εξελιγμένοι ηλεκτροχημικοί πυκνωτές (υπερπυκνωτές) και τα συστήματα υπεραγώγιμης μαγνητικής ενεργειακής αποθήκευσης.

ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ

Ενεργειακή αποθήκευση, αιολική ενέργεια, ηλιακή ενέργεια, υδροηλεκτρική ενέργεια, μπαταρίες μολύβδου, αλκαλικές μπαταρίες, μπαταρίες λιθίου, μπαταρίες νατρίου – θείου, μπαταρίες ροής, redox VRB, μπαταρίες μετάλλου – αέρα, συστήματα αντλησιοταμίευσης, συστήματα ενεργειακής αποθήκευσης συμπιεσμένου αέρα, κυψέλες καυσίμων, fuel cell, Αλκαλική κυψέλη καυσίμου (Alkaline Fuel Cell-AFC), Κυψέλη καυσίμου μεμβράνης ανταλλαγής πρωτονίων (Proton Exchange Membrane PEMFC), Κυψέλη καυσίμου φωσφορικού οξέος (Phosphoric Acid Fuel Cell-PAFC), Κυψέλη καυσίμου τήγματος ανθρακικών αλάτων (Molten Carbonate Fuel Cell-MCFC), Κυψέλη καυσίμου στερεών οξειδίων (Solid Oxide Fuel Cell-SOFC),Κυψέλη καυσίμου μεθανόλης (direct methanol fuel cells, DMFC),σφόνδυλοι, υπερπυκνωτές, υπεραγώγιμη μαγνητική ενεργειακή αποθήκευση.

ABSTRACT

This thesis aims to give to the reader a picture of the electric energy storage methods that currently exist in various systems of production of electric energy from renewable sources in Cyprus.

More concretely in the first chapter a report is implemented for the reasons that impose the electric energy storage, as well as a general energy picture in international and Greek level. Moreover, the provisions of energy storage are presented and reported, and the technical and economical characteristics that constitute a provision are referred.

In the second chapter, the more important technologies of renewable energy sources are presented that play an important role in the production, storage and distribution of electric energy. These technologies are based on wind, solar and hydroelectric energy.

Chapter three is reported in the provisions of long-term energy storage beginning with an introduction in the most widespread form of storage of electric energy, the chemical form - technology of batteries. The main types of batteries are presented and analyzed in detail. More emphasis is given in flow batteries, a new generation of accumulators of high energy storage. Moreover, in this chapter is described and analyzed the system of pumped storage, which finds application in the hydroelectric productive stations of energy. Finally, compressed air energy storage systems and fuel cell systems are presented.

Chapter four reports the provisions of short-term energy storage. In this category belong the flywheels, the evolved electrochemical capacitors (super capacitors) and the systems of superconducting magnetic energy storage.

KEYWORDS

Energy storage, wind energy, solar energy, hydroelectric energy, lead acid batteries, alkaline batteries, lithium batteries, sodium - sulphur batteries, flow batteries, vanadium redox batteries (VRB), metal – air batteries, pumped storage systems, storage systems of compressed air, fuel cells, Alkaline fuel cell (AFC), Proton Exchange Membrane Fuel Cell (PEMFC), Phosphoric Acid Fuel Cell (PAFC), Molten Carbonate Fuel Cell (MCFC), Solid Oxide Fuel Cell (SOFC), Direct Methanol Fuel Cells (DMFC), flywheels, electrochemical capacitors (super capacitors), superconducting magnetic energy storage.

| <u>ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ</u> | ΣΕΛ. |
|---|-------------|
| <u>ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΡΩΤΟ</u>– Εισαγωγή στις τεχνολογίες αποθήκευσης..... | 12 |
| 1.1 Παγκόσμιο ενεργειακό τοπίο..... | 12 |
| 1.2. Ενεργειακό σύστημα στην Κύπρο: βασικά χαρακτηριστικά..... | 14 |
| 1.2.1. Ενεργειακή πολιτική της Κύπρου..... | 14 |
| 1.2.2. Νομοθεσία για ΑΠΕ στην Κύπρο και εξοικονόμηση ενέργειας..... | 14 |
| 1.2.3. Κύριες προτεραιότητες της ενεργειακής πολιτικής της Κύπρου..... | 15 |
| 1.2.4. Εμπλοκή της Τοπικής Αυτοδιοίκησης της Κύπρου στην ενεργειακή πολιτική..... | 17 |
| 1.2.5. Πρόοδος επίτευξης των ενεργειακών στόχων στην Κύπρο..... | 18 |
| 1.3 Η ανάγκη της ενεργειακής αποθήκευσης..... | 18 |
| 1.4 Διατάξεις ενεργειακής αποθήκευσης | 22 |
| 1.5 Τεχνικά και οικονομικά χαρακτηριστικά διατάξεων ενεργειακής αποθήκευσης..... | 25 |
| 1.6 Σκοπός εργασίας..... | 29 |
| 1.7 Δομή εργασίας | 29 |
| <u>ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΥΤΕΡΟ</u>- Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας..... | 31 |
| 2.1 Εισαγωγή..... | 31 |
| 2.2 Αιολική ενέργεια..... | 32 |
| 2.2.1. Εισαγωγή | 32 |
| 2.2.2. Πλεονεκτήματα αιολικής ενέργειας..... | 35 |
| 2.2.3. Μειονεκτήματα αιολικής ενέργειας | 36 |
| 2.2.4 Ανεμογεννήτριες | 36 |
| 2.2.5 Τύποι ανεμογεννητριών | 39 |
| 2.2.6. Εφαρμογή στην Κύπρο..... | 41 |
| 2.3 Ηλιακή ενέργεια | 42 |

| | |
|---|----|
| 2.3.1. Πλεονεκτήματα | 42 |
| 2.3.2. Μειονεκτήματα..... | 43 |
| 2.3.3. Θερμικές εφαρμογές..... | 43 |
| 2.3.4. Ηλεκτρικές εφαρμογές | 45 |
| 2.3.5. Δομή φωτοβολταϊκού συστήματος | 48 |
| 2.3.5.1 Πλεονεκτήματα φωτοβολταϊκών | 49 |
| 2.3.5.2 Μειονεκτήματα φωτοβολταϊκών | 50 |
| 2.3.6. Εφαρμογή στην Κύπρο | 50 |
| 2.4 Υδροηλεκτρική ενέργεια | 51 |
| 2.4.1 Περιγραφή της τεχνολογίας και λειτουργίας της..... | 51 |
| 2.4.2 Περιγραφή υδραυλική ενέργεια σε μηχανική ενέργεια | 54 |
| 2.4.3 Μειονεκτήματα | 55 |
| 2.4.4 Πλεονεκτήματα..... | 55 |
| 2. 5 Υβριδικά συστήματα | 56 |

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΡΙΤΟ – Διατάξεις Μακροπρόθεσμης Ενεργειακής Αποθήκευση.....59

| | |
|--|----|
| 3.1 Εισαγωγή - αποθήκευση ενέργειας σε χημική μορφή – τεχνολογία μπαταριών..... | 59 |
| 3.1.1 Μπαταρίες μολύβδου - οξέος | 60 |
| 3.1.2 Αλκαλικές μπαταρίες | 63 |
| 3.1.3 Μπαταρίες ψευδαργύρου/βρωμιδίου..... | 65 |
| 3.1.3.1 Μπαταρίες λιθίου (Lithium Batteries)..... | 66 |
| 3.1.3.2 Μπαταρίες νατρίου - θείου (Sodium Sulphur Batteries, NaS)..... | 67 |
| 3.1.3.3 Μπαταρίες ροής (Flow Batteries)..... | 69 |

| | |
|--|-----|
| 3.1.3.3.1 Τεχνικά πλεονεκτήματα των VRB | 74 |
| 3.1.3.3.2 Προοπτικές χρήσης συσσωρευτών βαναδίου σε συστήματα ηλεκτροκίνησης | 75 |
| 3.1.4 Μπαταρίες μετάλλου - αέρα (Metal Air Batteries) | 79 |
| 3.1.5 Σύγκριση των διαφόρων τύπων μπαταριών | 80 |
| 3.2 Συστήματα Αντλησιοταμίευσης. | 83 |
| 3.2.1 Περιγραφή συστήματος αντλησιοταμίευσης | 84 |
| 3.2.1.1 Μονή σωλήνωση | 84 |
| 3.2.1.2 Διπλή σωλήνωση..... | 85 |
| 3.2.2 Λειτουργία συστήματος αντλησιοταμίευσης | 86 |
| 3.3 Συστήματα ενεργειακής αποθήκευσης συμπιεσμένου αέρα (compressed air energy storage, CAES)..... | 88 |
| 3.3.1 Εισαγωγή | 88 |
| 3.3.2 Περιγραφή συστήματος ενεργειακής αποθήκευσης συμπιεσμένου αέρα (ΕΑΣΑ)..... | 89 |
| 3.3.3 Λειτουργία συστήματος ενεργειακής αποθήκευσης συμπιεσμένου αέρα ... | 89 |
| 3.3.4 Υπόγειοι ταμιευτήρες | 90 |
| 3.3.5 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα συστημάτων ΕΑΣΑ - Εφαρμογές | 92 |
| 3.4 Κυψέλες καυσίμου (Fuel Cells) | 96 |
| 3.4.1 Εισαγωγή | 96 |
| 3.4.2 Αρχή λειτουργίας κυψέλης καυσίμου | 97 |
| 3.4.3 Τύποι κυψελών καυσίμου | 99 |
| 3.4.3.1 Αλκαλικές κυψέλες καυσίμου (AFC) | 100 |
| 3.4.3.2 Κυψέλες καυσίμου μεμβράνης πολυμερών ή μεμβράνης | |

| | |
|---|------------|
| ανταλλαγής πρωτονίων (PEMFC) | 101 |
| 3.4.3.3 Κυψέλες καυσίμου φωσφορικού οξέος (PAFC) | 101 |
| 3.4.3.4 Κυψέλες καυσίμου τηγμένου ανθρακικού άλατος (MCFC) | 102 |
| 3.4.3.5 Κυψέλες καυσίμου στερεού οξειδίου (SOFC) | 102 |
| 3.4.3.6 Κυψέλες καυσίμου μεθανόλης (DMFC) | 103 |
| 3.4.4. Πλεονεκτήματα μηχανών εσωτερικής καύσης | 105 |
| 3.4.5. Πλεονεκτήματα έναντι των συσσωρευτών | 107 |
| 3.4.6 Μειονεκτήματα των κυψελών καυσίμου | 108 |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΕΤΑΡΤΟ Διατάξεις βραχυπρόθεσμης ενεργειακής αποθήκευσης..... | 109 |
| 4.1 Σφόνδυλοι..... | 109 |
| 4.2 Εξελιγμένοι ηλεκτροχημικοί πυκνωτές – Υπερπυκνωτές | 114 |
| 4.3 Υπεραγώγιμη μαγνητική ενεργειακή αποθήκευση | 119 |
| 4.4 Συνοπτικά αποτελέσματα | 123 |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΕΜΠΤΟ Συμπεράσματα | 125 |
| ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ | 127 |
| ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ..... | 133 |

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΡΩΤΟ

Εισαγωγή στις τεχνολογίες αποθήκευσης

1.1 Παγκόσμιο ενεργειακό τοπίο

Η ενέργεια και ειδικότερα η ηλεκτρική ενέργεια, αποτελεί τη βάση της οικονομίας και της σύγχρονης διαβίωσης. Σε αυτήν στηρίζονται η βιομηχανία, η επιστημονική έρευνα, οι τηλεπικοινωνίες, ο τομέας των υπηρεσιών, η θέρμανση και ο κλιματισμός των κατοικιών και των άλλων χώρων. Η βιωσιμότητα στην παραγωγή και την κατανάλωση ενέργειας είναι επομένως ένα από τα κρισιμότερα προβλήματα κάθε χώρας όσον αφορά στην οικονομική της ανάπτυξη και τη βελτίωση του επιπέδου ζωής των κατοίκων της. Ως αποτέλεσμα, η ενεργειακή πολιτική, η οποία περιλαμβάνει συνοπτικά την εξασφάλιση, την εξοικονόμηση και τη διάθεση της ενέργειας, να αποτελεί πρώτιστο μέλημα των Κυβερνήσεων και των Παγκόσμιων Οργανισμών.

Ωστόσο, η σημερινή διαχείριση της ενέργειας κάθε άλλο παρά βιώσιμη είναι. Τα ορυκτά καύσιμα (πετρέλαιο, γαιάνθρακες, φυσικό αέριο) δεν είναι ανανεώσιμα, αλλά αναλώσιμα. Παράλληλα, η καύση των ορυκτών καυσίμων έχει ως αποτέλεσμα την εκπομπή του διοξειδίου του άνθρακα και συνακόλουθα τη μεταβολή της σύνθεσης της ατμόσφαιρας και του κλίματος. Αντιθέτως, χρόνο με το χρόνο η κατανάλωση της ενέργειας αυξάνεται εκρηκτικά, λόγω του καταναλωτικού μοντέλου που ακολουθούν οι ανεπτυγμένες χώρες.

Σύμφωνα με τις εκτιμήσεις του Αμερικανικού Υπουργείου Ενέργειας (Department of Energy), ο σημερινός ρυθμός με τον οποίο παράγεται και καταναλώνεται ενέργεια σε παγκόσμια κλίμακα επίπεδο είναι 13 TW, ενώ με βάση το σημερινό ρυθμό αύξησης των αναγκών προβλέπεται να φθάσει τα 25-30 TW το 2050 και τα 40-50 TW το 2100. Λαμβάνοντας υπόψη τη διαθεσιμότητα των καυσίμων στο μέλλον, έχει εκτιμηθεί ότι θα υπάρχει ενεργειακό έλλειμμα 14 TW το 2050 (μεγαλύτερο του σημερινού συνολικού ρυθμού παραγωγής) και 33 TW το 2100. Προφανώς τα ελλείμματα αυτά είναι εικονικά και στην πραγματικότητα η κατανάλωση ενέργειας δεν μπορεί παρά να προσαρμοστεί στη διαθεσιμότητα/παραγωγή. Εντούτοις, οι αριθμοί

αυτοί είναι ενδεικτικοί του μεγέθους του προβλήματος και σηματοδοτούν την ανάγκη αλλαγής του σημερινού μοντέλου ζωής, αλλά και ειδικότερα του ενεργειακού τοπίου.

Η υποκατάσταση μορφών ενέργειας βασισμένων σε ορυκτά καύσιμα με Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ) αποτελεί μοναδική μακροπρόθεσμη απάντηση στην πορεία προς τη βιώσιμη διαχείριση της ενέργειας. Το ενδιαφέρον για την ευρύτερη αξιοποίηση των ΑΠΕ, καθώς και για την ανάπτυξη αξιόπιστων και οικονομικά αποδοτικών τεχνολογιών που δεσμεύουν το δυναμικό τους, παρουσιάστηκε αρχικά μετά την πρώτη πετρελαϊκή κρίση του 1979 και παγιώθηκε την επόμενη δεκαετία, μετά τη συνειδητοποίηση των παγκόσμιων περιβαλλοντικών προβλημάτων. Αναφέρουμε επιγραμματικά ορισμένα οφέλη που προκύπτουν από την εκμετάλλευση των ΑΠΕ:

- Είναι πρακτικά ανεξάντλητες πηγές.
- Είναι εγχώριες πηγές ενέργειας και συνεισφέρουν στην ενίσχυση της ενεργειακής αυτάρκειας και της ασφάλειας του ενεργειακού εφοδιασμού σε τοπικό, περιφερειακό και εθνικό επίπεδο.
- Συμβάλλουν στην απεξάρτηση από τα ορυκτά καύσιμα.
- Έχουν χαμηλό λειτουργικό κόστος και σχετικά μικρή διάρκεια κατασκευής.
- Είναι φιλικές προς το περιβάλλον και τον άνθρωπο.
- Συμβάλλουν στη δημιουργία θέσεων εργασίας.

Η Ευρωπαϊκή Ένωση έχει αναλάβει σοβαρές πρωτοβουλίες για την προώθηση των τεχνολογιών των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας.

1.2. Ενεργειακό σύστημα στην Κύπρο: βασικά χαρακτηριστικά

1.2.1. Ενεργειακή πολιτική της Κύπρου.

Η Κύπρος είναι ένα νησιώτικο και ενεργειακά απομονωμένο κράτος και αποτελεί κράτος

μέλος της Ευρωπαϊκής Ένωσης από το 2004. Ο πληθυσμός της Κύπρου είναι περίπου 940.100 κάτοικοι. Η τουριστική βιομηχανία η οποία αποτελεί κύρια δραστηριότητα προσδίδει επιπρόσθετη ενεργειακή ζήτηση ιδιαίτερα τους θερινούς μήνες όπου ο πληθυσμός λόγω του αριθμού των επισκεπτών τριπλασιάζεται. Η Κύπρος έχει υψηλό ηλιακό δυναμικό με 9,8 έως 14,5 ώρες μέση ημερήσια ηλιοφάνεια. Ωστόσο, από ενεργειακής πλευράς παρουσιάζει κάποιες ιδιαιτερότητες. Αρχικά, αποτελεί απομονωμένο ενεργειακό σύστημα αφού στο παρόν στάδιο δεν υπάρχουν διασυνδέσεις ηλεκτρισμού με άλλες χώρες και λαμβάνοντας υπόψη ότι είναι σχετικά μικρή αγορά, το κόστος μεταφοράς εξοπλισμού είναι μεγαλύτερο. Το κόστος ενεργειακού εφοδιασμού είναι υψηλό ενώ η ασφάλεια μειωμένη. Επιπρόσθετα, υπάρχει μεγάλη εξάρτηση από εισαγωγές προϊόντων πετρελαίου. Παρατηρούνται εποχιακές διακυμάνσεις της ενεργειακής ζήτησης και οριακή λειτουργία του συστήματος παραγωγής ηλεκτρισμού ιδιαίτερα κατά τους καλοκαιρινούς μήνες λόγω της αυξημένης χρήσης κλιματιστικών.

1.2.2. Νομοθεσία για ΑΠΕ στην Κύπρο και εξοικονόμηση ενέργειας.

Σύμφωνα με την οδηγία 2001/77/ΕΕ όλα τα κράτη μέλη θέσπισαν εθνικούς στόχους όσο αφορά την κατανάλωση ηλεκτρισμού που παράγεται από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Για την Κύπρο, στο πλαίσιο της εφαρμογής της οδηγίας 2001/77/ΕΕ έχει τεθεί ως στόχος η παραγωγή 6% της ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ κατά το 2010.

Έτσι θεσπίστηκε ο εθνικός νόμος Ν.33(Ι)/2003 για την εναρμόνιση της Κυπριακής Δημοκρατίας με την Ευρωπαϊκή Οδηγία, ο νόμος, δηλαδή, περί προώθησης και ενθάρρυνσης της χρήσης ΑΠΕ και της εξοικονόμησης ενέργειας. Ο προαναφερθέντας νόμος περιλάμβανε πρόνοιες για την καθίδρυση του ειδικού για την προώθηση ΑΠΕ ή εξοικονόμηση ενέργειας. Το ειδικό ταμείο χρηματοδοτεί ή επιδοτεί την παραγωγή ή αγορά ενέργειας από ΑΠΕ, τις εγκαταστάσεις, εξοπλισμού και λοιπές δραστηριότητες Εξοικονόμησης Ενέργειας (ΕΞΕ) καθώς και προγράμματα προώθησης ΑΠΕ, ΕΞΕ και συμπαραγωγής θερμότητας-ηλεκτρισμού και διαφώτισης του κοινού. Εξιοσημείωτο είναι ότι οι πόροι του ειδικού ταμείου προέρχονται από την επιβολή τέλους κατανάλωσης, κυβερνητικές χορηγίες, όπως επίσης και τόκους και επενδύσεις του

ταμείου. Παράλληλα, ο πιο πάνω εθνικός νόμος περιλάμβανε πρόνοιες για την καθίδρυση επιτροπής για τη διαχείριση του ειδικού ταμείου, καθορίζονται οι εξουσίες επιτροπής και καθήκοντα της επιτροπής δειχείρισης του ειδικού ταμείου.

Ωστόσο, παρουσιάζονται δυο τροποποιητικές διατάξεις το 2004 και 2005. Για σκοπούς πλήρης εναρμόνισης με τα άρθρα 2 και 5 της οδηγίας 2001/77/ΕΚ, καταρτίστηκε τροποποιητικός νόμος, ο λεγόμενος Ν.162(Ι)/2006. Στον νόμο αυτό αναφέρεται η ρύθμιση της πιστοποίησης ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από ΑΠΕ, τον ορισμό της "εγγύησης προέλευσης" και τη λήψη μέτρων ώστε να διασφαλίζεται η προτεραιότητα πρόσβασης της ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ στο δίκτυο.

Σημαντική είναι να αναφερθεί και η Οδηγία για την Ενεργειακή Απόδοση (2012/27/ΕΕ) στην οποία καθορίζεται συσσωρευτικός στόχος εξοικονόμησης ενέργειας για την περίοδο 2014-2020.

1.2.3. Κύριες προτεραιότητες της ενεργειακής πολιτικής της Κύπρου

Οι κύριες προτεραιότητες της ενεργειακής πολιτικής της Κύπρου είναι η διασφάλιση της ασφαλούς ενεργειακής τροφοδοσίας της ενεργειακής αγοράς με υψηλής ποιότητας προϊόντα σε προσιτές τιμές, η απελευθέρωση των αγορών ενέργειας και ανάπτυξη της ανταγωνιστικότητας, η εξοικονόμηση ενέργειας και ορθολογική χρήση της καθώς και η προστασία του περιβάλλοντος και αειφόρος ανάπτυξη.

Αρχικά, η διασφάλιση της ασφαλούς ενεργειακής τροφοδοσίας της ενεργειακής αγοράς με υψηλής ποιότητας προϊόντα σε προσιτές τιμές είναι μια από τις κύριες προτεραιότητες της ενεργειακής πολιτικής της Κύπρου. Αυτό μπορεί να γίνει κατορθωτό μέσω της εισαγωγής του φυσικού αερίου στο ενεργειακό μείγμα της χώρας ούτως ώστε να είναι φιλικότερο προς το περιβάλλον και τη μείωση της εξάρτησης της χώρας από πετρελαϊκά προϊόντα. Επιπλέον, η διασφάλιση της ενεργειακής τροφοδοσίας μέσω της εξοικονόμησης ενέργειας σε πρωτογενή μορφή αλλά και στην τελική χρήση καθώς και η μεγιστοποίηση της αποτελεσματικής αξιοποίησης των

εγχωρίων πόρων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας είναι άλλοι δύο παράγοντες. Με βάση το Εθνικό Σχέδιο Δράσης για την προώθηση των ΑΠΕ η Κύπρος έχει θέσει στόχους ηλεκτροπαραγωγής από ΑΠΕ 6% και συνολικής συνεισφοράς των ΑΠΕ στο ενεργειακό ισοζύγιο 9%.

Δεύτερον, άλλη μια προτεραιότητα της ενεργειακής πολιτικής της Κύπρου είναι η απελευθέρωση των αγορών ενέργειας και ανάπτυξη της ανταγωνιστικότητας. Από την 1^η Μαΐου 2004 υπήρξε μερική απελευθέρωση της αγοράς ηλεκτρισμού και συγκεκριμένα 35% στον ελεύθερο ανταγωνισμό ενώ την 1^η Ιανουαρίου 2009 απελευθερώθηκε η αγορά ηλεκτρικής ενέργειας για όλους τους οικιακούς καταναλωτές περίπου στο 65%. Από την 1^η Ιανουαρίου 2014 απελευθερώθηκε ολόκληρη η αγορά ηλεκτρικής ενέργειας. Επίσης, προτεραιότητα είναι η ανάπτυξη ενεργειακών υποδομών όπως για παράδειγμα το Ενεργειακό Κέντρο Βασιλικού, η αποτελεσματική ανάπτυξη των υποδομών του ηλεκτρικού δικτύου και μονάδων ΑΠΕ, βάση χωροταξικού σχεδιασμού, η απλοποίηση αδειοδοτικών διαδικασιών και η δυνατότητα σύνδεσης αποκεντρωμένης ηλεκτροπαραγωγής.

Τρίτον, η εξοικονόμηση ενέργειας καθώς και η ορθολογική χρήση της ως προτεραιότητα της ενεργειακής πολιτικής του νησιού μέσω της υιοθέτησης μηχανισμών παροχής οικονομικών κινήτρων για αποδοτική χρήση της ενέργειας και εξοικονόμηση ενέργειας και εκστρατείες ενημέρωσης. Υιοθετήθηκε το Σχέδιο Δράσης για την Ενεργειακή Απόδοση το οποίο πρόβλεπε 9% εξοικονόμηση μέχρι το 2016.

Τέταρτο και τελευταίο, βασικός στόχος της ενεργειακής πολιτικής είναι η προστασία του περιβάλλοντος και αειφόρος ανάπτυξη. Αυτό είναι κατορθωτό μέσω της προώθησης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στην παραγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας, η υποκατάσταση καυσίμων μεταφορών με ποσοστό βιοκαυσίμων και η προώθηση χρήσης φυσικού αερίου στα μέσα δημόσιας μεταφοράς.

Παράλληλα, στο 3^ο Εθνικό Σχέδιο Δράσης Ενεργειακής Απόδοσης (ΕΣΔΕΑ) Κύπρου, η Κύπρος υιοθέτησε ως στόχο, προς συμμόρφωση με το άρθρο της Οδηγίας 2012/27/ΕΕ, την εξοικονόμηση ενέργειας για την περίοδο 2014-2020 που ισοδυναμεί με

ετήσια εξοικονόμηση 15% του μέσου όρου των συνολικών κατά όγκο πωλήσεων των διανομικών ενέργειας ή εταιρειών λιανικής πώλησης ενέργειας στους τελικούς καταναλωτές των ετών 2010, 2011, 2012.

1.2.4. Εμπλοκή της Τοπικής Αυτοδιοίκησης της Κύπρου στην ενεργειακή πολιτική

Η εμπλοκή της Τοπικής Αυτοδιοίκησης όσο αφορά την ενεργειακή πολιτική είναι περιορισμένη. Συγκεκριμένα, η Ένωση Κοινοτήτων Κύπρου έχει αναλάβει πρωτοβουλία για την ίδρυση και λειτουργία του Ενεργειακού Γραφείου Κύπρου συγχρηματοδοτώντας με 25% του συνολικού κόστους ενώ το υπόλοιπο 75% είναι συγχρηματοδότηση από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή στα πλαίσια του προγράμματος Intelligent Energy-Europe.

Παρουσιάστηκαν, επιπλέον, πρωτοβουλίες Δήμων για συμμετοχή σε συγχρηματοδοτικά προγράμματα. Αξιοσημείωτες ήταν οι πρωτοβουλία που έλαβαν ο Δήμος Γεροσκήπου στη Πάφο και ο Δήμος Λατσιών στην Λευκωσία. Συγκεκριμένα, ο Δήμος Γεροσκήπου μέσω του προγράμματος Interreg IIIA Ελλάδα-Κύπρος εγκατέστησε στους χώρους του Ολυμπιακού κολυμβητηρίου Γεροσκήπου μονάδα αξιοποίησης ομαλής γεωθερμίας. Παράλληλα, ο Δήμος Λατσιών συμμετείχε στην υλοποίηση του έργου "Ανάπτυξη Δικτύου Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας μεταξύ των συνόρων Ελλάδας και Κύπρου" (Interreg IIIA "Ελλάδα-Κύπρος").

Μεμονωμένοι Δήμοι έχουν προχωρήσει στην εφαρμογή συστημάτων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και εξοικονόμησης ενέργειας, ειδικότερα στην εγκατάσταση φωτοβολταϊκών σε κοινοτικά κτίρια και σχολεία.

1.2.5. Πρόοδος επίτευξης των ενεργειακών στόχων στην Κύπρο

Με την πάροδο των ετών παρουσιάζεται σταθερή επίτευξη των ενεργειακών στόχων που έθεσε η Κύπρος. Σημαντική ήταν η κατασκευή ενεργειακού κέντρου στο Βασιλικό

και η πρόοδος στην προώθηση ΑΠΕ και εξοικονόμησης ενέργειας. Συγκεκριμένα, το 2007 η συνεισφορά ΑΠΕ στην τελική κατανάλωση ενέργειας έφτασε το 2,38% ενώ η παραγωγή ηλεκτρισμού περιορίστηκε στο 0,08%, γεγονός που οφείλεται στην χρήση φωτοβολταϊκών συστημάτων και την αξιοποίηση της βιομάζας. Το 2008 η συνεισφορά των ΑΠΕ στην τελική κατανάλωση ενέργειας έφτασε το 2,4% ενώ παράλληλα παρουσιάστηκε αύξηση 0,2% της συνολικής κατανάλωσης ηλεκτρισμού για ηλεκτροπαραγωγή.

Κατά την τριετία 2010-2012 υπήρξε αισθητή μείωση στην κατανάλωση ενέργειας και κατανάλωση ηλεκτρισμού. Ωστόσο η μείωση αυτή που παρατηρείται το 2012 οφείλεται σε μεγάλο ποσοστό στην ενεργειακή κρίση που προέκυψε στην Κύπρο.

Σύμφωνα με τον Υπουργό Γεωργίας, Αγροτικής Ανάπτυξης και Περιβάλλοντος Νίκο Κουγιάλλη, στο Υψηλού Επιπέδου Πολιτικό Φόρουμ στη Ν. Υόρκη στα πλαίσια της εφαρμογής της Ατζέντας 2030 των Ηνωμένων Εθνών στις 19 Ιουλίου 2017, υλοποιήθηκε μεγάλος αριθμός στόχων της Αειφόρου Ανάπτυξης από πλευράς της Κύπρου.

Παράλληλα έχουν εφαρμοστεί σχέδια χορηγιών και επιδοτήσεων για την προώθηση ΑΠΕ και της εξοικονόμησης ενέργειας.

1.3 Η ανάγκη της ενεργειακής αποθήκευσης

Όπως προαναφέρθηκε οι ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ) αποτελούν έναν συνεχώς εξελισσόμενο κλάδο που αποτελεί το παρόν και το μέλλον στην ηλεκτροπαραγωγή. Η σκέψη αυτή ενισχύεται από τα μετεωρολογικά χαρακτηριστικά της χώρας μας, όπου οι ανανεώσιμες πηγές (άνεμος και ιδιαίτερα η ηλιακή ακτινοβολία) είναι άφθονες και καθιστούν την εκμετάλλευσή τους ιδιαίτερα επικερδή σε πολλούς τομείς.

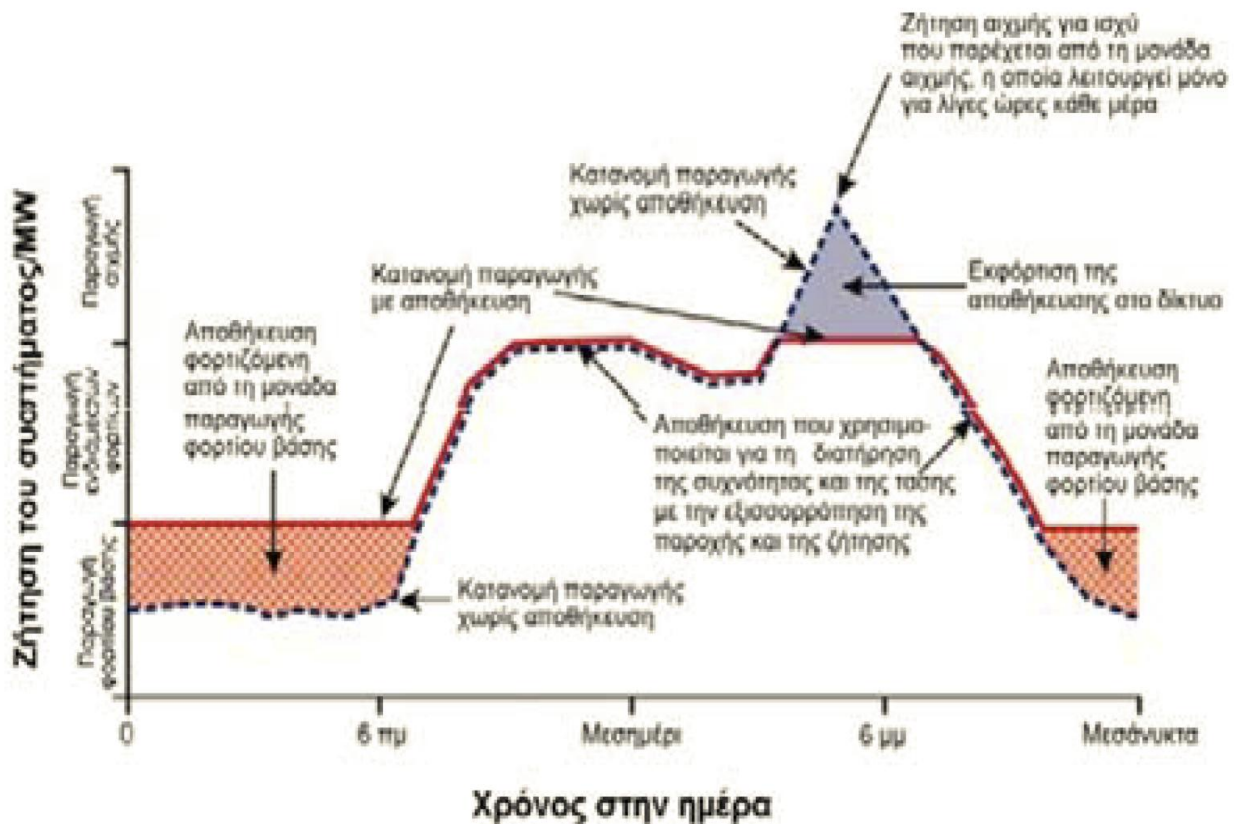
Ωστόσο, η ενέργεια που παράγεται από τις διατάξεις των ΑΠΕ, όπως είναι τα φωτοβολταϊκά στοιχεία και οι ανεμογεννήτριες, κυμαίνεται σημαντικά σε ημερήσια, ωριαία και εποχιακή βάση λόγω της μεταβολής στη διαθεσιμότητα του ήλιου, του ανέμου και των άλλων ανανεώσιμων πηγών. Κατά συνέπεια, οι ανανεώσιμες μορφές ενέργειας έχουν το μειονέκτημα της χρονικής αναντιστοιχίας της παραγωγής (προσφοράς), η οποία δεν επιδέχεται ανθρώπινο έλεγχο, με την κατανάλωση (ζήτηση) ενέργειας. Η αναντιστοιχία αυτή σημαίνει ότι η ενέργεια μερικές φορές δεν είναι διαθέσιμη όταν απαιτείται, ενώ σε άλλες περιπτώσεις υπάρχει πλεόνασμα ενέργειας. Δημιουργείται επομένως, η ανάγκη τη ενσωμάτωσης της ενεργειακής αποθήκευσης στα συστήματα παράγωγης της ΑΠΕ, είτε στις αυτόνομες είτε στις διασυνδεδεμένες στο δίκτυο εγκαταστάσεις. Η ανάγκη της αποθήκευσης υπήρχε και παλαιότερα, επειδή οι θερμικές μονάδες δεν είναι ευέλικτες και κατά περιόδους (τη νύχτα) η ενέργεια που παράγουν είναι μεγαλύτερη της ζήτησης. Εντούτοις, η ανάγκη αυτή θα μεγαλώσει στο μέλλον σημαντικά, λόγω της μεγαλύτερης συμμετοχής των ΑΠΕ.

Ωστόσο η αιολική ενέργεια είναι η πιο ελπιδοφόρα ανανεώσιμη πηγή ενέργειας για την ηλεκτροπαραγωγή. Η παραγόμενη όμως ενέργεια από τις αιολικές μηχανές εμφανίζει έντονες διακυμάνσεις, δεδομένου ότι βασίζεται σε μη προβλέψιμα μετεωρολογικά δεδομένα (π.χ. ταχύτητα ανέμου). Επομένως, σε τέτοια συστήματα η μονάδα αποθήκευσης είναι σημαντική για την αποθήκευση της ηλεκτρικής ενέργειας και τη χρησιμοποίησή της όταν υφίσταται έλλειμμα από ΑΠΕ (π.χ. σε περίπτωση άπνοιας). Μάλιστα, για την αύξηση της απόδοσης τέτοιων συστημάτων, η μονάδα αποθήκευσης μονάδες, συνδέεται με τα λεγόμενα υβριδικά συστήματα, δηλαδή συστήματα τα οποία διαχειρίζονται περισσότερες της μίας μορφής ενέργεια.

Στα διασυνδεδεμένα στο δίκτυο συστήματα, η ανάγκη για ενεργειακή αποθήκευση ανακύπτει από την ανάγκη κάλυψης των αιχμών ισχύος. Σε τέτοια συστήματα, η μονάδα αποθήκευσης προσθέτει αξία στις διακοπτόμενες ανανεώσιμες πηγές, διευκολύνοντας τον καλύτερο συσχετισμό της τροφοδοσίας με τη ζήτηση.

Γενικότερα, τα σημαντικότερα οφέλη που προκύπτουν από την ενεργειακή αποθήκευση είναι τα ακόλουθα:

- Σε συνδυασμό με την ανανεώσιμη πηγή, η αποθήκευση της ηλεκτρικής ενέργειας μπορεί να αυξήσει την αξία του ηλεκτρισμού που παράγεται από τα φωτοβολταϊκά και τα αιολικά συστήματα, καθιστώντας ικανή την τροφοδοσία να συμπίπτει με την περίοδο της μέγιστης ζήτησης της κατανάλωσης (Σχήμα 1.3.1). Παράλληλα, η αποθήκευση της ηλεκτρικής ενέργειας μπορεί να διευκολύνει την ενσωμάτωση σε μεγάλη κλίμακα των διακοπτόμενων ΑΠΕ, όπως τα αιολικά και τα ηλιακά συστήματα, στο ηλεκτρικό δίκτυο. Η εφαρμογή των διατάξεων των ανανεώσιμων πηγών παράλληλα με συστήματα ενεργειακής αποθήκευσης, παρέχει στις ανανεώσιμες πηγές ευελιξία εγκατάστασης με ελαχιστοποίηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων.



Σχήμα 1.3.1: Αρχή της ενεργειακής αποθήκευσης

- Η ενεργειακή αποθήκευση διαδραματίζει επίσης έναν ευέλικτο και πολύ παραγοντικό ρόλο στο δίκτυο παροχής ηλεκτρισμού, όσον αφορά στην αποτελεσματικότερη διαχείριση των πόρων. Ως παραγωγική πηγή, η αποθήκευση της ηλεκτρικής ενέργειας

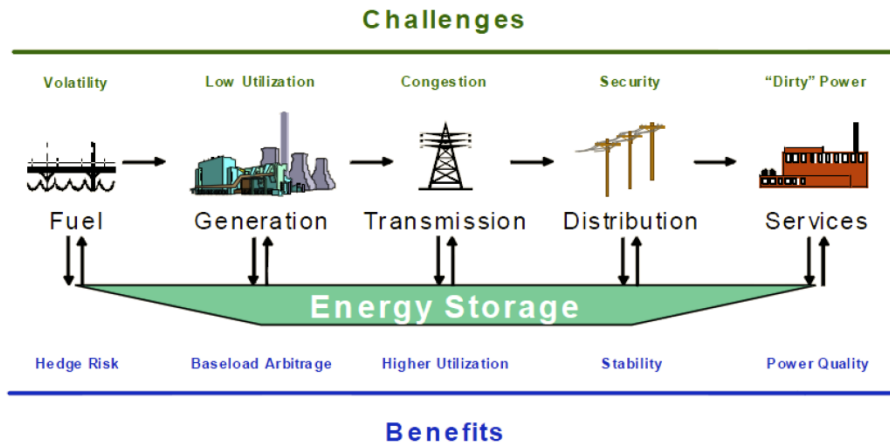
μπορεί να επιφέρει εξοικονόμηση στις λειτουργικές δαπάνες ή την επένδυση κεφαλαίων. Χαρακτηριστικά παραδείγματα αποτελούν η στρεφόμενη εφεδρεία για την προσωρινή υποστήριξη της παραγωγής, η ρύθμιση της συχνότητας για τις αυτόνομες μονάδες, η αναβολή εγκατάστασης νέων μονάδων παραγωγής. Ακόμα, τα βάση στρατηγικής εγκατεστημένα συστήματα αποθήκευσης μπορεί να αυξήσουν τη χρησιμοποίηση του υπάρχοντος εξοπλισμού μεταφοράς και διανομής (M&Δ), μετατοπίζοντας ή εξαλείφοντας έτσι την ανάγκη για δαπανηρές προσθήκες M&Δ.

Επιπρόσθετα, η αποθήκευση της ενέργειας μπορεί να συνεισφέρει στη μείωση της έντασης στις μεμονωμένες γραμμές μεταφοράς που είναι κοντά στη μέγιστη ονομαστική τιμή, με τη μείωση του φορτίου αιχμής του υποσταθμού. Μεταξύ των ειδικών οφελών για τη μεταφορά και διανομή είναι η ευστάθεια των γραμμών μεταφοράς για σύγχρονη λειτουργία ώστε να αποτραπεί η καθίζηση του συστήματος, η ρύθμιση της τάσης ώστε να μην ξεφεύγει από το 5% της καθορισμένης τιμής, και η αναβολή της κατασκευής ή αναβάθμισης των γραμμών μεταφοράς και διανομής, μετασχηματιστών, συστοιχιών πυκνωτών και υποσταθμών. Καθώς εξελίσσεται η αναδόμηση του συστήματος, μπορούν να ανακύψουν ευκαιρίες για τους χειριστές των ανεξάρτητων συστημάτων προκειμένου να εφαρμόσουν την αποθήκευση για να βοηθήσουν στην εξισορρόπηση των περιφερειακών φορτίων.

Τέλος, η ενεργειακή αποθήκευση μπορεί να εξυπηρετήσει τους πελάτες ως μια επιλογή ελεγχόμενης διαχείρισης από μέρος της ζήτησης, που επίσης μπορεί να παράσχει ανταποδοτικές υπηρεσίες, περιλαμβανομένων της ποιότητας ισχύος σε βυθίσεις ή κυματισμούς που διαρκούν λιγότερο από πέντε δευτερόλεπτα, της αδιάλειπτης τροφοδοσίας με ηλεκτρικό ρεύμα σε διακοπές λειτουργίας που διαρκούν για περίπου δέκα λεπτά, και τη μείωση της ζήτησης αιχμής ώστε να μειωθούν οι λογαριασμοί του ηλεκτρισμού. Στο σχήμα 1.3.2 που ακολουθεί παρουσιάζονται τα οφέλη ενεργειακής αποθήκευσης.

Benefits of Energy Storage

Along the Electricity Value Chain



Σχήμα 1.3.2 : Οφέλη της ενεργειακής αποθήκευσης.

1.4 Διατάξεις ενεργειακής αποθήκευσης

Το ενδιαφέρον για την ενεργειακή αποθήκευση εστιάζεται στην αποθήκευση της ηλεκτρικής ενέργειας, λόγω της εύκολης μεταφοράς της σε μεγάλες αποστάσεις. Η αποθήκευση της ηλεκτρικής ενέργειας μπορεί να επιτευχθεί αποτελεσματικά. Επειδή, όμως δεν είναι εφικτή (οικονομικά) η απευθείας αποθήκευσή της, απαιτείται να μετατραπεί πρώτα σε άλλη μορφή και όταν χρειαστεί να μετατραπεί ξανά σε ηλεκτρική. Μέχρι σήμερα έχουν αναπτυχθεί πολλές τεχνικές ενεργειακής αποθήκευσης, βασισμένες σε σχεδόν όλες τις μορφές ενέργειας. Έτσι, η ηλεκτρική ενέργεια μπορεί να αποθηκευτεί στις ακόλουθες μορφές:

- 1) Σε χημική μορφή (μπαταρίες).
- 2) Σε μηχανική μορφή υπό την μορφή κινητικής ενέργειας σε σφόνδυλο.
- 3) Υπό μορφή ηλεκτροστατικού πεδίου, λόγω διαφορετικού ηλεκτρικού φορτίου στους οπλισμούς (υπερ-πυκνωτές).
- 4) Υπό μορφή μαγνητικού πεδίου (υπεραγωγίμο μαγνητικό σύστημα ενεργειακής αποθήκευσης).

- 5) Υπό μορφή πεπιεσμένου αέρα (συστήματα αποθήκευσης ενέργειας συμπιεσμένου αέρα).
- 6) Σε υδραυλική μορφή (συστήματα αντλησιοταμίευσης).
- 7) Υπό μορφή υδρογόνου (κυψέλες καυσίμου)

Οι διατάξεις ενεργειακής αποθήκευσης είναι προφανώς διαφορετικών τύπων, αφού απαντούν σε συγκεκριμένα τεχνικά και οικονομικά κριτήρια, τα οποία ποικίλουν σημαντικά ανάλογα με τις εφαρμογές και τις ανάγκες. Επομένως, μια συγκριτική μελέτη των τεχνολογιών αυτών καθίσταται δύσκολη, δεδομένου ότι, μεταξύ των άλλων, τα επίπεδα ανάπτυξής τους διαφέρουν σε μεγάλο βαθμό. Ωστόσο, οι διατάξεις αποθήκευσης ενέργειας μπορούν να διαιρεθούν σε δύο μεγάλες κατηγορίες, ανάλογα με την κλίμακα αποθήκευσης και την εφαρμογή τους:

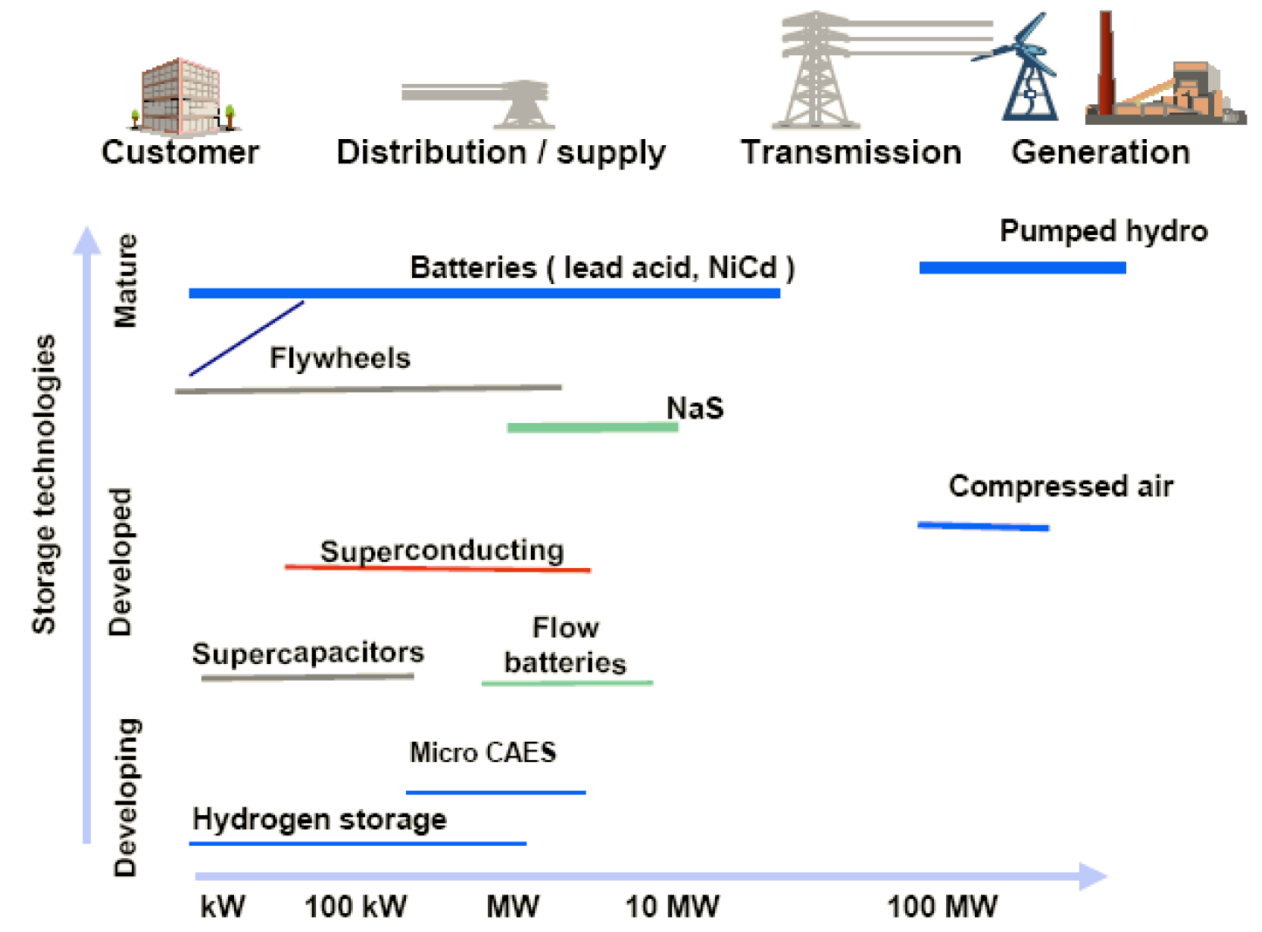
A. Διατάξεις βραχυπρόθεσμης αποθήκευσης ενέργειας, οι οποίες χρησιμοποιούνται σε κατανεμημένες εφαρμογές ηλεκτροπαραγωγής (όταν δηλαδή η παραγωγή λαμβάνει χώρα κοντά ή στην ίδια τη θέση της ζήτησης) και έχουν την ικανότητα να ανταποκρίνονται στα αιτήματα για μικρά χρονικά διαστήματα.

B. Διατάξεις μακροπρόθεσμης αποθήκευσης ενέργειας, οι οποίες είναι κυρίως μεγάλες, κεντρικές εγκαταστάσεις και έχουν την ικανότητα να αποθηκεύουν και να παρέχουν την ηλεκτρική ενέργεια για μεγάλες χρονικές περιόδους.

Αναλυτικότερα, οι διατάξεις βραχυπρόθεσμης αποθήκευσης ενέργειας χρησιμοποιούνται σε μικρής κλίμακας συστήματα και είναι κατάλληλες για εφαρμογές ποιότητας ισχύος. Οι διατάξεις αυτές εφαρμόζονται για να βελτιώσουν την ποιότητα ισχύος στα ηλεκτρικά συστήματα και συγκεκριμένα για να διατηρήσουν σταθερή την τάση κατά την ενεργειακή συνεισφορά, σε περιπτώσεις βυθίσεων ή κυματισμών που διαρκούν για λίγα δευτερόλεπτα ή λεπτά. Στην κατηγορία των διατάξεων βραχυπρόθεσμης αποθήκευσης ενέργειας εντάσσονται οι σφόνδυλοι (flywheels), οι υπερ-πυκνωτές (super capacitors) και τα υπεραγώγιμα μαγνητικά συστήματα ενεργειακής αποθήκευσης.

Από την άλλη μεριά οι διατάξεις μακροπρόθεσμης αποθήκευσης ενέργειας χρησιμοποιούνται σε μεγάλης κλίμακας συστήματα και είναι κατάλληλες για

εφαρμογές εξομάλυνσης φορτίων, καθώς και για αποθέματα αιολικής ενέργειας υψηλής χωρητικότητας. Οι διατάξεις αυτές μπορούν να αποθηκεύουν και να παρέχουν την ηλεκτρική ενέργεια κατά τη διάρκεια ωρών ή ημερών, και να συντελούν ειδικότερα στη διαχείριση της ενέργειας, τη ρύθμιση της συχνότητας και τη διαχείριση της συμφόρησης στο δίκτυο. Στην κατηγορία των διατάξεων μακροπρόθεσμης αποθήκευσης ενέργειας ανήκουν οι μπαταρίες, τα συστήματα αντλησιοταμίευσης, τα συστήματα ενεργειακής αποθήκευσης συμπιεσμένου αέρα (compressed air energy storage, CAES) και οι τεχνολογίες ενεργειακής αποθήκευσης υδρογόνου (fuel cells – hydrogen energy storage).



Σχήμα 1.4.1 : Μέγεθος, εφαρμογές και τεχνολογική ωριμότητα των διαφόρων πηγών αποθήκευσης.

1.5 Τεχνικά και οικονομικά χαρακτηριστικά διατάξεων ενεργειακής αποθήκευσης.

Έγινε φανερό ότι η ηλεκτρική ενέργεια αποθηκεύεται σε διάφορες μορφές ανάλογα με τη χρησιμοποιούμενη κάθε φορά διάταξη. Οι διαφορετικές αυτές μορφές αποθήκευσης της ενέργειας έχουν ως αποτέλεσμα οι διάφορες διατάξεις ενεργειακής αποθήκευσης να εμφανίζουν διαφορετικά τεχνικά και οικονομικά χαρακτηριστικά. Με βάση τα χαρακτηριστικά αυτά προβαίνουμε σε σύγκριση των τεχνολογιών αποθήκευσης, ώστε να επιλέγουμε, ανάλογα με την εφαρμογή, τη βέλτιστη κάθε φορά τεχνολογία.

Κρίθηκε, επομένως, σκόπιμο να παρουσιάσουμε συνοπτικά μερικούς ιδιαίτερα σημαντικούς όρους που χρησιμοποιούνται για την περιγραφή των χαρακτηριστικών των διατάξεων ενεργειακής αποθήκευσης. Η κατανόηση των όρων αυτών θα μας βοηθήσει αργότερα στη σύγκριση των τεχνολογιών αποθήκευσης και την εξαγωγή συμπερασμάτων για το πλήθος των εφαρμογών τους. Οι όροι αυτοί είναι οι ακόλουθοι :

- Η ενεργειακή πυκνότητα (energy density) που ορίζεται ως το ποσό της ενέργειας που μπορεί να αποδοθεί από μία μονάδα ενεργειακής αποθήκευσης ανά μονάδα μάζας ή όγκου της. Μετριέται συνήθως σε Wh/kg. Σε συνδυασμό με το φυσικό μέγεθος και το βάρος της διάταξης αποθήκευσης, η ενεργειακή πυκνότητα καθορίζει την ποσότητα της ενέργειας που μπορεί η διάταξη να αποθηκεύσει και να αποδώσει.
- Η αποθηκευτική ικανότητα (storage capacity) η οποία ορίζεται ως η ποσότητα της διαθέσιμης ενέργειας στο σύστημα αποθήκευσης μετά τη φόρτιση. Συχνά η εκφόρτιση δεν είναι πλήρης. Για το λόγο αυτό, η αποθηκευτική ικανότητα καθορίζεται βάσει της συνολικής ενέργειας που αποθηκεύεται και η οποία είναι μεγαλύτερη από αυτή που αποδίδεται, λόγω των ενεργειακών απωλειών. Η αποθηκευτική ικανότητα εκφράζεται συνήθως σε MWh.
- Η εκτιμώμενη ενέργεια (εκφραζόμενη σε kWh ή MWh), η οποία είναι σημαντική για τον καθορισμό του χρονικού διαστήματος που η διάταξη αποθήκευσης μπορεί να παρέχει ενέργεια. Από την άλλη, η εκτιμώμενη ισχύς είναι σημαντική για τον καθορισμό της ποσότητας της ενέργειας που μπορεί να «αποδεσμευτεί» από τη διάταξη

ενεργειακής αποθήκευσης σε έναν καθορισμένο χρόνο. Για παράδειγμα, μια διάταξη ων 100 kWh με ισχύ 20 kW μπορεί να αποδώσει 20 kWσε 5 ώρες.

- Η ενεργειακή απόδοση (energy efficiency) της διάταξης αποθήκευσης ενέργειας, η οποία ορίζεται ως ο λόγος της ενέργειας που αποδίδεται προς την ενέργεια που αποθηκεύεται. Προφανώς, η αποθήκευση της ενέργειας και στη συνέχεια η επαναπόδοση της στην κατανάλωση γίνεται με την παρεμβολή απωλειών, με αποτέλεσμα η ενέργεια που αποδίδεται να είναι μικρότερη από την ενέργεια που αποθηκεύεται. Τα συστήματα ενεργειακής αποθήκευσης εμφανίζουν απώλειες φόρτισης, αυτό- εκφόρτισης, καθώς και απώλειες λόγω απουσίας φορτίου. Ενεργειακές απώλειες παρατηρούνται επίσης και κατά τη μεταφορά της ενέργειας στον τόπο κατανάλωσης, αλλά και την μετατροπή του ηλεκτρικού ρεύματος (αναστροφείς, συστήματα ελέγχου) προκειμένου να μπορεί να εκμεταλλευτεί με ασφάλεια και αξιοπιστία από τα φορτία. Για να είναι ένα σύστημα ενεργειακής αποθήκευσης πραγματικά ανταγωνιστικό πρέπει να έχει καλή ενεργειακή απόδοση. Αυτό σημαίνει ότι, για βέλτιστη λειτουργία, πρέπει να περιορίζονται οι ενεργειακές απώλειες.
- Ο χρόνος εκφόρτισης (*discharge time*) που ορίζεται ως η χρονική περίοδος κατά τη διάρκεια της οποίας μια διάταξη ενεργειακής αποθήκευσης αποδεσμεύει την ενέργεια που έχει αποθηκεύσει. Ο χρόνος εκφόρτισης σχετίζεται με τη χωρητικότητα ισχύος (power capacity) της διάταξης, η οποία εκφράζεται σε kW ή MW.
- Η αυτό - εκφόρτιση (*self - discharge*), η οποία ορίζεται ως το ποσοστό της ενέργειας που αποθηκεύτηκε αρχικά στη διάταξη ενεργειακής αποθήκευσης και παρέμεινε τελείως αναξιοποίητο. Εκφράζεται συνήθως σε ποσοστό % ανά ώρα, σε ποσοστό % ανά ημέρα ή σε ποσοστό % ανά μήνα.
- Η διάρκεια ζωής (*life - time*) που αφορά το χρόνο λειτουργίας της διάταξης ενεργειακής αποθήκευσης και εκφράζεται σε έτη ή κύκλους. Εκφραζόμενη σε κύκλους, αναφέρεται στο μέγιστο αριθμό των κύκλων (N) που η μονάδα αποθήκευσης μπορεί να

αποδεδειγμένη την ποσότητα της ενέργειας για την οποία σχεδιάστηκε, μετά από κάθε επαναφόρτιση. Κάθε κύκλος αντιστοιχεί σε μια φόρτιση και μια εκφόρτιση. Όλα τα συστήματα αποθήκευσης ενέργειας υπόκεινται σε κόπωση ή φθορά από τη χρήση. Ο σχεδιασμός ενός συστήματος αποθήκευσης που εξετάζει την αντοχή της μονάδας από την άποψη των κύκλων, πρέπει να είναι πρωταρχικής σημασίας κατά την επιλογή του συστήματος. Εντούτοις, οι πραγματικές διαδικασίες κόπωσης είναι συχνά σύνθετες και η διάρκεια ζωής της μονάδας αποθήκευσης σε κύκλους δεν καθορίζεται πάντα με ακρίβεια.

- Τα κόστη (costs) των διατάξεων ενεργειακής αποθήκευσης, τα οποία αναγράφονται συνήθως ως κόστος/kWh ή κόστος/kW. Τα κόστη σχετίζονται συνήθως με τις εφαρμογές για τις οποίες προορίζονται οι διατάξεις. Επομένως, μερικές διατάξεις θα εμφανίζουν υψηλό κόστος/kWh, αλλά σχετικά χαμηλότερο κόστος/kW, ενώ άλλες το αντίθετο. Εξαρτάται δηλαδή από την εφαρμογή αν μια διάταξη είναι ενδεχομένως οικονομική ή όχι.
- Οι περιβαλλοντικές επιδράσεις (environmental impacts). Αν και η παράμετρος αυτή δεν αποτελεί κριτήριο της απόδοσης των συστημάτων ενεργειακής αποθήκευσης, η περιβαλλοντική «συμβατότητα» του συστήματος αποτελεί ισχυρή διαφήμιση για την προώθησή του. Δεν πρέπει επομένως να αγνοούνται οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις που επιφέρει ένα σύστημα ενεργειακής αποθήκευσης.

Τέλος, στον Πίνακα 1.5.1 που ακολουθεί, παρουσιάζεται μια σύνοψη των σημαντικότερων τεχνικών απαιτήσεων των συστημάτων ενεργειακής αποθήκευσης για εφαρμογές ισχύος και ενέργειας. Υπενθυμίζουμε ότι σε εφαρμογές ισχύος οι διατάξεις ενεργειακής αποθήκευσης αποδεδειγμένα μεγάλο ποσό ισχύος σε σύντομο χρονικό διάστημα (δευτερόλεπτα ή λεπτά), ενώ σε ενεργειακές εφαρμογές οι διατάξεις ενεργειακής αποθήκευσης αποδεδειγμένα μεγάλο ποσό ενέργειας για μεγαλύτερη χρονική περίοδο (ώρες και μέρες).

Πίνακας 1.5.1 :Απαιτήσεις συστημάτων ενεργειακής αποθήκευσης.

| ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ | ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΙΣΧΥΟΣ | ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ |
|--|---------------------|------------------------|
| ΜΕΓΑΛΗΑΠΟΘΗΚΕΥΣΙΚΗ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ (LARGE STORAGE CAPACITY) (MWh) | * | ** |
| ΥΨΗΛΗΧΩΤΗΤΙΚΟΤΗΤΑΙΣΧΥΟΣ (LARGE POWER CAPACITY) (MW) | * | ** |
| ΠΥΚΝΟΤΗΤΑΙΣΧΥΟΣ (POWER DENSITY) (kW/Kg) | ** | ** |
| ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΠΥΚΝΟΤΗΤΑ (ENERGY DENSITY) (kWh/Kg) | ** | * |
| ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΑΠΟΔΟΣΗ (ENERGY EFFICIENCY) (%) | ** | ** |
| ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΖΩΗΣ (ΣΕ ΕΤΗ) (LIFE-TIME) | ** | ** |
| ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΖΩΗΣ (ΣΕ ΚΥΚΛΟΥΣ) (LIFE-TIME) | ** | ** |
| ΧΡΟΝΟΣΠΡΟΣΒΑΣΗΣ (ACCESS TIME) (ms) | *** | * |
| ΧΑΜΗΛΗΑΥΤΟ-ΕΚΦΟΡΤΙΣΗ (LOW SEFT DISCHARGING) (%/ΩΡΑή %/ΗΜΕΡΑ) | * | ** |

Τρία αστέρια (***) = πολύ σημαντικό

Δυο αστέρια (**) = σημαντικό

Ένα αστέρι (*) = λιγότερο σημαντικό

1.6 Σκοπός εργασίας

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι να αναλυθεί η τεχνολογία των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και τα οφέλη από την χρήση τους. Επιπρόσθετα, αναδεικνύεται η ανάγκη να διεισδύσουν περισσότερο αυτές οι τεχνολογίες στην Ελλάδα και Κύπρο.

1.7 Δομή εργασίας

Η εργασία είναι βιβλιογραφική και αποτελείται από 5 ενότητες κάθε μια από τις οποίες αφιερώνεται σε μια μορφή ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε ήταν εκτεταμένη βιβλιογραφικά έρευνα με βάση ελληνικές πηγές και κυρίως μέσω διαδικτύου

Όπως προαναφέρθηκε η παρούσα εργασία χωρίζεται σε 5 ενότητες:

Αναλυτικότερα στο Κεφάλαιο 1 "Εισαγωγή στις τεχνολογίες αποθήκευσης" καταγράφονται το παγκόσμιο ενεργειακό τοπίο και τα βασικά χαρακτηριστικά του ενεργειακού συστήματος στην Κύπρο. Συγκεκριμένα, αναφέρεται η ενεργειακή πολιτική, η νομοθεσία ΑΠΕ και η ανάγκη ενεργειακής αποθήκευσης.

Στο κεφάλαιο 2 "Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας" καταγράφεται ο όρος ΑΠΕ και παρουσιάζεται τόσο η Αιολική όσο και η Ηλιακή ενέργεια καθώς και η εφαρμογή τους στην Κύπρο.

Στο κεφάλαιο 3 "Διατάξεις Μακροπρόθεσμης Ενεργειακής Αποθήκευσης" αναλύεται η αποθήκευση ενέργειας σε χημική μορφή όπως οι διάφοροι τύποι μπαταριών, συστήματα αντλιοσταύθμεσης και συστήματα ενεργειακής αποθήκευσης συμπιεσμένου αέρα όπως για παράδειγμα τις κυψέλες καυσίμου.

Στο κεφάλαιο 4 "Διατάξεις Βραχυπρόθεσμης Ενεργειακής Αποθήκευσης" αναλύονται οι σφονδύλοι και πυκνωτές.

Τέλος, στο τελευταίο κεφάλαιο "Συμπεράσματα" όπου συγκεντρώνονται συνοπτικά όλα τα παραπάνω για λόγους διευκόλυνσης και εμπέδωσης και "Παραρτήματα" όπου παρατίθενται συμπληρωματικά στοιχεία.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΥΤΕΡΟ

Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας

2.1 Εισαγωγή

Όπως προαναφέρθηκε, η υποβάθμιση του περιβάλλοντος και η εξάντληση των συμβατικών, μη ανανεώσιμων πόρων αποτελεί ένα από τα σοβαρότερα προβλήματα που αντιμετωπίζει σήμερα ο πλανήτης μας. Τα περιβαλλοντικά προβλήματα από την παραγωγή και κατανάλωση ενέργειας από συμβατικές πηγές είναι πολλά, ανάμεσα τους το φαινόμενο του θερμοκηπίου, η ατμοσφαιρική ρύπανση, η όξινη βροχή, η ραδιενέργεια, η θερμική ρύπανση και η χημική ρύπανση των υδάτων. Το θέμα λοιπόν αυτό βρίσκεται στο επίκεντρο του ενδιαφέροντος Παγκόσμιων Οργανισμών, Κυβερνήσεων, Ερευνητικών Κέντρων, των ενδιαφερόμενων παραγωγών και ενέργειας, αλλά και όλων των ενημερωμένων πολιτών.

Η αναζήτηση της απαραίτητης ενέργειας από τον άνθρωπο, η επάρκεια των αποθηκών - πηγών της, η βέβαια και ταχεία εξάντληση μερικών από αυτές, οι βέλτιστοι τρόποι εκμετάλλευσης και εξοικονόμησής της, τα οικονομικά, κοινωνικά και ηθικά προβλήματα που δημιουργούνται από την ανισοβαρή, άλλοτε αλόγιστη χρήση της, η μεγαλύτερη από τις προβλέψεις ζήτηση πετρελαίου καθώς και η μεγάλη και αυξανόμενη τα τελευταία χρόνια επιβάρυνση του περιβάλλοντος από τους μηχανισμούς και τα συστήματα μετατροπής και μεταφοράς της ενέργειας, συνιστούν το «ενεργειακό περιβαλλοντικό» πρόβλημα. Ένα από τα κρισιμότερα, σήμερα, προβλήματα του ανθρώπου.

Για τον λόγο αυτόν, έχει ξεκινήσει μια παγκόσμια προσπάθεια για τη μείωση αυτών των επιπτώσεων, με την ορθολογική χρήση της ενέργειας και την εφαρμογή τεχνολογιών εξοικονόμησής της. Για την αντιμετώπιση των πιο πάνω περιβαλλοντικών προβλημάτων, θεσπίστηκαν νόμοι και κανονισμοί για τις επιτρεπόμενες εκπομπές ρύπων και υπάρχει αύξηση αντιρρυπαντικής τεχνολογίας μέσω συγκράτησης σωματιδίων, δέσμευσης αερίων και βιολογικού καθαρισμού. Επιπρόσθετα, με στόχο την ελαχιστοποίηση των επιπτώσεων αυτών, προωθείται η εκμετάλλευση

εναλλακτικών φιλικών προς το περιβάλλον (και τον άνθρωπο) Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ), συμβάλλοντας οριστικά στην αιεφόρο ανάπτυξη. Πηγές ενέργειας, όπως η αιολική, η ηλιακή και η υδάτινη χαρακτηρίζονται ως ανανεώσιμες, αφού ανανεώνονται συνεχώς και είναι άμεσα εκμεταλλεύσιμες από τον άνθρωπο.

Οι ΑΠΕ έχοντας ξεπεράσει τα μειονεκτήματα του παρελθόντος, κρίνονται πλέον ανταγωνιστικές για την παραγωγή ενέργειας αφού είναι πρακτικά ανεξάντλητες και μειώνουν την εξάρτηση από τους συμβατικούς ενεργειακούς πόρους. Η μαζικότερη παραγωγή και εκτεταμένη έρευνα στο χώρο, έχουν οδηγήσει σε μείωση του κόστους παραγωγής και αύξησης της απόδοσης των συστημάτων. Η τάση για εφαρμογή πειραματικών μελετών τεχνολογιών ΑΠΕ, θα συμβάλλει στη μείωση της εξάρτησης από τους εξαντλήσιμους πόρους (κυρίως τα ορυκτά καύσιμα), ενώ παράλληλα θα συνεισφέρει στην ενίσχυση της ενεργειακής αυτάρκειας και της ασφάλειας του ενεργειακού εφοδιασμού, καθώς και στην ανάπτυξη και αναζωογόνηση οικονομικά και κοινωνικά υποβαθμισμένων περιοχών. Τέλος, θα δημιουργηθούν νέες θέσεις εργασίας, και το σπουδαιότερο θα αντικατασταθούν οι ρυπογόνοι τρόποι παραγωγής ενέργειας με φιλικά προς το περιβάλλον συστήματα.

Αν και είναι γνωστό ότι η Κύπρος είναι μια χώρα με συγκριτικά πλεονεκτήματα ως προς τις μορφές ΑΠΕ, εντούτοις δεν παρουσιάζει ποσοστό αξιοποίησής τους σε ικανοποιητικό βαθμό. Μεταξύ των παραγόντων που συμβάλλουν στη μη επιθυμητή αξιοποίηση των ΑΠΕ, μπορεί να αναφερθεί η άγνοια - καχυποψία για την περιβαλλοντική «συμβατότητα» των έργων και τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις που αυτά επιφέρουν.

Βέβαια, αξίζει να αναφέρουμε ότι σε παγκόσμιο επίπεδο, γίνεται όλο και πιο έντονα αποδεκτό το γεγονός ότι η αύξηση της χρήσης των ΑΠΕ συνδυάζεται και συνεισφέρει στη βελτίωση της ποιότητας του περιβάλλοντος και την αιεφόρο ανάπτυξη, σε αντίθεση και συγκριτικά πάντα με τα προβλήματα που προκαλούνται από την εξόρυξη και χρήση των συμβατικών καυσίμων.

2.2 Αιολική ενέργεια

2.2.1. Εισαγωγή

Η αιολική ενέργεια είναι η κινητική ενέργεια του κινούμενου αέρα. Η ακανόνιστη θέρμανση της επιφάνειας της γης από τον ήλιο προκαλεί τους ανέμους. Η θερμότητα που απορροφάται από το έδαφος ή το νερό, μεταφέρεται στον αέρα όπου προκαλεί διαφορές στη θερμοκρασία, την πυκνότητα και την πίεση του. Με τη σειρά τους, οι διαφορές αυτές προκαλούν δυνάμεις που ωθούν τον αέρα ολόγυρα. Σύμφωνα με τη Μηχανική των Ρευστών, ο αέρας κινείται από τις υψηλής πίεσης προς τις χαμηλής πίεσης περιοχές του πλανήτη. Η αρχαιότερη μορφή εκμετάλλευσης της αιολικής ενέργειας ήταν τα ιστία των πρώτων ιστιοφόρων πλοίων και πολύ αργότερα οι ανεμόμυλοι στην ξηρά. Την σημερινή εποχή, η αιολική ενέργεια αποτελεί μια μορφή ενέργειας ανταγωνιστική και με προοπτικές.

Σε παγκόσμια κλίμακα, η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ του ισημερινού και των πόλων προκαλεί τους αληγείς ανέμους, οι οποίοι δρουν ως γιγαντιαίος εναλλάκτης θερμότητας εμποδίζοντας την περαιτέρω θέρμανση του ισημερινού και ψύξη των πόλων. Σε πολύ μικρότερη κλίμακα, οι διαφορές θερμοκρασίας μεταξύ του εδάφους και της θάλασσας και μεταξύ των βουνών και των κοιλάδων δημιουργούν συχνά ισχυρές αύρες. Η κατεύθυνση και η ταχύτητα του ανέμου επηρεάζονται επίσης και από άλλους παράγοντες, όπως είναι η περιστροφή της Γης, τα τοπικά τοπογραφικά χαρακτηριστικά και η τραχύτητα του εδάφους.

Υποστηρίζεται ότι η αιολική ενέργεια θα μπορούσε να καλύψει τις συνολικές ανάγκες της Ευρωπαϊκής Ένωσης σε ηλεκτρισμό. Σχετικά με τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις της αιολικής ενέργειας οι έρευνες απέδειξαν ότι είναι μια καθαρή και ασφαλής μορφή ενέργειας. Η επιβάρυνση του φυσικού περιβάλλοντος είναι μηδαμινή σε σχέση με αυτή που προκαλείται από τη δημιουργία και λειτουργία συμβατικών μονάδων παραγωγής ενέργειας όπως για παράδειγμα οι πετρελαϊκοί σταθμοί και σταθμοί φυσικού αερίου. Απόδειξη σε αυτό αποτελούν οι εκπομπές στην ατμόσφαιρα οι οποίες δεν είναι άμεσες παρά μόνο έμμεσες. Συγκεκριμένα οι έμμεσες οφείλονται κυρίως στην κατανάλωση της

ενέργειας που απαιτείται για την κατασκευή και την συναρμολόγηση μιας αιολικής μηχανής.

Όσον αφορά το ενεργειακό ισοζύγιο μπορούμε να πούμε ότι η ενέργεια η οποία καταναλώνεται για την κατασκευή ή την συναρμολόγηση μιας αιολικής μηχανής αποσβένεται σε χρονικό διάστημα μικρότερο των 6 μηνών λειτουργίας της μηχανής.

Σχετικά με το κοινωνικό κόστος, ο αιολικός ηλεκτρισμός έχει πολύ χαμηλό εξωτερικό κοινωνικό κόστος και δεν απαιτούνται αποζημιώσεις και έξοδα αποκατάστασης κατά την διάλυση παλαιών μηχανών ή αιολικών πάρκων. Αξίζει να σημειωθεί ότι όλα τα τμήματα των αιολικών μηχανών είναι ανακυκλώσιμα.

Σχετικά με την χρήση γης τα αιολικά πάρκα η επιβάρυνση του φυσικού περιβάλλοντος είναι μηδαμινή για το λόγο ότι έχουν το πλεονέκτημα ότι επιτρέπουν την διπλή χρήση γης. Το 99% της συνολικής επιφάνειας την οποία καλύπτει ένα αιολικό πάρκο μπορεί είτε να καλλιεργείται είτε να παραμείνει ένα ζωντανό φυσικό οικοσύστημα. Η αιολική ενέργεια είναι χαμηλής πυκνότητας και γι' αυτό οι αιολικές μηχανές κατανέμονται σε μεγάλες εκτάσεις. Σχετικά με τις επιδράσεις που προκαλεί η αιολική ενέργεια αξίζει να αναφέρουμε ότι στο χώρο, προσοχή θα πρέπει να δίνεται στην κινούμενη σκιά η οποία προκαλείται κατά την περιστροφή του ρότορα, ειδικά όταν είναι κοντά σε κατοικημένες περιοχές ή χώρους εργασίας. Βέβαια το πρόβλημα αυτό μπορεί να αντιμετωπιστεί με την σωστή χωροταξική τοποθέτηση των μηχανών.

Όσο αφορά την επίδραση που υπάρχει στα πτηνά μελέτες απέδειξαν ότι οι αιολικές μηχανές δεν επιδρούν απειλητικά στα πτηνά, αφού το 99% των θανάτων των πουλιών οφείλεται στην ανθρώπινη δραστηριότητα όπως το κυνήγι και την καταστροφή του οικοσυστήματος εξαιτίας της υπερεκμετάλλευσης των φυσικών πόρων. Βέβαια προσοχή θα πρέπει να δοθεί σε μηχανές οι οποίες τοποθετούνται σε παράκτιες περιοχές όπου μπορεί να ενοχλήσουν την ανάπτυξη και τις φωλιές ορισμένων πτηνών. Αξίζει να σημειωθεί ότι σύμφωνα με το άρθρο 6 του περί Πολεοδομίας και Χωροταξίας Νόμου δεν επιτρέπεται η χωροθέτηση αιολικών πάρκων σε καθορισμένη Ζώνη Ειδικής Προστασίας άγριων πτηνών και βιότοπων και σε απόσταση μέχρι 500 μέτρων από

διάδρομο διέλευσης αποδημητικών πουλιών. Συγκεκριμένα, τα αιολικά πάρκα δεν πρέπει να κατασκευάζονται σε δρόμους μετανάστευσης πουλιών για το λόγο ότι τα ενδημικά πουλιά συνηθίζουν την παρουσία των μηχανών και τις αποφεύγουν σε αντίθεση με τα αποδημητικά πουλιά. Τέλος θα πρέπει να αναφέρουμε ότι η αιολική ενέργεια δεν προκαλεί σοβαρές παρεμβολές στις τηλεπικοινωνίες δεδομένου ότι σκεδάζουν και ανακλούν την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία. Οι παρεμβολές που προκαλούν οι ανεμογεννήτριες μπορούν να επηρεάσουν μόνο το τηλεοπτικό σήμα και την αεροπλοΐα στις περιπτώσεις που αυτές βρίσκονται πολύ κοντά σε τέτοιου είδους εγκαταστάσεις.

2.2.2. Πλεονεκτήματα αιολικής ενέργειας.

Η αιολική ενέργεια αποτελεί στις μέρες μας μια ελκυστική λύση στο πρόβλημα της ηλεκτροπαραγωγής καθώς παρουσιάζει αρκετά πλεονεκτήματα. Αρχικά το «καύσιμο» (άνεμος) είναι άφθονο και δωρεάν. Επιπλέον, δεν ελκύονται στην ατμόσφαιρα αέρια θερμοκηπίου και άλλοι ρύποι και έτσι οι επιπτώσεις στο περιβάλλον είναι μικρές σε σύγκριση με τα εργοστάσια ηλεκτροπαραγωγής. Η συστηματική εκμετάλλευση του αιολικού δυναμικού συμβάλλει σε σημαντικό περιορισμό της ρύπανσης του περιβάλλοντος, αφού έχει υπολογισθεί ότι η παραγωγή ηλεκτρισμού μιας μόνο ανεμογεννήτριας ισχύος 550KW σε ένα χρόνο, υποκαθιστά την ενέργεια που παράγεται από την καύση 2.700 βαρελιών πετρελαίου, δηλαδή αποτροπή της εκπομπής 735 περίπου τόνων CO₂ ετησίως καθώς και 2 τόνων άλλων ρύπων. Αξίζει επίσης να σημειωθεί ότι η αιολική ενέργεια είναι σήμερα η φθηνότερη μορφή ενέργειας και τα οικονομικά οφέλη από την ανάπτυξη αιολικής βιομηχανίας είναι σημαντικά. Επιπρόσθετα, ο εξοπλισμός είναι απλός στην κατασκευή και τη συντήρηση και έχει μεγάλο χρόνο ζωής.

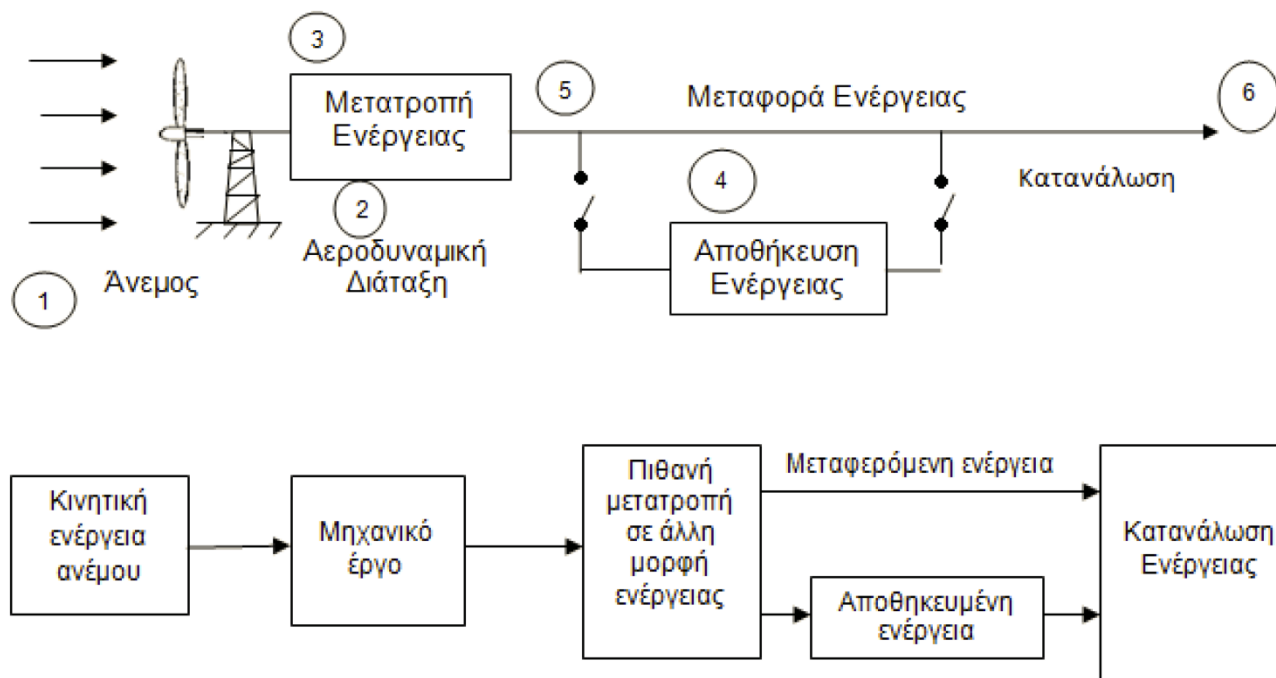
2.2.3. Μειονεκτήματα αιολικής ενέργειας

Παρόλα τα προαναφερθέντα πλεονεκτήματα, η αιολική ενέργεια έχει και κάποια σημαντικά μειονεκτήματα που είναι ως ένα βαθμό αποτρεπτικά για την εξάπλωσή τους. Ως μορφή ενέργειας παρουσιάζει χαμηλή πυκνότητα και έχει αρκετά μικρό συντελεστή απόδοσης της τάξης του 30% ή και χαμηλότερο. Συνεπώς απαιτούνται πολλές ανεμογεννήτριες για την παραγωγή αξιόλογης ισχύος και αρκετά μεγάλο αρχικό κόστος εφαρμογής σε μεγάλη επιφάνεια γης. Γι' αυτό το λόγο μέχρι τώρα χρησιμοποιείται σαν συμπληρωματική πηγή ενέργειας. Επιπρόσθετα, παρουσιάζουν διακυμάνσεις ως προς την απόδοση ισχύος, διακύμανση που οφείλεται στη μεταβαλλόμενη, κατά τη διάρκεια της ημέρας, του μήνα και του έτους, ένταση του ανέμου. Η ταχύτητα του ανέμου για να λειτουργήσει μια ανεμογεννήτρια κυμαίνεται μεταξύ 3m/s και 25m/s. Κάτω ή πάνω από αυτά τα όρια οι ανεμογεννήτριες μένουν ακίνητες. Όταν όμως σταματάνε να λειτουργούν, τότε χάνουν τον συγχρονισμό τους με το κεντρικό σύστημα και η παραγωγή ενέργειας σταματάει. Κάθε kWh από ανεμογεννήτρια είτε χρησιμοποιείται στιγμιαία είτε χάνεται επειδή η αιολική ενέργεια δεν μπορεί να αποθηκευτεί εκτός αν χρησιμοποιηθούν μπαταρίες που όμως αυξάνουν κατά πολύ το κόστος. Τα αιολικά συστήματα έχουν υψηλό κόστος έρευνας και εγκατάστασης και απαιτούν πολύ χρόνο για την έρευνα και τη χαρτογράφηση του αιολικού δυναμικού των μεγάλων περιοχών, ώστε να εντοπιστούν τα ευνοϊκά σημεία.

2.2.4 Ανεμογεννήτριες

Η αξιοποίηση της κινητικής ενέργειας του ανέμου γίνεται μέσω των ανεμογεννητριών. Οι ανεμογεννήτριες από την εποχή της εμφάνισής τους μέχρι σήμερα έχουν περάσει από πολλά στάδια εξέλιξης, τόσο ως προς τον τύπο τους (οριζοντίου ή κατακόρυφου άξονα) όσο και ως προς τα υποσυστήματά τους. Εξελίξεις έχουν επίσης σημειωθεί και στον τρόπο δέσμευσης, αξιοποίησης, αποθήκευσης ή μεταφοράς της ενέργειας του ανέμου που μετατρέπεται από τις ανεμογεννήτριες σε άλλη «αναβαθμισμένη» μορφή ενέργειας.

Μια εικόνα των βασικών μερών που αποτελούν μια διάταξη εκμετάλλευσης της αιολικής ενέργειας, καθώς και της ροής της ενέργειας δίνεται στο Σχήμα 2.2.4.1 που ακολουθεί.



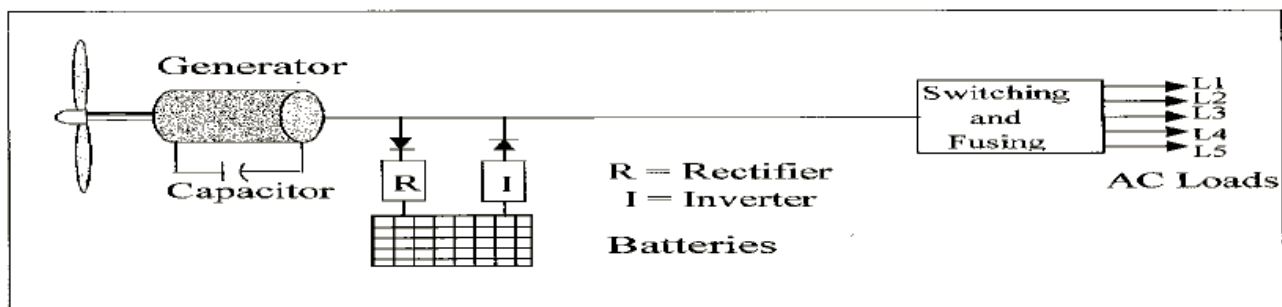
Σχήμα 2.2.4.1 :Διάταξη εκμετάλλευσης αιολικής ενεργείας

Η διάταξη αυτή είναι μια γενική περίπτωση όπου η κινητική ενέργεια του ανέμου μετατρέπεται σε μηχανικό έργο με τη βοήθεια μιας αεροδυναμικής διάταξης. Αυτό το μηχανικό έργο μπορεί να γίνει εκμεταλλεύσιμο επί τόπου (π.χ. άντληση νερού) και να αποφευχθούν οι απώλειες από τη μετατροπή του σε άλλη μορφή ενέργειας. Στη γενικότερη όμως περίπτωση απαιτείται η μετατροπή του μηχανικού έργου σε κάποια άλλη μορφή ενέργειας, είτε γιατί δεν χρειαζόμαστε μόνο μηχανικό έργο είτε γιατί ο τόπος άντλησης δεν συμπίπτει με τον τόπο που είναι εγκατεστημένη η ανεμογεννήτρια. Σε αυτήν την περίπτωση, η πιο πρόσφορη διάταξη είναι αυτή που μπορεί να μετατρέπει το μηχανικό έργο σε ηλεκτρική ενέργεια, λόγω της εύκολης μεταφοράς της στον τόπο κατανάλωσης και της ικανότητας αποθήκευσής της στις διάφορες αποθηκευτικές διατάξεις (π.χ. μπαταρίες, συστήματα αντλησιοταμίευσης). Βέβαια, τα τελευταία χρόνια οι έρευνες στρέφονται προς τη χρησιμοποίηση του μηχανικού έργου για την παραγωγή επί τόπου υδρογόνου, το οποίο μπορεί να μεταφερθεί και να καεί ως αέριο καύσιμο. Η παραπάνω λύση αποτελεί ίσως και τη βέλτιστη από πολλές απόψεις πρόταση

αξιοποίησης των ανανεώσιμων μορφών ενέργειας, δεδομένου ότι είναι οικονομικά αποδεκτή, διότι από την καύση του υδρογόνου παράγεται μόνο νερό σε μορφή υδρατμών.

Η ακολουθία των συμβάντων για την παραγωγή μέχρι την αξιοποίηση της ηλεκτρικής ενέργειας, χονδρικά, για ένα τυπικό αυτόνομο σύστημα (Σχήμα 2.2.4.2) μπορεί να συνοψιστεί ως εξής:

- Καθώς ο άνεμος αλληλεπιδρά με το δρομέα της Α/Γ παράγεται μια ροπή.
- Η σχετικά χαμηλή συχνότητα περιστροφής του δρομέα αυξάνεται μέσω ενός μετατροπέα στροφών, του οποίου ο άξονας εξόδου περιστρέφει μια γεννήτρια.
- Η γεννήτρια παράγει ρεύμα μεταβλητής συχνότητας, το οποίο μετατρέπεται σε συνεχές (DC) μέσω ενός μετατροπέα (rectifier) και φορτίζει τις μπαταρίες, που αποτελούν το πιο κλασικό μέσο αποθήκευσης. Οι μπαταρίες συμβάλλουν στη σταθερότητα του συστήματος.
- Στη συνέχεια, ένας άλλος μετατροπέας (inverter) μετατρέπει το ανορθωμένο συνεχές ρεύμα, αποφορτίζοντας τις μπαταρίες, σε ορισμένης τάσης και συχνότητας εναλλασσόμενο ρεύμα (AC), το οποίο είναι άμεσα αξιοποιήσιμο από το τοπικό σύστημα.



Σχήμα 2.2.4.2 : Αυτόνομο σύστημα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από Α/Γ

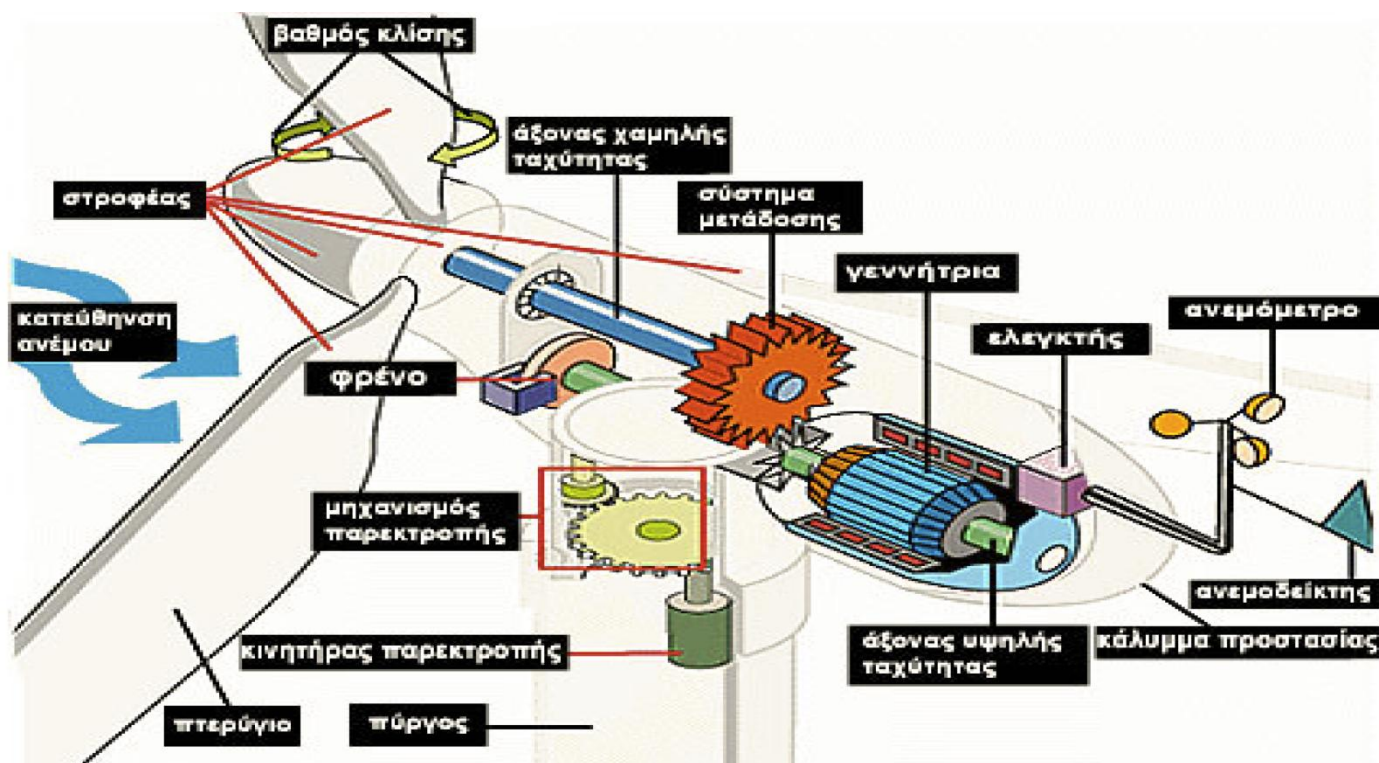
Οι σύγχρονες ανεμογεννήτριες οφείλουν την κίνηση των πτερυγίων τους στην άνωση που ασκείται πάνω τους από τον άνεμο. Σε αυτή την ιδέα στηρίχθηκε γενικά η

ανάπτυξη των ανεμογεννητριών και ειδικότερα των ανεμογεννητριών οριζοντίου άξονα, οι οποίες έχουν γνωρίσει την μεγαλύτερη εμπορική ανάπτυξη. Μια τυπική ανεμογεννήτρια σήμερα είναι οριζόντιου άξονα με ισχύ από 800 kW έως 3000 kW.

2.2.5 Τύποι ανεμογεννητριών

Οι ανεμογεννήτριες μπορούν να ταξινομηθούν σύμφωνα με τον προσανατολισμό των αξόνων τους σε σχέση με τη ροή του ανέμου σε δύο κατηγορίες:

- Ανεμογεννήτριες οριζοντίου άξονα, στις οποίες ο άξονας περιστροφής του δρομέα είναι είτε παράλληλος προς την κατεύθυνση του ανέμου είτε παράλληλος προς την επιφάνεια της γης, αλλά κάθετος στην κατεύθυνση ροής του ανέμου.
- Ανεμογεννήτριες κατακόρυφου άξονα, στις οποίες ο άξονας περιστροφής είναι κάθετος στην επιφάνεια της γης και κάθετος στη ροή του ανέμου.



Σχήμα 2.2.5.1 : Τα κύρια μέρη ανεμογεννήτριας οριζοντίου άξονα

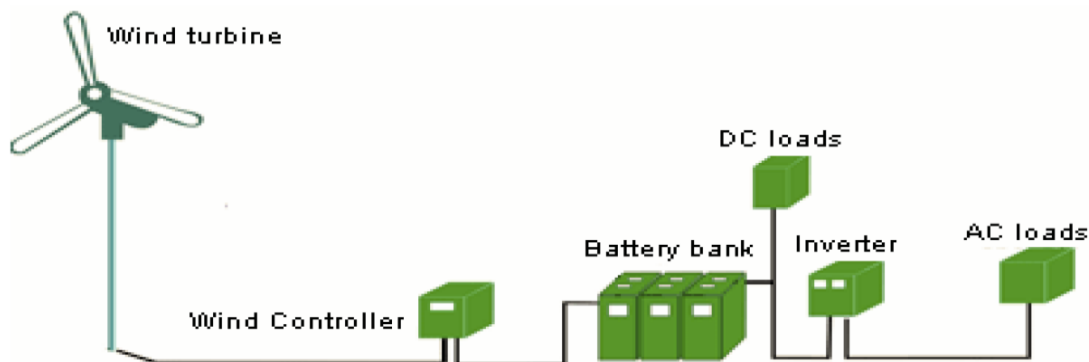
Ο *δρομέας*, είναι ίσως το πιο βασικό ζήτημα στη σχεδίαση του όλου συστήματος. Αποτελείται από την πλήμνη και τα πτερύγια. Το πτερύγιο έχει αεροδυναμικό σχήμα και μπορεί να είναι ενιαίο ή να διαθέτει ακροπτερύγιο. Τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά των πτερυγίων (αριθμός πτερυγίων, κατανομή πλάτους, επιλογή αεροτομής, συστροφή) προκύπτουν από τη βελτιστοποίηση της αεροδυναμικής σχεδίασης.

Η *ηλεκτρική γεννήτρια*, μπορεί να είναι ασύγχρονη ή σύγχρονη γεννήτρια. Αν και οι σύγχρονες γεννήτριες έχουν καλύτερη συμπεριφορά σε σύγχρονα δίκτυα, συνήθως προτιμούνται οι ασύγχρονες γεννήτριες λόγω της απλότητας της κατασκευής τους.

Το *σύστημα προσανατολισμού*, είναι ένας σερβοκινητήρας, ο οποίος ελέγχεται από τον ανεμοδείκτη του ανεμογράφου και αναγκάζει το δρομέα να παρακολουθεί την κατεύθυνση του ανέμου και να παραμένει κάθετος σε αυτήν.

Ο *πύργος*, της ανεμογεννήτριας στηρίζει την άτρακτο και το δρομέα. Μπορεί να είναι τύπου δικτυώματος, σωληνωτός και σπανιότερα από σκυρόδεμα. Η θεμελίωση γίνεται με οπλισμένο σκυρόδεμα πάνω στο οποίο τοποθετείται με βίδες ο πύργος. Ο πύργος έχει σχήμα κώνου που εξυπηρετεί στην αύξηση της αντοχής και στην εξοικονόμηση υλικών με τη διάμετρο να αυξάνεται όσο πλησιάζουμε τη βάση.

Τέλος, μεγάλης σημασίας είναι η γείωση που πρέπει να έχει η μεταλλική κατασκευή της ανεμογεννήτριας.



Σχήμα 2.2.5.2 : Τυπικός σχεδιασμός ενός υβριδικού συστήματος με Α/Γ και μπαταρίες

2.2.6. Εφαρμογή στην Κύπρο

Σύμφωνα με το Υπουργείο Εμπορίου, Βιομηχανίας και Τουρισμού Κύπρου στόχος είναι τα μεγαλύτερα αιολικά πάρκα να συνεισφέρουν το μεγαλύτερο ποσοστό ηλεκτρικής ενέργειας από όλες τις άλλες τεχνολογίες Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας.

Το Υπουργείο Εμπορίου, Βιομηχανίας και Τουρισμού, φιλοδοξώντας να παίξει ένα καταλυτικό ρόλο στην δημιουργία των Τεχνολογιών ΑΠΕ και να διευκολύνει την όσμωση μεταξύ επιχειρήσεων και τοπικών κοινωνιών, προχώρησε στην τροποποίηση του Σχεδίου Χορηγιών το 2009. Το Σχέδιο για Ενθάρρυνση της Ηλεκτροπαραγωγής από Μεγάλα Εμπορικά Συστήματα που βρίσκεται αυτή τη στιγμή σε ισχύ, προνοεί ότι 2% των εσόδων του Πάρκου θα δίνονται σαν οικονομική ενίσχυση στις γεινιάζουσες κοινότητες, ενώ παράλληλα τα έσοδα από την πώληση της ηλεκτρικής ενέργειας που θα διοχετεύεται στο δίκτυο είναι 16,6 Ευρώ σεντ ανά KWh. Η συνολική αυτή τιμή είναι σταθερή για 20 χρόνια, κάτι που είναι ιδιαίτερα σημαντικό για τους επενδυτές.

Από το 2008, έχουν αδειοδοτηθεί αιολικά πάρκα σε επτά περιοχές της Κύπρου με συνολική ισχύ 165MW ενώ οι συνολικά 75 ανεμογεννήτριες που λειτουργούν έχουν ισχύ που φτάνει τα 135,9MW. Σύμφωνα με το ενεργειακό ισοζύγιο του 2011, τα αιολικά πάρκα συνεισέφεραν περίπου 3,5% της τελικής εγχώριας κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας. Συγκεκριμένα, για την Αιολική Ενέργεια έχει τεθεί ως στόχος τα 300MWAιολικών Συστημάτων μέχρι το 2020.

Το 2012, εγκαινιάστηκε το Αιολικό πάρκο "Αγίας Άννας" στην επαρχία Λάρνακας για την παραγωγή ενέργειας συνολικής ισχύος 20MW. Η κατασκευή και λειτουργία του τρίτου Αιολικού Πάρκου, δυναμικότητας 20MW, με παραγωγή περίπου 30GWh το χρόνο, θα συμβάλει ουσιαστικά στις προσπάθειες εκμετάλλευσης της αιολικής ενέργειας στην Κύπρο και στην υλοποίηση των στόχων που έχουν τεθεί από την Ευρωπαϊκή Ένωση με την νέα Οδηγία 2009/28/EK, όπου μέχρι το 2020 το 13% της τελικής κατανάλωσης θα πρέπει να προέρχεται από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας. Το Αιολικό Πάρκο αναμένεται να συνεισφέρει περίπου 1% στην τελική κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας του 2012.

2.3 Ηλιακή ενέργεια

Ηλιακή ενέργεια χαρακτηρίζεται το σύνολο των διαφόρων μορφών ενέργειας που προέρχεται από τον ήλιο, όπως το φως, η θερμότητα και η ενέργεια ακτινοβολίας. Είναι πρακτικά ανεξάντλητη αφού προέρχεται από τον ήλιο, και γι' αυτό το λόγο δεν υπάρχουν περιορισμοί χώρου και χρόνου για την εκμετάλλευσή της. Η ηλιακή ενέργεια αξιοποιείται μέσω τεχνολογιών που εκμεταλλεύονται τη θερμική και ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία του ήλιου με χρήση μηχανικών μέσων για τη συλλογή, αποθήκευση και διανομή της. Συγκεκριμένα, η ηλιακή ακτινοβολία αξιοποιείται για την παραγωγή ηλεκτρισμού με δύο τρόπους: με θερμικές και φωτοβολταϊκές εφαρμογές. Η πρώτη είναι η συλλογή της ηλιακής ενέργειας με στόχο την παραγωγή θερμότητας (χρησιμοποιείται κυρίως για τη θέρμανση του νερού και τη μετατροπή του σε ατμό για την κίνηση τουρμπίνων), ενώ στη δεύτερη εφαρμογή τα φωτοβολταϊκά συστήματα μετατρέπουν το φως του ήλιου σε ηλεκτρισμό με τη χρήση φωτοβολταϊκών κυψελών ή συστοιχιών.

2.3.1. Πλεονεκτήματα

Πρώτο και κύριο, η ηλιακή ενέργεια είναι μια ανανεώσιμη πηγή ενέργειας με την κυριολεκτική έννοια του όρου. Όσο ο ήλιος εξακολουθεί να υφίσταται, θα υπάρχει διαθέσιμη ηλιακή ενέργεια. Δεύτερον, η ηλιακή ενέργεια είναι μια καθαρή και φιλική προς το περιβάλλον πηγή ενέργειας αφού προκαλεί μηδενική ρύπανση. Με την καύση των ορυκτών καυσίμων έχουμε απελευθέρωση των επιβλαβών αερίων με αποτέλεσμα την καταστροφή της στιβάδας του όζοντος. Αντίθετα, στην περίπτωση της ηλιακής ενέργειας δεν τίθεται τέτοιο θέμα. Επιπλέον, η ηλιακή ενέργεια δεν είναι σε ένα συγκεκριμένο τόπο όπως υφίσταται με ορισμένες άλλες μορφές ενέργειας. Η ηλιακή ενέργεια είναι παντού ανεξαρτήτως αν το άτομο βρίσκεται σε μια πόλη, σε μια άνυδρη έρημο ή σε ένα καταπράσινο δάσος.

2.3.2. Μειονεκτήματα

Το βασικό μειονέκτημα της ηλιακής ενέργειας είναι το αρχικό κόστος. Συγκεκριμένα, οι ηλιακοί συλλέκτες είναι συγκριτικά ακριβοί λόγω του κόστους υλικών και της πολυπλοκότητας του σχεδιασμού της, έχοντας ως αποτέλεσμα να το ποσό να είναι υψηλό ειδικά στην περίπτωση της οικιακής κατανάλωσης. Δεύτερον, όπως είναι φυσικό η ηλιακή ενέργεια παράγεται καθ' όλη τη διάρκεια της ημέρας με το φως του ήλιου, οπότε σαφώς και δεν παράγεται ενέργεια το βράδυ. Η μόνη λύση παρόλα αυτά για την χρήση της ενέργειας αυτής το βράδυ είναι η αποθήκευση της κατά τη διάρκεια της ημέρας και η χρήση της κατά τη διάρκεια της νύκτας. Ωστόσο υπάρχουν προβλήματα στην αποθήκευση. Τρίτον, καιρικά φαινόμενα όπως βροχή και συννεφιά μπορούν να παρέμβουν στο ποσό του φωτός του ήλιου που φτάνει το ηλιακό πάνελ. Αυτό με τη σειρά του επηρεάζει την ποσότητα της ενέργειας και τη δύναμη που παράγεται.

2.3.3. Θερμικές εφαρμογές

Ένα τυπικό σύστημα παραγωγής ζεστού νερού όπως γνωρίζουμε όλοι είναι ο θερμοσίφωνας. Αποτελείται από ηλιακούς συλλέκτες, μια δεξαμενή αποθήκευσης του ζεστού νερού και τις απαραίτητες σωληνώσεις για το σύστημα έλεγχου. Έτσι, μειώνουμε την κατανάλωση ρεύματος μας σε σχέση με έναν κοινό θερμοσίφωνα που δουλεύει μόνο με ηλεκτρικό ρεύμα. Η ηλιακή ακτινοβολία απορροφάται από τον συλλέκτη και η συλλεγόμενη θερμότητα μεταφέρεται στο δοχείο αποθήκευσης. Οι επίπεδοι ηλιακοί συλλέκτες τοποθετούνται συνήθως στην οροφή του κτιρίου με προσανατολισμό προς τον νότο και με κλίση στον ορίζοντα 30° - 60° ώστε να πετυχαίνουμε την μέγιστη ακτινοβολία.

Η θερμική εφαρμογή όμως χρησιμοποιείται και για παραγωγή ηλεκτρικής εναργείας. Αυτό το πετυχαίνουμε με ατμό ηλεκτρικά εργοστάσια. Ειδικοί ανακλαστήρες ανακλούν το φως του ήλιου πάνω σε σωλήνες οι οποίοι περιέχουν νερό όπου ανακυκλώνεται. Η ακτίνες του ήλιου καθώς προσπίπτουν πάνω στους σωλήνες τους ζεσταίνουν, το νερό θερμαίνεται και παράγεται ατμός. Ο ατμός καταλήγει σε δεξαμενές με πίεση ατμού

στους 50 bar και 285°C. Στη συνέχεια ο ατμός από ειδικούς σωλήνες παίρνει στο ατμό ηλεκτρικό εργοστάσιο όπου δίνει ώθηση στην γεννήτριες για να παράγουν ρεύμα.

Ο ήλιος αποτελεί ανεξάντλητη πηγή ενέργειας. Ιδιαίτερα για την Κύπρο, που διαθέτει υψηλή ηλιακή ακτινοβολία με μεγάλη διάρκεια ηλιοφάνειας, η ηλιακή ενέργεια αποτελεί τη σημαντικότερη Ανανεώσιμη Πηγή Ενέργειας και το βασικό ενεργειακό πλούτο της χώρας. Ως ηλιακή ενέργεια θεωρούμε όλες τις διαφορετικές μορφές ενέργειας που προέρχονται από τον ήλιο, όπως το φως (φωτεινή ενέργεια), τη θερμότητα (θερμική ενέργεια) καθώς και άλλες μορφές ακτινοβολίας (ενέργεια ακτινοβολίας). Το άθροισμα της συνολικής ετήσιας ακτινοβολίας στη χώρα μας είναι περίπου 1.700 kWh/m²/έτος), περίπου το 70% αποτελεί άμεση ακτινοβολία και το 30% διάχυτη. Οι τεχνολογίες εκμετάλλευσης της ηλιακής ενέργειας μπορούν να καλύψουν τις ενεργειακές ανάγκες ενός κτιρίου σε θέρμανση, ψύξη, ζεστό νερό χρήσης, φως και ηλεκτρισμό, αποφεύγοντας τις αρνητικές επιπτώσεις των αερίων του θερμοκηπίου που παράγονται από τα συμβατικά καύσιμα. Υπάρχουν τρεις βασικές κατηγορίες εφαρμογών: τα παθητικά ηλιακά συστήματα, τα ενεργητικά ηλιακά θερμικά (ηλιοθερμικά) συστήματα, και τα φωτοβολταϊκά συστήματα. Τα παθητικά και τα ενεργητικά ηλιακά θερμικά συστήματα εκμεταλλεύονται τη θερμότητα που εκπέμπεται μέσω της ηλιακής ακτινοβολίας, ενώ τα φωτοβολταϊκά συστήματα βασίζονται στη μετατροπή της ηλιακής ακτινοβολίας σε ηλεκτρικό ρεύμα μέσω του φωτοβολταϊκού φαινομένου. Η παραγωγή ζεστού νερού με ηλιακούς θερμοσίφωνες είναι η πιο διαδεδομένη τεχνολογία αξιοποίησης της ηλιοθερμικής ενέργειας και έχει μεγάλη εφαρμογή στην Κύπρο από το 1956 , ενώ η χρήση ηλιακής ενέργειας για θέρμανση/ψύξη χώρων εφαρμόζεται μόλις τα τελευταία χρόνια. Σήμερα το 92% των νοικοκυριών και το 53% των ξενοδοχειακών μονάδων στην Κύπρο καλύπτουν το μεγαλύτερο μέρος των αναγκών τους σε ζεστό νερό χρησιμοποιώντας ηλιακούς συλλέκτες.



Εικόνα 2.3.3.1 Ηλιακός επίπεδος συλλέκτης



Εικόνα 2.3.3.2 Ηλιακό πλαίσιο με σωλήνες κενού

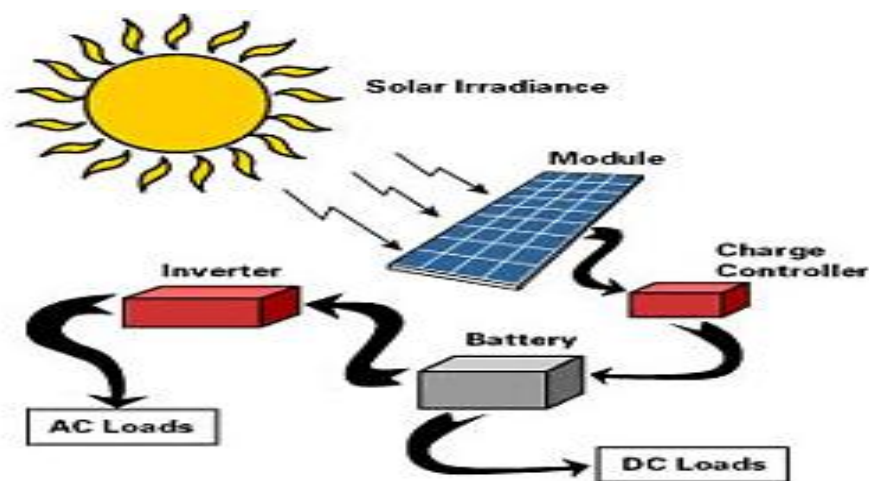
2.3.4. Ηλεκτρικές εφαρμογές

Ένας άλλος τρόπος παραγωγής ενέργειας είναι τα φωτοβολταϊκά συστήματα έχουν τη δυνατότητα μετατροπής της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική. Ένα φωτοβολταϊκό σύστημα αποτελείται από:

- 1) Το φωτοβολταϊκό πλαίσιο (είδος ηλιακού συλλέκτη)

- 2) Τον αισθητήρα ηλιακού φωτός για να μετακινήσει το φωτοβολταϊκά ανάλογα προς τον ήλιο.
- 3) Το μηχανισμό προσανατολισμού (που συνεργάζεται με τον αισθητήρα)
- 4) Το σύστημα αποθήκευσης της ενέργειας (μπαταρίες)
- 5) Τα ηλεκτρονικά συστήματα που ελέγχουν την ηλεκτρική ενέργεια που παράγει η φωτοβολταϊκή συστοιχία.

Τα φωτοβολταϊκά αφού παράγουν ηλεκτρικό ρεύμα το μεταφέρουν μέσω καλωδιώσεων σε έναν μετατροπέα (inverter) όπου μετατρέπει το συνεχές ρεύμα σε εναλλασσόμενο και το στέλνει στους παροχής. Αυτό συμβαίνει στο ηλεκτρικό δίκτυο. Σε ένα οικιακό δίκτυο έχουμε και μπαταρίες η οποίες φορτίζουν με συνεχές ρεύμα και μετέπειτα αναλαμβάνει ο inverter να το διανέμει στο σπίτι ακόμα και σε παροχέα ηλεκτρικής ενέργειας.



Σχήμα 2.3.4.1 : Βασικά στάδια λειτουργίας φωτοβολταϊκού συστήματος

Όταν τα φωτοβολταϊκά πλαίσια εκτεθούν στην ηλιακή ακτινοβολία τότε αυτά μετατρέπουν ένα 10% περίπου της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική. Τα φωτοβολταϊκά πλαίσια αποτελούνται από κατάλληλα επεξεργασμένους δίσκους πυριτίου που βρίσκονται ερμητικά σφραγισμένοι μέσα σε πλαστική ύλη για να προστατεύονται από τις

καιρικές συνθήκες.

Η ποσότητα της διαθέσιμης ισχύος από μια φωτοβολταϊκή συσκευή καθορίζεται από:

1. Τον τύπο και την επιφάνεια του υλικού.
2. Την ένταση του ηλιακού φωτός.
3. Το μήκος κύματος του ηλιακού φωτός.

Να τονίσουμε ότι κυψέλες μονοκρυσταλικού πυριτίου δεν μπορούν έως σήμερα να μετατρέψουν περισσότερο από 25% της ηλιακής σε ηλεκτρική ενέργεια διότι η ακτινοβολία στην υπέρυθρη περιοχή του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος δεν διαθέτει ενέργεια αρκετή για να διαχωρίσει τα θετικά και αρνητικά φορτία στο υλικό. Οι ηλιακές κυψέλες πολυκρυσταλικού πυριτίου έχουν αποδοτικότητα λιγότερη από 20% λόγω των μεγαλύτερων εσωτερικών απωλειών ενέργειας από αυτές του μονοκρυσταλικού πυριτίου.

| Συγκριτικός πίνακας Φ/Β τεχνολογιών | | | | |
|---|---|--|---|---|
| Τύπος | 'Λεπού- υμενίου' (Thin Film) | Πολυκρυ- σταλλικά | Μονοκρυ- σταλλικά | Υβριδικά |
| Εμφάνιση |  |  |  |  |
| Απόδοση | 6 -12% | 13-15% | 14-20% | 16-17% |
| Απαιτούμενη επιφάνεια ανά kWp | 10-20 m ² | 7-9 m ² | 6-9 m ² | 6-7 m ² |
| Μέση ετήσια παραγωγή ενέργειας (kWh ανά kWp) ^ο | 1.400-1.600 | 1.500 | 1.500 | 1.550 |
| Μέση ετήσια παραγωγή ενέργειας (kWh ανά m ²) ^ο | 60-160 | 1445-185 | 145-235 | 190-225 |
| Ετήσια μείωση εκπο- μπών CO ₂ (kg CO ₂ ανά kWp) | 1.300-1.485 | 1.400 | 1.400 | 1.440 |

Σχήμα 2.3.4.2 : Τύποι φωτοβολταϊκών πλαισίων

2.3.5. Δομή φωτοβολταϊκού συστήματος

Το φωτοβολταϊκό σύστημα αποτελείται από τα ακόλουθα τμήματα:

- Τη φωτοβολταϊκή γεννήτρια (φωτοβολταϊκό πλαίσιο) με τη βάση στήριξης και ίσως (tracker), σύστημα παρακολούθησης της ηλιακής τροχιάς
- Μπαταρίες & συσσωρευτές φωτοβολταϊκών



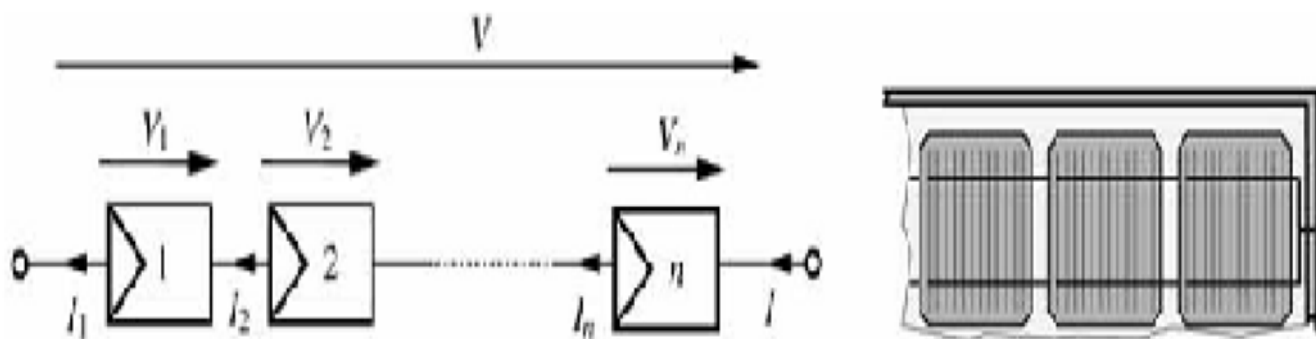
- Αντιστροφέα (inverter) για μετασχηματισμό της dc τάσης (12v/24v/48v) στα 230V AC.



- Ρυθμιστή φόρτισης (charge controller) για τον έλεγχο και προστασία των μπαταριών



Συνήθως τα φωτοβολταϊκά πλαίσια σε μια βασική μονάδα συνδέονται μεταξύ τους σε σειρά.



Το ρεύμα μέσω όλων των κυψελών που είναι σε σειρά συνδέσεις κυψελών, είναι πανομοιότυπη σύμφωνα με το νόμο του Kirchhoff. Η τάση της κυψέλης V είναι πρόσθεση για την δημιουργία της συνολικής τάση.

2.3.5.1 Πλεονεκτήματα φωτοβολταϊκών

- Έχουν μεγάλη διάρκεια ζωής και αξιοπιστία με ελάχιστο κόστος συντήρησης.
- Δεν ελκύουν ρύπους και δεν παράγουν απόβλητα.
- Απευθείας παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας ακόμη και σε πολύ μικρή κλίμακα.
- Έχουν αθόρυβη λειτουργία.

- Έχουν μεγάλη διάρκεια ζωής και αξιοπιστία με ελάχιστο κόστος συντήρησης.
- Μπορούν να εφαρμοστούν εκεί που είναι ασύμφορο, δύσκολο ή και αδύνατο να μεταφερθεί ηλεκτρικό ρεύμα από το υφιστάμενο ηλεκτρικό δίκτυο.

2.3.5.2 Μειονεκτήματα φωτοβολταϊκών

- Το πιο σημαντικό μειονέκτημα των Φ/Β συστημάτων είναι το υψηλό αρχικό κόστος επένδυση, κυρίως λόγω του υψηλού κόστους των υλικών που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή.
- Απαιτείται μεγάλος χώρος για την ολοκλήρωση της εγκατάστασης για να επιτευχθεί ένα καλό επίπεδο απόδοσης.
- Τα Φ/Β πλαίσια παράγουν συνεχή τάση η οποία πρέπει να μετατραπεί σε εναλλασσόμενη(με την χρήση μετατροπέα).Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την απώλεια κατά 4-12%.

2.3.6. Εφαρμογή στην Κύπρο

Από το 2013 μέχρι σήμερα έχουν εγκατασταθεί συνολικά 7200 συστήματα netmetering συνολικής ισχύος 21,1MWκαι 30 συστήματα αυτοπαραγωγής συνολικής ισχύος 1,4MW.

Σύμφωνα με το υπουργείο Εμπορίας, Βιομηχανίας και Τουρισμού της Κύπρου τα φωτοβολταϊκά συστήματα αναμένεται να διαδραματίσουν σημαντικότατο ρόλο στην επίτευξη των δεσμεύσεων, αφού στοχεύεται η υλοποίηση 192 MW εγκαταστάσεων μέχρι το έτος 2020, τα οποία θα παράγουν το 4,2% της συνολικής κατανάλωσης ηλεκτρισμού του 2020. Η συνεισφορά των ΑΠΕ στη συνολική κατανάλωση ηλεκτρισμού του 2020 στοχεύεται να είναι 16%.

Ένα ατυχές περιστατικό το 2012 στην περιοχή Μαρί Κύπρου κατέστρεψε το βασικότερο ηλεκτροπαραγωγικό σταθμό του νησιού και γι αυτό ώθησε το 2013 το Ειδικό Ταμείο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ) και Εξοικονόμησης Ενέργειας (ΕΞΕ) για την

πώληση ενέργειας από ιδιωτικά φωτοβολταϊκά πάρκα συνολικής ισχύος 50MW.

Το μεγαλύτερο φωτοβολταϊκό πάρκο έχει ισχύ 3MWp. Το πάρκο αποτελείται από 12.000 ηλιακά πλαίσια και καλύπτει έκταση 4,6 εκταρίων. Με τη λειτουργία του το πάρκο θα παράγει 5000 MWh/χρόνο και η εξοικονόμηση σε διοξείδιο του άνθρακα (CO₂) θα είναι 3.600 τόνους CO₂/χρόνο

2.4 Υδροηλεκτρική ενέργεια

Η Υδροηλεκτρική Ενέργεια είναι η ενέργεια η οποία στηρίζεται στην εκμετάλλευση της μηχανικής ενέργειας του νερού των ποταμών και της μετατροπής της σε ηλεκτρική ενέργεια με τη βοήθεια στροβίλων και ηλεκτρογεννητριών.

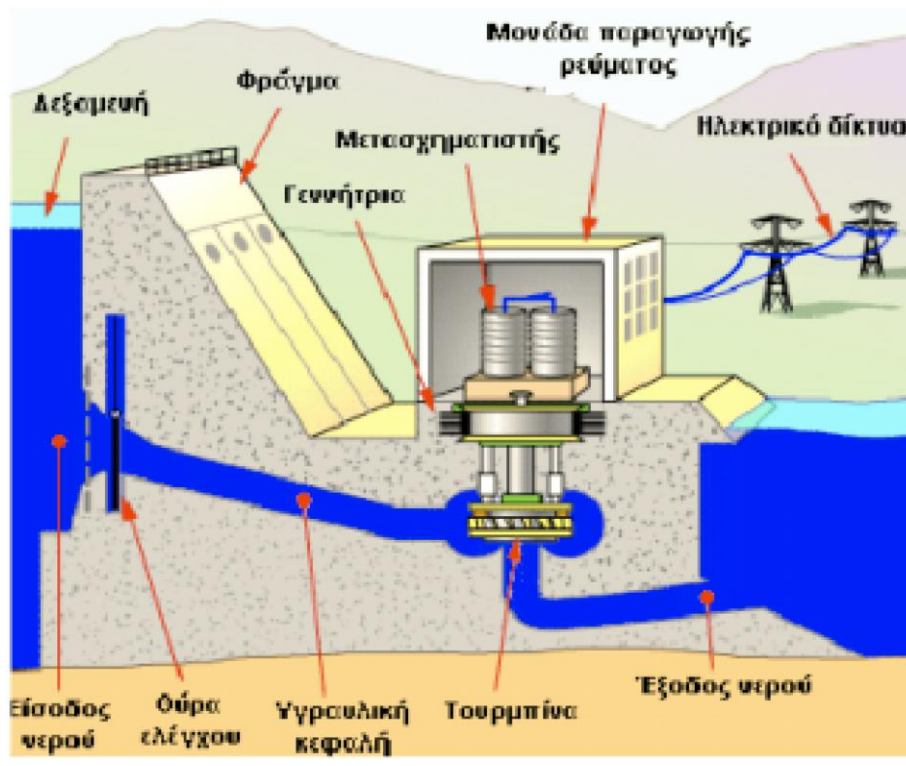
2.4.1 Περιγραφή της τεχνολογίας και λειτουργίας της

Για να πετύχουμε παραγωγή υδροηλεκτρικής ενέργειας από την δημιουργούμε φράγματα σε κατάλληλα σημεία όπου έχουμε μεγάλη συσσωρεύσει νερού.(π.χ. ποτάμια). Στα φράγματα αυτά δημιουργούμε υδροηλεκτρικές μονάδες. Οι υδροηλεκτρικές μονάδες εκμεταλλεύονται τη φυσική διαδικασία του κύκλου του νερού. Κάθε μέρα ο πλανήτης μας αποβάλλει μια μικρή ποσότητα νερού καθώς η υπεριώδης ακτινοβολία διασπά τα μόρια του νερού σε ιόντα. Ταυτόχρονα νέες ποσότητες νερού εμφανίζονται λόγω της ηφαιστειακής δραστηριότητας, έτσι ώστε η συνολική ποσότητα του νερού να διατηρείται περίπου σταθερή. Η λειτουργία αυτή βασίζεται στην κίνηση του νερού λόγω διαφοράς μανομετρικού ύψους μεταξύ των σημείων εισόδου και εξόδου του φράγματος.

Το φράγμα συγκρατεί την απαιτούμενη ποσότητα νερού στον δημιουργούμενο ταμιευτήρια. Κατά τη διέλευσή του από τον αγωγό πτώσεως κινεί έναν υδροστρόβιλο ο οποίος θέτει σε λειτουργία τη γεννήτρια. Η ποσότητα του ηλεκτρισμού που παράγεται καθορίζεται από αρκετούς παράγοντες. Δύο από τους σημαντικότερους είναι ο όγκος

του νερού που ρέει και η διαφορά μανομετρικού ύψους μεταξύ της ελεύθερης επιφάνειας του ταμιευτήρα και του υδροστροβίλου. Η ποσότητα ηλεκτρισμού που παράγεται είναι ανάλογη των δύο αυτών μεγεθών. Συνεπώς, ο παραγόμενος ηλεκτρισμός εξαρτάται από την ποσότητα του νερού του ταμιευτήρα. Για το λόγο αυτόν μόνο σε περιοχές με σημαντικές βροχοπτώσεις, πλούσιες πηγές και κατάλληλη γεωλογική διαμόρφωση είναι δυνατόν να κατασκευαστούν υδροηλεκτρικά έργα. Το παρακάτω σχήμα περιγράφει ένα υδροηλεκτρικό εργοστάσιο που περιλαμβάνει :

- Τον υδατοταμιευτήρα (δεξαμενή) το σημείο όπου μαζεύεται το νερό.
- Το φράγμα που συγκρατεί το νερό.
- Μια θύρα που περιορίζει το νερό που εισχωρεί μέσα από το φράγμα για να καταλήξει στον υδροστρόβιλο.
- Το νερό φτάνει στον υδροστρόβιλο όπου περιστρέφεται και κινεί την γεννήτρια η οποία παράγει ρεύμα. Το ρεύμα αυτό διαμορφώνεται κατάλληλα και στέλνεται στο δίκτυο και από εκεί στους παροχές.



Σχήμα 2.4.1.1 :Υδροηλεκτρικό εργοστάσιο.

Για την καλύτερη λειτουργία υδροηλεκτρικού εργοστάσιου εκτός από την σωστή σχεδίαση του φράγματος έχουμε και την σωστή σχεδίαση και δημιουργία στομίων εισόδου δηλαδή κατευθύνει υπό ελεγχόμενες συνθήκες το νερό στο σημείο όπου εισχωρεί στις δεξαμενές του υδροηλεκτρικού εργοστάσιου. Το στόμιο εισόδου λειτουργεί ως μετάβαση μεταξύ ενός ρεύματος που μπορεί να είναι ένα ρυάκι ή ένας ορμητικός χείμαρρος ως προς την ποιότητα και ποσότητα της ροής του νερού. Επίσης με την δημιουργία στομίων βοηθούν στην αποφυγή φραξίματος της εισόδου από ιζήματα που μπορούν να προκαλέσουν ζημιά στο υδροηλεκτρικό εργοστάσιο.

2.4.2 Περιγραφή υδραυλική ενέργεια σε μηχανική ενέργεια

Έχουμε ένα μεγάλο εύρος υδροστρόβιλων που διαφέρουν μεταξύ τους για κάθε εργοστάσιο παραγωγής ενέργειας. Οι υδροστρόβιλοι για υδροηλεκτρικά εργοστάσια χωρίζονται συνήθως σε δυο group:

A: Υδροστρόβιλοι δράσης

B: Υδροστρόβιλοι αντίδρασης

Η διάκριση αυτή βασίζεται στη διαφορά μεταξύ των δύο υποθέσεων της μετατροπής της ενέργειας στους υδροστρόβιλους. Εν συντομία αυτούς τους δύο τρόπους μετατροπής της ενέργειας μπορεί να προφέρεται ως εξής:

Υδροστρόβιλοι δράσης (μερικής προσβολής): Στους υδροστρόβιλους αυτούς η ροή δεν είναι αξονοσυμμετρική και κάθε χρονική στιγμή γίνεται τροφοδοσία όχι σε ολόκληρο το δρομέα αλλά σε τμήμα αυτού. Συνεπώς, σε κάθε χρονική στιγμή λειτουργίας τους, μόνο το τμήμα που τροφοδοτείται με νερό συμβάλει ουσιαστικά στη μετατροπή ενέργειας για την οποία υπεύθυνος είναι ο δρομέας. Λόγω του ότι ολόκληρος ο δρομέας λειτουργεί σε χώρο όπου επικρατεί ομοιομορφία ατμικής πίεσης, ο βαθμός αντιδράσεώς τους είναι μηδενικός. Για το λόγο αυτό ονομάζονται και υδροστρόβιλοι

δράσης. Οι στρόβιλοι αυτοί χρησιμοποιούνται για μεγάλες τιμές υδραυλικής πτώσης (μεγάλη διαφορά μανομετρικού ύψους).

Υδροστρόβιλοι αντίδρασης (ολικής προσβολής): Στους υδροστρόβιλους αντίδρασης δύο φαινόμενα προκαλούν την μεταφορά ενέργειας από τη ροή των μηχανικών ενέργειας στον άξονα και τον υδροστρόβιλο. Πρώτον έπεται από μια πτώση της πίεσης από την είσοδο στην έξοδο του δρομέα. Αυτό υποδηλώνεται το μέρος αντίδραση της μετατροπής της ενέργειας. Δεύτερον αλλαγές στις κατευθύνσεις των φορέων ταχύτητα της ροής μέσα από τα κανάλια μεταξύ των λεπίδων δρομέα μεταφορά των δυνάμεων άμεσης κατανάλωσης. Αυτό υποδηλώνεται το μέρος ώθηση της ενεργειακής μετατροπής. Η πτώση πίεσης από την είσοδο στην έξοδο των δρομέων προκύπτει επειδή οι δρομείς τελείως γεμάτη με νερό.

Οι πιο συχνά χρησιμοποιούμενοι υδροστρόβιλοι σήμερα είναι οι εξής:

- *Τύπου δράσης*: Υδροστρόβιλοι Pelton και Turgo
- *Τύπου αντίδρασης*: Υδροστρόβιλοι Francis, Kaplan ή Bulb

2.4.3 Μειονεκτήματα

- Το μεγάλο κόστος κατασκευής φραγμάτων και εγκατάστασης εξοπλισμού, καθώς και ο συνήθως μεγάλος χρόνος που απαιτείται για την αποπεράτωση του έργου.
- Η έντονη περιβαλλοντική αλλοίωση της περιοχής του έργου (συμπεριλαμβανομένων της γεωμορφολογίας, της πανίδας και της χλωρίδας), καθώς και η ενδεχόμενη μετακίνηση πληθυσμών, η υποβάθμιση περιοχών, οι απαιτούμενες αλλαγές χρήσης γης. Επιπλέον, σε περιοχές δημιουργίας μεγάλων έργων παρατηρήθηκαν αλλαγές του μικροκλίματος, αλλά και αύξηση της σεισμικής επικινδυνότητας τους.

2.4.4 Πλεονεκτήματα

Μερικά από τα πλεονεκτήματα χρήσης της υδροηλεκτρικής ενέργειας είναι τα ακόλουθα:

- Είναι πρακτικά ανεξάντλητη πηγή ενέργειας και συμβάλλει στη μείωση της εξάρτησης από συμβατικούς ενεργειακούς πόρους.
- Είναι εγχώρια πηγή ενέργειας και συνεισφέρει στην ενίσχυση της ενεργειακής ανεξαρτητοποίησης και της ασφάλειας του ενεργειακού εφοδιασμού σε εθνικό επίπεδο.
- Είναι διάσπαρτη γεωγραφικά και οδηγεί στην αποκέντρωση του ενεργειακού συστήματος αλλά και δίνει τη δυνατότητα ορθολογικής αξιοποίησης τοπικών ενεργειακών πόρων.
- Μπορεί να αποτελέσει πυρήνα για την αναζωογόνηση οικονομικά και κοινωνικά υποβαθμισμένων περιοχών καθώς και να συμβάλλει στην τοπική ανάπτυξη, με την προώθηση σχετικών επενδύσεων.
- Δεν παράγει ατμοσφαιρικούς ρύπους και θόρυβο (παρά μόνο μικρής έντασης και χρονικής διάρκειας στη φάση των κατασκευών).
- Ο ταμιευτήρας (όταν επιλέγεται η κατασκευή φράγματος) μπορεί να οδηγήσει στην δημιουργία υδροτόπου.
- Από την παραγωγή ενέργειας από μικρά υδροηλεκτρικά δεν παράγονται καθόλου ρύποι, δεν υπάρχουν λύματα, δεν παράγεται ηχορύπανση, δεν επηρεάζονται ζώα και φυτά.
- Τα μικρά υδροηλεκτρικά δεν ρυπαίνουν και δεν εκπέμπουν αέρια του θερμοκηπίου, αλλά αντίθετα προστατεύουν το περιβάλλον, το κλίμα και την ποιότητα της ζωής μας. Δεν επιβαρύνουν το περιβάλλον με επικίνδυνους αέριους ρύπους, όπως διοξείδιο και μονοξείδιο του άνθρακα, διοξείδιο του θείου, καρκινογόνα μικροσωματίδια κ.ά., όπως γίνεται με τους συμβατικούς σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.

2. 5 Υβριδικά συστήματα

Όπως αναφέρθηκε και στο προηγούμενο κεφάλαιο, η στοχαστικότητα του ανέμου έχει

ως αποτέλεσμα η ενέργεια που παράγεται από τις αιολικές μηχανές να εμφανίζει έντονη διακύμανση. Η διακύμανση αυτή αποτελεί σημαντικό εμπόδιο στην εκτεταμένη εκμετάλλευση της αιολικής ενέργειας.

Έγινε ήδη φανερό ότι ένα ηλεκτρικό σύστημα χαρακτηρίζεται από την παραγωγή (προσφορά) και την κατανάλωση (ζήτηση) ενέργειας. Η ηλεκτρική ενέργεια έχει το χαρακτηριστικό να μη μπορεί να αποθηκεύεται σε μεγάλες ποσότητες, αφού κάτι τέτοιο οδηγεί σε αύξηση του κόστους. Αυτό σημαίνει ότι η παραγωγή ενέργειας πρέπει να βρίσκεται σε συνεχή ισορροπία με τη ζήτηση (ισορροπία δηλαδή προσφοράς - ζήτησης). Από την άλλη, οι ανεμογεννήτριες αδυνατούν να ικανοποιήσουν την απαίτηση αυτή, αφού στηρίζονται σε μη προβλέψιμα μετεωρολογικά δεδομένα.

Το πρόβλημα αυτό εμφανίζεται πιο έντονο σε μικρά αυτόνομα ηλεκτρικά συστήματα, όπως είναι αυτά πολλών ελληνικών νησιών, όπου η ζήτηση παρουσιάζει έντονες διακυμάνσεις. Η έλλειψη τοπικής βιομηχανίας που να καταναλώνει σημαντική ενέργεια τη νύχτα, καθώς και η κατακόρυφη αύξηση της ζήτησης τους καλοκαιρινούς μήνες λόγω του τουρισμού και της εκτεταμένης χρήσης κλιματιστικών συσκευών, προκαλούν έντονες ανομοιομορφίες στο προφίλ της ζήτησης ενέργειας.

Η ανομοιομορφία επομένως της ζήτησης τόσο ημερησίως όσο και ετησίως, σε συνδυασμό με τις σημαντικές διακυμάνσεις που εμφανίζει η παραγόμενη ενέργεια σε ένα μη διασυνδεδεμένο νησί μη αποδοτική και συνεπώς οικονομικά ασύμφορη. Για το λόγο αυτό, απαιτείται η χρήση συστημάτων που χρησιμοποιούν συνδυασμό ανεμογεννήτριες, καθιστούν την εγκατάστασή διαφορετικών τεχνολογιών και ονομάζονται υβριδικά συστήματα ή/και η χρήση συστημάτων αποθήκευσης ενέργειας.

Η παράλληλη χρήση αιολικών συστημάτων με μηχανές εσωτερικής καύσης diesel αποτελεί μια ευρύτατη εφαρμοσμένη τεχνολογία. Πολλά ελληνικά νησιά χρησιμοποιούν την παράλληλη λειτουργία αιολικών και diesel για την κάλυψη της ζήτησης. Σε τέτοια συστήματα οι αιολικές μηχανές λειτουργούν ως εφεδρεία και η χρήση τους μπορεί να αποφέρει μεγάλη εξοικονόμηση καυσίμου.

Η χρήση κάποιου συστήματος αποθήκευσης ενέργειας (π.χ., μπαταρία,

αντλησιοταμιευτήρας, κ.α.) επιτρέπει, όπως θα δούμε αναλυτικότερα στη συνέχεια, τη γρήγορη κάλυψη ενδεχόμενης απώλειας των αιολικών, πριν το σύστημα οδηγηθεί σε αδυναμία κάλυψης των φορτίων (blackout).

Υπάρχουν διαφορετικοί τύποι υβριδικών συστημάτων που συνδυάζουν τεχνολογίες ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Παραδείγματα τέτοιων εφαρμογών είναι ο συνδυασμός ανεμογεννητριών (Α/Γ) με φωτοβολταϊκά συστήματα (Φ/Β) με ή χωρίς σύστημα αποθήκευσης, Α/Γ και Φ/Β με αφαλάτωση, ενώ η παράλληλη χρήση μικρών υδροηλεκτρικών μπορεί να αυξήσει την αξιοπιστία του συστήματος, λόγω της προβλέψιμης λειτουργίας και της γρήγορης απόκρισης τους. Σε περιπτώσεις εφαρμογής υβριδικών συστημάτων γίνεται βελτιστοποίηση στη διαστασιολόγηση των μονάδων, και δίνεται έμφαση στο σύστημα ελέγχου της λειτουργίας.



Σχήμα 2.5.1: Τυπικό υβριδικό σύστημα που συνδυάζει αιολική και ηλιακή ενέργεια.

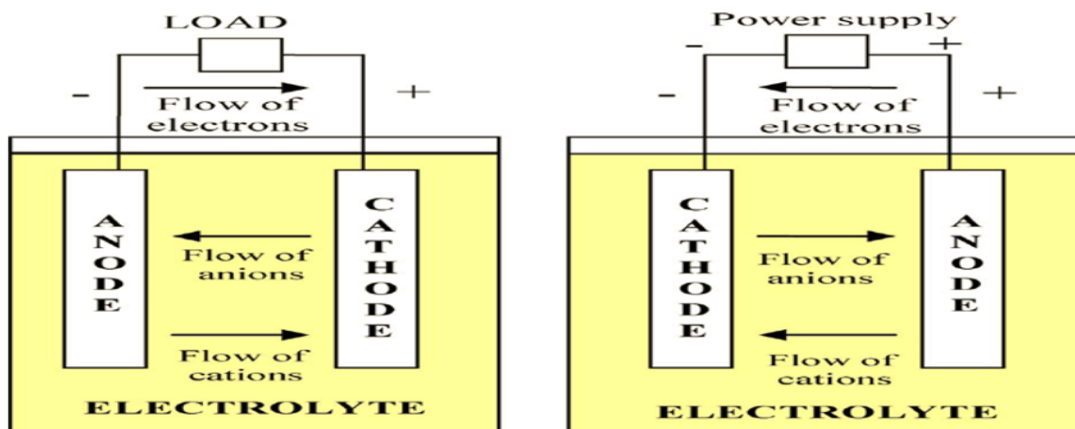
ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΡΙΤΟ

Διατάξεις Μακροπρόθεσμης Ενεργειακής Αποθήκευσης

3.1 Εισαγωγή - αποθήκευση ενέργειας σε χημική μορφή - τεχνολογία μπαταριών

Τελευταία, η εξέλιξη της τεχνολογίας αποθήκευσης της ηλεκτρικής ενέργειας επικεντρώνεται κυρίως στις διατάξεις αποθήκευσης μπαταριών. Μια μπαταρία (ή αλλιώς συσσωρευτής) είναι μια χημική πηγή ρεύματος, ικανή να αποθηκεύει ηλεκτρική ενέργεια, αφού τη μετατρέψει σε χημική, και όταν χρειαστεί να την αποδώσει σε εξωτερικό κύκλωμα. Σχηματίζεται από ένα ή περισσότερα ηλεκτρικά στοιχεία συνδεδεμένα σε σειρά ή παράλληλα ή και τα δύο, ανάλογα με την επιθυμητή παραγόμενη τάση. Το ηλεκτρικό στοιχείο αποτελείται από δύο πλάκες, φτιαγμένες από διαφορετικά μέταλλα και βυθισμένες σε ένα δοχείο με υγρό. Οι πλάκες, οι οποίες πρέπει να είναι αγωγίμες, ονομάζονται ηλεκτρόδια, ενώ το υγρό είναι και αυτό αγωγίμο και καλείται ηλεκτρολύτης. Τα ηλεκτρόδια αντιδρούν χημικά με τον ηλεκτρολύτη και η αντίδραση περιλαμβάνει τη μεταφορά ηλεκτρονίων από το ένα ηλεκτρόδιο στο άλλο μέσω ενός εξωτερικού ηλεκτρικού κυκλώματος/φορτίου. Δηλαδή, η σύνδεση των ηλεκτροδίων σε εξωτερικό ηλεκτρικό κύκλωμα προκαλεί σε αυτό διέλευση ρεύματος (εκφόρτιση της ηλεκτρικής μπαταρίας). Η εκφορτισμένη ηλεκτρική μπαταρία φορτίζεται όταν περάσει από αυτήν συνεχές ρεύμα από άλλη πηγή, ενώ ταυτόχρονα αντίστροφες χημικές διεργασίες μετατρέπουν την ηλεκτρική ενέργεια σε χημική.

Στο σχήμα 3.1.1 που ακολουθεί, παρατίθεται σχηματικά η δομή κάθε ηλεκτρικού στοιχείου. Το αρνητικό ηλεκτρόδιο ή αλλιώς άνοδος, παρέχει ηλεκτρόνια στο εξωτερικό ηλεκτρικό κύκλωμα/φορτίο και οξειδώνεται κατά τη διάρκεια της ηλεκτροχημικής αντίδρασης. Ακολουθώς, το θετικό ηλεκτρόδιο, ή αλλιώς κάθοδος, δέχεται τα ηλεκτρόνια και κατά συνέπεια μειώνεται το θετικό του φορτίο κατά τη διάρκεια της αντίδρασης. Ο ηλεκτρολύτης παρέχει το μέσο για την μεταφορά των ηλεκτρονίων μεταξύ ανόδου και καθόδου. Τέλος, για ηλεκτρική μόνωση χρησιμοποιούνται διαχωριστές ανάμεσα στα θετικά και τα αρνητικά ηλεκτρόδια.



Σχήμα 3.1.1 : Διάγραμμα μπαταρίας.

Σήμερα χρησιμοποιούνται ή τελούν υπό ανάπτυξη μια πληθώρα τεχνολογιών ενεργειακής αποθήκευσης μπαταρίας. Προς το παρόν εμπορικά διαθέσιμες είναι οι μπαταρίες εμβάπτισης μολύβδου - οξέος και οι VRLA (ρυθμιζόμενες με βαλβίδα μολύβδου - οξέος), καθώς επίσης και μερικές αλκαλικές μπαταρίες (NiCd, NiMH). Ορισμένες εξελιγμένες μπαταρίες που βρίσκονται στο στάδιο της ανάπτυξης, είναι οι μπαταρίες ψευδαργύρου/βρωμιδίου, οι μπαταρίες λιθίου, οι μπαταρίες νατρίου-θείου (NaS) και οι μπαταρίες μετάλλου-αέρα.

Στις υποενότητες που ακολουθούν, θα εξετάσουμε ξεχωριστά κάθε τεχνολογία ενεργειακής αποθήκευσης μπαταρίας, παρουσιάζοντας παράλληλα τις ιδιαίτερες δυνατότητες και αδυναμίες καθεμίας από αυτές.

3.1.1 Μπαταρίες μολύβδου - οξέος (Lead - Acid Batteries)

Οι μπαταρίες εμβάπτισης μολύβδου - οξέος είναι ο παλαιότερος τύπος επαναφορτιζόμενων μπαταριών. Βασίζονται σε χημικές αντιδράσεις, οι οποίες περιλαμβάνουν διοξείδιο του μολύβδου (PbO_2) για το σχηματισμό του ηλεκτροδίου καθόδου, μόλυβδο (Pb) για το σχηματισμό του ηλεκτροδίου ανόδου και θειικό οξύ

(H₂SO₄) που ενεργεί ως ηλεκτρολύτης. Η τάση ενός ηλεκτρικού στοιχείου μολύβδου - οξέος εκτιμάται στα 2 Volt και η τυπική ενεργειακή πυκνότητα είναι περίπου 30 Wh/kg, με πυκνότητα ισχύος γύρω στα 180 W/kg. Επιπρόσθετα, οι μπαταρίες εμβάπτισης μολύβδου σε οξύ παρουσιάζουν ικανοποιητικές ενεργειακές αποδόσεις, οι οποίες κυμαίνονται μεταξύ 60 και 95%, εγκαθίστανται εύκολα, απαιτούν χαμηλού επιπέδου συντήρηση και παρουσιάζουν χαμηλό κόστος επένδυσης. Ακόμα, τα ποσοστά αυτό-εκφόρτισης για αυτό το είδος μπαταριών είναι πολύ χαμηλά (γύρω στο 2-5% ανά μήνα), καθιστώντας τις μπαταρίες μολύβδου - οξέος ιδανικές για εφαρμογές μακροπρόθεσμης αποθήκευσης ενέργειας.

Εντούτοις, οι περιοριστικοί παράγοντες για αυτό το είδος μπαταριών είναι ο σχετικά χαμηλός αριθμός κύκλων φόρτισης/εκφόρτισης και η λειτουργική διάρκεια ζωής τους. Η τυπική διάρκεια ζωής των μπαταριών κυμαίνεται μεταξύ 300 και 1500 κύκλων φόρτισης/εκφόρτισης. Ο αριθμός των κύκλων φόρτισης/εκφόρτισης επηρεάζεται αρνητικά από το βάθος εκφόρτισης και τη θερμοκρασία. Οι προσπάθειες για πλήρη εκφόρτιση της μπαταρίας μπορούν να είναι ιδιαίτερα καταστρεπτικές για τα ηλεκτρόδια, μειώνοντας έτσι τη διάρκεια ζωής. Όσον αφορά τα επίπεδα θερμοκρασιών, οι υψηλές θερμοκρασίες (μέχρι 45 °C, που είναι το ανώτερο όριο για τη λειτουργία των μπαταριών) δύνανται να βελτιώσουν την απόδοση των μπαταριών από την άποψη της υψηλότερης χωρητικότητας, καθώς επίσης και την ενεργειακή τους απόδοση.

Οι τεχνολογίες αποθήκευσης ενέργειας μπαταρίας μολύβδου - οξέος, λόγω του χαμηλού τους κόστους, έχουν κυριαρχήσει στην αγορά. Συγκεκριμένα, είναι οι συνηθέστερα χρησιμοποιούμενες μπαταρίες για εφαρμογές φωτοβολταϊκών συστημάτων. Για μεγάλης κλίμακας εφαρμογές της αιολικής ενέργειας, έχει προταθεί η αποθήκευση ισχύος της τάξης των 100MW ή περισσότερο σε τέτοιου είδους μπαταρίες.

Τέλος, αξίζει να αναφέρουμε ότι η τεχνολογία μπαταριών εμβάπτισης μολύβδου σε οξύ βελτιώνεται σταδιακά και με ποικίλους τρόπους. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελούν οι μπαταρίες VRLA, που χρησιμοποιούν την ίδια βασική ηλεκτροχημική τεχνολογία με τις μπαταρίες μολύβδου - οξέος, με τη διαφορά αυτές φράσσονται με μια

βαλβίδα ρύθμισης της πίεσης. Επιπλέον, ο όξινος ηλεκτρολύτης είναι ακινητοποιημένος. Αυτό εξαλείφει την ανάγκη προσθήκης νερού στις κυψέλες για να διατηρείται η κατάλληλη λειτουργία του ηλεκτρολύτη, ή ανάμειξης του ηλεκτρολύτη για να αποτρέπεται η διαστρωμάτωση. Η ανακύκλωση του οξυγόνου και οι βαλβίδες των VRLA αποτρέπουν τον εξαερισμό των αερίων υδρογόνου και οξυγόνου, καθώς και την είσοδο αέρα στις κυψέλες.

Το υποσύστημα των μπαταριών αυτών μπορεί να χρειάζεται να αντικαθίσταται συχνότερα από ότι με τις μπαταρίες μολύβδου - οξέος, αυξάνοντας το σταθμισμένο κόστος του συστήματος. Οι μπαταρίες VRLA παρουσιάζουν δύο βασικά πλεονεκτήματα έναντι των μπαταριών εμβάπτισης σε οξύ:

1. Μειώνεται δραματικά η απαραίτητη συντήρηση για να διατηρείται η μπαταρία σε λειτουργία.
2. Οι κυψέλες των μπαταριών μπορούν να συσσωματώνονται πιο στενά λόγω της ερμητικά κλειστής κατασκευής και του ακινητοποιημένου ηλεκτρολύτη, οπότε έτσι μειώνεται το ίχνος και το βάρος της μπαταρίας.

Τα μειονεκτήματα των VRLA είναι ότι είναι λιγότεροι στιβαρές από τις μπαταρίες μολύβδου - οξέος, ενώ είναι πιο ακριβές και έχουν μικρότερη διάρκεια ζωής. Οι VRLA θεωρούνται ως μη χρήζουσες συντήρησης και ασφαλείς, και έχουν καταστεί δημοφιλείς για την εφεδρική τροφοδοσία ισχύος σε εφαρμογές τηλεπικοινωνιών, καθώς επίσης και για την αδιάκοπη παροχή ηλεκτρικού ρεύματος σε περιπτώσεις όπου δεν μπορούν να διατεθούν ειδικοί χώροι για την τοποθέτηση των μπαταριών.

Πίνακας 3.1.1.1 : Χαρακτηριστικές εγκαταστάσεις μπαταριών μολύβδου – οξέος για την παροχή βοηθητικών υπηρεσιών σε διάφορα δίκτυα.

| Τοποθεσία - Χαρακτηριστικά | Μέγεθος | Εφαρμογή / τύπος κατασκευής |
|--|--------------|--|
| Southern California Edison Chino, CA USA | 10MW / 40MWh | Επιπεδοποίηση φορτίου / (Open/vented) |
| Puerto Rico El. Power Authority San Juan, Puerto Rico | 20MW / 1MWh | Ρύθμιση συχνότητας / (Open stirred electrolyte) |
| GNB Industrial Power Metlakatla, Alaska, USA | 1MW / 1.4MWh | Παροχήφορτίου / (Sealed, valve regulated) |

3.1.2 Αλκαλικές μπαταρίες

Οι αλκαλικές μπαταρίες είναι κυρίως οι μπαταρίες νικελίου - καδμίου (NiCd), νικελίου-υδριδίου μετάλλου (NiMH) και οι νικελίου-ψευδαργύρου (NiZn). Και οι τρεις αυτοί τύποι χρησιμοποιούν το ίδιο υλικό για το θετικό ηλεκτρόδιο και τον ηλεκτρολύτη, το οποίο είναι υδροξείδιο του νικελίου και υδατικό διάλυμα υδροξειδίου του καλίου με υδροξείδιο του λιθίου αντίστοιχα. Όσον αφορά στο αρνητικό ηλεκτρόδιο, η μπαταρία νικελίου-καδμίου (NiCd) χρησιμοποιεί υδροξείδιο του καδμίου ως αρνητικό ηλεκτρόδιο, η νικελίου-υδριδίου μετάλλου (NiMH) ένα κράμα μετάλλων και η νικελίου-ψευδαργύρου (NiZn) υδροξείδιο του ψευδαργύρου.

Η τάση για τις αλκαλικές μπαταρίες εκτιμάται γύρω στα 1,2 Volt (1,65 Volt για τον τύπο NiZn), ενώ οι τυπικές μέγιστες ενεργειακές πυκνότητες είναι υψηλότερες από τις μπαταρίες μολύβδου - οξέος. Συγκεκριμένα, η μπαταρία NiCd παρουσιάζει ενεργειακή πυκνότητα 50 Wh/kg, η NiMH 80 Wh/kg και η NiZn 60 Wh/kg. Η τυπική διάρκεια ζωής λειτουργίας και ο αριθμός κύκλων φόρτισης/εκφόρτισης των μπαταριών NiCd και NiMH

οξέος (1000 - 2000 κύκλοι) είναι επίσης υψηλότεροι των μπαταριών μολύβδου-οξέος, ενώ η μπαταρία NiZn εμφανίζει παρόμοια ή μικρότερη διάρκεια ζωής από τις μπαταρίες μολύβδου-οξέος. Τέλος, και τα τρία αυτά είδη μπαταριών νικελίου μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε χαμηλές θερμοκρασίες (έως και τους -50°C), ενώ παράλληλα μπορούν να επαναφορτιστούν ταχέως.

Παρά τα πιο πάνω πλεονεκτήματα των μπαταριών νικελίου (κυρίως των NiCd και NiMH) έναντι των μπαταριών μολύβδου-οξέος, και τα τρία αυτά είδη μπαταριών νικελίου παρουσιάζουν ορισμένα μειονεκτήματα συγκριτικά με τις μπαταρίες μολύβδου - οξέος από την άποψη της βιομηχανικής χρήσης, καθώς και της εφαρμογής για την ενίσχυση ηλεκτρικών συστημάτων παραγωγής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές:

- Γενικά, η μπαταρία NiCd είναι η μοναδική από τους τρεις τύπους αλκαλικών μπαταριών που χρησιμοποιείται σε συστήματα παραγωγής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές για αποθήκευση μεγάλων ποσοτήτων ενέργειας. Παρόλα αυτά, η μπαταρία NiCd μπορεί να είναι 10 φορές πιο ακριβή από μια μπαταρία μολύβδου - οξέος.
- Οι μπαταρίες νικελίου εμφανίζουν χαμηλότερες ενεργειακές αποδόσεις από τις μολύβδου - οξέος. Συγκεκριμένα, η ενεργειακή απόδοση της NiCd κυμαίνεται μεταξύ 65% και 70%, ενώ της NiZn είναι της τάξης του 80%.
- Οι μπαταρίες NiCd παρουσιάζουν υψηλότερα ποσοστά αυτό-εκφόρτισης από τις μπαταρίες μολύβδου - οξέος.
- Το σημαντικότερο, όμως, μειονέκτημα των μπαταριών Ni-Cd είναι η υψηλή τοξικότητα του καδμίου. Αν και αυτό το μέταλλο είναι ιδιαίτερα ανακυκλώσιμο, είναι υπερβολικά τοξικό.

Όσον αφορά στις εφαρμογές των μπαταριών νικελίου, οι μπαταρίες Ni-Cd χρησιμοποιούνται ευρέως στις επικοινωνίες και τον ιατρικό εξοπλισμό, ενώ έχουν εφαρμοστεί επιτυχώς και σε υπό ανάπτυξη ηλεκτρικά οχήματα. Ωστόσο, υπάρχουν ορισμένα παραδείγματα εφαρμογής τους και στα ηλεκτρικά συστήματα παραγωγής ενέργειας. Ένα τέτοιο παράδειγμα αποτελεί το μεγάλης κλίμακας σύστημα ενεργειακής αποθήκευσης μπαταριών Ni-Cd που εγκαταστάθηκε στην Αλάσκα για να παρέχει

ηλεκτρική ισχύ 27 MW για το ελάχιστο χρονικό διάστημα των 15 λεπτών, προκειμένου να σταθεροποιεί το τοπικό ηλεκτρικό δίκτυο σε περίπτωση ξαφνικής απώλειας της παραγωγής. Τα στοιχεία Ni-Cd τοποθετήθηκαν σε τέσσερις παράλληλες σειρές. Η ονομαστική τάση του συστήματος ανέρχεται στα 4.000 Volt. Αξίζει να αναφέρουμε ότι πρόκειται για το «ισχυρότερο» παγκοσμίως σύστημα ενεργειακής αποθήκευσης μπαταριών Ni-Cd, με απόδοση ισχύος 45 MW ισχύος για μόνο 5 λεπτά υποστήριξης και για το λόγο αυτό του απενεμήθη το «Παγκόσμιο Ρεκόρ Γκίνες» .

Τέλος, οι μπαταρίες NiMH χρησιμοποιούνται προς το παρόν στους υπολογιστές, τον ιατρικό εξοπλισμό και σε άλλες εφαρμογές. Οι μπαταρίες NiZn είναι υπό ανάπτυξη και συνεπώς δεν είναι διαθέσιμες εμπορικά.

3.1.3 Μπαταρίες ψευδαργύρου/βρωμιδίου

Οι μπαταρίες ψευδαργύρου βρωμίου (Zinc Bromine – ZnBr) χαρακτηρίζονται ως υβριδικές μπαταρίες ροής για λόγους που θα εξελιχτούν στη συνέχεια. Σε κάθε κυψέλη δύο διαφορετικοί ηλεκτρολύτες ρέουν κατά μήκος συνθετικών ηλεκτροδίων άνθρακα – πλαστικού σε δύο διαμερίσματα διαχωρισμένα από μεμβράνη πορώδους πολυολεφίνης. Κατά την εκφόρτιση, ο ψευδάργυρος και το βρώμιο αντιδρούν δίνοντας άλας βρωμιούχου ψευδαργύρου και παράγοντας τάση 1,8 Volt σε κάθε κυψέλη. Αυτή η διαδικασία αυξάνει την περιεκτικότητα των ιόντων Zn^{2+} και Br^- και στους δύο ηλεκτρολύτες. Κατά τη φόρτιση, μεταλλικός ψευδάργυρος επικάθεται σε μορφή λεπτού στρώματος στη μία πλευρά του ηλεκτροδίου, ενώ στην άλλη μεριά της 40 μεμβράνης το βρώμιο αντιδρά με οργανικές ουσίες με αποτέλεσμα την παραγωγή thick bromine oil το οποίο βυθίζεται στο κάτω μέρος της δεξαμενής. Δεδομένου ότι το ενεργό στοιχείο Zn επικάθεται στο ένα ηλεκτρόδιο της κυψέλης κατά τη φάση της φόρτισης, η πυκνότητα ενέργειας καθορίζεται όχι μόνο από την ποσότητα του ηλεκτρολύτη όπως στις μπαταρίες VRB, αλλά και από το εμβαδό της στοιβάδας των κυψελών. Για το λόγο αυτό, στην τεχνολογία ZnBr η χωρητικότητα και η ικανότητα απόδοσης ισχύος δεν είναι εντελώς ανεξάρτητα μεγέθη. Η τεχνολογία αυτή αναπτύχθηκε από την εταιρία Exxon στην αρχή της δεκαετίας του 1970 και η καθαρή απόδοση της είναι περίπου 75%. Με την πάροδο των ετών κατασκευάστηκαν και δοκιμάστηκαν πολλές μπαταρίες ZnBr

χωρητικότητας της τάξης των kWh. Το 1991 η εταιρία Meidisha έκανε επίδειξη ενός τέτοιου συστήματος αποθήκευσης ισχύος 1 MW και χωρητικότητας 4 MWh στην εταιρία ηλεκτρικής ισχύος Kyushu. Σήμερα οι κύριες εταιρίες που αναπτύσσουν και παρέχουν μπαταρίες ZnBr είναι η ZBB Energy Corporation και η Premium Power Corporation. Η πρώτη εταιρία παράγει σύστημα ικανότητας 500 kWh για εφαρμογές δικτύου καθώς και συστήματα 50 kWh για εφαρμογές ΑΠΕ.

3.1.3.1 Μπαταρίες λιθίου (Lithium Batteries)

Η τεχνολογία των μπαταριών λιθίου δεν έχει εφαρμοσθεί ακόμα για ενεργειακή αποθήκευση στα πλαίσια ενός συστήματος αδιάκοπης παροχής ισχύος, αν και τέτοιες εφαρμογές αναπτύσσονται. Μέχρι σήμερα, χρησιμοποιούνται για τα ηλεκτρονικά είδη ευρείας κατανάλωσης και άλλο φορητό εξοπλισμό σε μεγέθη μικρού κομβίου και κυλινδρικού πρίσματος, ενώ στο άμεσο μέλλον προβλέπεται να εφαρμοστούν στα υβριδικά ή ηλεκτρικά οχήματα. Οι μπαταρίες λιθίου διακρίνονται στις μπαταρίες ιόντος λιθίου (lithium-ion batteries, Li-ion) και τις μπαταρίες πολυμερούς λιθίου (lithium-polymer batteries). Συγκριτικά με τις μπαταρίες νικελίου-καδμίου (NiCd) και μολύβδου - οξέος, οι μπαταρίες λιθίου εμφανίζουν υψηλότερες ενεργειακές πυκνότητες και ενεργειακές αποδόσεις, χαμηλότερα ποσοστά αυτό εκφόρτισης, ενώ απαιτούν εξαιρετικά μικρή συντήρηση. Ειδικότερα, οι μπαταρίες ιόντος λιθίου, με ονομαστική τάση γύρω στα 3,7 Volt, έχουν ενεργειακές πυκνότητες που κυμαίνονται μεταξύ 80 και 150 Wh/kg, ενώ οι ενεργειακές πυκνότητες των μπαταριών πολυμερούς λιθίου είναι μεταξύ 100 και 150 Wh/kg. Και για τα δύο αυτά είδη μπαταριών λιθίου η ενεργειακή απόδοση κυμαίνεται από 90%-100%.

Στις μπαταρίες ιόντος-λιθίου, το ποσοστό αυτο-εκφόρτισης είναι πολύ χαμηλό (μέχρι 5%/μήνα) και η διάρκεια ζωής τους μπορεί να ξεπεράσει τους 1500 κύκλους. Ωστόσο, η διάρκεια ζωής μιας μπαταρίας ιόντος - λιθίου μειώνεται σε υψηλές θερμοκρασίες λειτουργίας και σε πλήρεις εκφορτίσεις. Αυτός άλλωστε είναι και ο λόγος που οι μπαταρίες ιόντος - λιθίου είναι ακατάλληλες για εφαρμογές “back-up”, όπου μπορούν να εκφορτιστούν πλήρως. Επιπρόσθετα, οι μπαταρίες ιόντος λιθίου είναι εύθραυστες και απαιτούν ένα κύκλωμα προστασίας για να διατηρηθούν σε ασφαλή

λειτουργία. Τοποθετημένο σε κάθε συστοιχία ηλεκτρικών στοιχείων, το κύκλωμα ασφαλείας περιορίζει την τάση αιχμής κάθε στοιχείου κατά τη διάρκεια της φόρτισης και αποτρέπει την υπερβολική μείωση της τάσης στην εκφόρτιση. Ακόμα, η θερμοκρασία του στοιχείου ελέγχεται ώστε η θερμοκρασία να μην λαμβάνει ακραίες τιμές. Το ρεύμα μέγιστης φόρτισης και εκφόρτισης ελέγχεται περιορίζεται επίσης στις περισσότερες συστοιχίες. Αυτές οι προφυλάξεις είναι απαραίτητες προκειμένου να εξαιρεθεί κάθε δυνατότητα μεταλλικής επιμετάλλωσης του λιθίου, η οποία προκαλείται λόγω υπερφόρτισης.

Όσον αφορά στις μπαταρίες πολυμερούς λιθίου, η διάρκεια ζωής τους μπορεί να φθάσει τους 600 περίπου κύκλους. Το ποσοστό αυτό-εκφόρτισης εξαρτάται σε πολύ μεγάλο βαθμό από τη θερμοκρασία και εκτιμάται γύρω στο 5% ανά μήνα. Συγκριτικά με τη μπαταρία ιόντος λιθίου, οι λειτουργικές προδιαγραφές των μπαταριών πολυμερούς λιθίου υπαγορεύουν ένα πολύ μικρότερο εύρος θερμοκρασιών, αποφεύγοντας τις χαμηλότερες θερμοκρασίες. Εντούτοις, οι μπαταρίες πολυμερούς λιθίου είναι ελαφρύτερες και ασφαλέστερες, με ελάχιστο ποσοστό αυτό-ανάφλεξης.

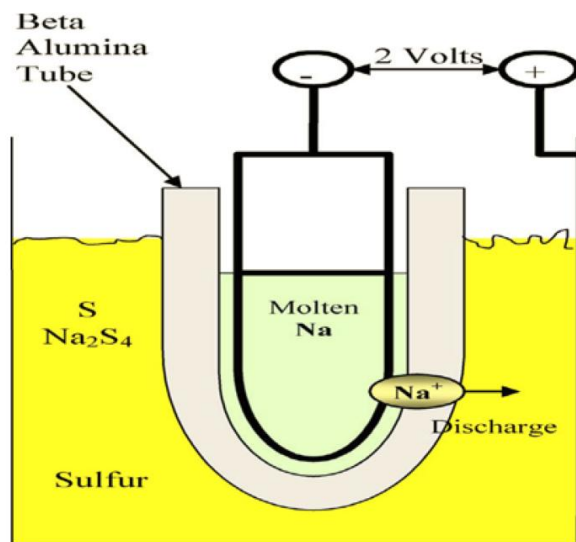
Ένα σημαντικό μειονέκτημα των μπαταριών λιθίου είναι το υψηλό κόστος τους, το οποίο υπερβαίνει τα 420 €/kWh. Το υψηλό αυτό κόστος οφείλεται στα εσωτερικά κυκλώματα προστασίας. Πρόσφατα οι έρευνες επικεντρώνονται στη μείωση του κόστους αυτού του είδους των μπαταριών με χρήση φθηνότερων υλικών, καθώς και στην αύξηση της διάρκειας ζωής τους και τη μείωση της αναφλεξιμότητάς τους. Η αυτοκινητοβιομηχανία εργάζεται κυρίως προς αυτή την ανάπτυξη.

Τέλος, αξίζει να αναφέρουμε ότι οι μπαταρίες λιθίου έχουν περιορισμένη περιβαλλοντική επίδραση δεδομένου ότι τα οξείδια και τα άλατα του λιθίου μπορούν να ανακυκλωθούν.

3.1.3.2 Μπαταρίες νατρίου - θείου (Sodium Sulphur Batteries, NaS)

Η μπαταρία νατρίου - θείου (NaS) είναι ο πιο εξελιγμένος τύπος υψηλής θερμοκρασίας μπαταρίας. Χρησιμοποιεί υγρό(λιωμένο) θείο ως υλικό για το θετικό ηλεκτρόδιο και υγρό λιωμένο νάτριο για το αρνητικό ηλεκτρόδιο. Τα δύο ηλεκτρόδια

διαχωρίζονται από ένα στερεό ηλεκτρολύτη από αλουμίνιο, όπως φαίνεται στο Σχήμα 3.1.3.2.1. Ο ηλεκτρολύτης επιτρέπει μόνο στα θετικά ιόντα νατρίου να περάσουν διαμέσου του και να αντιδράσουν με το θείο σχηματίζοντας τα πολυσουλφίδια νατρίου.



Σχήμα 3.1.3.2.1: Δομή ηλεκτρικού στοιχείου NaS

Οι μπαταρίες NaS παρουσιάζουν σχετικά υψηλή ενεργειακή πυκνότητα, η οποία κυμαίνεται μεταξύ 150 - 240 Wh/kg. Ακόμα, η διάρκεια ζωής τους εκτιμάται στα 15 έτη (ή 2500-4500 κύκλοι), ενώ η ενεργειακή τους απόδοση φθάνει και το 90%. Οι μπαταρίες NaS μπορούν επίσης να αποτελέσουν μια οικονομικά αποδεκτή διάταξη ενεργειακής αποθήκευσης, η οποία χαρακτηρίζεται από πολύ μικρό χρόνο εκφόρτισης. Τα ικανοποιητικά αυτά χαρακτηριστικά λειτουργίας τους τις καθιστούν κατάλληλες για την αποθήκευση μεγάλου ποσού αιολικής ενέργειας. Μπορούν να τροφοδοτούν το σύστημα με υψηλό ποσό ισχύος σε σύντομο χρονικό διάστημα ή με μεγάλο ποσό ενέργειας για μεγαλύτερη χρονική περίοδο. Τέλος, όσον αφορά στην περιβαλλοντική «συμβατότητα» των μπαταριών NaS, οι περιβαλλοντικές ανησυχίες από τη χρήση τους είναι περιορισμένες, δεδομένου ότι για την κατασκευή τους χρησιμοποιούνται περιβαλλοντικά αδρανή υλικά. Εγκυμονεί βέβαια μικρός κίνδυνος από τις υψηλές θερμοκρασίες στις οποίες πρέπει να λειτουργήσουν, προκειμένου να διατηρήσουν το θείο στη λιωμένη του μορφή.

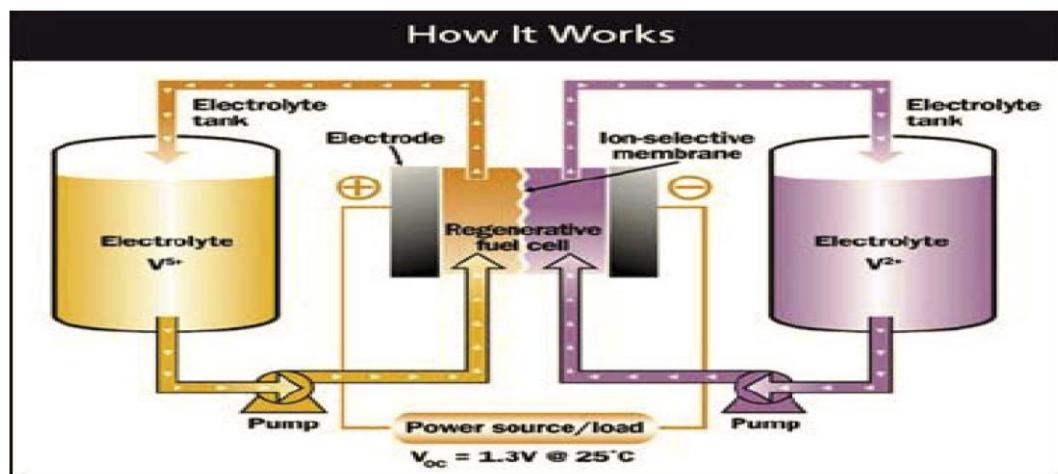
Αυτήν την περίοδο, οι μπαταρίες νατρίου - θείου (NaS) χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές ποιότητας ισχύος (να βελτιώσουν δηλαδή την ποιότητα ισχύος του ηλεκτρικού δικτύου) ή σε εφαρμογές εξομάλυνσης αιχμών.

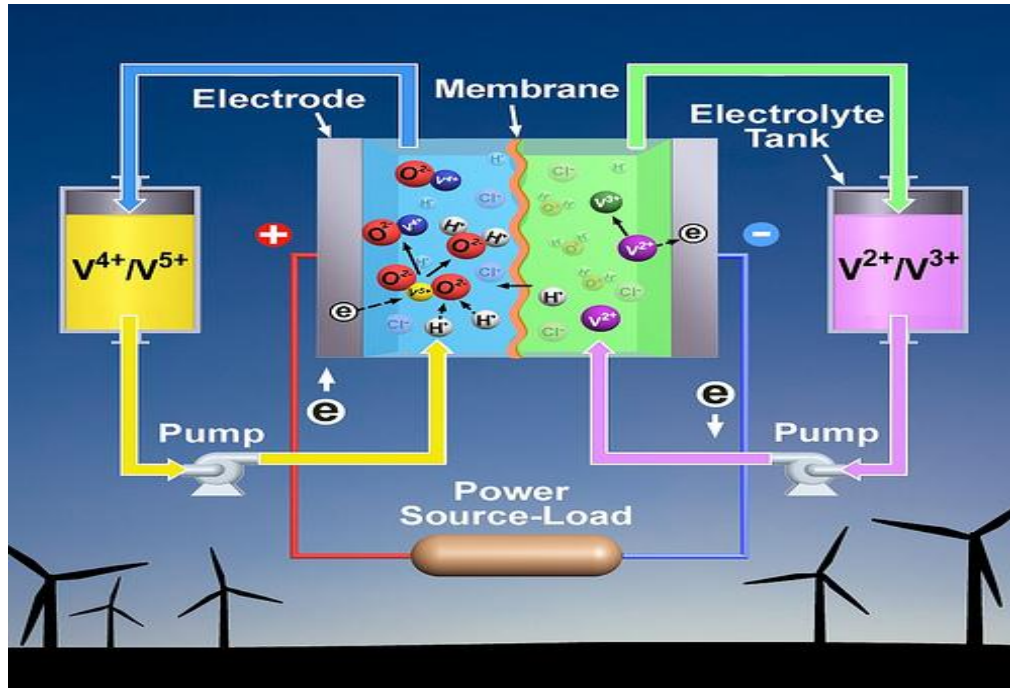
3.1.3.3 Μπαταρίες ροής (Flow Batteries)

Στην παρούσα εργασία παρουσιάζονται συσσωρευτές υψηλής ενεργειακής αποθήκευσης νέας γενιάς τύπου Redox Flow Battery-RFB, και ειδικότερα συσσωρευτές τύπου VRB (Vanadium Redox Battery - μπαταρίες οξειδοαναγωγής βαναδίου). Πρόκειται για ειδικού τύπου μπαταρία, η οποία έχει τη δυνατότητα πλήρους και ταχείας φόρτισης εκφόρτισης, η οποία εκτός από τις σημαντικές ανταλλαγές ενεργού ισχύος μπορεί, σε συνδυασμό με τους μετατροπείς ηλεκτρονικών ισχύος που χρησιμοποιούνται, να εξασφαλίσει μεγάλες δυνατότητες παραγωγής-απορρόφησης αέργου ισχύος ανάλογα με τις ανάγκες του δικτύου στο οποίο τοποθετείται.

Μερικές εταιρίες που έχουν ανάπτυξη εμπορικά του συσσωρευτές υψηλής ενεργειακής αποθήκευσης νέας γενιάς τύπου RFB είναι:

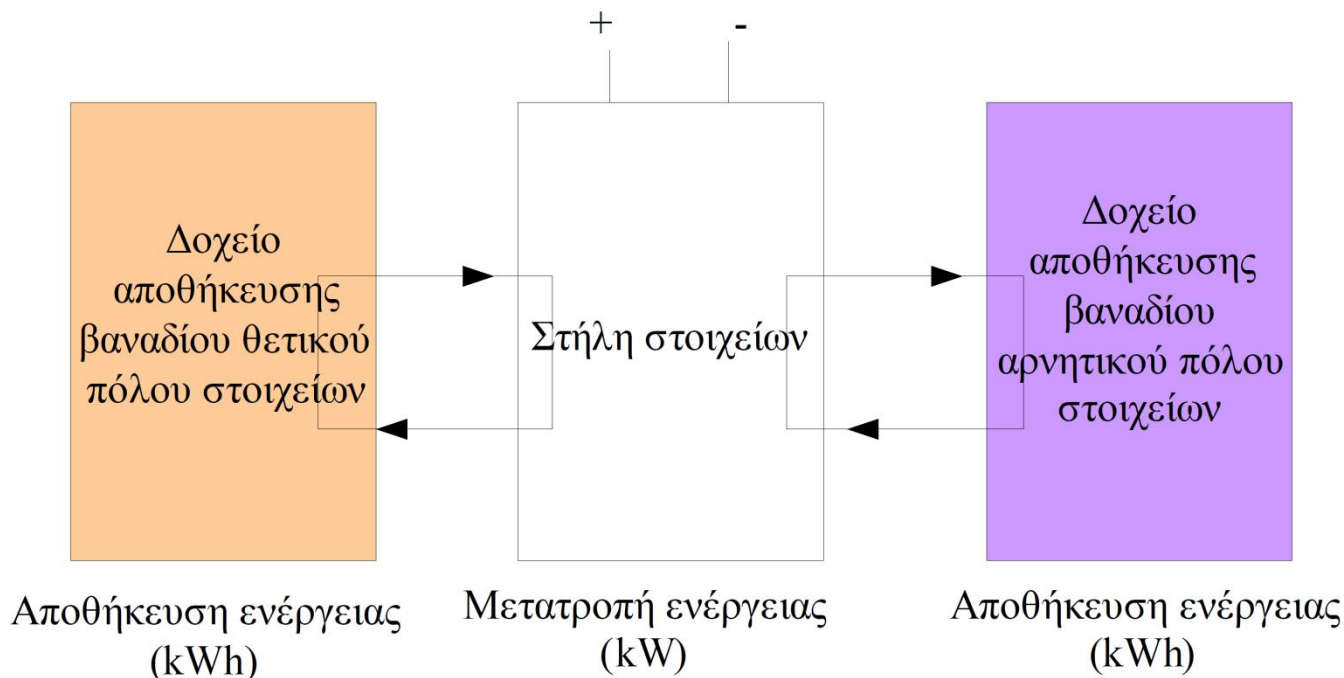
1. Regenesys Energy Storage System
2. Kepco Kansai Electric Co. Inc
3. VRB-ESS (Vanadium Redox Battery Energy Storage System)





Σχήμα 3.1.3.3.1 :Τυπική διάταξη συσσωρευτών τύπου REDOX

Η μπαταρία RFB βασίζεται σε ένα ηλεκτροχημικό σύστημα, το οποίο επιτρέπει την αποθήκευση ενέργειας σε δύο διαλύματα που περιέχουν διαφορετικά ζεύγη οξειδοαναγωγής (redox couples) με κατάλληλα απομονωμένα ηλεκτροχημικά δυναμικά, τα οποία είναι ικανά να παράγουν ηλεκτρεγερτική δύναμη για την πρόκληση των αντιδράσεων οξειδωσης-αναγωγής που απαιτούνται για τη φόρτιση και εκφόρτιση του στοιχείου. Σε αντίθεση με τις συμβατικές μπαταρίες, τα στοιχεία αυτά αποθηκεύουν την ενέργεια στα διαλύματα, με αποτέλεσμα η ισχύς του συστήματος να προσδιορίζεται από το μέγεθος των δοχείων που περιέχουν τους ηλεκτρολύτες, ενώ η συνολική ισχύς του συστήματος καθορίζεται από το μέγεθος της στήλης των στοιχείων. Έτσι, η μπαταρία RFB συμπεριφέρεται περισσότερο ως μία επαναφορτιζόμενη κυψέλη καυσίμου παρά ως μία κοινή μπαταρία, χωρίς να αντιμετωπίζει τα προβλήματα αποθήκευσης υδρογόνου που παρουσιάστηκαν στην προηγούμενη παράγραφο.



Σχήμα 3.1.3.3.2: Αρχή λειτουργίας στοιχείου μπαταρίας RFB με διακριτά εξαρτήματα μετατροπής και αποθήκευσης ενέργειας

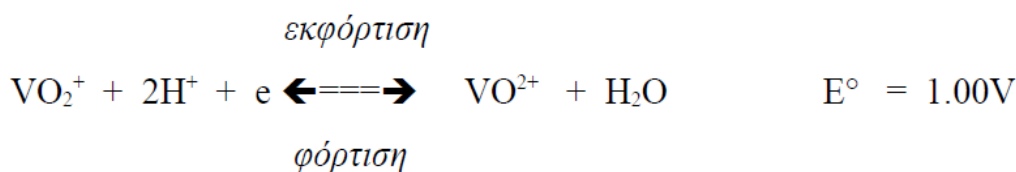
Η αρχή λειτουργίας των μπαταριών RFB αναπτύσσεται ερευνητικά εδώ και περίπου 30 χρόνια, και πολλά αντίστοιχα συστήματα έχουν μελετηθεί σε όλο τον κόσμο. Στην Αυστραλία έχει αναπτυχθεί σύστημα βασισμένο στην αρχή λειτουργίας των RFB από το University of New South Wales - UNSW, μέσω της μπαταρίας τύπου VRB.

Το σύστημα της Regenesys, χρησιμοποιεί ζεύγος οξειδοαναγωγής σουλφιδίου/παρασουλφιδίου και βρομίνης/βρομιδίου στον αρνητικό και θετικό πόλο των στοιχείων, αντίστοιχα. Όπως και τα υπόλοιπα στοιχεία οξειδοαναγωγής, το σύστημα Regenesys παρουσιάζει το μειονέκτημα της ανάμειξης των διαλυμάτων των ηλεκτρολυτών με συνέπεια την ανάγκη σύνθετης εργασίας χημικής συντήρησης για την αντιμετώπιση της απώλειας ισχύος. Αντίθετα, η μπαταρία VRB χρησιμοποιεί τον ίδιο τύπο διαλύματος και στους δύο πόλους των στοιχείων, ελαχιστοποιώντας τα πιθανά

προβλήματα που προκύπτουν κατά την ανάμιξή τους.

Από τα μέχρι στιγμής ανεπτυγμένα στοιχεία RFB, το σύστημα VRB παρουσιάζει τα καλύτερα χαρακτηριστικά, με υψηλές αποδόσεις άνω των 80% σε μεγάλες εγκαταστάσεις και μεγάλη διάρκεια ζωής. Στο σχήμα 3.1.3.3.2η μπαταρία VRB χρησιμοποιεί ζεύγη οξειδοαναγωγής βαναδίου V(V)/V(IV) και V(III)/V(II) σε θετικό οξύ στους ηλεκτρολύτες του θετικού και αρνητικού πόλου, αντίστοιχα. Η αντίδραση φόρτισης-εκφόρτισης που λαμβάνει χώρα στο στοιχείο της μπαταρίας VRB είναι:

Στο θετικό ηλεκτρόδιο:

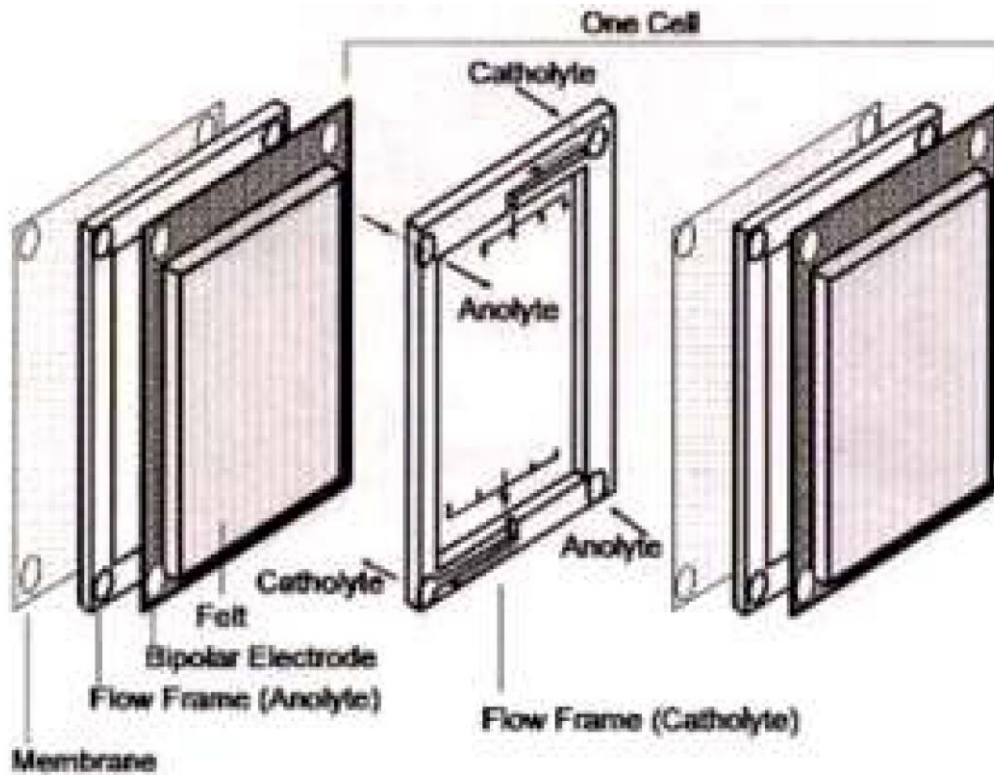


Στο αρνητικό ηλεκτρόδιο:

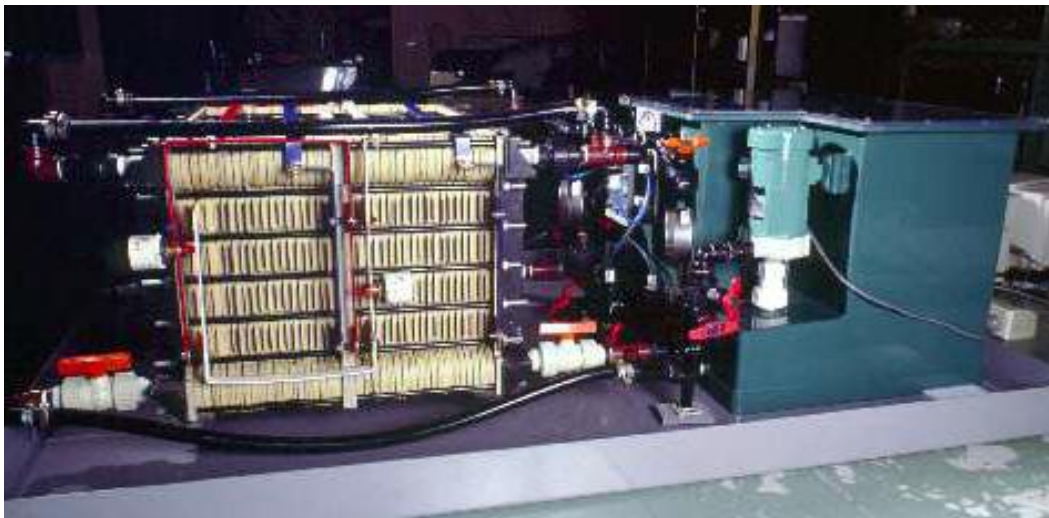


Το κανονικό δυναμικό στοιχείου E° (cell) είναι ίσο με 1.26 Volts σε συγκεντρώσεις 1 mole ανά λίτρο και σε 25°C, αλλά σε πραγματικές συνθήκες λειτουργίας του στοιχείου, η τάση ανοιχτοκύκλωσής του είναι ίση με 1.4 Volts σε κατάσταση φόρτισης (state-of-charge, SOC) 50% και 1.6 Volts σε 100%SOC.

Τα βασικά εξαρτήματα ενός στοιχείου VRB φαίνονται στο Σχήμα 3.1.3.3.3. Οι μπαταρίες VRB παρουσιάζουν σημαντικά πλεονεκτήματα λόγω της χρήσης του ίδιου διαλύματος στα δοχεία θετικού και αρνητικού πόλου, γεγονός το οποίο αποτρέπει τα προβλήματα ανάμιξης των αντίστοιχων ηλεκτρολυτών λόγω μακρόχρονης χρήσης. Αυτό σημαίνει ότι, θεωρητικά, οι ηλεκτρολύτες δεν έχουν όριο διάρκειας ζωής, με αποτέλεσμα την ελαχιστοποίηση των προβλημάτων διαχείρισης τοξικών αποβλήτων.



Σχήμα 3.1.3.3 Βασικά εξαρτήματα στήλης στοιχείων VRB.



Σχήμα 3.1.3.4 :Εργαστηριακή κατασκευή συσσωρευτή VRB

Τα τεχνικά και οικονομικά αξιοποιήσιμα μεγέθη τέτοιων συσσωρευτών που έχουν ήδη αναπτυχθεί καλύπτουν την περιοχή των μερικών εκατοντάδων kW και μερικών MWh, αντίστοιχα, ενώ αναμένεται να φτάσουν σύντομα στα 10 MW και 100 MWh.

3.1.3.3.1 Τεχνικά πλεονεκτήματα των VRB

Τα τεχνικά πλεονεκτήματα των μπαταριών VRB μπορούν να συνοψιστούν στα εξής:

- Η ενέργεια αποθηκεύεται σε δεξαμενή, σε ξεχωριστό χώρο από τη στοίβα των στοιχείων,
- Η ισχύς του συστήματος μπορεί να αυξηθεί με την προσθήκη υγρού ηλεκτρολυτών,
- Το κόστος ανά kWh μειώνεται με την αύξηση της ικανότητας αποθήκευσης του συστήματος,
- Το σύστημα αποθήκευσης παρέχει μεγαλύτερη ασφάλεια λόγω του μικρότερου κινδύνου ανάμειξης ηλεκτρολυτών η οποία θα μπορούσε να προκαλέσει στιγμιαία έκλυση ενέργειας,
- Καθώς τα υγρά των ηλεκτρολυτών αντλούνται μέσω της στοίβας των στοιχείων, δρουν ως μέσο ψύξης τους επιτρέποντας πιο αποδοτική ανταλλαγή θερμότητας, μειώνοντας έτσι τα προβλήματα διαχείρισης θερμότητας,
- Η ανάμιξη των ηλεκτρολυτών στις μεμβράνες δεν οδηγεί σε προβλήματα μόλυνσής τους,
- Τα διαλύματα έχουν θεωρητικά άπειρη διάρκεια ζωής οδηγώντας έτσι σε χαμηλά κόστη αντικατάστασης (στο τέλος της διάρκειας ζωής των μπαταριών απαιτείται αντικατάσταση μόνο της στοίβας των στοιχείων),
- Η άπειρη διάρκεια ζωής των ηλεκτρολυτών επιτρέπει τη διαρκή ανακύκλωσή τους, ελαχιστοποιώντας έτσι τα προβλήματα δημιουργίας τοξικών αποβλήτων,
- Τα ζεύγη οξειδοαναγωγής βαναδίου είναι ηλεκτροχημικά αναστρέψιμα επιτρέποντας την επίτευξη υψηλού βαθμού απόδοσης,

- Ο ρυθμός επαναφόρτισης του συστήματος είναι ιδιαίτερα υψηλός, ισοδυναμώντας με χρόνο φόρτισης πολύ μικρότερο του αντίστοιχου των μπαταριών μολύβδου οξέος,
- Το βανάδιο είναι διαθέσιμο σε χαμηλό κόστος, έτσι το κόστος παραγωγής και κτήσης είναι χαμηλό,
- Δεδομένου ότι το ίδιο σε κάθε στοιχείο της στοιβάς χρησιμοποιείται το ίδιο υγρό, όλα τα στοιχεία βρίσκονται σε ίδια κατάσταση φόρτισης,
- Οι ανάγκες επιτήρησης και συντήρησης του συστήματος είναι μικρές καθώς δεν απαιτείται ξεχωριστός έλεγχος και ρύθμιση του κάθε στοιχείου,
- Η μέτρηση της ισχύος της μπαταρίας μπορεί να γίνει με επιτήρηση της κατάστασης φόρτισης του ηλεκτρολύτη, απλοποιώντας έτσι περαιτέρω τις διαδικασίες ελέγχου της μπαταρίας,
- Τα στοιχεία μπορούν να συνδεθούν σε σειρά και παράλληλα χωρίς προβλήματα αντιστροφής,
- Μπορούν να χρησιμοποιηθούν ανταλλακτικά στοιχεία για τη ρύθμιση της τάσης,
- Το σύστημα δεν απαιτεί υπερφόρτιση για εξισορρόπηση των στοιχείων, ελαχιστοποιώντας έτσι τον κίνδυνο έκρηξης του υδρογόνου,
- Η φόρτιση και εκφόρτιση δεν περιλαμβάνουν περίπλοκες μεταβολές ημιαγωγικής κατάστασης οι οποίες οδηγούν σε βραχυκύκλωση στοιχείων στις συμβατικές μπαταρίες,
- Το σύστημα μπορεί να εκφορτιστεί πλήρως χωρίς αρνητικές επιπτώσεις στη μπαταρία,
- Υπάρχει η δυνατότητα άμεσης «μηχανικής» φόρτισης με αντικατάσταση του υγρού των ηλεκτρολυτών.

3.1.3.3.2 Προοπτικές χρήσης συσσωρευτών βαναδίου σε συστήματα ηλεκτροκίνησης

Η ειδική διαμόρφωση των μπαταριών βαναδίου τους προσδίδει σημαντικά πλεονεκτήματα χρήσης σε συστήματα ηλεκτροκίνησης:

- Γρήγορη επαναφόρτιση με αντικατάσταση του υγρού των ηλεκτρολυτών, η οποία επιτρέπει την αδιάλειπτη λειτουργία συστημάτων ηλεκτροκίνησης, σε αντίθεση με τα υφιστάμενα συστήματα μπαταριών,
- Επαναφόρτιση του υγρού των ηλεκτρολυτών στον με χρήση ενέργειας που παρέχεται από ανανεώσιμες πηγές ή ενέργεια που παρέχεται από το δίκτυο κατά τις ώρες μη αιχμής, επιτρέποντας έτσι τη βέλτιστη αξιοποίηση των ενεργειακών αποθεμάτων,
- Μεγαλύτερη απλότητα κατασκευής, ασφάλεια και απόδοση σε σχέση με τις κυψέλες καυσίμου,
- Συμβολή στην περαιτέρω ανάπτυξη και εξάπλωση των συστημάτων ηλεκτροκίνησης, με τα αντίστοιχα οφέλη στο περιβάλλον και την εξοικονόμηση ενέργειας.

Οι μπαταρίες RFB είναι ο μοναδικός τύπος μπαταρίας που επιτρέπει τόσο τη σταδιακή ηλεκτρική επαναφόρτιση όσο και την άμεση επαναφόρτιση μέσω επανεφοδιασμού του ηλεκτρολύτη βαναδίου. Οι χρησιμοποιημένοι ηλεκτρολύτες μπορούν να επαναφορτιστούν με τη χρήση ηλεκτρικής ενέργειας σε ώρες μη αιχμής. Έτσι, ελαχιστοποιείται έμμεσα η ανάγκη δημιουργίας νέων σταθμών παραγωγής για την κάλυψη της αύξησης φορτίου που προκαλείται από τα ηλεκτρικά οχήματα.

Από τη μέχρι στιγμής εμπορική ανάπτυξη των μπαταριών βαναδίου από την εταιρεία VRB-ESS (Vanadium Redox Battery Energy Storage System) προκύπτουν συγκριτικά στοιχεία απόδοσης και κόστους σε σχέση με τις μπαταρίες μολύβδου οξέος.

Συγκεκριμένα η θεωρητική τιμή της μπαταρίας μολύβδου οξέος είναι 70 Wh/lit ενώ η πραγματική τιμή της κυμαίνεται στις 12-18 Wh/lit. Αντίθετα, η θεωρητική τιμή της μπαταρίας VRB-ESS είναι 30-47 Wh/lit ενώ η πραγματική 16-33 Wh/lit. Η μπαταρία μολύβδου έχει πυκνότητα ισχύος 370 W/kg, ενώ η μπαταρία VRB-ESS 166 W/kg. Το εύρος θερμοκρασίας και στις δύο μπαταρίες είναι όμοιο, με την μπαταρία μολύβδου οξέος να κυμαίνεται από τους -5 έως 40°C, ενώ η μπαταρία VRB-ESS από τους 0 έως 40°C. Η απόδοση είναι 45% για την πρώτη και 70-78% για τη δεύτερη. Επιπρόσθετα, το βάθος φόρτισης/εκφόρτισης κυμαίνεται στο ποσοστό των 25-30% και 75%,

αντίστοιχα. Η διάρκεια ζωής (αριθμός εκφορτίσεων σε βάθος εκφόρτισης 75%) για την μπαταρία μολύβδου οξέος είναι 1500 ενώ για την μπαταρία VRB-ESS είναι πάνω από 13000. Το κόστος συντήρησης είναι μικρό και για τα δύο είδη μπαταριών, αφού για την πρώτη κυμαίνεται στα 0,02(\$/kWh) και 0,001(\$/kWh) για τη δεύτερη. Η μπαταρία μολύβδου οξέος παρουσιάζει 30% περισσότερη συγκέντρωση οξέος σε σχέση με τον ηλεκτρολύτη της μπαταρίας βαναδίου. Τέλος, το κόστος των δύο μπαταριών παρουσιάζει διακύμανση μεταξύ των 500-1550(\$/kWh) για την πρώτη και 300-650(\$/kWh) για την δεύτερη.

Σύμφωνα και με τα στοιχεία που αναφέρθηκαν παραπάνω, οι μπαταρίες βαναδίου παρουσιάζουν αρκετά πλεονεκτήματα σε σχέση με τις μπαταρίες μολύβδου οξέος:

1. Μπορούν να λειτουργήσουν χωρίς διαρκή επιτήρηση μειώνοντας έτσι τα κόστη συντήρησης ($\$0.001 \times kWh$),
2. Δεν παρουσιάζουν υποβάθμιση μετά από συνεχόμενες φορτίσεις/εκφορτίσεις σε μεγάλο βάθος φόρτισης/εκφόρτισης, καθώς μπορούν να φορτιστούν/εκφορτιστούν περισσότερες από 130000 φορές χωρίς μείωση της απόδοσης του συστήματος,
3. Δίνουν απόδοση 70-78% ,
4. Χαρακτηρίζονται από λόγο φόρτισης/εκφόρτισης 1:1, ο οποίος είναι ίσος με κλάσμα, του χρόνου ο οποίος απαιτείται από άλλα συστήματα μπαταριών, και
5. Παρουσιάζουν μικρότερη συγκέντρωση οξέος.

| Μέγεθος | Μπαταρία μολύβδου οξέος | Μπαταρία VRB-ESS |
|--|--|------------------|
| Πυκνότητα ενέργειας (Wh/l) | | |
| Θεωρητική τιμή | 70 | 30-47 |
| Πραγματική τιμή | 12-18 | 16-33 |
| Πυκνότητα ισχύος (W/kg) | 370 | 166 |
| Εύρος θερμοκρασίας | -5 έως +40°C | 0 έως +40°C |
| Απόδοση | 45% | 70-78% |
| Λόγος φόρτισης/εκφόρτισης | 5/1 | 1/1 |
| Βάθος εκφόρτισης | 25-30% | 75% |
| Διάρκεια ζωής (αριθμός εκφορτίσεων σε βάθος εκφόρτισης 75%) | 1500 | 13000+ |
| Κόστος συντήρησης (\$/Kwh) | 0.02 | 0.001 |
| Συγκέντρωση οξέος | Η μπαταρία μολύβδου-οξέος παρουσιάζει 30% περισσότερη συγκέντρωση οξέος σε σχέση με τον ηλεκτρολύτη της μπαταρίας βαναδίου | |
| Κόστος (\$/Kwh) | 500-1550 | 300-650 |

Ωστόσο, το βασικό μειονέκτημα της μπαταρίας VRB για εφαρμογές ηλεκτρικών οχημάτων είναι η σχετικά χαμηλή πυκνότητα ενέργειας σε σύγκριση με τις μπαταρίες νικελίου μετάλλου υβριδίου και λιθίου ιόντων. Η πυκνότητα ενέργειας της μπαταρίας RFB σχετίζεται με τη συγκέντρωση ιόντων οξειδοαναγωγής στο διάλυμα, με το δυναμικό των στοιχείων και τον αριθμό των ηλεκτρονίων (ανά mol ενεργών ιόντων οξειδοαναγωγής) που μεταφέρονται κατά την εκφόρτιση. Στα στοιχεία των μπαταριών VRB, η πυκνότητα ενέργειας είναι ίση με 25 Wh/kg, με βάση τη μέγιστη πυκνότητα συγκέντρωσης ιόντων ίση με 2M για μεγάλο εύρος θερμοκρασίας λειτουργίας. Η συγκέντρωση αυτή αντιπροσωπεύει το όριο διαλυτότητας των ιόντων V(II) και/ή V(III) στο θειικό οξύ του ηλεκτρολύτη σε θερμοκρασίες κάτω των 5°C και τη σταθερότητα των ιόντων V(V) σε θερμοκρασίες 40°C.

Πιο πρόσφατες έρευνες στο UNSW έδειξαν ότι μπορούν να επιτευχθούν συγκεντρώσεις ιόντων έως 3M με χρήση μέσων προστασίας από καθίζηση τα οποία μπορούν να σταθεροποιήσουν υπερκορεσμένα διαλύματα βαναδίου. Αυτό επιτρέπει την αύξηση της πυκνότητας ενέργειας έως τα 35 Wh/kg. Έχει γίνει επίδειξη ηλεκτρολυτών πυκνότητας 3M σε εφαρμογές ηλεκτρικών οχημάτων στο UNSW, ενώ μπορούν να επιτευχθούν μεγαλύτερες πυκνότητες με κατάλληλη ρύθμιση θερμοκρασίας. Εάν η πυκνότητα

ενέργειας της VRB φτάσει τα 50 Wh/kg, θα μπορέσει να χρησιμοποιηθεί σε μεγαλύτερη ποικιλία συστημάτων ηλεκτροκίνησης. Η ερευνητική και αναπτυξιακή δραστηριότητα των μπαταριών VRB στο UNSW επικεντρώνεται στην αύξηση της πυκνότητας ισχύος μέσω:

- Χημικής αναγέννησης των ζευγών οξειδοαναγωγής βαναδίου
- Βελτίωση των μέσων σταθεροποίησης
- Εναλλακτικών τύπων ηλεκτρολυτών.

Οι βελτιώσεις αυτές έχουν οδηγήσει σε αύξηση του ενδιαφέροντος για εφαρμογή της μπαταρίας VRB σε συστήματα ηλεκτροκίνησης και αναμένεται η χρήση τους σε διάφορα είδη οχημάτων στο άμεσο μέλλον.

Επιπλέον, διερευνάται η ανάπτυξη μπαταρίας με στερεό ηλεκτρολύτη βαναδίου (gel). Οι μπαταρίες αυτές παρουσιάζουν δυνατότητα εφαρμογής σε υβριδικά οχήματα με απαιτούμενη αυτονομία 15-20 λεπτών. Πρόσφατες μελέτες οδηγούν στη δυνατότητα επίτευξης συγκεντρώσεων έως 4M σε αυτόν τον τύπο ηλεκτρολύτη, με αντίστοιχη αύξηση της απόδοσής τους.

Επομένως, λαμβάνοντας υπόψη τις τεχνολογικές εξελίξεις των συσσωρευτών βαναδίου, διαφαίνεται ότι θα αποτελέσουν ένα ελκυστικό ανταγωνιστή των άλλων τύπων συσσωρευτών και των κυψελών καυσίμου στις εφαρμογές των συστημάτων κίνησης των ηλεκτρικών οχημάτων.

3.1.4 Μπαταρίες μετάλλου - αέρα (Metal–Air Batteries)

Οι μπαταρίες μετάλλου - αέρα είναι υπό συνεχή έρευνα και τεχνολογική ανάπτυξη ώστε να γίνουν εμπορικά διαθέσιμες. Σε αυτές τις μπαταρίες, ως αρνητικό ηλεκτρόδιο (άνοδος) χρησιμοποιούνται συνήθως κατάλληλα μέταλλα, όπως είναι το αλουμίνιο, ο ψευδάργυρος, ο μόλυβδος ή ακόμη και σίδηρος, τα οποία τοποθετούνται σε ρευστό ή

πολυμερή ενσωματωμένο ηλεκτρολύτη π.χ. από κάλιο, και απελευθερώνουν ηλεκτρόνια κατά τη μετέπειτα αντίδραση οξειδωσης. Τα ηλεκτρόνια καθώς έλκονται από την κάθοδο καταλύτη και άνθρακα και καθώς ρέουν σε ένα εξωτερικό κύκλωμα, δημιουργούν διαφορά δυναμικού στα άκρα της μπαταρίας.

Οι ενεργειακές πυκνότητες των μπαταριών μετάλλου αέρα είναι υψηλές (συγκριτικά με τις μπαταρίες μολύβδου οξέος) και κυμαίνονται μεταξύ 110-420 Wh/kg. Ακόμα, είναι από τις πιο φθηνές μπαταρίες και παρουσιάζουν περιβαλλοντική «συμβατότητα», αφού κανένα τοξικό υλικό δεν περιλαμβάνεται στην κατασκευή τους. Σημαντικό όμως μειονέκτημά τους είναι η δυσκολία τους να επαναφορτιστούν, με αποτέλεσμα να παρουσιάζουν χαμηλή ενεργειακή απόδοση της τάξης του 50%, καθώς και το ότι το εύρος των θερμοκρασιών λειτουργίας τους είναι περιορισμένο.

3.1.5 Σύγκριση των διαφόρων τύπων μπαταριών

Μετά την ανάλυση των διαφόρων διατάξεων αποθήκευσης μπαταριών, θα προσπαθήσουμε να προβούμε σε μία σύγκριση μεταξύ των διατάξεων αυτών με βάση τα τεχνικά και οικονομικά χαρακτηριστικά τους. Για το σκοπό αυτό, στον Πίνακα 3.1.5.1 παρουσιάζουμε τα χαρακτηριστικά λειτουργίας τους. Εξάγουμε τα ακόλουθα συμπεράσματα:

Οι μπαταρίες μολύβδου-οξέος είναι ο πιο διαδεδομένος τύπος μπαταριών, επειδή είναι φθηνές και ευρέως διαθέσιμες. Είναι οι συνηθέστερα χρησιμοποιούμενες μπαταρίες σε εφαρμογές φωτοβολταϊκών συστημάτων. Από την άλλη, οι μπαταρίες νικελίου-καδμίου χρησιμοποιούνται σε ψυχρά κλίμακα, όπως είναι οι πολικές περιοχές, λόγω της δυνατότητας λειτουργίας τους και σε πολύ χαμηλές θερμοκρασίες. Εφαρμόζονται εξίσου καλά με τις μπαταρίες μολύβδου-οξέος σε εφαρμογές ΑΠΕ, καθώς λειτουργούν σε ένα μεγάλο εύρος θερμοκρασιών και μπορούν να αποφορτίζονται έως και κάτω από το 10% της ονομαστικής τους χωρητικότητας, είναι όμως πιο ακριβές και έτσι

χρησιμοποιούνται μόνο όταν αναμένεται υψηλή αξιοπιστία ή αντίξοες κλιματικές συνθήκες. Η διάδοση των μπαταριών νικελίου, όπως και των υπόλοιπων τύπων μπαταριών (λιθίου, ψευδαργύρου/βρωμιδίου, θείου-νατρίου, μετάλλου-αέρα) είναι περιορισμένη, καθώς οι περισσότερες από αυτές βρίσκονται ακόμα στο στάδιο της ανάπτυξης.

Οι μπαταρίες λιθίου παρουσιάζουν τις υψηλότερες ενεργειακές αποδόσεις (90-100%) από τους υπόλοιπους τύπους μπαταριών. Είναι ο μοναδικός τύπος μπαταριών που μπορεί να εκφορτιστεί πλήρως και για αυτό το λόγο είναι οι πιο κατάλληλες μπαταρίες για εφαρμογές “back-up”. Ακολουθούν κατά σειρά, οι μπαταρίες μολύβδου-οξέος με ενεργειακές αποδόσεις 60-95%, οι νικελίου με 60-91%, οι νατρίου-θείου με 90% και οι ψευδαργύρου/βρωμιδίου με 75%. Τη μικρότερη ενεργειακή απόδοση παρουσιάζουν οι μπαταρίες μετάλλου-αέρα (~50%), εξαιτίας της δυσκολίας επαναφόρτισής τους. Όσον αφορά στις ενεργειακές πυκνότητες, οι μπαταρίες μετάλλου αέρα παρουσιάζουν τις υψηλότερες ενεργειακές πυκνότητες, οι οποίες κυμαίνονται από 110-420 Wh/kg. Ακολουθούν οι νατρίου-θείου με 150-240 Wh/kg, οι λιθίου με 80-150 Wh/kg, οι νικελίου με 20-120 Wh/kg και τέλος οι μολύβδου-οξέος και οι ψευδαργύρου/βρωμιδίου με 25-45 Wh/kg και 37 Wh/kg αντίστοιχα.

Συγκριτικά με τα άλλα είδη μπαταριών, οι μπαταρίες ροής έχουν τη δυνατότητα να αποθηκεύουν υψηλότερες ποσότητες ισχύος, οι οποίες κυμαίνονται από 5-500 MW για περιόδους διάρκειας από 1 δευτερόλεπτο μέχρι 12 ώρες. Η διάταξη αυτού του είδους μπαταριών διευκολύνει σε μεγάλο βαθμό τους ογκομετρικούς περιορισμούς που τίθενται σχετικά με την ποσότητα του ηλεκτρολύτη που μπορεί να συνδεθεί με ένα δεδομένο σύστημα, αυξάνοντας έτσι την ποσότητα της ισχύος που μπορεί να αποθηκευτεί. Οι μπαταρίες νατρίου-θείου έχουν επίσης τη δυνατότητα να τροφοδοτούν το σύστημα με υψηλό ποσοστό ισχύος σε σύντομο χρονικό διάστημα ή με μεγάλο ποσό ενέργειας για μεγαλύτερη χρονική περίοδο, ενώ παράλληλα είναι κατάλληλες για την αποθήκευση μεγάλου ποσού αιολικής ενέργειας. Αντίθετα, η ισχύς των συστημάτων π.χ. με μπαταρίες λιθίου - ιόντος κυμαίνεται συνήθως από 1 ως 100kW, με μπαταρίες νικελίου - καδμίου από 1kW ως 5MW και με μπαταρίες μολύβδου - οξέως από 1kW ως 10MW. Τόσο οι μπαταρίες ιόντος λιθίου όσο και οι μπαταρίες

μολύβδου-οξέος και νικελίου-καδμίου απαιτούν αρκετά λεπτά για να εκφορτιστούν.

Υπό κανονικές συνθήκες λειτουργίας, η διάρκεια ζωής κάθε τύπου μπαταριών είναι ισάξια. Εντούτοις, σε δυσμενείς συνθήκες λειτουργίας μια κυψέλη νικελίου-καδμίου διαρκεί περισσότερο αφενός γιατί δεν διαβρώνονται εύκολα οι πλάκες της και αφετέρου γιατί δεν αντιμετωπίζει το φαινόμενο της θείωσης και της διαστρωμάτωσης. Όσον αφορά όμως στον αριθμό των κύκλων επαναφόρτισης, οι μπαταρίες νατρίου-θείου εμφανίζουν τον μεγαλύτερο αριθμό κύκλων επαναφόρτισης, οποίος κυμαίνεται από 2.500 - 4.500 κύκλους. Ακολουθούν οι μπαταρίες νικελίου και μολύβδου οξέος με αριθμό κύκλων επαναφόρτισης 1.000 - 2.000 κύκλους και 300 - 1.500 κύκλους αντίστοιχα. Μικρό αριθμό κύκλων επαναφόρτισης παρουσιάζουν οι μπαταρίες ψευδαργύρου/βρωμιδίου, που είναι περίπου 500 κύκλοι.

Με κριτήριο το κόστος ανά μονάδα ενέργειας, οι μπαταρίες μολύβδου-οξέος παρουσιάζουν το χαμηλότερο κόστος, που ανέρχεται σε 50-150 €/kWh. Από την άλλη, οι μπαταρίες νικελίου είναι οι αρκετά δαπανηρές, με κυμαινόμενο κόστος από 200 έως και 750 €/kWh. Υψηλό κόστος της τάξης των 150-250 €/kWh, παρουσιάζουν όμως και οι μπαταρίες λιθίου, λόγω των εσωτερικών κυκλωμάτων προστασίας που απαιτούν.

Τέλος, όσον αφορά στις περιβαλλοντικές επιπτώσεις, οι μπαταρίες μετάλλου αέρα είναι περισσότερο περιβαλλοντικά «συμβατές» από τα υπόλοιπα είδη μπαταριών, αφού κανένα τοξικό υλικό δεν περιλαμβάνεται στην κατασκευή τους. Αντίθετα, στα υπόλοιπα είδη μπαταριών τα υλικά κατασκευή τους απαιτούν ανακύκλωση, ενώ χαρακτηριστικά αναφέρουμε ότι η μπαταρία νικελίου-καδμίου περιέχει το υπερβολικά τοξικό κάδμιο.

Πίνακας 3.1.5.1 : Διατάξεις αποθήκευσης μπαταριών και τα χαρακτηριστικά λειτουργίας τους.

| Χαρακτηριστικά | Διατάξεις αποθήκευσης μπαταριών | | | | | |
|---|--|---|-------------------------------|----------------------------------|---|---|
| | Νικελίου | Λιθίου | Μολύβδου-Οξέος | Ψευδαργύρου/βρωμιδίου | Μετάλλου - Αέρα | Νατρίου-Θείου |
| Ενεργειακή Πυκνότητα (Energy Density) | 20-120 Wh/kg | 80-150 Wh/kg | 25-45 Wh/kg | 37 Wh/kg | 110-420 Wh/kg | 150-240 Wh/kg |
| Ενεργειακή απόδοση (Energy efficiency) | 60-91% | 90-100% | 60-95% | 75% | ~50% | 90% |
| Αριθμός κύκλων επαναφόρτισης (cycles) | 1.000-2.000 κύκλοι | 600-1.500 κύκλοι | 300-1.500 κύκλοι | 500 κύκλοι | - | 2.500-4.500 κύκλοι |
| Κόστος (Cost) | 200-750 €/kWh | 150-250 €/kWh (υψηλή ενέργεια, βιομηχανική εφαρμογή) | 50-150 €/kWh | - | - | 170 €/kWh |
| Ανάπτυξη | διαθέσιμες | διαθέσιμες | διαθέσιμες | αρχικό στάδιο εμπορευματοποίησης | αναπτυσσόμενες | διαθέσιμες |
| Διάδοση | περιορισμένη | αυξανόμενη για μικρής κλίμακας εφαρμογές | διαδεδομένες | περιορισμένη | περιορισμένη | περιορισμένη |
| Πλεονεκτήματα | υψηλές πυκνότητες ενέργειας και ισχύος, καλή απόδοση | υψηλές πυκνότητες ενέργειας και ισχύος, υψηλή απόδοση | χαμηλό κόστος | υψηλή χωρητικότητα | υψηλή ενεργειακή πυκνότητα, χαμηλό κόστος, περιβαλλοντική «συμβατότητα» | υψηλές πυκνότητες ενέργειας και ισχύος, υψηλή απόδοση |
| Μειονεκτήματα | NiCd: το κάδμιο είναι αρκετά τοξικό, οι NiMH, NiZn απαιτούν ανακύκλωση | υψηλό κόστος, απαιτείται ανακύκλωση των υλικών | ο μολύβδος απαιτεί ανακύκλωση | χαμηλή ενεργειακή πυκνότητα | χαμηλή ενεργειακή απόδοση | υψηλά κόστη, το Na απαιτεί ανακύκλωση |
| Καταλληλότητα για εφαρμογές ενεργειακής διαχείρισης | ✓✓ | ✓ | ✓✓ | ✓✓✓ | ✓✓✓ | ✓✓✓ |
| Καταλληλότητα για εφαρμογές ποιότητας ισχύος | ✓✓✓ | ✓✓✓ | ✓✓✓ | ✓✓ | ✓✓ | ✓ |
| Καταλληλότητα για εφαρμογές μεταφοράς | ✓✓✓ | ✓✓✓ | ✓✓✓ | - | ✓ | ✓ |

✓✓✓ κατάλληλο

✓✓ μερικώς κατάλληλο

✓ περιορισμένα κατάλληλο

3.2 Συστήματα αντλησιοταμίευσης.

Σήμερα, η μόνη αξιόπιστη λύση αποθήκευσης της παραγόμενης ενέργειας σε μεγάλη κλίμακα παρέχεται από τα συστήματα αντλησιοταμίευσης και κυρίως από τα αναστρέψιμα υδροηλεκτρικά συστήματα, των οποίων οι μονάδες μετατροπής ενέργειας είναι αντιστρεπτές, δηλαδή μπορούν να λειτουργούν είτε ως στρόβιλοι (φάση παραγωγής) είτε ως αντλίες (φάση αποθήκευσης).

3.2.1 Περιγραφή συστήματος αντλησιοταμίευσης

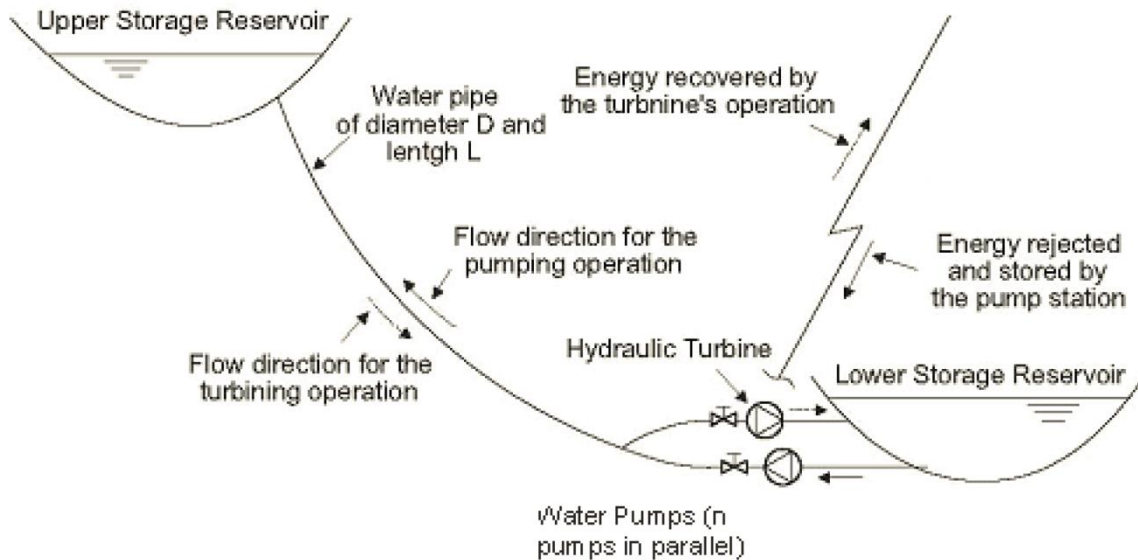
Ένα τυπικό σύστημα αντλησιοταμίευσης αποτελείται από τα παρακάτω μέρη:

- Μια αντλία ή ένα σύστημα αντλιών.
- Έναν υδροστρόβιλο ή ένα σύστημα υδροστροβίλων.
- Δύο δεξαμενές νερού, οι οποίες βρίσκονται σε ικανή υψομετρική διαφορά μεταξύ τους.
- Ένα σύνολο σωληνώσεων για την άντληση νερού από την κάτω δεξαμενή προς την άνω.
- Ένα σύνολο σωληνώσεων για την προσαγωγή νερού από την άνω δεξαμενή προς την κάτω μέσω του υδροστροβίλου για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.
- Μια ηλεκτρική μηχανή που λειτουργεί είτε ως κινητήρας είτε ως γεννήτρια σε κοινή άτρακτο με την αντλία και τον υδροστρόβιλο.

Σε ένα σύστημα αντλησιοταμίευσης διακρίνουμε δύο βασικές σχεδιαστικές εκδοχές, αυτής της μονής σωλήνωσης και αυτής της διπλής σωλήνωσης, όπου δηλαδή υπάρχει ανεξάρτητη σωλήνωση για τον στρόβιλο και για τη λειτουργία των αντλιών.

3.2.1.1 Μονή σωλήνωση

Η περίπτωση της μονής σωλήνωσης εμφανίζει ασφαλώς το πλεονέκτημα της πιο οικονομικής λύσης, δεδομένου ότι μειώνονται τα έξοδα της εγκατάστασης. Ωστόσο, θέτει περιορισμό ως προς τη λειτουργία, δεδομένου ότι δεν επιτρέπει την ταυτόχρονη λειτουργία του στροβίλου με τις αντλίες. Για το λόγο αυτό, απαιτείται να καθοριστεί αν έχει προτεραιότητα λειτουργίας ο στρόβιλος ή οι αντλίες.



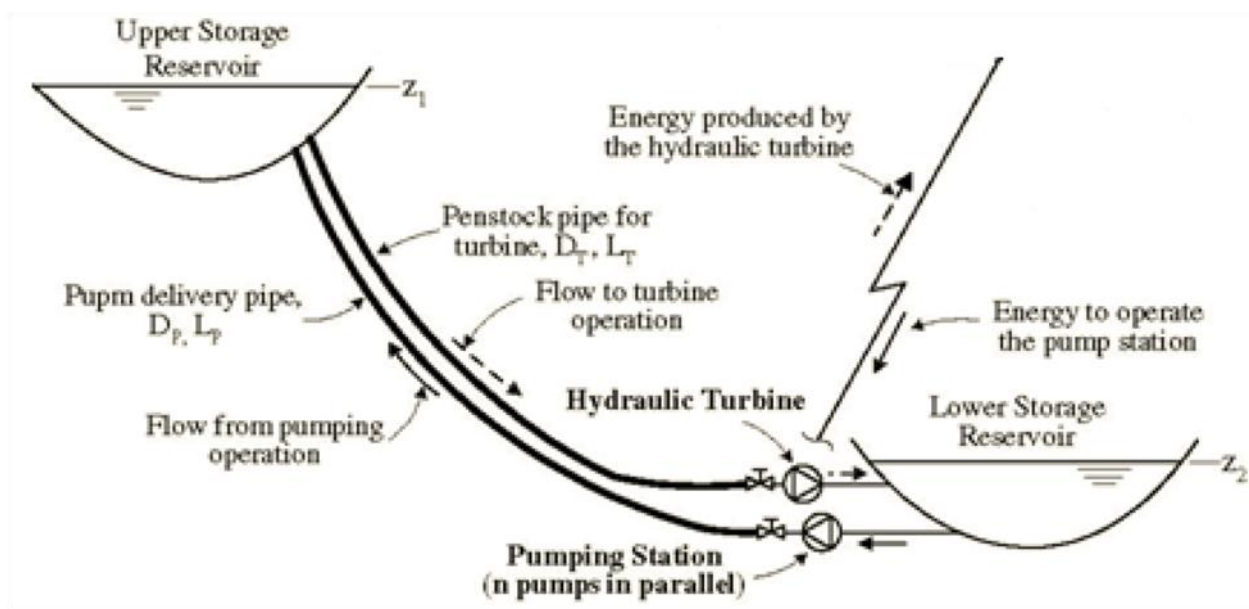
Σχήμα 3.2.1.1.1 : Υδροηλεκτρικό σύστημα με μονή σωλήνωση.

3.2.1.2 Διπλή σωλήνωση

Θα μπορούσε να σκεφτεί κανείς ότι η διπλή σωλήνωση είναι περιττή, δεδομένου ότι εάν υπάρχει ανάγκης παραγωγής ενέργειας από το στρόβιλο και ταυτόχρονα υπάρχει απορριπτόμενη ισχύς από τις θερμικές μονάδες ή από τις υδροηλεκτρικές μονάδες βάσεως, τότε θα μπορούσε να απορροφηθεί απευθείας περισσότερη ενέργεια από τις μονάδες αυτές. Ο συλλογισμός αυτός είναι εσφαλμένος, λόγω των περιορισμών του δικτύου. Η άμεση δηλαδή απορρόφηση ηλεκτρικής ενέργειας δεν μπορεί να συμβεί πέραν της επιτρεπόμενης από το δίκτυο ενέργειας.

Παράλληλα, η χρονική κατανομή της απορριπτόμενης ισχύος δείχνει ότι η περικοπή

καθορίζεται πρώτα από τη διαθέσιμη παραγόμενη ενέργεια και δεύτερον από τις διακυμάνσεις της ζήτησης. Σε ώρες αιχμής της ζήτησης και ταυτόχρονα περίσσειας ισχύος των μονάδων βάσεως, από τη μια υπάρχει περικοπή ισχύος και απαιτείται λειτουργία αντλιών για την εκμετάλλευση της περίσσειας ισχύος, από την άλλη πρέπει να λειτουργήσει ο στρόβιλος (π.χ. λόγω υψηλής ζήτησης). Εάν λειτουργεί η αντλία, θα απαιτηθεί χρόνος μέχρι να σταματήσει και να ξεκινήσει ο στρόβιλος, οπότε το βασικό πλεονέκτημα της άμεσης απόκρισης του στρόβιλου χάνεται.



Σχήμα 3.2.1.2.1 : Τυπικό σύστημα αντλιοσταμείωσης με διπλή σωλήνωση.

3.2.2 Λειτουργία συστήματος αντλιοσταμείωσης

Η φιλοσοφία λειτουργίας του συστήματος αντλιοσταμείωσης είναι απλή. Η περίσσεια ενέργειας τροφοδοτεί τις αντλίες, μέσω των οποίων το εργαζόμενο μέσο (νερό) ανυψώνεται διά των σωληνώσεων ανόδου από την κάτω δεξαμενή στην άνω, δίνοντάς μας έτσι τη δυνατότητα αποθήκευσης της περίσσειας ενέργειας με τη μορφή δυναμικής ενέργειας. Όταν κάποια άλλη χρονική στιγμή χρειαζόμαστε ενέργεια, το νερό από

την πάνω δεξαμενή αφήνεται να οδεύσει μέσω των σωληνώσεων καθόδου προς την κάτω δεξαμενή, διερχόμενο δε μέσω των υδροστροβίλων παράγει την επιθυμητή ενέργεια.

Οι διαστασιολογήσεις των δύο δεξαμενών είναι τέτοιες που να εξασφαλίζουν ότι μόνο ένα μικρό ποσοστό από τον όγκο του αποθηκευμένου νερού θα χρησιμοποιείται και θα είναι ικανό για τις μετατροπές τις διατιθέμενης ενέργειας σε δυναμική και αντίστροφα, αποκλείοντας το ενδεχόμενο κάποια από τις δύο δεξαμενές να αδειάσει εντελώς.

Είναι πλέον πλήρως κατανοητό, ότι τα συστήματα αντλησιοταμίευσης έχουν διπλό όφελος:

- Απορροφούν την περίσσεια ενέργειας κατά τις ώρες χαμηλής ζήτησης μετατρέποντάς την σε υδραυλική ενέργεια, η οποία αποθηκεύεται στον πάνω ταμιευτήρα
- Αποδίδουν στο δίκτυο κατά τις ώρες αιχμής την ενέργεια που έχουν αποταμιεύσει, ενώ, στις περισσότερες περιπτώσεις, παράγουν και πρωτογενή ενέργεια από την αξιοποίηση των φυσικών εισροών στον άνω ταμιευτήρα

Η εναλλαγή της λειτουργίας τους μεταξύ εναλλαγής της λειτουργίας απαιτούν την ύπαρξη δεξαμενής αποθήκευσης (άνω ταμιευτήρα άντλησης και παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας μπορεί να συμβαίνει μια ή περισσότερες φορές την ημέρα, μια φορά την εβδομάδα ή μια φορά τον χρόνο). Βέβαια, οι δύο τελευταίες περιπτώσεις είναι πολύ μεγάλης χωρητικότητας.

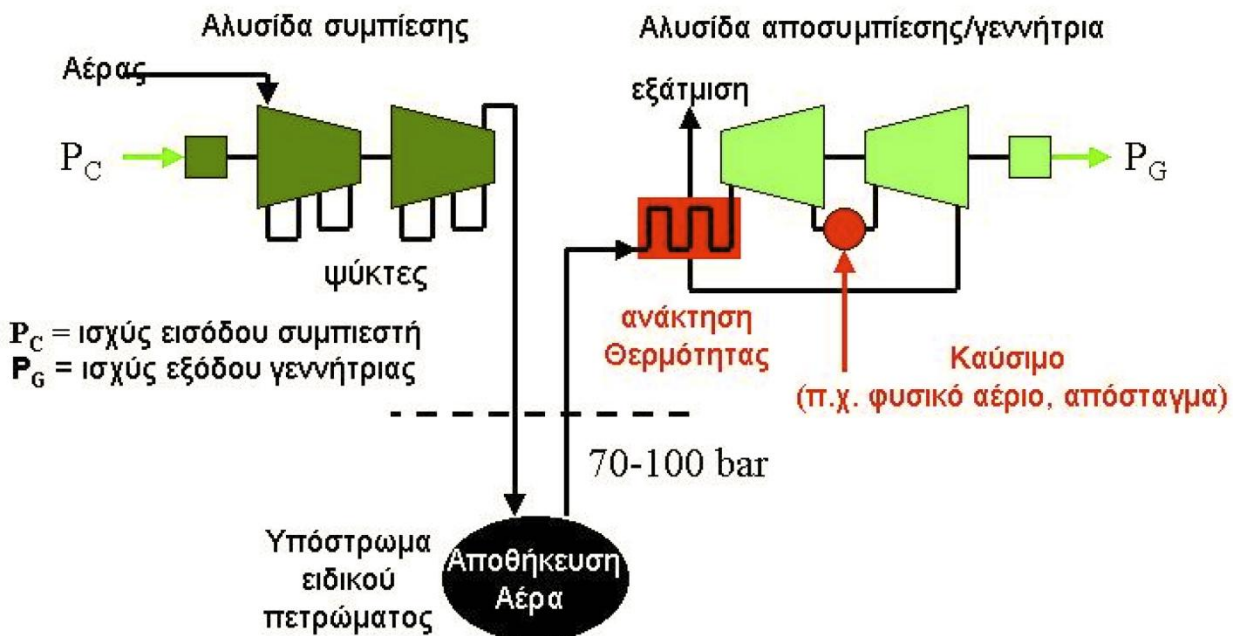
Είναι προφανές η διαδικασία αυτή μετατροπής της ηλεκτρικής ενέργειας σε υδραυλική (άντληση) και στη συνέχεια η εκ νέου μετατροπή της σε ηλεκτρική (λειτουργία υδροστροβίλων) συνοδεύεται από απώλειες ενέργειας. Οι συνολικές απώλειες ενέργειας σε έναν κύκλο άντλησης - παραγωγής ενέργειας φθάνει στο 23% περίπου (σε ένα υδροηλεκτρικό έργο μεσαίου μεγέθους). Όπως είναι αναμενόμενο, οι συνολικές απώλειες ενέργειας είναι αναλογικά μεγαλύτερες όσο το μέγεθος των μηχανών είναι μικρότερο.

3.3 Συστήματα ενεργειακής αποθήκευσης συμπιεσμένου αέρα (compressed air energy storage, CAES)

3.3.1 Εισαγωγή

Τα συστήματα ενεργειακής αποθήκευσης συμπιεσμένου αέρα (ΕΑΣΑ) βρίσκουν εφαρμογή σε μεγάλης κλίμακας αποθηκευτικά έργα. Εκτός των αναστρέψιμων υδροηλεκτρικών συστημάτων που περιγράφηκαν, καμία άλλη μέθοδος δεν έχει τη δυνατότητα αποθήκευσης τόσων μεγάλων ποσοτήτων ενέργειας και για μεγάλης διάρκειας χρονικές περιόδους. Η ισχύς ενός τέτοιου συστήματος ενεργειακής αποθήκευσης μπορεί να ξεκινά από 50 MW και να ξεπερνά τα 300 MW.

Το πρώτο σύστημα ενεργειακής αποθήκευσης συμπιεσμένου αέρα, ισχύος 290 MW, τέθηκε πρώτη φορά σε λειτουργία το 1978 στο Handoff της Γερμανίας, αποτελώντας το πρώτο μεγάλης κλίμακας σύστημα αποθήκευσης ενέργειας συμπιεσμένου αέρα παγκοσμίως. Τα αποτελέσματα της λειτουργίας του ήταν πολύ ενθαρρυντικά και έτσι το 1991 κατασκευάστηκε στην Αλαμπάμα ένα δεύτερο σύστημα ενεργειακής αποθήκευσης συμπιεσμένου αέρα, ισχύος 110 MW.



3.3.2 Περιγραφή συστήματος ενεργειακής αποθήκευσης συμπιεσμένου αέρα (ΕΑΣΑ)

Η βασική εγκατάσταση ενός τυπικού συστήματος ενεργειακής αποθήκευσης συμπιεσμένου αέρα (ΕΑΣΑ) αποτελείται από τα ακόλουθα τμήματα;

- Το τμήμα ισχύος, το οποίο αποτελείται από τον προθερμαντήρα/μονάδα επιλεκτικής καταλυτικής μείωσης, το στρόβιλο αέρα, το στρόβιλο καύσης και την ηλεκτρική γεννήτρια.
- Το τμήμα συμπίεσης, που αποτελείται από τον ηλεκτρικό κινητήρα και τους αξονικούς και φυγοκεντρικούς συμπιεστές, οι οποίοι συμπληρώνονται με δοχεία ψύξης για την επίτευξη οικονομικής συμπίεσης και τη μείωση της περιεκτικότητας του αέρα σε υγρασία.
- Τον υπόγειο αεροστεγή ταμιευτήρα για την αποθήκευση του αέρα που υποβάλλεται σε συμπίεση.
- Το κέντρο ελέγχου του εξοπλισμού για τη λειτουργία του στροβίλου καύσης, του συμπιεστή και των βοηθητικών, αλλά και για τον έλεγχο της μετάβασης από την παραγωγή στην αποθήκευση.
- Τον βοηθητικό εξοπλισμό για την αποθήκευση και τη διαχείριση του καυσίμου, και μηχανικά και ηλεκτρικά συστήματα για να υποστηρίξουν τους διάφορους εναλλάκτες θερμότητας που απαιτούνται.

3.3.3 Λειτουργία συστήματος ενεργειακής αποθήκευσης συμπιεσμένου αέρα

Η φιλοσοφία λειτουργίας των συστημάτων ενεργειακής αποθήκευσης συμπιεσμένου αέρα (ΕΑΣΑ) είναι σχετικά απλή. Τα συστήματα ΕΑΣΑ χρησιμοποιούν ενέργεια εκτός αιχμής για τη συμπίεση και την αποθήκευση ποσοτήτων αέρα σε μεγάλες πιέσεις (συνήθως κοντά στα 75 bar) και σε υπόγειο αεροστεγή ταμιευτήρα. Όταν θεωρηθεί απαραίτητο, για παράδειγμα σε ώρες αιχμής της ζήτησης, ποσότητες συμπιεσμένου

αέρα αποδεδεσμεύονται από τον υπόγειο αεροστεγή ταμιευτήρα και εν συνεχεία θερμαίνονται και εκτονώνονται σε ένα στρόβιλο καύσης συνδεδεμένο με μια γεννήτρια, για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Η απορριπτόμενη από το στρόβιλο ενέργεια πριν απελευθερωθεί στο περιβάλλον οδηγείται σε προθερμαντήρα για την πρόσδοση ικανής θερμότητας στο συμπιεσμένο αέρα, προτού ο τελευταίος αναφλεχθεί στο θάλαμο καύσης. Σχεδόν τα 2/3 του φυσικού αερίου σε ένα συμβατικό σταθμό παραγωγής καταναλώνονται για τη λειτουργία του συμπιεστή μέσω του στρόβιλου. Αντίθετα, για να τεθεί σε ένα σύστημα ΕΑΣΑ ο συμπιεστής σε λειτουργία χρησιμοποιείται χαμηλού κόστους συμπιεσμένος αέρα, εξοικονομώντας με αυτόν τον τρόπο σημαντικές ποσότητες φυσικού αερίου.

3.3.4 Υπόγειοι ταμιευτήρες

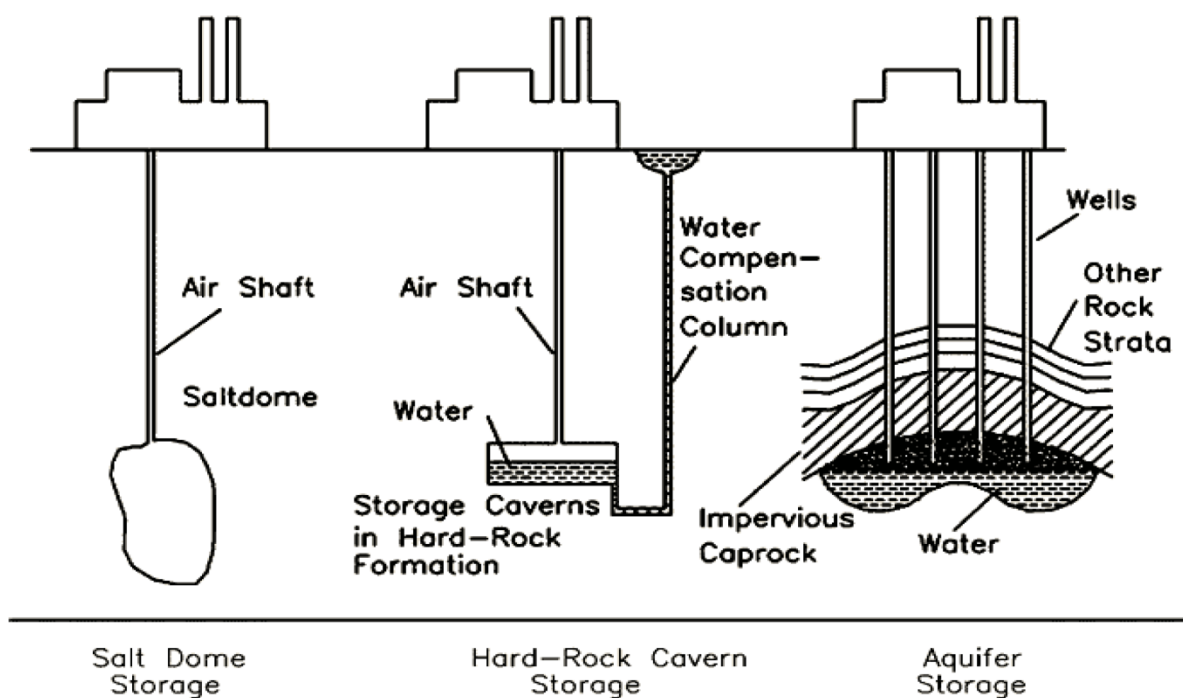
Όπως αναφέρθηκε, η αποθήκευση του συμπιεσμένου αέρα επιτυγχάνεται σε υψηλές πιέσεις (70 - 80bar), και κοντά σε θερμοκρασίες περιβάλλοντος. Αυτό σημαίνει μικρότερος όγκο και μικρότερη δεξαμενή (ταμιευτήρας) αποθήκευσης.

Υπάρχουν πολλοί γεωλογικοί σχηματισμοί που μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως ταμιευτήρες για την αποθήκευση του συμπιεσμένου αέρα. Αυτοί χρησιμοποιούνται σε συστήματα μεγάλης κλίμακας και περιλαμβάνουν τα υπόγεια υδροφόρα στρώματα, τα υπόγεια σπήλαια - αλατωρυχεία και την κατασκευή υπόγειων σπηλαίων από βράχους.

Και οι τρεις αυτοί τύποι ταμιευτήρων αποτελούν ιδανικές επιλογές για την αποθήκευση του συμπιεσμένου αέρα, δεδομένου ότι ωφελούνται από τη γεωστατική πίεση, η οποία διευκολύνει τη συγκράτηση της μάζας αέρα. Γενικότερα, για εφαρμογές συστημάτων ενεργειακής αποθήκευσης συμπιεσμένου αέρα, τα βραχώδη σπήλαια είναι κατά 60% περίπου ακριβότερα από τα σπήλαια - αλατωρυχεία. Η διαφορά αυτή οφείλεται στον τρόπο σχηματισμού των δύο αυτών σπηλαίων. Συγκεκριμένα, τα υπόγεια βραχώδη σπήλαια δημιουργούνται από τους σχηματισμούς στερεών βράχων

ανασκαφής, σε αντίθεση με τα σπήλαια άλατος που δημιουργούνται από την εξόρυξη διαλυμάτων άλατος. Από την άλλη, η αποθήκευση σε υπόγεια υδροφόρα στρώματα αποτελεί τη φθηνότερη μέθοδο και επομένως προτιμάται πολύ περισσότερο από τις προηγούμενες δύο μεθόδους.

Ωστόσο, ένα μεγάλο πλήθος μελετών έδειξε ότι ο αέρας θα μπορούσε να συμπιεστεί και να αποθηκευτεί σε υπόγειες, υψηλής πίεσεως σωληνώσεις. Αυτή η μέθοδος θα μπορούσε να εξαλείψει τα γεωλογικά κριτήρια, καθιστώντας πιο εύκολη τη λειτουργία του συστήματος. Παρόλα αυτά, η σημερινή τεχνολογία δεν έχει αναπτυχθεί στον απαιτούμενο βαθμό για να κατασκευαστούν αυτοί οι υψηλής πίεσης σωλήνες χωρίς υψηλό κόστος.



Σχήμα 3.3.4.1 : Διαφορετικοί τύποι ταμιευτήρων αποθήκευσης συμπιεσμένου αέρα.

Η επιλογή του αεροσυμπιεστή απαιτεί προσεκτική ανάλυση, αφού επηρεάζεται από πληθώρα παραγόντων. Ενδεικτικά αναφέρουμε μερικούς από αυτούς:

- Η μέγιστη και η ελάχιστη απαίτηση αέρα, οι εποχιακές διαφοροποιήσεις, καθώς και οι προβλεπόμενες μελλοντικές επεκτάσεις
- Οι συνθήκες περιβάλλοντος. Παράγοντες που πρέπει να ληφθούν υπόψη είναι οι ακραίες θερμοκρασίες, ο μολυσμένος αέρας, τα μεγάλα υψόμετρα, κ.τ.λ.
- Η προοριζόμενη χρήση και επομένως οι απαιτήσεις για πίεση λειτουργίας
- Η ανάγκη για συνεχή ή περιοδική παροχή αέρα
- Η ύπαρξη ορίων στη διαθέσιμη ισχύ
- Ο χώρος που θα εγκατασταθεί ο αεροσυμπιεστής (περιορισμοί σε κραδασμούς κ.α.

3.3.5 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα συστημάτων ΕΑΣΑ - Εφαρμογές

Τα συστήματα ΕΑΣΑ παρουσιάζουν πληθώρα πλεονεκτημάτων, καθιστώντας την τεχνολογία τους εξαιρετικά ανταγωνιστική για εφαρμογές σε μεγάλης κλίμακας αποθηκευτικά έργα. Όπως αναφέρθηκε και στην αρχή του κεφαλαίου, η ισχύς ενός συστήματος ενεργειακής αποθήκευσης συμπιεσμένου αέρα μπορεί να ξεκινά από 50MW και εύκολα να ξεπερνά τα 300MW. Η περίοδος αποθήκευσης μπορεί να είναι μεγάλης διάρκειας καθώς οι αντίστοιχες απώλειες δε θεωρούνται ιδιαίτερα σημαντικές. Μια μονάδα ΕΑΣΑ μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την αποθήκευση ενέργειας για περισσότερο από ένα έτος.

Σημαντικό πλεονέκτημα ενός συστήματος ΕΑΣΑ αποτελεί επίσης και η γρήγορη εκκίνηση. Σε φυσιολογικές συνθήκες απαιτούνται περίπου 12 λεπτά ενώ σε περιπτώσεις ανάγκης η μονάδα έχει τη δυνατότητα εκκίνησης σε 9 λεπτά, χρόνοι εντυπωσιακοί αν αναλογιστούμε πως μια συμβατική μονάδα απαιτεί 20 με 30 λεπτά.

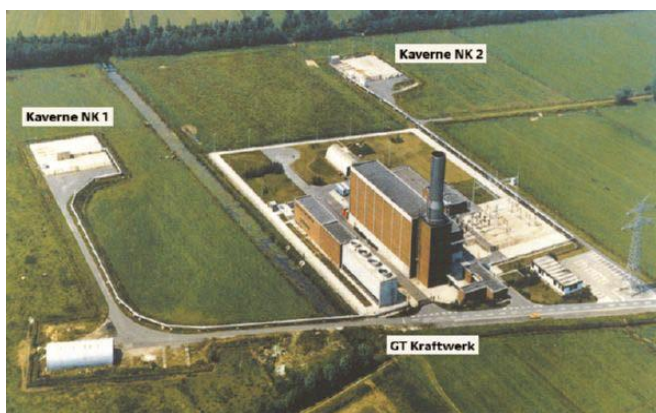
Στην περίπτωση που χρησιμοποιηθεί φυσικός ταμιευτήρας, τα οφέλη είναι πολλαπλά, καθώς το αρχικό κόστος εγκατάστασης παρουσιάζεται σημαντικά μειωμένο και η περιβαλλοντική υποβάθμιση ασήμαντη. Παράλληλα, η εκπομπή των αερίων θερμοκηπίων είναι ουσιαστικά χαμηλότερη συγκριτικά με τις κανονικές εγκαταστάσεις αερίου.

Ωστόσο, τα συστήματα ΕΑΣΑ παρουσιάζουν και ορισμένα σημαντικά μειονεκτήματα. Απώλειες ενέργειας παρατηρούνται τόσο κατά την αποθήκευση στον ταμιευτήρα όσο και κατά την άντληση του συμπιεσμένου αέρα από αυτόν καθώς και εξαιτίας των μηχανολογικών βαθμών αποδόσεων των επιμέρους τμημάτων της εγκατάστασης. Εκτιμήσεις αναφέρουν βαθμούς απόδοσης εγκαταστάσεων συμπιεσμένου αέρα της τάξης του 80%.

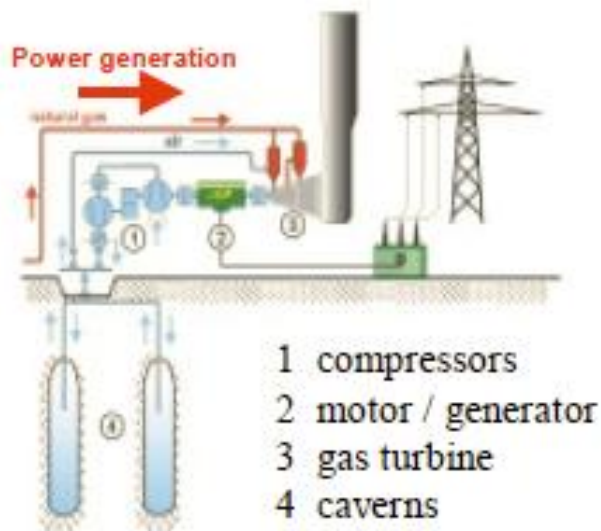
Επιπρόσθετα, η κατασκευή ενός υπόγειου ταμιευτήρα προϋποθέτει τη διάθεση σημαντικού αρχικού κεφαλαίου που σε πολλές περιπτώσεις καθιστά την πραγματοποίηση ανάλογων σχεδίων αδύνατη. Αν σε αυτό συμπεριλάβουμε και τη δυσκολία εύρεσης υπόγειου ταμιευτήρα, γίνεται κατανοητή η δυσκολία χρησιμοποίησης αυτής της μεθόδου ενεργειακής αποθήκευσης. Εντούτοις, για τις θέσεις όπου είναι κατάλληλο, μπορεί να παρέχει την αποθήκευση μεγάλων ποσοτήτων ενέργειας και μακράς διάρκειας περιόδους.

Παρά τα πλεονεκτήματα που εμφανίζουν τα συστήματα ενεργειακής αποθήκευσης συμπιεσμένου αέρα, η διάδοσή τους στην Ευρώπη είναι πολύ περιορισμένη. Μέχρι στιγμής αναφέρονται οι ακόλουθες εφαρμογές τους:

1) Όπως αναφέραμε και στην αρχή του κεφαλαίου, το πρώτο μεγάλης κλίμακας σύστημα ενεργειακής αποθήκευσης συμπιεσμένου αέρα, ισχύος 290MW, κατασκευάστηκε το 1979 στο Handoff της Γερμανίας.



Εικόνα 3.3.5.1 : Υφιστάμενη μονάδα στο Handoff της Γερμανίας.



Εικόνα 3.3.5.2 : Εξοπλισμός υφιστάμενης μονάδας στο Handoff της Γερμανίας.

2) Το δεύτερο σύστημα ΕΑΣΑ βρίσκεται στην Αλαμπάμα των Η.Π.Α, ισχύος 110 MW. Η κατασκευή του διήρκησε 30 μήνες και κόστισε 65 εκατομμύρια δολάρια. Το σύστημα χρησιμοποιεί ένα υπόγειο σπήλαιο-αλατωρυχείο για την αποθήκευση του συμπιεσμένου αέρα. Το σπήλαιο αυτό είναι 220 πόδια σε διάμετρο και έχει βάθος 1000 μέτρα. Ο συνολικός όγκος του ανέρχεται στα 10 εκατομμύρια πόδια. Σε πλήρη φόρτιση, ο αέρας συμπιέζεται μέχρι την πίεση των 1000 psi και αποθηκεύεται στο σπήλαιο. Αυτό εκφορτίζεται στα 600 psi. Το σπήλαιο αποδίδει την αποθηκευμένη ποσότητα του συμπιεσμένου αέρα σε 26 ώρες.



Εικόνες 3.3.5.3 :Υφιστάμενη μονάδα στην Αλαμπάμα, Αμερική.

3) Στην Iowa των ΗΠΑ μελετάται η εγκατάσταση μονάδος ισχύος 300MW με συνεργασία μεταξύ αιολικού πάρκου 100 MW και συστήματος ενεργειακής αποθήκευσης συμπιεσμένου αέρα ισχύος 200 MW. Έχει ήδη δαπανηθεί το ποσό του 1.500.000\$ για την έρευνα και μελέτη του όλου σχεδίου και όλα δείχνουν πως στα μέσα του επόμενου χρόνου οι προσπάθειες των αρμοδίων θα καρποφορήσουν. Η μελλοντική εγκατάσταση φιλοδοξεί να χρησιμοποιεί κατά 33% λιγότερο φυσικό αέριο από αντίστοιχη συμβατική, ενώ το όποιο επιπρόσθετο κόστος για την παραγωγή αιολικής ενέργειας εκτιμάται ως αμελητέο.

4) Στις ΗΠΑ ερευνώνται και χρηματοδοτούνται διάφορα σημαντικά σχέδια συστημάτων ενεργειακής αποθήκευσης συμπιεσμένου αέρα. Μεγάλες εγκαταστάσεις των 2700 MW έχουν προγραμματιστεί σε Norton και Ohio για περίπου 5 έτη, αλλά η κατασκευή τους δεν έχει αρχίσει ακόμα, λόγω διαφόρων καθυστερήσεων προγραμματισμού.

3.4 Κυψέλες καυσίμου (Fuel Cells)

3.4.1 Εισαγωγή

Η ανάγκη απεξάρτησης από τα συμβατικά καύσιμα οδήγησε τους επιστήμονες στη μελέτη σύγχρονων εναλλακτικών τρόπων μετασχηματισμού άλλων μορφών ενέργειας σε ηλεκτρική. Οι κυψέλες καυσίμου αποτελούν σήμερα μία ελκυστική δυνατότητα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, κυρίως από υδρογόνο και συγκαταλέγονται μεταξύ των πιο ελπιδοφόρων τεχνολογιών του μέλλοντος για την αντικατάσταση των γνωστών συσσωρευτών. Η λειτουργία τους στηρίζεται σε απευθείας μετατροπή της χημικής ενέργειας σε ηλεκτρική.

Οι κυψέλες καυσίμου προσφέρουν ηλεκτρική ενέργεια χωρίς εκπομπή ρύπων, με υψηλό βαθμό απόδοσης και μεγάλη βιωσιμότητα. Οι λόγοι αυτοί οδήγησαν στη λεπτομερή μελέτη εκ μέρους των επιστημονικών κοινοτήτων της νέας αυτής τεχνολογίας, η οποία αντιμετωπίζεται πλέον ως μία ελπιδοφόρα δυνατότητα παραγωγής ενέργειας. Οι κυψέλες καυσίμου μπορούν να καλύψουν ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών, από τις ανάγκες ηλεκτροδότησης ενός σπιτιού έως τα συστήματα ηλεκτροκίνησης που παρουσιάζουν άμεσο ενδιαφέρον, όπως η εφαρμογή σε ηλεκτρικά και υβριδικά οχήματα.

Οι κυψέλες καυσίμου αποτελούν ένα μηχανισμό για την ηλεκτροχημική μετατροπή της ενέργειας μετατρέποντας υδρογόνο και οξυγόνο σε νερό, παράγοντας ταυτόχρονα με τη διαδικασία αυτή ηλεκτρισμό και θερμότητα. Ο ηλεκτρισμός παράγεται με τη μορφή συνεχούς ρεύματος. Οι κυψέλες καυσίμου μπορούν να χαρακτηριστούν σαν κέντρα ενός συστήματος το οποίο χρησιμοποιεί το υδρογόνο ως καύσιμο. Είναι αυτές οι οποίες αναλαμβάνουν τη μετατροπή του καυσίμου σε χρήσιμη ηλεκτρική ενέργεια.

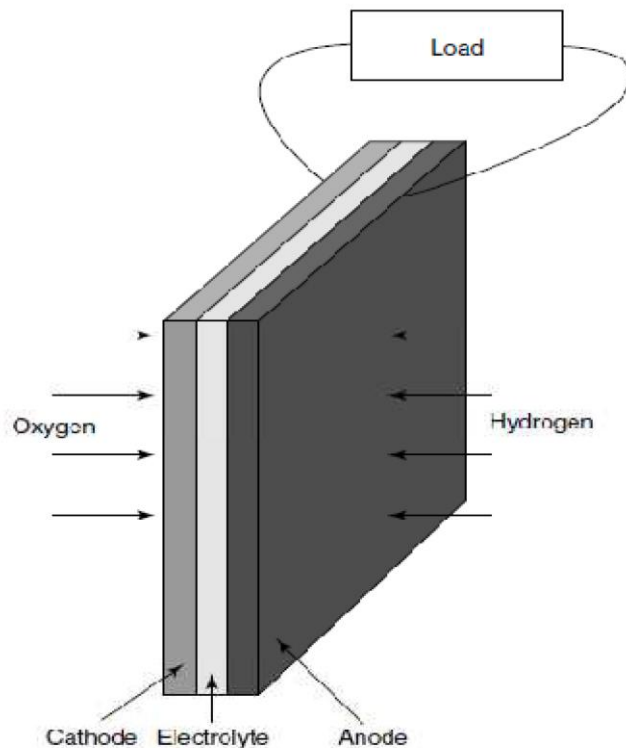
3.4.2 Αρχή λειτουργίας κυψέλης καυσίμου

Οι κυψέλες καυσίμου είναι συσκευές ηλεκτροχημικής μετατροπής της ενέργειας. Ενώνουν ηλεκτροχημικά ένα καύσιμο, που κατά κανόνα είναι υδρογόνο, με ένα οξειδωτικό. Η χημική αντίδραση που πραγματοποιείται μέσα στην κυψέλη οδηγεί στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με ταυτόχρονη παραγωγή νερού και έκλυση θερμότητας, καθώς αντιδρά το καύσιμο με το οξυγόνο. Η συνεχής εισροή του καυσίμου είναι αναγκαία για τη λειτουργία της κυψέλης καυσίμου.

Οι κυψέλες καυσίμου ως πηγές ενέργειας πλεονεκτούν έναντι των μηχανών εσωτερικής καύσης και των μπαταριών σε πολλά σημεία. Η παραγωγή μηχανικής ενέργειας στις μηχανές εσωτερικής καύσης πραγματοποιείται με τη μετατροπή της χημικής ενέργειας του καυσίμου σε θερμική, αναμιγνύοντας το καύσιμο με το οξυγόνο σε υψηλές θερμοκρασίες. Η παραγόμενη θερμική ενέργεια μετατρέπεται σε μηχανική με αρκετές όμως απώλειες λόγω του περιορισμού του κύκλου Carnot. Η απουσία του περιορισμού αυτού είναι και το μεγαλύτερο πλεονέκτημα των κυψελών καυσίμου λόγω της απευθείας μετατροπής της χημικής ενέργειας σε ηλεκτρική και επομένως του μεγαλύτερου βαθμού απόδοσης. Ένα άλλο πλεονέκτημα των κυψελών είναι οι χαμηλές εκπομπές ρύπων, ειδικά στην περίπτωση των κυψελών καυσίμου μεμβράνης ανταλλαγής πρωτονίων, όπου το προϊόν της χημικής αντίδρασης, όπως θα δούμε παρακάτω, είναι το νερό που συνοδεύεται από ταυτόχρονη έκλυση θερμότητας.

Ως προς τη δομή, η κυψέλη καυσίμου αποτελείται από δύο ηλεκτρόδια (άνοδο και κάθοδο) τα οποία χωρίζονται από έναν ηλεκτρολύτη (σχήμα 3.4.2.1). Το στρώμα της ανόδου και της καθόδου αποτελείται από το στρώμα διάχυσης αερίων, που είναι υπεύθυνο για την ομοιόμορφη κατανομή των αερίων στην επιφάνεια του καταλύτη.

Οι αντιδράσεις που πραγματοποιούνται στην κυψέλη καυσίμου συμβαίνουν στην επιφάνεια πριν τον ηλεκτρολύτη, η οποία είναι εμπλουτισμένη με έναν καταλύτη – συνήθως λευκόχρυσος ή παλλάδιο.



Σχήμα:3.4.2.1:Βασική δομή καθόδου - ηλεκτρολύτη – ανόδου κυψέλης καύσιμου.

Η ενέργεια που απελευθερώνεται κατά την αντίδραση του οξυγόνου με το καύσιμο (υδρογόνο, μεθάνιο, μεθανόλη) μετατρέπεται σε ηλεκτρική. Για την ακρίβεια η απόσπαση των ηλεκτρονίων από τα μόρια του καυσίμου οδηγούνται σε ένα εξωτερικό κύκλωμα, παράγοντας με αυτόν τον τρόπο ηλεκτρικό ρεύμα. Η θεωρητική τιμή της τάσεως για κυψέλες καυσίμου υδρογόνου κυμαίνεται στα 1.23V για θερμοκρασία 25°C. Στην πράξη όμως το φάσμα των τιμών της τάσεως είναι περίπου 0.5-1V. Για την επίτευξη μεγαλύτερης τάσεως συνδέονται πολλές κυψέλες μαζί, δημιουργώντας μια συστοιχία κυψελών καυσίμου (stack).

Οι μπαταρίες από την άλλη πλευρά, είναι και αυτές ηλεκτροχημικές συσκευές που μετατρέπουν τη χημική ενέργεια άμεσα σε ηλεκτρική. Η κύρια διαφορά τους με τις κυψέλες εντοπίζεται στο γεγονός ότι η μπαταρία περιέχει τα αντιδρώντα στο εσωτερικό της συνεπώς όταν εκφορτιστεί πρέπει να αντικατασταθεί ή να φορτιστεί εκ νέου. Σε αντιδιαστολή με την μπαταρία, τα αντιδρώντα στην κυψέλη καυσίμου είναι

αποθηκευμένα εξωτερικά και πρέπει να υπάρχει συνεχής τροφοδότησή τους για την εύρυθμη λειτουργία της. Τα αντιδρώντα της κυψέλης καυσίμου που είναι συνήθως υδρογόνο και ατμοσφαιρικός αέρας είναι αποθηκευμένα σε δεξαμενές υψηλής πίεσης οι οποίες επιτρέπουν την εύκολη αντικατάστασή τους.

3.4.3 Τύποι κυψελών καυσίμου

Οι κυψέλες καυσίμου διακρίνονται σε πέντε κύριους τύπους. Τα ονόματα των κυψελών προσδιορίζουν το είδος του μεταφερόμενου ιόντος που διέρχεται από τον ηλεκτρολύτη. Η βασική δομή των κυψελών αυτών είναι όμοια, διαφοροποιούνται όμως ως προς το είδος του ηλεκτρολύτη που χρησιμοποιούν, τη θερμοκρασία λειτουργίας, τους καταλύτες, την καθαρότητα των αντιδρώντων και τις επιμέρους χημικές αντιδράσεις που πραγματοποιούνται. Οι κύριοι τύποι κυψελών καυσίμου είναι:

- Αλκαλική κυψέλη καυσίμου (Alkaline Fuel Cell-AFC)
- Κυψέλη καυσίμου μεμβράνης ανταλλαγής πρωτονίων (Proton Exchange Membrane PEMFC)
- Κυψέλη καυσίμου φωσφορικού οξέος (Phosphoric Acid Fuel Cell-PAFC)
- Κυψέλη καυσίμου τήγματος ανθρακικών αλάτων (Molten Carbonate Fuel Cell-MCFC)
- Κυψέλη καυσίμου στερεών οξειδίων (Solid Oxide Fuel Cell-SOFC)
- Κυψέλη καυσίμου μεθανόλης (direct methanol fuel cells, DMFC)

Για την εμπορική χρήση σε επίπεδο χαμηλής θερμοκρασιακής λειτουργίας έχει προταθεί η κυψέλη καυσίμου μεμβράνης ανταλλαγής πρωτονίων (PEMFC), ενώ σε υψηλή θερμοκρασιακή λειτουργία η κυψέλη καυσίμου τήγματος ανθρακικών αλάτων (MCFC) και η στερεών οξειδίων (SOFC).

3.4.3.1 Αλκαλικές κυψέλες καυσίμου (AFC)

Οι αλκαλικές κυψέλες καυσίμου (AFC) εφαρμόστηκαν για πρώτη φορά στο διαστημικό πρόγραμμα των οχημάτων Gemini και Apollo, τα οποία αναπτύχθηκαν από τη NASA για την προσεδάφιση στη Σελήνη τη δεκαετία του '60. Οι κυψέλες καυσίμου AFC χρησιμοποιούν διάλυμα KOH 85% κ.β. σαν ηλεκτρολύτη, για λειτουργία σε υψηλές θερμοκρασίες, και 35-50% κ.β για λειτουργία κάτω από τους 120 °C, διότι αυτός είναι ο πιο αγώγιμος από όλους τους ηλεκτρολύτες (απαιτεί όμως υψηλής καθαρότητας H₂ και O₂, ώστε να αποφεύγεται η δηλητηρίασή του). Συγκριτικά με τις υπόλοιπες κυψέλες, οι AFC μπορούν να παράγουν το μεγαλύτερο ποσό ενέργειας, καθώς η απόδοσή τους μπορεί να φθάσει και το 80%. Ο υψηλός αυτός βαθμός της απόδοσής τους, οφείλεται κυρίως στον εξίσου υψηλό ρυθμό με τον οποίο πραγματοποιούνται οι διάφορες καταλυτικές χημικές αντιδράσεις που συμβαίνουν στο εσωτερικό τους. Το μεγαλύτερό τους μειονέκτημα είναι, όμως, ότι είναι ιδιαίτερα ευπρόσβλητες, κατά τη λειτουργία τους, από την παρουσία του CO₂ στο εσωτερικό τους, ακόμα και όταν αυτό υφίσταται σε πολύ μικρές ποσότητες. Λόγω της παρουσίας του CO₂, η απόδοση των κυψελών καυσίμου μειώνεται και η λειτουργία τους παρεμποδίζεται («δηλητηριάζεται»), με συνέπεια να ελαττώνεται σημαντικά η συνολική διάρκεια ζωής τους. Για το λόγο αυτό, και το μίγμα υδρογόνου- ατμοσφαιρικού οξυγόνου που καταναλώνουν, καθαρίζεται επιμελώς από οποιεσδήποτε ποσότητες CO₂, πριν αυτό διοχετευτεί στο εσωτερικό τους. Σήμερα, οι κυψέλες καυσίμου AFC δεν χρησιμοποιούνται ευρέως, γιατί το κόστος λειτουργίας τους είναι υψηλό εξαιτίας του γεγονότος ότι είναι ευπρόσβλητες στο CO₂. Από την άλλη μεριά, οι κυψέλες αυτές χρησιμοποιούνται ευρέως σε διαστημικές εφαρμογές, δεδομένου ότι αυτές το κόστος είναι δευτερεύον ζήτημα, ενώ το πρωτεύον είναι η απόδοση.

3.4.3.2 Κυψέλες καυσίμου μεμβράνης πολυμερών ή μεμβράνης ανταλλαγής πρωτονίων (PEMFC)

Οι κυψέλες καυσίμου ανταλλαγής πρωτονίων (proton exchange membrane fuel cells, PEM) λειτουργούν σε σχετικά χαμηλές θερμοκρασίες και παράγουν αρκετή ισχύ για την εφαρμογή τους για την ικανοποίηση των καθημερινών ενεργειακών αναγκών (π.χ. κίνηση μεταφορικών οχημάτων, τροφοδότηση ηλεκτρικών συσκευών κ.α.). Σε αυτό βοηθά η ικανότητά τους να προσαρμόζονται σε γρήγορες αυξομειώσεις στην απαίτηση ισχύος. Η ισχύς που παράγει μια τέτοια κυψέλη κυμαίνεται μεταξύ των 50 και 250 kW. Το μοναδικό ίσως μειονέκτημα των κυψελών καυσίμου PEMFC, είναι η αρνητική συμπεριφορά στη λειτουργία τους με μη «καθαρό» υδρογόνο, δηλαδή με υδρογονούχα καύσιμα που δεν περιέχουν το υδρογόνο σε μεγάλες περιεκτικότητες στη μάζα του. Σήμερα, η έρευνα πάνω στις κυψέλες καυσίμου όσον αφορά στις εφαρμογές τους στην τροφοδότηση οχημάτων είναι επικεντρωμένη κυρίως σε αυτόν τον τύπο.

3.4.3.3 Κυψέλες καυσίμου φωσφορικού οξέος (PAFC)

Οι κυψέλες καυσίμου φωσφορικού οξέος (phosphoric-acid fuel cells ή αλλιώς PAFC) είναι από τις πιο προηγμένες κυψέλες καυσίμου τεχνολογικά και εμπορικά. Χρησιμοποιούν 100% καθαρό φωσφορικό οξύ σαν ηλεκτρολύτη. Η θερμοκρασία λειτουργίας τους κυμαίνεται μεταξύ των 150 °C και 200 °C και επιτρέπει στην κυψελίδα να αντέξει 1-2% CO και μερικά ppm θείου, μέσα στα αντιδρώντα αέρια, κάτι που ωφελεί στην όλη διαδικασία καθώς μειώνει την ανάγκη για καθαρό H₂ στην άνοδο. Οι κυψέλες καυσίμου PAFC μειονεκτούν ως προς το σχετικά μεγάλο μέγεθος του όγκου τους, το επίσης αυξημένο βάρος της μάζας τους, αλλά και η χαμηλή τάση του ρεύματος που παράγουν. Η απόδοση αυτών των κυψελών είναι πολύ μικρότερη από ότι των υπολοίπων και υπολογίζεται στην περιοχή των 40-60%. Οι ηλεκτροχημικές αντιδράσεις

που συμβαίνουν στο εσωτερικό των κυψελών καυσίμου PAFC κατά την παραγωγή ενέργειας από το υδρογόνο, είναι πανομοιότυπες με αυτές που συμβαίνουν στο εσωτερικό των κυψελών καυσίμου PEMFC. Οι κυψέλες καυσίμου PAFC έχουν βγει ήδη στην παραγωγή.

3.4.3.4 Κυψέλες καυσίμου τηγμένου ανθρακικού άλατος (MCFC)

Οι κυψέλες καυσίμου τηγμένου ανθρακικού άλατος (molten carbonate fuel cells, MCFC) χρησιμοποιούν για ηλεκτρολύτη ενώσεις του άνθρακα με στοιχεία, όπως είναι το λίθιο (Li), το νάτριο (Na) και κάλιο (K), σε υγρή μορφή και εμποτισμένες σε κατάλληλο υλικό. Ενώ οι κυψέλες αυτές χαρακτηρίζονται από πολύ υψηλά επίπεδα απόδοσης (μεγαλύτερα από 60%) λόγω των θερμοκρασιών στις οποίες λειτουργούν (περίπου 650°C), δεν προσφέρονται για καθημερινή χρήση. Από την άλλη μεριά, αυτή η υψηλή θερμοκρασία, η οποία απαιτείται προκειμένου ο ηλεκτρολύτης να γίνει ιοντικά αγώγιμος, επιτρέπει τη χρήση φτηνών καταλυτών, αφού οι χημικοί δεσμοί καταστρέφονται και δημιουργούνται πολύ πιο εύκολα σε τέτοιες θερμοκρασίες. Η ίδια όμως υψηλή θερμοκρασία ευθύνεται για την αυξημένη διάβρωση και καταστροφή των μελών της κυψέλης. Ως καύσιμο μπορεί να χρησιμοποιηθεί υδρογόνο, μονοξείδιο του άνθρακα, φυσικό αέριο, προπάνιο και άλλα. Η ισχύς, η οποία χαρακτηρίζει αυτόν τον τύπο κυψέλης κυμαίνεται ανάλογα τη χρήση από 10 kW μέχρι και 2 MW.

3.4.3.5 Κυψέλες καυσίμου στερεού οξειδίου (SOFC)

Οι κυψέλες καυσίμου στερεού οξειδίου (solidoxide fuel cells, SOFT) ενδείκνυνται για αυξημένες ενεργειακές ανάγκες, με απόδοση στο 60% και παραγόμενη ισχύ μέχρι και 100 kW. Αυτά τα συστήματα χρησιμοποιούν συνήθως ως ηλεκτρολύτη ένα σκληρό

κεραμικό υλικό στερεού οξειδίου ζirkονίου και μια μικρή ποσότητα νατρίου, αντί για ηλεκτρολύτη υγρής μορφής, επιτρέποντας έτσι θερμοκρασίες μέχρι και 1000 °C. Εξαιτίας της υψηλής θερμοκρασίας τους, οι κυψελίδες αυτές χρειάζονται ακριβούς καταλύτες ή εναλλακτικά, εξοπλισμό ύγρανσης και επεξεργασίας καυσίμου, αυξάνοντας έτσι το κόστος τους σημαντικά. Το αρχικό μειονέκτημα αυτού του τύπου κυψελίδων καυσίμου, είναι το κόστος της συγκράτησης, το οποίο απαιτεί εξωτικά κεραμικά με παρόμοιους ρυθμούς διαστολής.

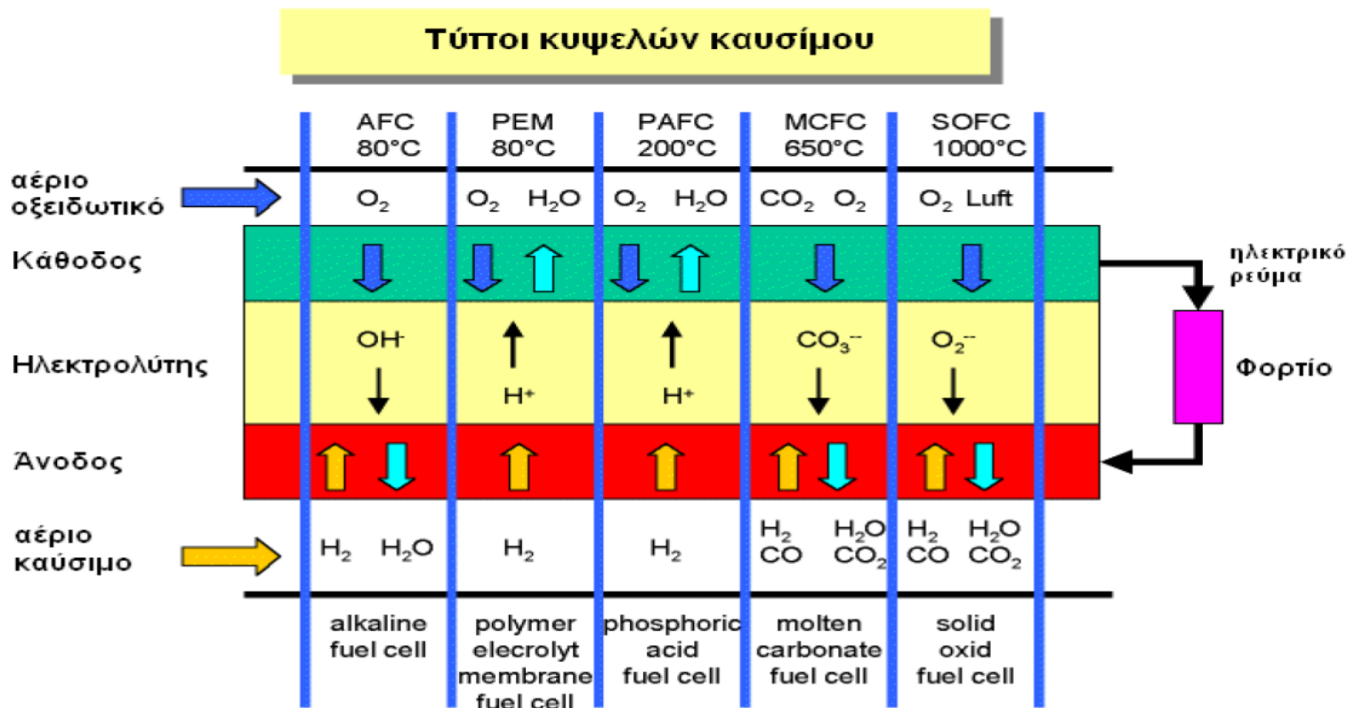
3.4.3.6 Κυψέλες καυσίμου μεθανόλης (DMFC)

Οι κυψέλες καυσίμου μεθανόλης (direct methanolfuelcells, DMFC) χρησιμοποιούν ως καύσιμο μεθανόλη, αντί για υδρογόνο, χωρίς απαιτείται η μετατροπή της σε αυτό. Σε αυτή την περίπτωση η μεθανόλη είναι αυτή που οξειδώνεται στην άνοδο. Η κατηγορία αυτή είναι η πιο πρόσφατη των κυψελίδων PEM, με αρκετά όμως ακόμα προβλήματα προς επίλυση, όπως είναι η μεγάλη ποσότητα καταλύτη που απαιτείται. Ωστόσο, εάν η συγκεκριμένη τεχνολογία επρόκειτο να χρησιμοποιηθεί στη θέση των PEM κυψελών δε θα υπήρχε η ανάγκη αναζήτησης εναλλακτικών τρόπων αποθήκευσης του καυσίμου, όπως γίνεται στη δεύτερη περίπτωση με το υδρογόνο, ενώ δε θα ήταν αναγκαία και η ανάπτυξη αναμορφωτών.

Στον πίνακα που ακολουθεί απεικονίζονται τα διάφορα χαρακτηριστικά στοιχεία λειτουργίας των βασικών κυψελών καυσίμων που αναφέρθηκαν παραπάνω:

Πίνακας 3.4.3.6.1 : Διάφοροι τύποι κυψελών καυσίμου μαζί με τα σημαντικότερα χαρακτηριστικά της λειτουργίας τους

| Τύπος Κυψέλης Καυσίμου | Ευκίνητο Ιόν | Θερμοκρασία Λειτουργίας (°C) | Απόδοση Ηλεκτρικής Ισχύος (%) | Ισχύς (kW) | Κυριότερες Εφαρμογές |
|-----------------------------------|-------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------|--|
| PEM- Πολυμερούς Μεμβράνης | H ⁺ | 50-100 | 40-50 | 50-250 | Οχήματα και άλλες εφαρμογές, Συστήματα συμπαραγωγής θερμότητας – ηλεκτρικού ρεύματος |
| Μεθανόλης DMFC | H ⁺ | 20-90 | ~45 | 1 | Φορητές ηλεκτρονικές συσκευές χαμηλής ισχύος |
| Φωσφορικού Οξέος PAFC | H ⁺ | 150-200 | 40-60 | έως 10.000 (μελλοντικά) | Ηλεκτροπαραγωγή και συμπαραγωγή σε κτιριακές εγκαταστάσεις |
| Στερεού Οξειδίου SOFC | O ²⁻ | 800-1000 | >60 | έως 100.000 (μελλοντικά) | Κεντρικές μονάδες ηλεκτροπαραγωγής, συμπαραγωγής |
| Τηγμένου Άνθρακα MCFC | CO ₃ ⁻² | ~650 | >60 | έως 100.000 (μελλοντικά) | Κεντρικές μονάδες ηλεκτροπαραγωγής, συμπαραγωγής |
| Αλκαλικού Ηλεκτρολύτη AEFC | OH ⁻ | 500-200 | 70 | 10-100 | Σε διαστημικά οχήματα (Apollo, Shuttle...) |



Σχήμα 3.4.3.6.2: Η δομή των διαφόρων τύπων κυψελών καυσίμου.

3.4.4 Πλεονεκτήματα μηχανών εσωτερικής καύσης

Υπάρχουν διάφορα πλεονεκτήματα, που διαφέρουν ανάλογα με τον τύπο του κελιού. Αρχικά, αποτελούν πιο καθαρή πηγή ενέργειας. Οι κυψέλες καυσίμου παράγουν μόνο ηλεκτρική ενέργεια, θερμότητα και νερό. Το υδρογόνο όμως δεν απαντάται μόνο του στη φύση, οπότε πρέπει να παραχθεί. Η παραγωγή υδρογόνου γίνεται βασικά με τρεις τρόπους: με τη χρήση ορυκτών καυσίμων, με τη βοήθεια ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, όπως η φωτοβολταϊκή, η αιολική, η γεωθερμική και η βιομάζα, οι οποίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για ηλεκτρόλυση και γενικά με ηλεκτρόλυση. Επικρατέστερη μέθοδος παραγωγής υδρογόνου αυτή τη στιγμή είναι η αναμόρφωση

του φυσικού αερίου. Ακόμα πάντως και σε αυτή την περίπτωση, που το υδρογόνο παράγεται από ορυκτό καύσιμο, η ρύπανση που προκαλείται είναι αρκετά μικρότερη σε σύγκριση με τις μηχανές που λειτουργούν με ορυκτά καύσιμα.

Έχουν μεγαλύτερη απόδοση. Οι κυψέλες καυσίμου δεν λειτουργούν σε θερμοδυναμικό κύκλο, επομένως δεν έχουν το αντίστοιχο αυστηρό όριο για την απόδοση, αλλά ισχύει για αυτές το όριο απόδοσης της χημικής αντίδρασης, το οποίο όμως είναι υψηλότερο. Ακόμα, τα μηχανικά μέρη που χρειάζονται, για παράδειγμα οι αντλίες, έχουν πολύ λιγότερες απώλειες από τα κινούμενα μέρη μιας μηχανής. Με συμπαραγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας, η απόδοση μπορεί να ξεπεράσει το 90%.

Όσο αφορά την απόδοση, τα κελιά καυσίμου (ή κυψέλες καυσίμου) είναι γενικά περισσότερο αποδοτικά από τις μηχανές καύσης είτε αυτές χρησιμοποιούν έμβολα, είτε τουρμπίνες. Ακόμα, είτε είναι μικρό το σύστημα των κελιών καυσίμου είτε είναι μεγάλο είναι εξίσου αποδοτικό. Αυτό είναι εξαιρετικά σημαντικό στα συστήματα συνδυασμένης παραγωγής για μικρές εφαρμογές, όπως για οικιακή χρήση.

Τα απαραίτητα και ζωτικά στοιχεία για ένα κελί είναι ιδιαίτερα απλά, με ελάχιστα ή καθόλου κινούμενα μέρη. Αυτό μπορεί να οδηγήσει σε εξαιρετικής διάρκειας ζωής και αξιοπιστίας συστήματα.

Έχουν μικρές εκπομπές ρύπων. Συγκεκριμένα το προϊόν της κύριας αντίδρασης ενός κελιού καυσίμου, όταν το καύσιμο είναι υδρογόνο, είναι καθαρό νερό, το οποίο σημαίνει ότι το κελί καυσίμου μπορεί να θεωρηθεί ως μια μηχανή μηδενικών εκπομπών ρύπων. Αυτό είναι και το κύριο πλεονέκτημα τους όταν χρησιμοποιηθούν στην αυτοκίνηση, καθώς η χρήση τους μπορεί να εξαλείψει τους ρύπους που δημιουργούνται στις πόλεις. Πρέπει να σημειωθεί ότι η παραγωγή υδρογόνου για να χρησιμοποιηθεί ως καύσιμο απελευθερώνει διοξείδιο του άνθρακα.

Επιπλέον τα κελιά καυσίμου είναι ιδιαίτερα αθόρυβα, ακόμα και αυτά που χρησιμοποιούν ειδικές διατάξεις για την παροχή και επεξεργασία του καυσίμου. Αυτό

είναι πολύ σημαντικό σε εφαρμογές που απαιτούν φορητότητα καθώς και σε μικρά συστήματα συνδυασμένης παραγωγής.

Το γεγονός ότι το υδρογόνο είναι το προτιμώμενο καύσιμο είναι από τα κύρια μειονεκτήματα των κελιών καυσίμου. Παρόλα αυτά είναι πολλοί που θεωρούν ότι αυτό είναι ένα από τα κύρια πλεονεκτήματα. Προβλέπεται ότι τα ορυκτά καύσιμα θα τελειώσουν σε μερικές δεκαετίες, και ότι το υδρογόνο θα γίνει το κύριο καύσιμο του πλανήτη και ο κύριος ενεργειακός παράγοντας. Η παραγωγή του θα γίνεται από μεγάλες συστοιχίες ηλιακών συλλεκτών που θα ηλεκτρολύουν το νερό.

Τα κελιά καυσίμου καθιστούν εύκολη τη δημιουργία συστημάτων συνδυασμένης παραγωγής (τόσο σε μεγάλη όσο και σε μικρή κλίμακα) και φυσικά τη δημιουργία συστημάτων για φορητές εφαρμογές, ιδιαίτερα στα οχήματα και σε ηλεκτρονικό εξοπλισμό όπως είναι οι φορητοί υπολογιστές, τα κινητά τηλέφωνα και στρατιωτικό εξοπλισμό επικοινωνιών, εν ολίγοις θα είναι ένας καλός αντικαταστάτης σε εφαρμογές που μέχρι σήμερα χρησιμοποιούν μπαταρίες. Αυτά είναι τα κύρια πεδία στα οποία χρησιμοποιούνται σήμερα τα κελιά καυσίμου.

3.4.5 Πλεονεκτήματα έναντι των συσσωρευτών

- Οι κυψέλες καυσίμου παράγουν ενέργεια όσο τροφοδοτούνται με υδρογόνο και οξυγόνο. Αντίθετα οι συσσωρευτές χρειάζονται φόρτιση (αποθηκευτές ηλεκτρικής ενέργειας).
- Τα συστήματα κυψελών καυσίμου είναι ελαφρύτερα σε σχέση με τα αντίστοιχα συστήματα με μπαταρίες.
- Οι κυψέλες υδρογόνου είναι πιο αξιόπιστες, χρειάζονται λιγότερο τακτικά συντήρηση και έχουν μεγαλύτερη διάρκεια ζωής.

3.4.6 Μειονεκτήματα των κυψελών καυσίμου

- Το κόστος των κυψελών καυσίμου είναι ακόμα πολύ υψηλό.
- Η παραγωγή, η μεταφορά, η διανομή και η αποθήκευση του υδρογόνου παρουσιάζουν πολλές δυσκολίες. Ακόμα, η δημιουργία των κατάλληλων υποδομών για το δίκτυο μεταφοράς και διανομής του υδρογόνου απαιτεί τεράστια κεφάλαια.
- Το αέριο υδρογόνο έχει πολύ μεγάλο όγκο και αποθηκεύεται δύσκολα. Ακόμα και το υγροποιημένο υδρογόνο έχει πολύ μεγαλύτερο όγκο από ποσότητα πετρελαίου που αποδίδει την ίδια ποσότητα ενέργειας.
- Συνυπολογίζοντας όλο τον εξοπλισμό που χρειάζονται για τη λειτουργία τους, τα συστήματα κυψελών καυσίμου είναι βαρύτερα και πιο ογκώδη από μηχανές εσωτερικής καύσης, που είναι ικανές να παράγουν αντίστοιχη ποσότητα ενέργειας.

Η κυψέλη καυσίμου παράγει συνεχές ρεύμα και τάση. Συνεπώς, για τη σύνδεση της σε ένα φορτίο απαιτείται η παρεμβολή ηλεκτρονικών μετατροπών ισχύος. Συγκεκριμένα στην έξοδο της κυψέλης συνδέεται ένας μετατροπέας ανύψωσης που σκοπεύει να αυξήσει και να σταθεροποιήσει τη συνεχή τάση εξόδου της κυψέλης καυσίμου στην επιθυμητή τιμή. Ανάλογα με την εφαρμογή, συνδέεται και ένας αντιστροφέας που μετατρέπει τη συνεχή τάση σε εναλλασσόμενη. Για εφαρμογές ηλεκτροκίνησης, εκτός από τον κινητήρα που μετατρέπει την ηλεκτρική ισχύ σε μηχανική, πρέπει να προστεθούν και συσσωρευτές ώστε να αποθηκεύεται η απαιτούμενη ισχύς που παρουσιάζεται στις γρήγορες μεταβολές του φορτίου.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΕΤΑΡΤΟ

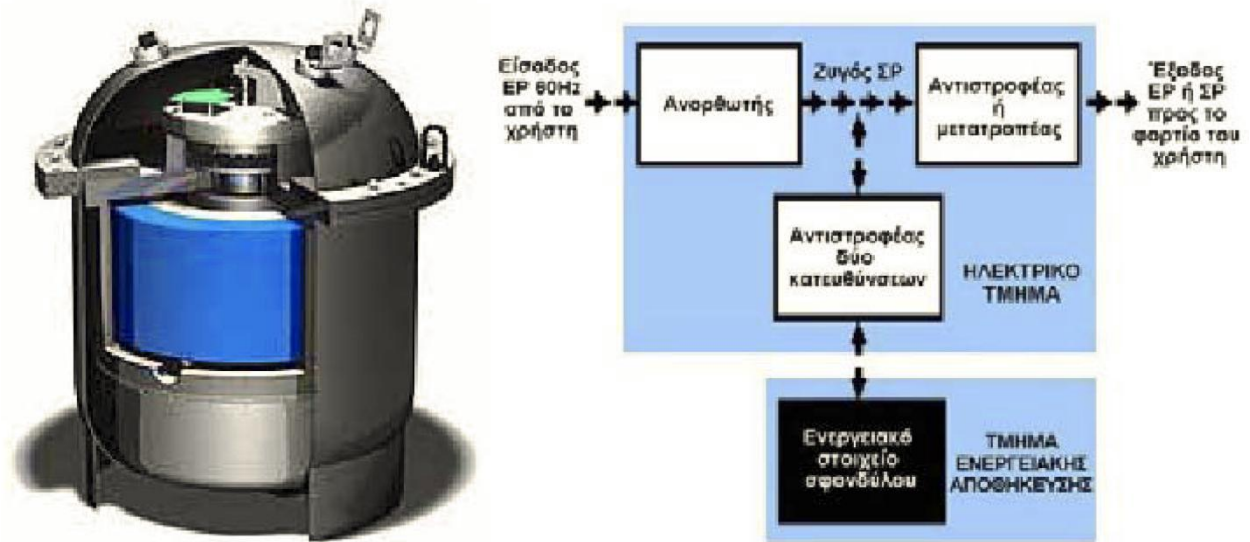
Διατάξεις βραχυπρόθεσμης ενεργειακής αποθήκευσης

4.1 Σφόνδυλοι

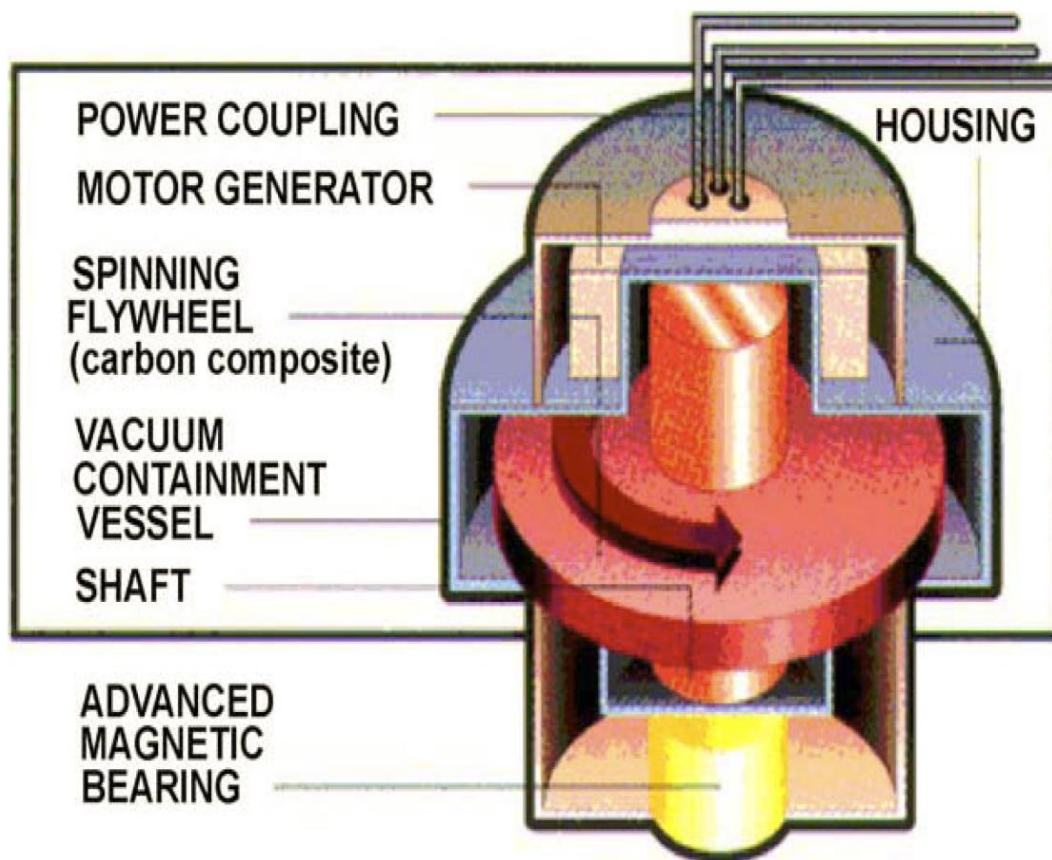
Οι σφόνδυλοι (flywheels) χρησιμοποιούνται προς το παρόν για μη ηλεκτροπαραγωγές εφαρμογές. Εντούτοις, πρόσφατα οι ερευνητές άρχισαν να διερευνούν την ενεργειακή αποθήκευση για εφαρμογές αυτού του είδους.

Ο σφόνδυλος είναι μια περιστρεφόμενη μάζα γύρω από έναν άξονα, η οποία μπορεί να αποθηκεύσει την ενέργεια μηχανικά υπό τη μορφή της κινητικής ενέργειας. Μια διάταξη αποθήκευσης σφονδύλου αποτελείται από τον σφόνδυλο και μια ενσωματωμένη ηλεκτρική συσκευή, που μπορεί να λειτουργεί είτε ως κινητήρας είτε ως γεννήτρια. Η ηλεκτρική συσκευή λειτουργεί ως κινητήρας για να περιστρέφει το σφόνδυλο και να αποθηκεύει ενέργεια. Πράγματι, μόλις ο σφόνδυλος αρχίσει να περιστρέφεται αποτελεί ουσιαστικά μια μηχανική μπαταρία η οποία εμπεριέχει ένα συγκεκριμένο ποσό ενέργειας, το οποίο μπορεί να αποθηκευτεί ανάλογα με την περιστροφική ταχύτητα και τη ροπή αδράνειας του σφονδύλου. Όσο πιο γρήγορα περιστρέφεται ο σφόνδυλος τόσο περισσότερη ενέργεια αποθηκεύει. Η αποθηκευμένη ενέργεια μπορεί να ανακτηθεί επιβραδύνοντας το σφόνδυλο μέσω επιβραδυνομένης στρεπτικής ροπής και επιστρέφοντας την κινητική ενέργεια στην ηλεκτρική συσκευή. Στην περίπτωση αυτή, η ηλεκτρική συσκευή λειτουργεί ως γεννήτρια, η οποία παράγει ηλεκτρική ισχύ κατά τη ζήτηση χρησιμοποιώντας την ενέργεια που αποθηκεύτηκε στο σφόνδυλο. Επιπρόσθετα, για τη μείωση των ενεργειακών απωλειών χρησιμοποιούνται μαγνητικοί τριβείς και ένας θάλαμος υπό κενό. Ο τελευταίος συνεισφέρει στη μείωση των αεροδυναμικών απωλειών και των πιέσεων του στροφέα.

Στο σχήμα 4.1.1 δίνεται σχηματικά μια ενεργειακή μονάδα σφονδύλου και η λειτουργία της, ενώ στο σχήμα 4.1.2 απεικονίζονται τα κύρια συστατικά μέρη της διάταξης αποθήκευσης σφονδύλου.



Σχήμα 4.1.1 : Ενεργειακή μονάδα σφονδύλου.



Σχήμα 4.1.2 : Κύρια συστατικά μέρη του συστήματος της διάταξης αποθήκευσης σφόνδυλο.

Το ποσό της ενέργειας που μπορεί να αποθηκευτεί στη στρεφόμενη μάζα είναι ανάλογο της μάζας (m) του στροφέα και ανάλογο του τετραγώνου της ταχύτητας (v) του στροφέα, σύμφωνα με την εξίσωση της κινητικής ενέργειας:

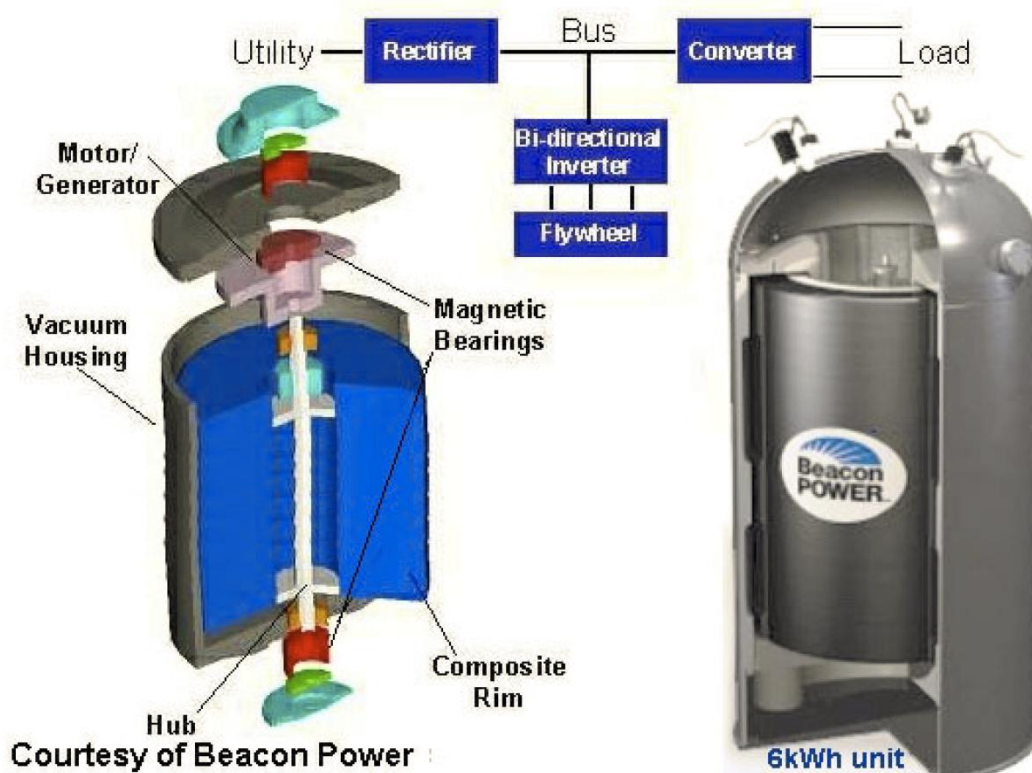
$$K = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$$

Όπου K είναι η κινητική ενέργεια του σφονδύλου. Από την εξίσωση αυτή είναι προφανές ότι η ενέργεια που αποθηκεύεται στον σφόνδυλο αυξάνεται ταχύτερα όσο αυξάνεται η περιστροφική ταχύτητα σε σχέση με την αύξηση της μάζας του στροφέα. Αυτός είναι άλλωστε και ο λόγος που τα τελευταία χρόνια, στο σχεδιασμό των στρεφόμενων μαζών, το ενδιαφέρον έχει επικεντρωθεί από το σχεδιασμό της γεωμετρίας της μάζας στην προσπάθεια να επιτευχθούν υψηλές ταχύτητες περιστροφής.

Γενικότερα, η ταχύτητα περιστροφής του σφονδύλου μπορεί να είναι είτε χαμηλή (6.000 rpm) είτε υψηλή (50.000 rpm). Οι χαμηλής ταχύτητας περιστροφής σφόνδυλοι αποτελούνται κυρίως από χαλύβδινους στροφείς και συμβατικά ρουλεμάν. Οι σφόνδυλοι αυτοί παρουσιάζουν τυπική ενεργειακή πυκνότητα 5 Wh/kg. Οι υψηλής ταχύτητας περιστροφής σφόνδυλοι χρησιμοποιούν προηγμένα σύνθετα υλικά για τον στροφέα, ενώ τα ρουλεμάν χαρακτηρίζονται από εξαιρετικά χαμηλούς συντελεστές τριβής. Αυτοί οι ελαφριοί και υψηλών λόγων λειτουργικής αντοχής προς πυκνότητα σύνθετοι στροφείς μπορούν να επιτύχουν ενεργειακή πυκνότητα 100 Wh/kg, με αποτέλεσμα οι μηχανικοί να έχουν επικεντρωθεί στην ανάπτυξή τους. Ακόμα, οι σφόνδυλοι υψηλής ταχύτητας περιστροφής επιταχύνονται σχεδόν μέσα σε λεπτά, παρά τις ώρες που απαιτούνται για να εκφορτιστεί μια μπαταρία.

Στη διάταξη αποθήκευσης σφονδύλου, όπως άλλωστε και σε όλες τις διατάξεις βραχυπρόθεσμης αποθήκευσης ενέργειας, χρησιμοποιούνται μετατροπείς ισχύος, καθώς και ελεγκτές ισχύος. Στη συγκεκριμένη αποθηκευτική διάταξη, ο μετατροπέας ισχύος είναι μεταβλητής ταχύτητας περιστροφής, συνήθως αμφίδρομης ρύθμισης και παλλόμενου πλάτους. Ανάλογα με τις απαιτήσεις της εφαρμογής, ο μετατροπέας ισχύος μπορεί να είναι μονοφασικός (εναλλασσόμενο ρεύμα → συνεχές ρεύμα) ή

διφασικός (εναλλασσόμενο ρεύμα → συνεχές ρεύμα → εναλλασσόμενο ρεύμα). Τέλος, ο ελεγκτής ισχύος είναι αναγκαίος για τον έλεγχο της μεταβλητότητας των ηλεκτρικών συστημάτων.



Σχήμα 4.1.3: Τυπική διάταξη μονάδας σφονδύλου (flywheel).

Τα σημαντικότερα οφέλη που παρέχει μια διάταξη αποθήκευσης σφονδύλου είναι τα ακόλουθα:

- Η άμεση απόκριση στην απαίτηση ενέργειας. Οι σφόνδυλοι χαρακτηρίζονται από υψηλές ταχύτητες φόρτισης - εκφόρτισης για πολλούς κύκλους.

- Η ικανότητά του σφονδύλου να δώσει στιγμιαία μεγάλα ποσά ενέργειας. Οι σφόνδυλοι προτιμούνται όλο και περισσότερο για την ικανοποίηση της ενεργειακής ζήτησης σε ώρες αιχμής, όπου απαιτείται άμεση παροχή σχετικά μεγάλης ποσότητας ενέργειας.
- Η μεγάλη ενεργειακή πυκνότητα, η οποία, όπως αναφέρθηκε σε προηγούμενη παράγραφο, κυμαίνεται από 5-100 Wh/kg.
- Η υψηλή ενεργειακή απόδοση, η οποία μπορεί να φθάσει και το 90%.
- Η μεγάλη διάρκεια ζωής, η οποία φθάνει τα 15-20 χρόνια (για χρήση σε υψηλές συχνότητες), καθώς και η ελάχιστη συντήρηση και παρακολούθηση που απαιτείται.
- Η μη ευαισθησία του σφονδύλου στις θερμοκρασιακές διακυμάνσεις.

Τα κύρια μειονεκτήματα της τεχνολογίας του σφονδύλου είναι το υψηλό κόστος, ο κίνδυνος ατυχήματος σε περίπτωση που σπάσει κάποιος δίσκος, αλλά και οι ενεργειακές απώλειες όταν οι κύκλοι φόρτισης - εκφόρτισης δεν είναι συνεχείς. Τα ποσοστά αυτοεκφόρτισης για τα συστήματα σφονδύλου είναι υψηλά, με ελάχιστο ποσοστό το 20% της αποθηκευτικής ικανότητας ανά ώρα. Αυτά τα υψηλά ποσοστά χειροτερεύουν την ενεργειακή απόδοση, όταν ο κύκλος φόρτισης - εκφόρτισης δεν είναι συνεχής, για παράδειγμα όταν αποθηκεύεται ενέργεια για μια χρονική περίοδο μεταξύ φόρτισης και εκφόρτισης. Τέτοια υψηλά ποσοστά εκφόρτισης ενισχύουν την άποψη ότι ο σφόνδυλος δεν αποτελεί επαρκή διάταξη για μακροπρόθεσμη ενεργειακή αποθήκευση, αλλά μόνο για να παρέχει αξιόπιστη εφεδρική ενέργεια.

Τέτοιες εφαρμογές μπορεί να είναι η ενσωμάτωση του συστήματος αποθήκευσης της ενέργειας του σφονδύλου σε συστήματα παραγωγής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές. Όπως αναφέραμε και στα προηγούμενα κεφάλαια, η παραγόμενη ισχύς από τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, όπως η ηλιακή και η αιολική ενέργεια, εμφανίζει έντονες διακυμάνσεις λόγω της στοχαστικότητας του ανέμου και των άλλων ανανεώσιμων πηγών. Ακόμα και όταν οι συμβατικές τεχνολογίες παράγουν ηλεκτρική ισχύ σε ένα σταθερό ποσοστό, παρουσιάζονται διακυμάνσεις στη ζήτηση καθ' όλη τη διάρκεια της ημέρας. Η μη πλήρης αντιστοίχιση προσφοράς - ζήτησης σημαίνει ότι η ισχύς μπορεί να μην είναι διαθέσιμη όταν απαιτείται και σε άλλες περιπτώσεις να υπάρχει πλεόνασμα ισχύος. Οι διατάξεις αποθήκευσης σφονδύλου μπορούν να

χρησιμοποιηθούν για να παράγουν ισχύ, όταν η παραγόμενη ισχύς από τις ανανεώσιμες πηγές είναι ανεπαρκής, και να αποθηκεύουν την περίσσεια ισχύος. Μια άλλη σημαντική εφαρμογή για τη διάταξη αποθήκευσης σφονδύλου είναι η βελτίωση της απόδοσης του συστήματος και η παροχή ισχύος όταν υπάρχει ολική απώλεια ηλεκτρικής ενέργειας, ως αποτέλεσμα της “αστοχίας” του ηλεκτρικού δικτύου (black-out).

Αυτή τη στιγμή, στην Πορτογαλία υπάρχουν δύο υβριδικά συστήματα βασισμένα στην τεχνολογία των σφονδύλων, τα οποία εφαρμόζονται στα νησιά Φλόρες και Γκρασιόζα (νησιά Αζόρες). Κατά τη διάρκεια των τελευταίων δύο χρόνων, η EDA (Azores Electricity Company) συνεργάστηκε με τη PowerCorp για την αύξηση της διείσδυσης της αιολικής ενέργειας στο ηλεκτρικό σύστημα των δύο αυτών νησιών. Έτσι, το Μάρτιο του 2005, η EDA και η PowerCorp εγκατέστησαν μία διάταξη σφονδύλου 350 kW / 5 kWh στο νησί Φλόρες. Το υβριδικό σύστημα περιλάμβανε για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας 2 ανεμογεννήτριες, 4 μηχανές Diesel και 2 υδροστροβίλους, συνολικής εγκατεστημένης ισχύος 4,2 MW. Τα αποτελέσματα της λειτουργίας του συστήματος ήταν ικανοποιητικά όσον αφορά στη σταθερότητα του δικτύου, ενθαρρύνοντας την εφαρμογή ενός παρόμοιου συστήματος στο νησί Γκρασιόζα.

Γενικότερα, όσον αφορά στις εφαρμογές των σφονδύλων, η ανάπτυξη τους στα ηλεκτρικά συστήματα έχει στραφεί στις εφαρμογές ποιότητας ισχύος. Ακόμα, σφόνδυλοι έχουν προταθεί για τη βελτίωση του εύρους, της αποδοτικότητας και της ενεργειακής αποδοτικότητας των ηλεκτρικών οχημάτων.

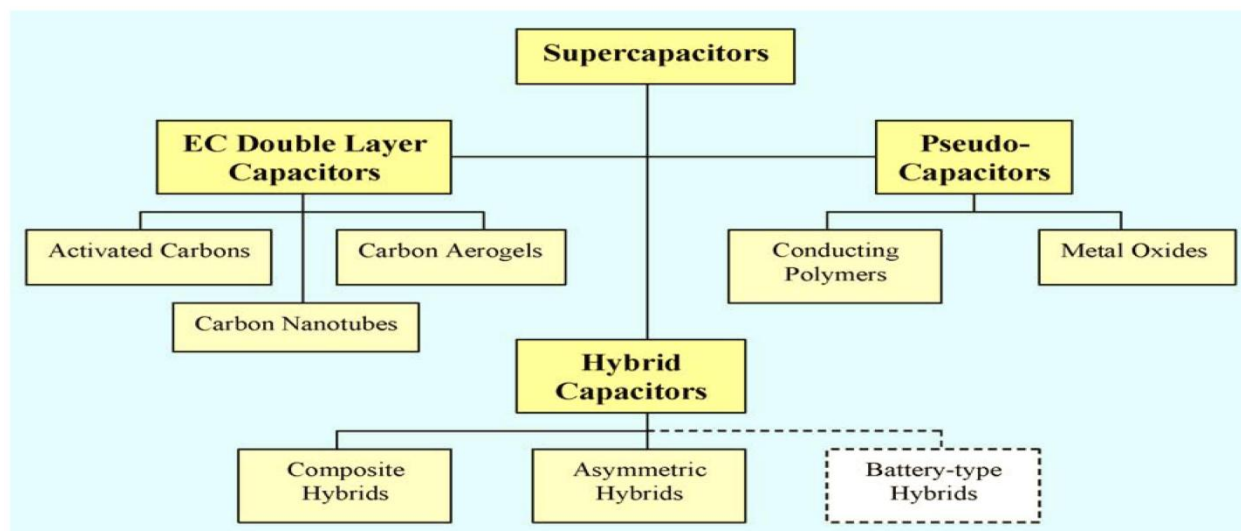
4.2 Εξελιγμένοι ηλεκτροχημικοί πυκνωτές - Υπερπυκνωτές

Μια εναλλακτική λύση για την εξυπηρέτηση των γρήγορων και απότομων μεταβολών του φορτίου είναι ο υπερ-πυκνωτής (supercapacitor). Ωστόσο, οι υπερ-πυκνωτές βρίσκονται στα πρώιμα στάδια της ανάπτυξής τους ως τεχνολογία ενεργειακής αποθήκευσης για εφαρμογές ηλεκτροπαραγωγής.

Ο υπερ-πυκνωτής δεν είναι τίποτα άλλο από ηλεκτροχημικός πυκνωτής (EC

capacitor). Έχει συνιστώσες που σχετίζονται τόσο με μια μπαταρία όσο και με έναν πυκνωτή. Συνεπώς, η τάση ενός στοιχείου περιορίζεται σε μερικά Volt. Ο υπερ-πυκνωτής χρησιμοποιεί ένα μοριακά-λεπτό στρώμα ηλεκτρολύτη σαν διηλεκτρικό για το διαχωρισμό της φόρτισης. Η εμφάνιση του διηλεκτρικού γίνεται κάθε φορά που ασκείται τάση στους ακροδέκτες του. Με τον τρόπο αυτό, το φορτίο αποθηκεύεται ηλεκτροστατικά, δηλαδή χωρίς να πραγματοποιούνται χημικές αντιδράσεις, μέσα στα πολωμένα στρώματα υγρού που βρίσκεται ανάμεσα στον ηλεκτρολύτη και το ηλεκτρόδιο. Ένας υπερ-πυκνωτής αποτελείται από δυο αντίθετα φορτισμένα ηλεκτρόδια, έναν διαχωριστή, τον ηλεκτρολύτη και συλλέκτες ρεύματος.

Ανάλογα με την τεχνολογία των υλικών που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή των ηλεκτροδίων, οι υπερ-πυκνωτές μπορούν να ταξινομηθούν σε ηλεκτροχημικούς πυκνωτές διπλού στρώματος (electro chemical double layer capacitors, ECDL) και σε ψευδοπυκνωτές (pseudo capacitors). Οι υβριδικοί πυκνωτές (hybrid capacitors) είναι επίσης μια νέα κατηγορία υπερ-πυκνωτών. Στο σχήμα 4.2.1 δίνεται σχηματικά η ταξινόμηση των υπερ-πυκνωτών. Δεδομένου ότι οι ECDL super capacitors είναι συνήθως οι λιγότερο δαπανηροί ως προς την κατασκευή τους και οι πιο διαδεδομένοι τύποι υπερ-πυκνωτών, θα παρουσιασθούν αναλυτικά στη συνέχεια.

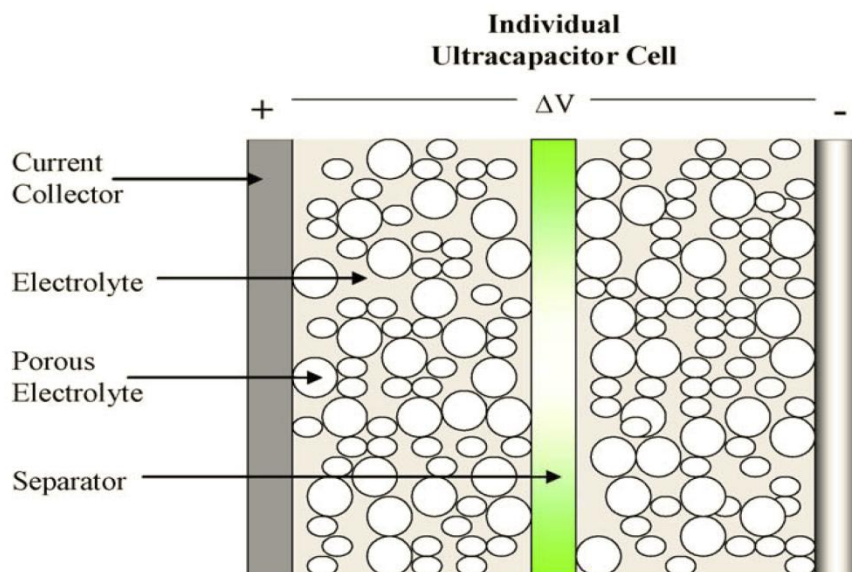


Σχήμα 4.2.1: Ταξινόμηση υπερ-πυκνωτών.

Τα κύρια μέρη ενός ECDL super capacitor παρουσιάζονται στο Σχήμα 4.2.2. Οι ECDL super capacitors έχουν μια κατασκευή διπλού στρώματος που αποτελείται από ηλεκτρόδια, εμβαπτισμένα σε υγρό ηλεκτρολύτη (που περιέχει επίσης τον διαχωριστή). Ως υλικό ηλεκτροδίου χρησιμοποιείται συνήθως πορώδης ενεργός άνθρακας. Οι πρόσφατες τεχνολογικές πρόοδοι έχουν επιτρέψει να χρησιμοποιηθούν επίσης ως υλικό ηλεκτροδίου αεροζέλ άνθρακα και νανοσωλήνες άνθρακα. Ο ηλεκτρολύτης είναι είτε οργανικός είτε υδατώδης. Οι οργανικοί ηλεκτρολύτες χρησιμοποιούν συνήθως ακετονιτρίλιο και επιτρέπουν ονομαστική τάση μέχρι 3 Volt. Οι υδατώδεις ηλεκτρολύτες χρησιμοποιούν είτε οξέα είτε βάσεις (H_2SO_4 , KOH), αλλά η ονομαστική τάση περιορίζεται σε 1 Volt.

Κατά τη διάρκεια της φόρτισης, τα ηλεκτρικά φορτισμένα ιόντα στον ηλεκτρολύτη μεταναστεύουν προς τα ηλεκτρόδια αντίθετης πολικότητας, εξαιτίας του ηλεκτρικού πεδίου μεταξύ των φορτισμένων ηλεκτροδίων που έχει δημιουργηθεί από την εφαρμοζόμενη τάση. Κατά συνέπεια, παράγονται δύο ξεχωριστά φορτισμένα στρώματα. Παρόμοια με μια μπαταρία, ο διπλού στρώματος υπερ-πυκνωτής βασίζεται στην ηλεκτροστατική δράση. Δεδομένου όμως ότι καμία χημική αντίδραση δεν συμβαίνει, το αποτέλεσμα είναι εύκολα αναστρέψιμο με ελάχιστη υποβάθμιση σε μεγάλη φόρτιση ή υπερφόρτιση και η τυπική διάρκεια ζωής είναι εκατοντάδες χιλιάδες κύκλοι. Ο περιοριστικός παράγοντας από την άποψη της διάρκειας ζωής μπορεί να είναι τα έτη λειτουργίας, συγκεκριμένα έχει αναφερθεί διάρκεια ζωής μέχρι 12 έτη.

Ένας άλλος περιοριστικός παράγοντας είναι το υψηλό ποσοστό αυτο-εκφόρτισης. Αυτό το ποσοστό είναι πολύ υψηλότερο στις μπαταρίες, που φθάνουν σε ένα επίπεδο 14% της ονομαστικής ενέργειας κάθε μήνα. Εκτός από την υψηλή αντοχή σε μεγάλες φορτίσεις, το γεγονός ότι καμία χημική αντίδραση δεν πραγματοποιείται σημαίνει ότι οι υπερ-πυκνωτές μπορούν εύκολα να φορτιστούν και να εκφορτιστούν σε δευτερόλεπτα, πολύ ταχύτερα δηλαδή από τις μπαταρίες. Παράλληλα, ούτε θερμότητα ούτε επικίνδυνες ουσίες απελευθερώνονται κατά τη διάρκεια της φόρτισης. Η ενεργειακή απόδοση είναι πολύ υψηλή και κυμαίνεται από 85% έως 98%.



Σχήμα 4.2.2 : Δομημένος ECDL super capacitor.

Συγκριτικά με τους συμβατικούς πυκνωτές, οι υπερ-πυκνωτές έχουν σημαντικά μεγαλύτερο εμβαδόν επιφάνειας ηλεκτροδίου. Πράγματι, η ποσότητα του ρεύματος που μπορεί να απορροφήσει ένας συμβατικός πυκνωτής εξαρτάται άμεσα από την εκτεθειμένη επιφάνεια των ηλεκτροδίων του. Η τεχνολογία, όμως, των υπερ-πυκνωτών βασίζεται στην ανάπτυξη «ενεργούς επιφάνειας» σε ολόκληρη τη μάζα των ηλεκτροδίων και όχι μόνο στην εξωτερική τους επιφάνεια. Με τον τρόπο αυτό μειώνεται ο συνολικός όγκος σε ένα μικρό μόλις κλάσμα αυτού των συμβατικών πυκνωτών και πολλαπλασιάζεται η ενέργεια που μπορεί να αποθηκευτεί ανά μονάδα βάρους. Έχει αναφερθεί χωρητικότητα υπερ-πυκνωτή 5.000 F, ενώ η ενεργειακή του πυκνότητα φθάνει τις 5 Wh/kg, σε αντίθεση με τους συμβατικούς πυκνωτές, που παρουσιάζουν τυπική ενεργειακή πυκνότητα 0,5 Wh/kg. Επιπρόσθετα, η πυκνότητα ισχύος των υπερ-πυκνωτών είναι εξαιρετικά υψηλή, παίρνοντας τιμές όπως 10.000 W/kg, πολύ μεγαλύτερη δηλαδή από τις πυκνότητες ισχύος των μπαταριών. Παρόλα αυτά, λόγω της χαμηλής ενεργειακής πυκνότητας του υπερ-πυκνωτή, το υψηλό αυτό ποσό ισχύος θα είναι διαθέσιμο μόνο για πολύ μικρή χρονική διάρκεια.

Το κόστος του υπερ-πυκνωτή είναι ένα σημαντικό ζήτημα για την περαιτέρω

εμπορική χρήση του σε βιομηχανικές εφαρμογές. Συγκριτικά με τα κόστη των καθιερωμένων τεχνολογιών ενεργειακής αποθήκευσης, όπως είναι οι μπαταρίες μολύβδου-οξέος, ο υπερ-πυκνωτής εμφανίζει σημαντικά υψηλότερο κόστος. Επομένως, είναι απαραίτητη η δραστική μείωση του κόστους του ιδιαίτερα στους τομείς του άνθρακα, του ηλεκτρολύτη και του διαχωριστή. Σήμερα, η υψηλή ικανότητα αποθήκευσης ισχύος των υπερ-πυκνωτών σε συνδυασμό με τους πολύ σύντομους κύκλους εκφόρτωσης, καθιστά ιδανική την εφαρμογή τους στην παροχή συμπληρωματικής φόρτισης για την ικανοποίηση ξαφνικών ενεργειακών αναγκών.

Ωστόσο, πρόσφατες εξελίξεις στην κατασκευή του υπερ-πυκνωτή έχουν δείξει ότι η χρήση των κάθετα ευθυγραμμισμένων, μονοφλοιϊκών νανοσωλήνων του άνθρακα (οι οποίοι είναι μόνο μερικές ατομικές διαμέτροι σε πλάτος) αντί του πορώδους, άμορφου άνθρακα που συνήθως χρησιμοποιείται, μπορεί να αυξήσει σημαντικά την χωρητικότητα και την πυκνότητα ισχύος του υπερ-πυκνωτή. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι το εμβαδόν της επιφάνειας των ηλεκτροδίων αυξάνεται εντυπωσιακά με τη χρήση τέτοιων υλικών. Ενεργειακές πυκνότητες της τάξης των 60 Wh/kg και πυκνότητες ισχύος της τάξης των 100.000 W/kg μπορούν να επιτευχθούν με αυτήν την τεχνολογία.

Οι ψευδοπυκνωτές (pseudocapacitors) και οι υβριδικοί πυκνωτές (hybrid capacitors) είναι επίσης υποσχόμενες τεχνολογίες, επειδή μπορούν να επιτύχουν βελτιωμένες αποδόσεις σε τομείς που οι ηλεκτροχημικοί πυκνωτές διπλού στρώματος (electrochemical double layer capacitors, EDLC) παρουσιάζουν κατώτερες δυνατότητες. Οι ψευδοπυκνωτές χρησιμοποιούν οξειδία μετάλλων ή αγωγιμα πολυμερή ως υλικό ηλεκτροδίου και μπορούν να αποθηκεύσουν 80% περισσότερη ενέργεια από των ίδιων διαστάσεων ηλεκτροχημικούς πυκνωτές διπλού στρώματος, χάρη στη μεγαλύτερη πυκνότητα των ηλεκτροδίων τους. Οι υπερ-πυκνωτές μεταλλικών οξειδίων χρησιμοποιούν υδατώδεις ηλεκτρολύτες και μεταλλικά οξείδια, όπως το οξείδιο του ρουθηνίου, το οξείδιο του ιριδίου και το οξείδιο του νικελίου. Παρόλα αυτά, οι υπερ-πυκνωτές μεταλλικών οξειδίων είναι πολύ ακριβοί και μπορεί να «πιάσουν» από χαμηλότερες αποδόσεις και χαμηλότερη τάση, εξαιτίας της ανάγκης για υδατώδη ηλεκτρολύτες. Οι υβριδικοί υπερ-πυκνωτές μπορούν να επιτύχουν ακόμα υψηλότερες

πυκνότητες ενέργειας και ισχύος από τους άλλους υπερ-πυκνωτές, είναι όμως ακόμα μια νέα τεχνολογία, που απαιτεί περισσότερη έρευνα για πληρέστερη κατανόηση.

Προς το παρόν, υπερ-πυκνωτές πολύ μικρού μεγέθους της τάξης των 7 έως 10 Watt, διατίθενται στο εμπόριο για εφαρμογές ποιότητας ισχύος από την πλευρά του καταναλωτή και βρίσκονται συνήθως σε οικιακές ηλεκτρικές συσκευές. Η εξέλιξη για τους πυκνωτές μεγαλύτερης κλίμακας έχει εστιαστεί στα ηλεκτρικά οχήματα. Μέχρι σήμερα, η ποιότητα ισχύος μικρής κλίμακας (<250 kW) θεωρείται ως η πιο ελπιδοφόρος ηλεκτροπαραγωγική χρήση για τους υπερ-πυκνωτές .



| | |
|------------------|---|
| Χωρητικότητα | 2700 Farads (-10% / +30%) |
| Τάση | 2,5 V |
| Ονομαστικό ρεύμα | 625 A (5 sec ρυθμός εκκένωσης στα 0,5V) |
| Μέγεθος | 161 x 61,5 x 61,5 mm |
| Βάρος | 725 gr |
| Θερμοκρασία | -40°C έως 70 °C |
| Διαρροή | 6 mA (μετά από 72 ώρες) |

Σχήμα 4.2.3 : Υπερπυκνωτής εμπορίου και τα χαρακτηριστικά του.

4.3 Υπεραγώγιμη μαγνητική ενεργειακή αποθήκευση

Ένας άλλος τύπος διάταξης που αναπτύσσεται κυρίως για την εξομάλυνση των διακυμάνσεων της τάσης του δικτύου και τη ενίσχυση της ισχύος σε ώρες αιχμής, αλλά και με προοπτική για εφαρμογή σε ανανεώσιμες πηγές ενέργειας είναι το υπεραγώγιμο μαγνητικό σύστημα ενεργειακής αποθήκευσης (Super conducting Magnetic Energy Storage, SMES).

Σε ένα σύστημα υπεραγώγιμης μαγνητικής ενεργειακής αποθήκευσης αποθηκεύεται ενέργεια στο μαγνητικό πεδίο που δημιουργείται από τη ροή συνεχούς ρεύματος σε ένα

πηνίο από υπεραγώγιμο υλικό. Συγκεκριμένα, τα υπεραγώγιμα μαγνητικά συστήματα αποθήκευσης ενέργειας μετατρέπουν το εναλλασσόμενο ρεύμα από ένα ηλεκτρικό σύστημα σε συνεχές ρεύμα, το οποίο ρέει μέσα στην υπεραγώγιμη σπείρα και αποθηκεύει την ενέργεια υπό μορφή μαγνητικού πεδίου. Η αποθηκευμένη ενέργεια μπορεί να αποδοθεί στο σύστημα εναλλασσόμενου ρεύματος, όταν το απαιτούν οι συνθήκες.

Προκειμένου να διατηρηθεί το πηνίο στην υπεραγώγιμη κατάστασή του, βυθίζεται σε υγρό ήλιο που περιέχεται σε έναν μονωμένο υπό κενό κρουστάτη. Τα χαρακτηριστικά της διάταξης του υπεραγώγιμου πηνίου είναι τέτοια ώστε να εμφανίζουν σχεδόν μηδενική αντίσταση στις πολύ χαμηλές θερμοκρασίες και να οδηγούν τον ηλεκτρισμό, σχεδόν χωρίς απώλειες, σε συστήματα ειδικά σχεδιασμένα για να “εγκλωβίζουν” αποτελεσματικά την ηλεκτρική ενέργεια μέσα σε ένα μαγνητικό πεδίο.

Το σημαντικότερο πλεονέκτημα του συστήματος υπεραγώγιμης μαγνητικής ενεργειακής αποθήκευσης είναι η πολύ μικρή χρονική καθυστέρηση κατά τη διάρκεια της φόρτισης και της εκφόρτισης. Η ισχύς διατίθεται σχεδόν στιγμιαία και η πολύ υψηλή παροχή ισχύος διατίθεται για σύντομη χρονική περίοδο. Ακόμα, η συχνή φόρτιση και εκφόρτιση δεν έχει καμία επίδραση στη διάρκεια ζωής του. Τα συστήματα αυτά έχουν μεγάλο κύκλο ζωής και, κατά συνέπεια, είναι κατάλληλα για εφαρμογές που απαιτούν σταθερή, πλήρη ανακύκλωση και συνεχή ρυθμό λειτουργίας. Η ενεργειακή απόδοση ενός συστήματος υπεραγώγιμης μαγνητικής ενεργειακής αποθήκευσης μπορεί να γίνει μεγαλύτερη από 97%.

Στα μειονεκτήματα των συστημάτων υπεραγώγιμης μαγνητικής ενεργειακής αποθήκευσης συγκαταλέγονται η χαμηλή ενεργειακή πυκνότητα, αλλά και η αστάθεια που εμφανίζουν κυρίως τα μεγάλα συστήματα αυτού του είδους, η οποία προκαλείται από το δημιουργούμενο ισχυρό μαγνητικό πεδίο. Επιπρόσθετα, στην περίπτωση των μεγάλων συστημάτων υπεραγώγιμης μαγνητικής ενεργειακής αποθήκευσης, το προκύπτον μαγνητικό πεδίο μπορεί να έχει και περιβαλλοντικές επιπτώσεις.

Σύμφωνα με πρόσφατες έρευνες, το ενδιαφέρον επικεντρώνεται σε διατάξεις της τάξης

των 1 έως 10 MW. Οι διατάξεις μικρο-συστημάτων διατίθενται για εφαρμογές ποιότητας ισχύος. Στο Σχήμα 4.3.1 που ακολουθεί, παρατίθεται σχηματικά μια μονάδα υπεραγώγιμης μαγνητικής ενεργειακής αποθήκευσης με απόδοση 3 MWπραγματικής ισχύος και ένα χρόνο απόκρισης <0,5 ms. Αυτή η μονάδα μπορεί να συνδεθεί σε δίκτυα μεταφοράς από 69 έως 500 kV.

Τέλος, νέες παρουσιάσεις εφαρμογών διανομής ενέργειας στις ΗΠΑ και στην Ευρώπη καθιστούν φανερό ότι και τα συστήματα υπεραγώγιμης ενεργειακής μαγνητικής αποθήκευσης θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για να συμπληρώσουν τις ανανεώσιμες πηγές, ειδικά όπου υπάρχει ήδη κατάλληλη υποδομή ψύξης. Τα πρώιμα υπεραγώγιμα υλικά για να αποδώσουν χρειάζονται κρυογόνο ψύξη, η οποία έχει μεγάλο κόστος. Τελευταία εμφανίστηκαν υψηλής θερμοκρασίας υπεραγωγοί (High Temperature Superconductors”), οι οποίοι μπορούν να λειτουργήσουν σε θερμοκρασίες σύμφωνες με τη βιομηχανικά τυποποιημένη ψύξη υγρού αζώτου, που είναι περισσότερο συμφέρουσα από την κρυογόνο ψύξη. Λόγω αυτού του γεγονότος, αρκετές αμερικανικές επιχειρήσεις έχουν καταφέρει να κυκλοφορήσουν στο εμπόριο υπεραγώγιμα καλώδια και ταινίες.

Πίνακας 4.3.1 : Διατάξεις βραχυπρόθεσμης ενεργειακής αποθήκευσης και τα χαρακτηριστικά λειτουργίας τους.

| Χαρακτηριστικά | Διάταξη βραχυπρόθεσμης αποθήκευσης ενέργειας | | |
|---|--|--|---|
| | Σφόνδυλοι (Flywheels) | Υπερ-πυκνωτές (Supercapacitors) | Συστήματα υπεραγωγίσιμης μαγνητικής ενεργειακής αποθήκευσης (Superconducting Magnet Energy Storage, SMES) |
| Ενεργειακή Πυκνότητα (Energy Density) | 5 - 100 Wh/kg ή 1.000 kWh/m ³ | 0,1 – 5,0 Wh/kg ή 5,0 kWh/m ³ | 2,8 kWh/m ³ |
| Αποθηκευτική Ικανότητα (Storage Capacity) | 2,5 MWh | μικρή | 3 kWh |
| Χωρητικότητα Ισχύος (Power Capacity) | 25 MW | πολύ μεγάλη | 10 MW |
| Ενέργεια/Ισχύς (Energy/Power) | 25 MW για 5 min ή 5 MW για 30 min | η ισχύς εκτιμάται για sec μέχρι μερικά min | υψηλή ισχύς για μερικά sec |
| Ενεργειακή απόδοση (Energy efficiency) | 90% | 85 - 98% | 97-98% |
| Αυτό-εκφόρτιση (Self-discharge) | 1-10 % / hour | 10 % / ημέρα | ψυκτική ισχύς |
| Διάρκεια ζωής (Life-time) (cycles) | 10 ⁶ κύκλοι | 10 ⁶ κύκλοι | 10 ⁶ |
| Διάρκεια ζωής (Life-time) (years) | 15 – 20 έτη | 12 έτη | 20 έτη |
| Κόστος (Cost) | 3.000 - 10.000 €/kW | 200 -1.000 €/kW (το έτος 2002) | 350 €/kW |
| Ανάπτυξη | Διαθέσιμη | Αναπτυσσόμενη | Έχουν αναπτυχθεί τα συστήματα μέχρι 10 MW, δυνατότητα αύξησης σε 2.000 MW |
| Διάδοση | - | Διαδεδομένοι οι μικρής κλίμακας υπερ-πυκνωτες | Σε εφαρμογές ποιότητας ισχύος |
| Πλεονεκτήματα | Υψηλή ισχύς | Μεγάλη διάρκεια ζωής σε κύκλους, υψηλή αποδοτικότητα | Υψηλή ισχύς |
| Μειονεκτήματα | Χαμηλή ενεργειακή πυκνότητα | Χαμηλή ενεργειακή πυκνότητα, τοξικές και διαβρωτικές ενώσεις | Επιπτώσεις στην υγεία από συστήματα μεγάλης κλίμακας |
| Καταλληλότητα για εφαρμογές ενεργειακής διαχείρισης | ✓✓ | ✓✓ | ✓ |
| Καταλληλότητα για εφαρμογές ποιότητας ισχύος | ✓✓✓ | ✓✓✓ | ✓✓✓ |
| Καταλληλότητα για εφαρμογές μεταφοράς | ✓ | ✓✓✓ | * |
| Περιβαλλοντική Επίδραση (Environment impact) | Μικρή | Μεσαία | Μικρή |

✓✓✓ κατάλληλο

✓✓ μερικώς κατάλληλο

✓ περιορισμένα κατάλληλο

* μη κατάλληλο

4.4 Συνοπτικά αποτελέσματα

Οι σφόνδυλοι και οι υπερ-πυκνωτές, παρά τις τελευταίες εξελίξεις στα υλικά κατασκευής τους, είναι αρκετά γνωστές τεχνολογίες στους κατασκευαστές, αντίθετα με τα συστήματα υπεραγώγιμης μαγνητικής ενεργειακής αποθήκευσης. Ωστόσο, τα συστήματα υπεραγώγιμης μαγνητικής ενεργειακής αποθήκευσης είναι οι πιο «συμπαγείς» διατάξεις βραχυπρόθεσμης ενεργειακής αποθήκευσης, παρουσιάζουν τους πιο απλούς μηχανισμούς λειτουργίας και δεν απαιτούν συντήρηση, σε αντίθεση για παράδειγμα με τους σφονδύλους που εγκυμονεί ο κίνδυνος να σπάσει κάποιος δίσκος.

Όσον αφορά στην αποθηκευτική ικανότητα, οι υπερ-πυκνωτές παρουσιάζουν τη μικρότερη αποθηκευτική ικανότητα συγκριτικά με τις άλλες δύο διατάξεις αποθήκευσης. Ακολουθούν τα υπεραγώγιμα μαγνητικά συστήματα ενεργειακής αποθήκευσης με αποθηκευτική ικανότητα 3 kWh και τέλος οι σφόνδυλοι με 2,5 MWh. Παράλληλα, οι σφόνδυλοι παρουσιάζουν την υψηλότερη ενεργειακή πυκνότητα (5 -100 Wh/kg) συγκριτικά με τους υπερ-πυκνωτές και τα συστήματα υπεραγώγιμης μαγνητικής ενεργειακής αποθήκευσης, με αποτέλεσμα να αποδίδουν υψηλά ποσά ισχύος για μεγαλύτερη χρονική διάρκεια. Για παράδειγμα, ένας σφόνδυλος μπορεί να αποδώσει υψηλή ισχύ σε μερικά λεπτά, ενώ ένα σύστημα υπεραγώγιμης μαγνητικής ενεργειακής αποθήκευσης σε μερικά δευτερόλεπτα.

Από την άλλη, τα υπεραγώγιμα μαγνητικά συστήματα ενεργειακής αποθήκευσης και οι υπερ-πυκνωτές παρουσιάζουν μεγαλύτερες ενεργειακές αποδόσεις από τους σφονδύλους (97-98% και 85-98% έναντι 90% αντίστοιχα). Η χαμηλότερη ενεργειακή απόδοση του σφονδύλου οφείλεται στο υψηλό ποσοστό αυτό-εκφόρτισης, που είναι της τάξης του 1-10%/ημέρα. Επίσης, ο σφόνδυλος παρουσιάζει και μεγαλύτερο χρόνο εκφόρτισης από τις άλλες δύο διατάξεις. Ένας σφόνδυλος για να εκφορτιστεί απαιτεί αρκετά δευτερόλεπτα έως και μερικά λεπτά, σε αντίθεση με τις άλλες δύο διατάξεις που απαιτούν μόνο μερικά δευτερόλεπτα. Ωστόσο, ως προ τη διάρκεια ζωής, οι υπερ-

πυκνωτές έχουν μόνο 12 έτη λειτουργίας, σε αντίθεση με τους σφονδύλους και τα υπεραγωγία μαγνητικά συστήματα ενεργειακής αποθήκευσης που φθάνουν τα 20 έτη λειτουργίας.

Με κριτήριο το κόστος, τα συστήματα υπεραγωγίμης μαγνητικής αποθήκευσης ενέργειας εμφανίζουν το χαμηλότερο κόστος ανά μονάδα ισχύος (350 €/kW). Ακολουθούν οι υπερ-πυκνωτές με κυμαινόμενο κόστος ανά μονάδα ισχύος 200 -1.000 €/kW. Τέλος, οι σφόνδυλοι είναι οι πιο δαπανηρές διατάξεις αποθήκευσης, αφού το κόστος τους ανά μονάδα ισχύος κυμαίνεται από 3.000 - 10.000 €/kW. Όσον αφορά στην περιβαλλοντική «συμβατότητα», οι σφόνδυλοι και τα συστήματα υπεραγωγίμης μαγνητικής ενεργειακής αποθήκευσης έχουν μικρές περιβαλλοντικές επιπτώσεις (π.χ. από τη δημιουργία μαγνητικού πεδίου στα υπεραγωγία μαγνητικά συστήματα), ενώ οι υπερ-πυκνωτές επιδρούν ελαφρώς πιο αρνητικά στο περιβάλλον, λόγω των υλικών που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή τους.

Τέλος, όσον αφορά στο πλήθος των εφαρμογών τους, και οι τρεις διατάξεις είναι κατάλληλες για εφαρμογές ποιότητας ισχύος. Οι υπερ-πυκνωτές και οι σφόνδυλοι είναι επίσης μερικώς κατάλληλες διατάξεις για εφαρμογές ενεργειακής διαχείρισης και ακόμα λιγότερο κατάλληλες για εφαρμογή στον τομέα των μεταφορών. Από την άλλη, τα συστήματα υπεραγωγίμης ενεργειακής μαγνητικής αποθήκευσης είναι ελαφρώς κατάλληλα για εφαρμογές ενεργειακής διαχείρισης, ενώ δεν ενδείκνυται η χρησιμοποίησή τους στον τομέα των μεταφορών.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΕΜΠΤΟ

Συμπεράσματα

Η ενεργειακή αποθήκευση είναι σημαντική για τα ηλεκτρικά συστήματα, δεδομένου ότι επιτρέπει την αυξημένη χρησιμοποίηση του συστήματος και βελτιώνει γενικότερα την ευελιξία, την αξιοπιστία και την αποδοτικότητα του δικτύου. Παράλληλα, διευκολύνει την ενσωμάτωση σε μεγάλη κλίμακα των διακοπτόμενων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Σε απομακρυσμένα, μη διασυνδεδεμένα συστήματα, όπως είναι αυτά πολλών ελληνικών νησιών, όπου η ενέργεια παράγεται από ανανεώσιμες πηγές (π.χ. αιολική ενέργεια), η ύπαρξη συστήματος αποθήκευσης είναι απαραίτητη. Η ανάγκη αυτή δεν είναι προφανής στα διασυνδεδεμένα στο δίκτυο συστήματα, εντούτοις η ενεργειακή αποθήκευση θα είναι αναπόφευκτη στο μέλλον. Πράγματι, με το «άνοιγμα» της ενεργειακής αγοράς, πολλές διαλείπουσες ανανεώσιμες πηγές θα συνδεθούν σε ηλεκτρικά δίκτυα, με αποτέλεσμα την ασταθή λειτουργία των τελευταίων. Για την αντιμετώπιση του προβλήματος αυτού, η αποθήκευση της ενέργειας σε συνδυασμό με την ορθολογική διαχείριση των ανανεώσιμων πηγών αποτελούν τη βέλτιστη λύση.

Από τις τεχνολογίες μακροπρόθεσμης αποθήκευσης ενέργειας, τα συστήματα αντλησιοταμίευσης και τα συστήματα ενεργειακής αποθήκευσης συμπιεσμένου αέρα είναι μεγάλες, κεντρικές εγκαταστάσεις, με ικανότητα να αποθηκεύουν πολύ μεγάλες ποσότητες ενέργειας και για μακράς διάρκειας χρονικές περιόδους. Από την άλλη, τα χαρακτηριστικά λειτουργίας τόσο των διατάξεων αποθήκευσης μπαταριών όσο και των συστημάτων κυψέλης καυσίμου υδρογόνου, καθιστούν τις τεχνολογίες αυτές ιδανικές για κατανεμημένες εφαρμογές ηλεκτροπαραγωγής.

Οι διατάξεις βραχυπρόθεσμης αποθήκευσης ενέργειας, όπως οι σφόνδυλοι, οι υπερπυκνωτές και τα υπεραγώγιμα μαγνητικά συστήματα ενεργειακής αποθήκευσης χρησιμοποιούνται επίσης σε κατανεμημένες εφαρμογές ηλεκτροπαραγωγής και είναι κατάλληλες για εφαρμογές ποιότητας ισχύος. Για παράδειγμα, οι υπερπυκνωτές χρησιμοποιούνται κατάλληλα για την ενίσχυση των ηλεκτρικών συστημάτων μετά από

μια μικρής διάρκειας διαταραχής του συστήματος. Από την άλλη, οι σφόνδυλοι, λόγω της υψηλότερης αποθηκευτικής τους ικανότητας, αποτελούν τις πιο κατάλληλες διατάξεις για να διατηρούν σταθερή την τάση, ειδικά σε συστήματα με σημαντική διείσδυση διαλείπουσας ανανεώσιμης ενέργειας, όπως η αιολική. Τέλος, τα υπερανώγιμα μαγνητικά συστήματα ενεργειακής αποθήκευσης είναι οι πλέον κατάλληλες διατάξεις για εφαρμογές μεταφοράς και διανομής.

Η μελέτη των πλήρη συστημάτων αποθήκευσης (ενεργειακή αποθήκευση, μετασχηματισμός της ηλεκτρικής ενέργειας σε άλλη μορφή, συστήματα ελέγχου κ.α.) θα οδηγήσει στη βελτιστοποίηση των τεχνικών αποθήκευσης υπό το πρίσμα του κόστους, της ενεργειακής απόδοσης, της αξιοπιστίας, της συντήρησης, των κοινωνικών και περιβαλλοντικών επιδράσεων κ.τ.λ.

Η ανάπτυξη των τεχνικών αποθήκευσης απαιτεί συνεχείς βελτιώσεις, καθώς και βελτιστοποίηση των συστημάτων που χρησιμοποιούνται για τη μετατροπή της ηλεκτρικής ενέργειας σε μορφή που να μπορεί εύκολα να αποθηκευτεί και αντίστροφα.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α

- Τυπικές εφαρμογές μονάδων αποθήκευσης ανάλογα με τον κύκλο λειτουργίας τους.
- Χαρακτηριστικές εφαρμογές αποθήκευσης στα ΣΗΕ ανάλογα με την απαιτούμενη χρονική διάρκεια

| Ομάδα εφαρμογών | Εφαρμογές | Διάρκεια κύκλου φόρτισης/εκφόρτισης |
|---|--|-------------------------------------|
| Διαχείριση μονάδων ΑΠΕ | Εξασφάλιση ισχύος από τις μονάδες ΑΠΕ. | 4-10 hours |
| | Συμβόλαια ανάλογα με την ώρα παράδοσης της παραγωγής από ΑΠΕ. | |
| Χειρισμοί συστήματος μεταφοράς ή διανομής | Υποστήριξη συστημάτων μεταφοράς. | 2-5 sec |
| | Μείωση των απαιτήσεων για εγκατεστημένη ισχύ συστήματος μεταφοράς. | 4-6 hours |
| | Υποκατάσταση κεντρικών μονάδων παραγωγής. | |
| | Μείωση της συμφόρησης δικτύων. | 2-6 hours |
| | Αναβολή επενδύσεων σε συστήματα μεταφοράς και διανομής. | |
| | Παροχή βοηθητικών υπηρεσιών. | 1 - 5hours |
| | Χρήση για εξομάλυνση των τιμών αγοράς. | 1 -10 hours |

| | | |
|---|---|--|
| Σχέσεις εταιριών ηλεκτρισμού και πελατών | Παροχή υπηρεσιών ποιότητας ισχύος (PQ). | 10 sec – 1 min |
| | Παροχή υπηρεσιών για εφαρμογές αξιοπιστίας (PR). | 15 min – 5 hours |
| | Διαχείριση μεταβολής ζήτησης. | 4 – 12 hours |
| | Διαχείριση για τη χρήση τιμολογίων χρέωσης ανάλογα με την ώρα κατανάλωσης (timeofuserates). | 2 – (εξαρτώμενο από το σύστημα τιμολογίων) hours |

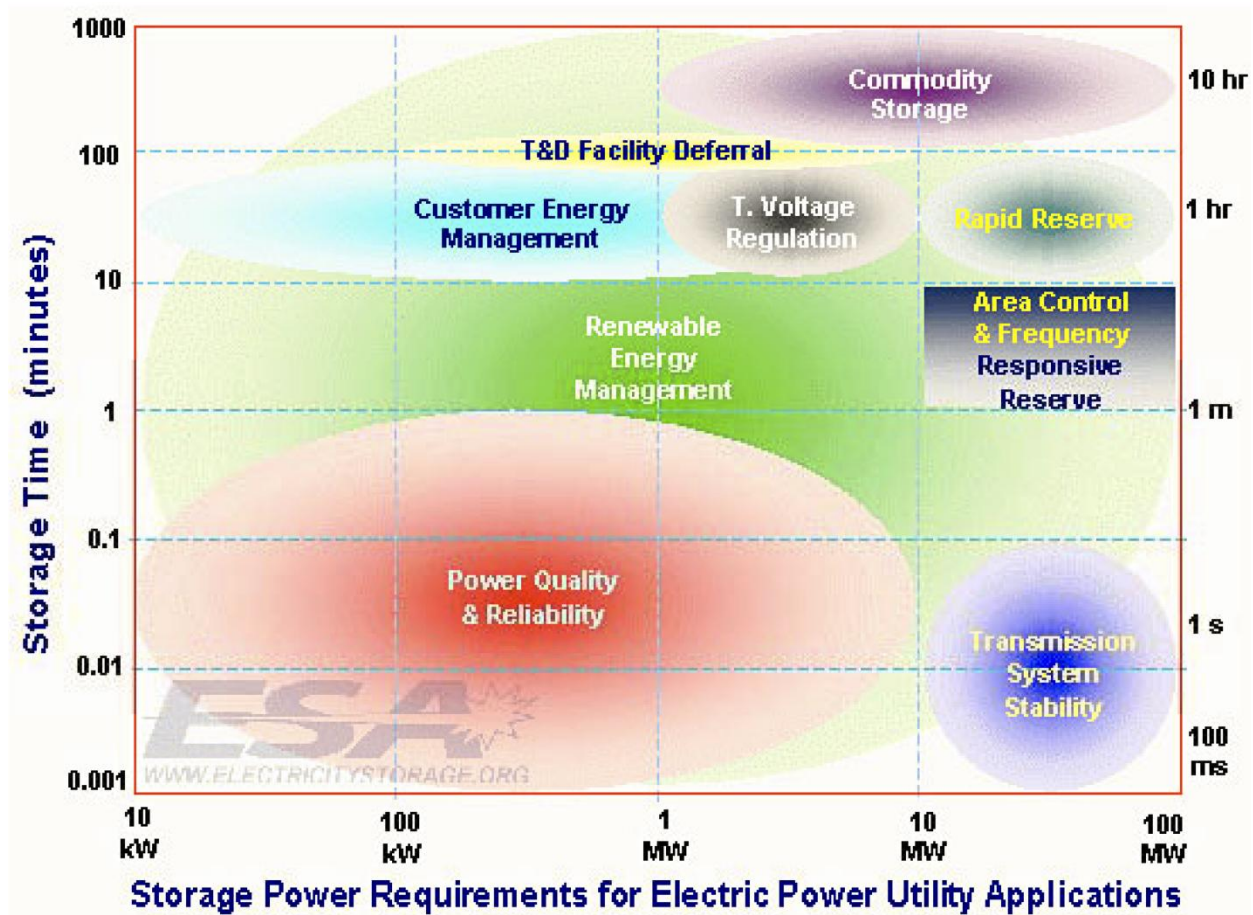
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β

• Εναλλακτικές μέθοδοι της αποθήκευσης ενέργειας για διάφορες εφαρμογές στα ΣΗΕ

| Ομάδα εφαρμογών | Εφαρμογές | Εναλλακτικές μέθοδοι |
|--|--|--|
| Διαχείριση μονάδων ΑΠΕ | Εξασφάλιση ισχύος από τις μονάδες ΑΠΕ. | Μερική φόρτιση της κεντρικής παραγωγής, έλεγχος φορτίων με μεθόδους DLC, αφοσιωμένη παραγωγή κοντά στα φορτία. |
| | Συμβόλαια ανάλογα με την ώρα παράδοσης της παραγωγής από ΑΠΕ. | Χρήση υβριδικών συστημάτων ΑΠΕ και κατανεμημένων πηγών με χρήση ανανεώσιμων καυσίμων (γεωθερμία, βιοαέριο). |
| Χειρισμοί συστήματος μεταφοράς ή διανομής | Υποστήριξη συστημάτων μεταφοράς. | Ενίσχυση του δικτύου μεταφοράς ή εγκατάσταση διεσπαρμένης παραγωγής. |
| | Μείωση των απαιτήσεων για εγκατεστημένη ισχύ συστήματος μεταφοράς. | Ευφυή συστήματα χρέωσης, αναβάθμιση συστημάτων μεταφοράς, έλεγχος φορτίου, αύξηση της ενεργειακής απόδοσης και διεσπαρμένη παραγωγή. |
| | Μείωση της συμφόρησης δικτύων. | |
| | Αναβολή επενδύσεων σε συστήματα μεταφοράς και διανομής. | |
| | Παροχή βοηθητικών υπηρεσιών. | Διατήρηση στρεφόμενης εφεδρείας και φόρτιση κεντρικής παραγωγής στο μερικό φορτίο και διεσπαρμένη παραγωγή. |
| | Υποκατάσταση κεντρικών μονάδων παραγωγής. | Φόρτιση κεντρικής παραγωγής στο μερικό φορτίο, απευθείας έλεγχος φορτίου, εμπορία με γειτονικές αγορές. |
| | Χρήση για εξομάλυνση των τιμών αγοράς. | Διαχείριση για τη χρήση τιμολογίων χρέωσης ανάλογα με την ώρα κατανάλωσης (timeofuserates). |
| Σχέσεις εταιριών ηλεκτρισμού και πελατών | Παροχή υπηρεσιών ποιότητας ισχύος (PQ). | Φίλτρα και διατάξεις βελτίωσης ποιότητας ισχύος και παροχή έργου ισχύος. |
| | Παροχή υπηρεσιών για εφαρμογές αξιοπιστίας (PR). | Διεσπαρμένη παραγωγή, ενίσχυση δικτύου διανομής. |
| | Διαχείριση μεταβολής ζήτησης. | Μείωση κατανάλωσης και αύξηση απόδοσης. |

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ

- Παρουσιάζεται ο χρονικός ορίζοντας και η ισχύς που απαιτείται για τις διάφορες ομάδες εφαρμογών αποθήκευσης ενέργειας συνοψίζοντας τα περιεχόμενα των Παραρτημάτων Α και Β.



- Απαιτήσεις ισχύος και χρονικής διάρκειας αποθήκευσης για διάφορες εφαρμογές των ΣΗΕ.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Δ

| Αποθηκευτική Διάταξη | Πλεονεκτήματα | Μειονεκτήματα | Εφαρμογές Ισχύος | Εφαρμογές Ενέργειας | Συνήθης Εφαρμογή |
|---|---|--|------------------|---------------------|--|
| Μπαταρίες ροής (flow) : PSB, VRBr, ZnBr | Υψηλή χωρητικότητα, ανεξάρτητη εκτίμηση ισχύος – ενέργειας. | Χαμηλή πυκνότητα ενέργειας. | ** | * | Εξομάλυνση ζήτησης λίγων ωρών. |
| Μολύβδου – οξέος | Χαμηλό αρχικό κόστος. | Περιορισμένος κύκλος ζωής σε βαθιά εκφόρτιση. | * | *** | Εξομάλυνση αιχμών. |
| Ni - Cd | Υψηλή πυκνότητα ενέργειας και ισχύος, υψηλή απόδοση. | - | * | ** | Εξομάλυνση ζήτησης λίγων ωρών – λεπτών. |
| Li - ion | Υψηλή πυκνότητα ενέργειας και ισχύος, υψηλή απόδοση. | Υψηλό κόστος παραγωγής, απαιτεί ειδικό κύκλωμα φόρτισης. | * | *** | Κινητή τηλεφωνία, υποσταθμοί ενέργειας. |
| NaS | Υψηλή πυκνότητα ενέργειας και ισχύος, υψηλή απόδοση. | Υψηλό κόστος παραγωγής, μέτρα ασφαλείας λόγω σχεδιασμού. | * | * | Εξομάλυνση ζήτησης λίγων ωρών – λεπτών. |
| Σφόνδυλοι (flywheels) | Υψηλή ισχύς. | Χαμηλή πυκνότητα ενέργειας. | * | *** | Εξομάλυνση ισχύος για λίγα λεπτά. |
| SMES (Υπεραγώγιμη Μαγνητική Αποθήκευση) | Υψηλή ισχύς. | Χαμηλή πυκνότητα ενέργειας, υψηλό κόστος παραγωγής. | * | **** | Εφαρμογές ποιότητας ισχύος, διανομή. |
| E.C Capacitors | Μεγάλος κύκλος ζωής, υψηλή απόδοση. | Χαμηλή πυκνότητα ενέργειας. | * | ** | Εφαρμογές ποιότητας ισχύος, διανομή. |
| Αντλησιοταμίευση (pumped storage) | Υψηλή χωρητικότητα, χαμηλό κόστος. | Απαιτεί ειδική τοποθεσία. | **** | * | Εξομάλυνση ζήτησης σε μεγάλο χρονικό διάστημα. |
| Ενεργειακή Αποθήκευση Συμπιεσμένου Αέρα CAES | Υψηλή χωρητικότητα, χαμηλό κόστος. | Απαιτεί ειδική τοποθεσία για τις χρησιμοποιούμενες κοιλάδες. | **** | * | Εξομάλυνση ζήτησης σε μεγάλο χρονικό διάστημα. |

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ε

- Μορφή μετατροπής της ηλεκτρικής ενέργειας για τις διάφορες ομάδες αποθηκευτικών διατάξεων.

| Μορφή μετατροπής | Αντιπροσωπευτική διάταξη |
|--|--|
| Ηλεκτρική | Πυκνωτές και υπερπυκνωτές |
| Υπεραγώγιμα υλικά | Magnetic energy storage (SMES) |
| Χρήση μηχανικής ενέργειας (δυναμική ή περιστροφική) | Αντλησιοταμίευση |
| | Συμπιεσμένος αέρας (CAES) |
| | Στρεφόμενοι σφόνδυλοι |
| Χημικές μέθοδοι | Μπαταρίες, μπαταρίες ροής, προχωρημένου τύπου μπαταρίες |

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Κατηγορία 1: Βιβλία, Διπλωματικές Εργασίες, Δημοσιεύματα

1. Βαλάκας Μ., «Χρήση του υδρογόνου ως εναλλακτική πηγή ενέργειας», 2007
2. Γεραλής Νικόλαος «Συστήματα αποθήκευσης ενέργειας και εφαρμογές στη μεταφορά και διανομή της ηλεκτρικής ενέργειας».
3. Ευθυμίου Β., Χ΄Πασχάλης., Πουλλίκκας Α., “Overview of current and future energy storage technologies for electric power applications”, 2008.
4. Ζερβός Α., «Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας», Ε.Μ.Π., 2007.
5. Ι. Ευάγγελος. Βρεττός «Ενεργειακή Προσομοίωση και Βέλτιστη Διαστασιολόγηση Υβριδικού Συστήματος ΑΠΕ – Συσσωρευτών – Υδρογόνου.»
6. Καγκαράκης Κ. «Φωτοβολταϊκή τεχνολογία» Εκδόσεις Συμμετρία, Αθήνα 1992.
7. Καμπούρης Γιάννης, «Διείσδυση Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας σε Συστήματα Παραγωγής Ηλεκτρικής Ενέργειας», Διδακτορική Διατριβή, ΕΜΠ 1992.
8. Κ.Α.Π.Ε., «Οδηγός Τεχνολογιών Ηλεκτροπαραγωγής από ΑΠΕ», 2001.
9. Μπεργελές Γ., «Ανεμοκινητήρες», Εκδόσεις Συμεών, 2005.
10. Παπαντώνης Δ., «Μικρά Υδροηλεκτρικά Έργα», Εκδόσεις Συμεών, 2007.
11. Τάσσιου Ι., «Ο ρόλος των αποθηκευτικών διατάξεων σε συστήματα με Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας»
12. Balzer G., Hellmich B., Mönch W. and Spahić E., “Wind energy storages - Possibilities”, 2006.
13. Chiruvolu M., Nakhamkin M., “Available Compressed Air Energy Storage (CAES) Plant Concepts”.
14. «Fuel Cell Systems Explained», Second Edition, James Larminie Oxford Brookes University, UK Andrew Dicks University of Queensland, Australia, εκδόσεις WILEY, 2003.
15. Ibrahima H., Iincaa A., Perron J., “Energy storage systems - characteristics and comparisons”, 2007.
16. IEEE Transaction On Magnetics, Vol 32, No4, July 1996: Superconducting Storage Systems: An Overview.
17. IEEE Transaction On Applied Superconductivity, Vol 9, No2, June 1999: SMES

- For Power Utility Applications: A Review of Technical and Cost Considerations.
18. IEEE Simulation of the Effects of SMES on FACTS Performance.
 19. Lower Colorado River Authority, “Study of Electric Transmission in Conjunction with Energy Storage Technology”, 2003.
 20. Mr. Edberg Oliver, Dr. McCubbin Ian, Dr. Naish Chris, Dr., Outlook of Energy Storage Technologies », 2006.
 21. Princeton Environmental Institute, PRINCETON UNIVERSITY, Energy Systems Analysis Group Compressed Air Energy Storage: Theory, Resources, And Applications For Wind Power. 8 April 2008, Samir Succar and Robert H. Williams.

Ιστοσελίδες

1. www.allaboutenergy.gr
2. <http://www.apenantiOXthi.com/2017/02/alitheis-kai-psemata-gia-tin-aioliki-energeia.html>
3. www.cres.gr
4. www.electricitystorage.org
5. <http://62.217.124.156/> (Εθνικό Κέντρο Περιβάλλοντος και Αειφόρου Ανάπτυξης)
6. www.ypan.gr
7. <http://itia.ntua.gr>
8. http://www.storiesproject.eu/docs/study_energy_storage_final.pdf
9. http://www.nrf.gov.sg/NRF/uploadedFiles/National_Innovation_Challenge/Energy%20Storage.pdf
10. <http://www.esat.kuleuven.be/electa/windbalance/docs/Deliverables/del6.pdf>
11. <http://scitation.aip.org/>
12. <http://www.sciencedirect.com/>
13. <http://www.vrbeasteurope.hu/?level=faq&lang=en>
14. <http://www.pdengineer.com/courses/e/E-4016.pdf>
15. <http://www.allaboutenergy.gr/HliakiEnergeia.html>
16. <http://www.scribd.com/doc/75825515/Battery-Technologies-for-Large-Scale->

Stationary-Energy-Storage

17. <http://www.ee.teihal.gr/labs/pkoukos/PROSTASIA%20PERIBALONTOS/Aioliki%20Energeia.htm>
18. Σόλων Κασίνης (2017) Αιολική ενέργεια στην Κύπρο [online]
[http://www.mcit.gov.cy/mcit/mcit.nsf/All/7226744811FED124C2257523002E1CED/\\$file/presentation_aiolikh%20energeia%20sthn%20Kypro_18.06.07.pdf?OpenElement](http://www.mcit.gov.cy/mcit/mcit.nsf/All/7226744811FED124C2257523002E1CED/$file/presentation_aiolikh%20energeia%20sthn%20Kypro_18.06.07.pdf?OpenElement)
19. Σόλων Κασίνης (nodate) Αιολικά και Φωτοβολταϊκά συστήματα στην Κύπρο [online]
[http://www.mcit.gov.cy/mcit/mcit.nsf/All/8E05FA136FC27373C2257601003B98F9/\\$file/aiolika%20kai%20pv%20in%20cyprus.pdf?OpenElement](http://www.mcit.gov.cy/mcit/mcit.nsf/All/8E05FA136FC27373C2257601003B98F9/$file/aiolika%20kai%20pv%20in%20cyprus.pdf?OpenElement)