



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΚΑΙ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ

"Διαχείριση και Ενεργειακή Βελτιστοποίηση Συστημάτων"

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ

"Διαχείριση και Ενεργειακή Βελτιστοποίηση Συστημάτων"

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

«ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΚΑΙ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΩΝ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΗΣ ΑΠΟ ΑΠΕ»

Του Μεταπτυχιακού Φοιτητή

Νικόλαος Γκίκας

Επιβλέπων

Παντελής Μαλατέστας, Καθηγητής

Αθήνα, Μάιος 2019

Μεταπτυχιακή Εργασία:	“ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΚΑΙ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΩΝ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΗΣ ΑΠΟ ΑΠΕ”
Φοιτητής:	Νικόλαος Γκίκας
Επιβλέπων:	Παντελής Μαλατέστας, Καθηγητής
Ακαδημαϊκό Έτος:	2018 - 19

Σύνοψη

Καθώς η ανάγκη για προστασία του περιβάλλοντος και των φυσικών πόρων για τις μελλοντικές γενιές αυξάνεται, η αειφορία και οι φιλικές προς το περιβάλλον πρακτικές ανθίζουν και κερδίζουν ολοένα και περισσότερο χώρο. Στο πλαίσιο αυτό συντελεί η ανάπτυξη της τεχνολογίας, οι οποίες προσφέρει νέες δυνατότητες αξιοποίησης των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας. Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας αλλάζει δραματικά σε ολόκληρο τον κόσμο λόγω της ανάγκης μείωσης των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου, ενώ παρατηρείται στροφή προς τις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας. Παράλληλα, το δίκτυο ενέργειας αντιμετωπίζει μεγάλες προκλήσεις στη μετάδοση και τη διανομή, καθώς καλείται να καλύψει τη ζήτηση σε απρόβλεπτες ημερήσιες και εποχιακές διακυμάνσεις, οι οποίες παρουσιάζουν συνεχώς αυξανόμενες τάσεις. Για το λόγο αυτό προάγεται ως μία ενδεδειγμένη λύση η αποθήκευση της παραγόμενης ενέργειας, καθώς αναγνωρίζεται ως μία υποστηρικτική τεχνολογία η οποία είναι ικανή να αντιμετωπίσει τις προκλήσεις της σύγχρονης εποχής. Ωστόσο, παρατηρείται μεγάλη ποικιλία τεχνολογιών, ενώ τα χαρακτηριστικά τους θεωρούνται πολύπλοκα, με αποτέλεσμα να καθιστούν δύσκολη την επιλογή της βέλτιστης για την κάθε περίπτωση τεχνολογίας. Στο πλαίσιο, λοιπόν, της προαναφερθείσας κατάστασης, αντικείμενο της παρούσας μελέτης αποτελεί η ολοκληρωμένη παρουσίαση των σύγχρονων διαθέσιμων τεχνολογιών αναφορικά με την παραγωγή ενέργειας, μέσω ανανεώσιμων πηγών και τους τρόπους αποθήκευσης της παραγόμενης ενέργειας. Επίσης, βασικό μέρος της έρευνας αποτελεί η αξιολόγηση των συστημάτων αποθήκευσης, προκειμένου να μετριάσει το πρόβλημα αυτό.

Λέξεις κλειδιά: Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας, Συστήματα Αποθήκευσης Ενέργειας.

Περίληψη

Ο τομέας της ενέργειας και του περιβάλλοντος, αποτελούν αναμφίβολα τα δύο μεγαλύτερα και σημαντικότερα θέματα του πλανήτη που καλούνται σήμερα οι επιστήμονες να αντιμετωπίσουν. Η ταχεία αύξηση του παγκόσμιου πληθυσμού και η διακύμανση των συνηθειών των καταναλωτών, αποτελούν τους δύο βασικούς παράγοντες της αύξησης της ενέργειας και της κατανάλωσης ηλεκτρικού ρεύματος τις τελευταίες δεκαετίες. Το σημαντικότερο μερίδιο της συνολικής κατανάλωσης ενέργειας καταλαμβάνουν οι βιομηχανίες, ο τομέας των μεταφορών αλλά και ο κατασκευαστικός τομέας.

Από την άλλη μεριά, τα τελευταία χρόνια οι συνολικές εκπομπές του CO₂ αυξήθηκαν σημαντικά. Παράλληλα παρατηρήθηκαν αρνητικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις και εμφάνιση περιβαλλοντικών ζητημάτων, όπως υπερθέρμανση του πλανήτη, καταστροφή της στρωβίλας του όζοντος, ρύπανση και όξινη βροχή. Συνεπώς, τις τελευταίες δεκαετίες με την παράλληλη ταχεία εξάντληση των ορυκτών καυσίμων, έχουν καταβληθεί ιδιαίτερες προσπάθειες προκειμένου να ανακαλυφθούν καινοτόμες και νέες τεχνολογίες για την εξάλειψη των περιβαλλοντικών προβλημάτων, την έλλειψη της ενέργειας και τη μείωση του υψηλού κόστους των σταθμών ηλεκτροπαραγωγής.

Πολλοί ερευνητές και επιστήμονες κατά καιρούς έχουν ασχοληθεί με τον εντοπισμό και την εφαρμογή κατάλληλων τεχνολογιών, προκειμένου να διορθωθούν ορισμένα από τα προβλήματα που αναφέρθηκαν ανωτέρω. Έτσι, σήμερα η παραγωγή ενέργειας έχει στραφεί στις ανανεώσιμες πηγές, στις οποίες περιλαμβάνονται η ενέργεια από τον ήλιο, τον άνεμο, το νερό, τη βιομάζα κλπ.

Παρόλο που οι ΑΠΕ αποτελούν τη καθαρότερη μορφή ενέργειας και είναι ανεξάντλητες, χαρακτηρίζονται από τη διακύμανση της παραγόμενης ισχύος, καθώς η παραγωγή αυτής βασίζεται στην καθημερινή πρόβλεψη και τις εποχιακές ανάγκες. Για τον λόγο αυτό, προκύπτει η ανάγκη αποθήκευσης της παραγόμενης ενέργειας από ΑΠΕ, προκειμένου αυτή να σταθεροποιηθεί, αλλά και να χρησιμοποιηθεί μετέπειτα σε περιόδους αιχμής.

Σκοπός της παρούσας μελέτης, είναι η ανάδειξη των συστημάτων αποθήκευσης ενέργειας και της σημαντικότητάς τους. Ιδιαίτερη έμφαση δίνεται στην διερεύνηση των σύγχρονων διαθέσιμων τεχνολογιών αποθήκευσης ενέργειας, καθώς και στην αξιολόγησή τους. Παράλληλα παρουσιάζονται τα τεχνικά, οικονομικά αλλά και περιβαλλοντικά χαρακτηριστικά των τεχνολογιών, προκειμένου ο χρήστης να είναι σε θέση να επιλέξει το βέλτιστο για αυτόν σύστημα αποθήκευσης. Τέλος, απώτερος στόχος της παρούσας εργασίας είναι η προώθηση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας ως πρακτική για τη μείωση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος.

Στο πρώτο κεφάλαιο του παρόντος τεύχους, πραγματοποιείται η εισαγωγή στο θέμα και η αναφορά στο σκοπό της παρούσας μελέτης. Επίσης, παρατίθεται μία σύντομη αναφορά στις διάφορες μορφές ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, εστιάζοντας κυρίως στην ηλιακή ενέργεια, στην αιολική, στη βιοενέργεια, στην υδροηλεκτρική ενέργεια και στη γεωθερμία. Το δεύτερο κεφάλαιο ασχολείται με τις ΑΠΕ στον Ελλαδικό χώρο, και εξετάζει τόσο το νομοθετικό πλαίσιο και τους εμπλεκόμενους θεσμικούς φορείς όσο και το δυναμικό της χώρας. Μία εκτενής διερεύνηση των τεχνολογιών αποθήκευσης της παραγόμενης ενέργειας πραγματοποιείται στο τρίτο κεφάλαιο, κάνοντας εκτενή αναφορά στα χημικά συστήματα αποθήκευσης ενέργειας, στον ηλεκτροχημικό τρόπο αποθήκευσης ενέργειας, στα ηλεκτρικά συστήματα αποθήκευσης EESS, στη μηχανική αποθήκευση και στη θερμική αποθήκευση TES. Στο τέταρτο κεφάλαιο γίνεται σύγκριση των συστημάτων αξιολόγησης από γενικής, οικονομικής και περιβαλλοντικής άποψης. Η παρούσα μελέτη κλείνει με τα συμπεράσματα που προέκυψαν από την ανωτέρω ανάλυση.

Post-Graduate Thesis: «INVESTIGATION AND EVALUATION OF STORAGE-
PROCESSED ENERGY STORAGE TECHNOLOGIES »

Student: Nikolaos Gkikas

Supervisor: Pantelis Malatestas, Professor

Academic Year: 2018 - 19

Summary

As the need to protect the environment and natural resources for future generations increases, sustainability and environmentally friendly practices are increasingly blooming and gaining space. It is in this context that technology is being developed, which offers new opportunities to exploit Renewable Energy Sources. Electricity production is changing dramatically around the world due to the need to reduce greenhouse gas emissions while turning to Renewable Energy. At the same time, the power grid faces major challenges in transmission and distribution, as it is called upon to meet demand in unpredictable daily and seasonal fluctuations, which are constantly increasing trends. For this reason, energy storage is promoted as an appropriate solution as it is recognized as a supportive technology capable of meeting the challenges of the modern age. However, a wide variety of technologies are observed and their features are considered complex, making it difficult to select the best technology for each case. Therefore, in the context of the aforementioned situation, the purpose of the present study is to present a comprehensive overview of current available technologies in relation to energy production through renewable sources and ways of storing the energy produced. Also an essential part of the research is the evaluation of storage systems in order to alleviate this problem.

Key Words: Renewable Energy Sources, Energy Storage Systems.

Abstract

The energy and environmental sectors are undoubtedly the two biggest and most important issues on the planet, that today's scientists are called upon to deal with. The rapid increase in the world population and the fluctuation of consumer habits, are the two main factors in increasing energy and electricity consumption in recent decades. The most important share of total energy consumption is occupied by industry, the transport sector and the construction sector.

On the other hand, overall CO₂ emissions have increased significantly in recent years. At the same time, negative environmental impacts and emerging environmental issues such as global warming, ozone depletion, pollution and acid rain have been observed. Consequently, in recent decades, with the rapid depletion of fossil fuels, special efforts have been made to discover innovative and new technologies to eliminate environmental problems, energy shortages and reduce the high cost of power plants.

Many researchers and scientists have occasionally been involved in identifying and applying appropriate technologies to correct some of the problems mentioned above. Thus, today, energy

production has turned to renewable sources, including energy from the sun, wind, water, biomass, etc.

Although RES is the cleanest form of energy and is inexhaustible, it is characterized by the variation in power output, as production is based on daily forecasting and seasonal needs. For this reason, there is a need to store the energy produced from RES in order to stabilize it, but also to use it later in peak periods.

The purpose of this study is to highlight energy storage systems and their importance. Particular emphasis is given to the exploration of modern available energy storage technologies, as well as to their evaluation. At the same time, the technical, financial and environmental characteristics of the technologies are presented, so that the user can choose the optimal storage system. Finally, the ultimate goal of this work is to promote renewable energy as a practice to reduce environmental footprint.

In the first chapter of this issue, an introduction to the topic and reference to the purpose of the present study is made. There is also a brief reference to the various forms of renewable energy sources, focusing mainly on solar energy, wind, bioenergy, hydroelectricity and geothermal energy. The second chapter deals with RES in Greece, examining both the legislative framework and the institutions involved and the potential of the country. An extensive exploration of energy storage technologies is carried out in the third chapter, with extensive reference to chemical energy storage systems, electrochemical energy storage, EESS electrical storage systems, mechanical storage and TES thermal storage. The fourth chapter compares the evaluation systems from a general, economic and environmental point of view. The present study concludes with the conclusions drawn from the above analysis.

Copyright © Ανώτατο Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Πειραιά Τεχνολογικού Τομέα

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 της για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τον συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν το συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Ανώτατου Εκπαιδευτικού Ίδρυματος Πειραιά Τεχνολογικού Τομέα.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να ευχαριστήσω από καρδιάς όλους τους καθηγητές του Ιδρύματος, που για πάνω από 10 χρόνια ήταν σαν μία δεύτερη οικογένεια. Έχοντας περάσει περισσότερες ώρες στο Πανεπιστήμιο τα φοιτητικά μου χρόνια, παρά στο σπίτι μου, έζησα εμπειρίες και γνώσεις σε αυτά τα χρόνια, που θα μου λείψουν πραγματικά. Αυτή η διπλωματική εργασία, αφιερώνεται σε όλους αυτούς λοιπόν. Ιδιαίτερες ευχαριστίες για τον Καθηγητή, Παντελή Μαλατέστα, που αν και όχι τόσο καλός φοιτητής, πάντα πίστευε σε εμένα, που και η παρουσία τους και μόνο, με έκανε να θέλω να γίνομαι καλύτερος, σαν άνθρωπος και σαν επαγγελματίας. Τέλος να ευχαριστήσω την Σοφία, που πάντα πιστεύει σε εμένα, και στους στόχους που θέλω να πραγματοποιήσω, χωρίς κούραση και πάντα με πάθος.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ.....	2
ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ	15
1.1 ΕΝΝΟΙΟΛΟΓΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ	15
1.2 ΗΛΙΑΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ	18
1.2.1 Κύριες τεχνολογίες ηλιακής ενέργειας.....	20
1.3 ΑΙΟΛΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ	21
1.3.1 Ανεμογεννήτριες.....	23
1.4 ΒΙΟΕΝΕΡΓΕΙΑ	26
1.4.1 Κατηγορίες και τύποι βιομάζας.....	28
1.4.2 Διεργασίες Ενεργειακής Αξιοποίησης Βιομάζας.....	30
1.5 ΥΔΡΟΗΛΕΚΤΡΙΚΗ.....	33
1.5.1 Τύποι Υδροηλεκτρικών Σταθμών	34
1.6 ΓΕΩΘΕΡΜΙΑ	36
1.6.1 Τεχνολογίες Παραγωγής Ηλεκτρικής Ενέργειας από Γεωθερμικούς Πόρους.....	37
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2	40
ΑΠΕ ΣΤΟΝ ΕΛΛΑΔΙΚΟ ΧΩΡΟ.....	40
2.1 ΝΟΜΟΘΕΤΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ/ ΓΕΝΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΠΟΛΙΤΙΚΗ	40
2. ΒΑΣΙΚΟΙ ΘΕΣΜΙΚΟΙ ΦΟΡΕΙΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟΥ ΤΟΜΕΑ	41
2.3 ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΔΥΝΑΜΙΚΟ	43
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3	49
ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ.....	49
1.ΓΕΝΙΚΑ	49
3.2 ΧΗΜΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ.....	50
3.2.1 Αποθήκευση Υδρογόνου.....	50
3.2.2 Κυψέλη Καυσίμου	51
3.2.3 Συνθετικό Φυσικό Αέριο (SNG).....	53
3.3 ΗΛΕΚΤΡΟΧΗΜΙΚΗ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ.....	53
3.3.1 Ιόντων Λιθίου	55
3.3.2 Θεικού Νατρίου (NaS)	57
3.3.3 Μολύβδου-Οξέως (PbO2).....	58
3.3.4 Νικελίου-Καδμίου (NiCd).....	59
3.3.5 Μπαταρίες Ροής (Flow Batteries).....	60
3.4 ΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΕΕSS	61
3.4.1 Πυκνωτές και Ηλεκτροχημικοί Πυκνωτές	61
3.4.2 Υπεραγώγιμη Μαγνητική Ενερειακή Αποθήκευση (SMES).....	62

3.5 ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ	63
3.5.1 Σφόνδοιλοι (FES)	63
3.5.2 Αντλησιοταμίευση (PHSS).....	65
3.5.3 Ενεργειακή Αποθήκευση Συμπιεσμένου Αέρα (CAES).....	66
3.6 ΘΕΡΜΙΚΗ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ TES	69
3.6.1 Σύστημα Αισθητής Θερμότητας (SENSIBLE HEAT SYSTEM)	70
3.6.2 Σύστημα Λανθάνουσας Θερμότητας (LATENT HEAT SYSTEM)	71
3.6.3 Σύστημα Αποθήκευσης Θερμοχημικής Ενέργειας.....	71
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4	73
ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ	73
4.1 ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ.....	73
4.2 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΩΣ ΠΡΟΣ ΤΑ ΤΕΧΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΥΣ.....	77
4.3 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΩΣ ΠΡΟΣ ΤΟ ΚΟΣΤΟΣ ΕΠΕΝΔΥΣΗΣ.....	80
4.4 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΩΣ ΠΡΟΣ ΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΟ ΤΟΥΣ ΑΝΤΙΚΤΥΠΟ ...	81
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5	83
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	83
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	85
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α	91

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1.1 Χαρακτηρισμός μορφών ενέργειας σε κινητική ή/ και δυναμική ενέργεια	15
Πίνακας 1.2 Ταξινόμηση πρωτογενών και δευτερογενών ενεργειακών πηγών. (Πηγή: Ανδρίτσος, 2008).....	17
Πίνακας 1.3 Οικονομικά και εκπομπές συμβατικών τεχνολογιών σε σύγκριση με την παραγωγή ηλιακής ενέργειας. (Πηγή: Demirbas, 2007)	19
Πίνακας 1.4 Κατηγορίες και τύποι βιομάζας (Πηγή: Πανελλήνιος Σύλλογος Χημικών Μηχανικών, 2014).....	28
<u>Πίνακας 1.5 Ταξινόμηση υδροηλεκτρικών σταθμών με βάση την εγκατεστημένη ισχύ. (Πηγή: www.energy.gov).....</u>	<u>36</u>
Πίνακας 2.1 Πρόοδος που σημειώθηκε όσον αφορά τους στόχους που τέθηκαν για το 2020, βάσει Οδηγίας 2009/28/ΕΚ. (Πηγή: IEA, 2017).....	41
Πίνακας 2.2 Εγκατεστημένη ηλεκτρική ενέργεια ανά πηγή προέλευσης, 2000-2015 (MW). (Πηγή: IEA, 2018).....	47
Πίνακας 4.1 Σύγκριση τεχνικών χαρακτηριστικών συστημάτων αποθήκευσης ενέργειας. (Πηγή: Mahlia, Saktisahdan, Jannifar, Hasan, & Matseelar, 2014)	74
Πίνακας 4.2 Συγκριτική ανάλυση SWOT μακροπρόθεσμων τεχνολογιών αποθήκευσης ενέργειας. (Πηγή: Guney & Tere, 2016)	76
Πίνακας 4.3 Περιβαλλοντικές επιπτώσεις συστημάτων αποθήκευσης ενέργειας. (Πηγή: Guney & Tere, 2016)	81

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1.1 Χερσαίες και υπεράκτιες ανεμογεννήτριες.....	23
Εικόνα 1.2 Σχηματική απεικόνιση ανεμογεννητριών οριζόντιου και κάθετου άξονα περιστροφής.	24
Εικόνα 1.3 Σχηματική απεικόνιση πτερυγίων ανεμογεννήτριας οριζόντιου άξονα.	25
Εικόνα 1.4 Διαδικασία μετατροπής ηλιακής ακτινοβολίας σε χημική ενέργεια υπό τη μορφή γλυκόζης, φωτοσύνθεση.....	27
Εικόνα 1.5 Ο κύκλος του διοξειδίου του άνθρακα κατά το σχηματισμό και την ενεργειακή αξιοποίηση της βιομάζας.....	27
Εικόνα 1.6 Σύστημα άμεσης καύσης (σύστημα ατμοστροβίλου Rankine) (Πηγή: US. Department of Energy).....	32

<u>Εικόνα 1.7 Σχηματική απεικόνιση συστήματος παραγωγής υδροηλεκτρικής ενέργειας μικρής κλίμακας. (Πηγή: http://www.unido.or.jp/en/technology_db/1683/).....</u>	34
Εικόνα 1.8 Σχηματική απεικόνιση κατηγοριών υδροηλεκτρικών σταθμών,run-of-river (αριστερά), impoundment (κέντρο), pumped storage (δεξιά) (Πηγή: Διαδίκτυο).....	36
Εικόνα 1.9 Σχηματική απεικόνιση διατάξεων μετατροπής ισχύος, α) μονάδα χρησιμοποίησης δευτερεύοντος ρευστού, β) μονάδα εκτόνωσης διαφασικού ρευστού και γ) μονάδα παραγωγής ενέργειας τριπλής εξαγωγής για υπερκρίσιμα υγρά. (Πηγή: MIT, 2006).....	37
Εικόνα 3.1 Σχηματική απεικόνιση παραγωγής υδρογόνου από ηλιακή ενέργεια. (Πηγή: Ανδρίτσος, 2008).....	51
Εικόνα 3.2 Σχεδιαγραμματική απεικόνιση συστήματος αποθήκευσης υδρογόνου και κυψέλης καυσίμου. (Πηγή: Luo, Huang, Gong, & Ma, 2012)	52
Εικόνα 3.3 Βασικά στοιχεία και αρχή λειτουργίας του συστήματος αποθήκευσης ενέργειας μέσω της τεχνολογίας των μπαταριών. (Πηγή: Diaz-Gonzalez, Super, Gomis-Bellmunt, & Villafafila-Robles, 2012)	54
Εικόνα 3.4 Διάταξη μπαταρίας θεικού νατρίου,NaS. (Πηγή:www.sciencephoto.ooo).....	57
Εικόνα 3.5 Σχηματική απεικόνιση αρχή λειτουργίας μπαταριών ροής. (Πηγή: Diaz-Gonzalez, Super, Gomis-Bellmunt, & Villafafila-Robles, 2012)	60
Εικόνα 3.6 Σχηματική απεικόνιση διάταξης υπερπυκνωτή. (Πηγή: (Luo, Huang, Gong, & Ma, 2012).....	62
Εικόνα 3.7 Σχηματική απεικόνιση διάταξης συστήματος SMES. (Πηγή: Luo, Huang, Gong, & Ma, 2012)	63
Εικόνα 3.8 Σχηματική απεικόνιση διάταξης σφονδύλου. (Πηγή: Luo, Huang, Gong, & Ma, 2012).....	64
Εικόνα 3.9 Σχηματική αναπαράσταση συστήματος αντλησιοταμίευσης. (Πηγή:Chen, Cong, & Yang, 2009).....	66
Εικόνα 3.10 Σχηματική απεικόνιση συστήματος αποθήκευσης ενέργειας υπό τη μορφή συμπιεσμένου αέρα. (Πηγή: Ανδρίτσος, 2008).....	67
Εικόνα 3.11 Μονάδα αποθήκευσης ενέργειας με συμπιεσμένο αέρα στο Hundorf της Γερμανίας. (Πηγή: Διαδίκτυο).....	68
Εικόνα 3.12 Μονάδα αποθήκευσης ενέργειας με συμπιεσμένο αέρα στο McIntosh, Alabama στις ΗΠΑ. (Πηγή: Διαδίκτυο)	69
Εικόνα 3.13 Σχηματική απεικόνιση συστήματος θερμικής αποθήκευσης. (Πηγή: Deforest, Mendes, Stadler, Feng, Lai, & Marnay, 2015).....	70

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ

Διάγραμμα 1.1 Παράδειγμα χρονικής κατανομής ταχυτήτων ανέμου ετήσιων μετρήσεων και σύγκρισή τους με την κατανομή Weibull.	22
Διάγραμμα 1.2 Διεργασίες ενεργειακής αξιοποίησης βιομάζας (Πηγή: Ίδια Επεξεργασία).....	31
Διάγραμμα 1.3 Γενική διαδικασία παραγωγής ενέργειας από γεωθερμικούς πόρους. (Πηγή: DiPippo, 2012)	38
Διάγραμμα 2.1 Μερίδιο τελικής κατανάλωσης πετρελαιοειδών ανά τομέα στην Ελλάδα το 2016. (Πηγή: https://www.iea.org/statistics).....	43
Διάγραμμα 2.2 Συνολική παροχή πρωτογενούς ενέργειας (TPES) ανά πηγή για το χρονικό διάστημα 1990 – 2016. (Πηγή: https://www.iea.org/statistics)	44
Διάγραμμα 2.3 Χρονολογική εξέλιξη ΑΠΕ όσον αφορά το TPES, την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και την συνολική κατανάλωση (TFC). (Πηγή: https://www.iea.org/statistics).....	45
Διάγραμμα 2.4 Μερίδιο παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας ανά καύσιμο για το έτος 2016. (Πηγή: https://www.iea.org/statistics)	46
Διάγραμμα 2.5 Συνολική παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα από ΑΠΕ (υδροηλεκτρική, αιολική και ηλιακή) για τη χρονική περίοδο 1990-2016. (Πηγή: https://www.iea.org/statistics)	47
Διάγραμμα 3.1 Ταξινόμηση των συστημάτων αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας σύμφωνα με την ενεργειακή μορφή (Πηγή: Fraunhofer ISE, Ίδια Επεξεργασία).....	49
Διάγραμμα 3.2 Διαφορετικά είδη μπαταριών. (Πηγή: Ίδια Επεξεργασία)	55
Διάγραμμα 3.3 Διαγραμματική απεικόνιση ενεργειακής πυκνότητας διαφόρων τύπων μπαταριών. (Πηγή: https://www.mpoweruk.com/chemistries.htm)	56
Διάγραμμα 4.1 Σύγκριση πυκνότητας ισχύος και ενεργειακής πυκνότητας των τεχνολογιών αποθήκευσης ενέργειας. (Πηγή: Luo, Huang, Gong, & Ma, 2012).....	77
Διάγραμμα 4.2 Σύγκριση κύκλων ζωής και αποδοτικότητας των τεχνολογιών αποθήκευσης ενέργειας. (Πηγή: Guney & Tere, 2016)	78
Διάγραμμα 4.3 Σύγκριση ενεργειακής χωρητικότητας, ενεργειακής ισχύος και διάρκεια εκφόρτισης των τεχνολογιών αποθήκευσης ενέργειας. (Πηγή: Luo, Huang, Gong, & Ma, 2012)	79
Διάγραμμα 4.4 Σύγκριση κόστους κεφαλαίου και κόστους λειτουργίας και συντήρησης των τεχνολογιών αποθήκευσης ενέργειας. (Πηγή: Luo, Huang, Gong, & Ma, 2012).....	80

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΑΡΚΤΙΚΟΛΕΞΩΝ

ΑΔΜΗΕ	Ανεξάρτητος Διαχειριστής Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας
ΑΠΕ	Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας
ΔΕΗ	Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού
ΕΣΜΗΕ	Ελληνικό Σύστημα Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας
ΚΑΠΕ	Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών και Εξοικονόμησης Ενέργειας
ΡΑΕ	Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας
BESS	Battery Energy Storage System
CAES	Compressed Air Energy Storage
CRES	Center for Renewable Energy Sources & Saving
EESS	Electrical Energy Storage System
ESS	Energy Storage System
FES	Flywheels Energy Storage
HAWT	Horizontal Axis Wind Turbine
PHSS	Pumped Hydro Storage Systems
SMES	Superconducting Magnetic Energy Storage
TES	Thermal Energy Storage
TPES	Total Primary Energy Supply
VAWT	Vertical Axis Wind Turbine

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο

ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

1.1 Εννοιολογική Προσέγγιση Ενέργειας

Καθημερινώς, προκειμένου να καλυφθούν βασικές ανάγκες του ανθρώπου όπως ο ηλεκτρισμός, το ζεστό νερό και τα καύσιμα του αυτοκινήτου, χρησιμοποιείται ενέργεια. Με τον όρο *ενέργεια*, νοείται η ιδιότητα της ύλης που είναι ικανή να μετατραπεί σε έργο, θερμότητα ή ακτινοβολία. Η ενέργεια μπορεί να θεωρηθεί ότι διακρίνεται σε δύο κύριες κατηγορίες, τη *κινητική ενέργεια*, η οποία είναι το έργο που προέρχεται από την κίνηση της ύλης και τη *δυναμική ενέργεια*, η οποία είναι το έργο που βρίσκεται αποθηκευμένο ή σε ηρεμία σε μία ύλη. Και στις δύο αυτές περιπτώσεις η ενέργεια μπορεί να εμφανιστεί σε μία από τις ακόλουθες μορφές [1]:

- **Ηλεκτρική ενέργεια**, η οποία είναι η ενέργεια που μεταφέρει το ηλεκτρικό ρεύμα καθώς σχετίζεται με τη θέση ενός ηλεκτρικού φορτίου σε ένα ηλεκτρικό πεδίο.
- **Χημική ενέργεια**, η οποία εμφανίζεται κατά την αλλαγή της χημικής δομής των ουσιών. Χαρακτηριστικά παραδείγματα χημικής ενέργειας αποτελεί η καύση των ορυκτών καυσίμων, το υδρογόνο, και οι μπαταρίες.
- **Θερμική ενέργεια**, η οποία σχετίζεται με τυχαίες κινήσεις των μορίων σε ένα μέσο οι οποίες έχουν ως αποτέλεσμα τη μετάδοση θερμότητας.
- **Μηχανική ενέργεια**, η οποία προκύπτει από τη δύναμη που εφαρμόζεται ή πρόκειται να εφαρμοστεί σε ένα υλικό μέσο το οποίο μπορεί να βρίσκεται σε οποιαδήποτε από τις τρεις φάσεις (στερεό, υγρό ή αέριο).
- **Ηλεκτρομαγνητική ενέργεια**, η οποία διαδίδεται μέσω της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας. Τέτοια μπορεί να είναι η ενέργεια που προέρχεται από τον ήλιο.
- **Πυρηνική ενέργεια**, η οποία παράγεται είτε από τη στάση του πυρήνα ενός ατόμου σε δύο ή περισσότερα είτε από τη σύντηξη δύο ίδιων ή διαφορετικών ατόμων μεταξύ τους, όπως για παράδειγμα συμβαίνει στον ήλιο.

Κάθε μία από τις μορφές ενέργειας που αναφέρθηκαν ανωτέρω μπορεί να χαρακτηριστεί είτε ως δυναμική είτε ως κινητική, ενώ μερικές μορφές είναι δυνατόν να υπάρξουν και στις δύο κατηγορίες όπως παρουσιάζονται στον πίνακα που ακολουθεί (**Πίνακας 1.1**).

Πίνακας 1.1 Χαρακτηρισμός μορφών ενέργειας σε κινητική ή/ και δυναμική ενέργεια

Μορφές Ενέργειας	Κινητική	Δυναμική
Ηλεκτρική Ενέργεια	Μπαταρία σε αποφόρτιση	Μπαταρία σε φόρτιση
Βαρυτική	-	Ναι (εξ ορισμού)
Χημική	-	Ναι (εξ ορισμού)

Θερμική	Ναι (εξ ορισμού)	-
Μηχανική	Σώμα εν κινήσει	Σώμα σε ηρεμία
Ηλιακή (ακτινοβολία)	Ναι (εξ ορισμού)	-
Πυρηνική	-	Ναι (εξ ορισμού)

Οι ενεργειακοί πόροι οι οποίοι είναι αποθηκευμένοι στη γη, αποτελούν τη *κύρια ενέργεια*, η οποία μπορεί να είναι τόσο πρωτογενής όσο και δευτερογενής. **Πρωτογενής**, είναι η ενέργεια η οποία δεν υπόκειται σε επεξεργασία για τη μετατροπή της σε χρήσιμη και λαμβάνεται απευθείας από τη γη (ορυκτά/ πυρηνικά καύσιμα) ή τον ήλιο. Αντίθετα, η **δευτερογενής** ενέργεια για να θεωρηθεί ως χρήσιμη απαιτεί τη μετατροπή της πρωτογενούς ενέργειας, μέσω φυσικών, χημικών, μηχανικών, θερμικών ή πυρηνικών διεργασιών.

Το μεγαλύτερο μέρος της ενέργειας που χρησιμοποιείται καθημερινά προέρχεται από ορυκτά καύσιμα, όπως για παράδειγμα τον άνθρακα, το πετρέλαιο και το φυσικό αέριο. Οι πηγές αυτές είναι μη ανανεώσιμες, γεγονός το οποίο υποδεικνύει ότι εάν χρησιμοποιηθούν στο έπακρο, δεν είναι δυνατόν να ανανεωθούν. Τα ορυκτά καύσιμα επιπλέον συμβάλουν σημαντικά στην παγκόσμια αλλαγή του κλίματος, καθώς κατά την καύση τους απελευθερώνουν στην ατμόσφαιρα μεγάλες ποσότητες διοξειδίου του άνθρακα.

Συνεπώς, αποτελεί επιτακτική ανάγκη η μετάβαση σε άλλες πηγές ενέργειας οι οποίες θα είναι φιλικότερες προς το περιβάλλον αλλά και ταυτόχρονα ανεξάντλητες. Αυτές είναι οι ανανεώσιμες πηγές, εκμεταλλεύσιμες μορφές ενέργειας οι οποίες παραλαμβάνουν την ενέργειά τους από υπάρχουσες ροές και συνεχείς φυσικές διεργασίες όπως η ηλιοφάνεια, ο άνεμος, τα ρέοντα ύδατα, οι βιολογικές διεργασίες αλλά και οι γεωθερμικές ροές θερμότητας. Σήμερα, οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας αποτελούν σημαντικό ρόλο για το μέλλον του κόσμου. Σύμφωνα με τον ορισμό που δίνεται στην Οδηγία 2001/77/ΕΚ, **Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ)**, είναι οι μη ορυκτές ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, δηλαδή η αιολική, η ηλιακή και η γεωθερμική ενέργεια, η ενέργεια κυμάτων, η παλιρροϊκή ενέργεια, η υδραυλική ενέργεια, τα αέρια τα εκλύόμενα από χώρους υγειονομικής ταφής, από εγκαταστάσεις βιολογικού καθαρισμού και τα βιοαέρια. Ο συνηθέστερος ορισμός που μπορεί κανείς να συναντήσει είναι ότι οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας είναι οι πόροι που μπορούν να χρησιμοποιηθούν ξανά και ξανά για τη παραγωγή της ενέργειας καθώς αντικαθίσταται γρήγορα από μία φυσική διεργασία όπως η ενέργεια που παράγεται από τον ήλιο ή τον άνεμο [2].

Οι ΑΠΕ που πληρούν τα κριτήρια και τις εγχώριες ενεργειακές απαιτήσεις, δίνουν τη δυνατότητα παροχής ενεργειακών υπηρεσιών με μηδενικές ή σχεδόν μηδενικές εκπομπές αέριων ρύπων και αερίων του θερμοκηπίου. Έτσι, μέσω της ανάπτυξης ενός συστήματος ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, είναι δυνατή η επίλυση των πλέον κρίσιμων αναγκών, όπως η βελτίωση της παροχής ενέργειας και της οικονομίας των καυσίμων, αυξάνοντας παράλληλα το βιοτικό επίπεδο της κοινωνίας αλλά και το επίπεδο απασχόλησης του τοπικού πληθυσμού [3]. Επιπλέον,

μέσω της ανάπτυξης και υλοποίησης τέτοιων έργων ανανεώσιμης ενέργειας σε αγροτικές περιοχές, μπορούν να δημιουργηθούν ευκαιρίες απασχόλησης και να ελαχιστοποιηθεί η μετάβαση προς τις αστικές περιοχές [4].

Στον πίνακα που ακολουθεί (**Πίνακας 1.2**), ταξινομούνται συνοπτικά οι διάφορες πηγές ενέργειας που μπορεί κανείς να συναντήσει σύμφωνα με τις κατηγορίες που αναφέρθηκαν ανωτέρω. Οι γνωστότερες ανανεώσιμες μορφές ενέργειας είναι η ηλιακή, η αιολική, η υδραυλική, η βιομάζα, η παλιρροιακή, η ενέργεια των κυμάτων κ.α. και θα περιγραφούν στις ενότητες που ακολουθούν.

Πίνακας 1.2 Ταξινόμηση πρωτογενών και δευτερογενών ενεργειακών πηγών. (Πηγή: Ανδρίτσος, 2008)

	Πρωτογενείς Ενεργειακές Πηγές	Δευτερογενείς Ενεργειακές Πηγές
	Ορυκτά	
	Γαϊάνθρακας Τύρφη Αργό πετρέλαιο Φυσικό αέριο	Ορυκτά καύσιμα από γαϊάνθρακα Ορυκτά καύσιμα από πετρέλαιο
	Πυρηνική	
Μη ανανεώσιμες	Ουράνιο Θόριο Δευτέριο Λίθιο Βηρύλλιο	Τρίτιο Πλουτόνιο
	Ηλεκτρική	
		Παραγωγή ηλεκτρικής ισχύος με διάφορους τρόπους Στοιχεία καυσίμων
	Βιομάζα	
Ανανεώσιμες	Ξυλεία και διάφορες καλλιέργειες	Παραπροϊόντα ξυλείας και φλοιοί Οικιακά απορρίμματα Βιοαέριο Παραπροϊόντα τροφίμων Βιοαλκοόλες (μεθανόλη, αιθανόλη)
	Ηλιακή	

Ηλιακή θερμική/ φωτοβολταϊκή μετατροπή Φωτοχημική μετατροπή Αποθηκευμένη ηλιακή με αντλίες θερμότητας	
Υδροηλεκτρική	
Ενεργειακή μετατροπή του νερού από ποταμό ή τεχνητό ταμιευτήρα Παλιρροϊκή ενεργειακή μετατροπή	
Αιολική	
Αιολική ενεργειακή μετατροπή	
Ωκεανοί	
Θερμική μετατροπή νερού ωκεανών Μετατροπή θαλάσσιων ρευμάτων Μετατροπή ενέργειας κυμάτων	
Γεωθερμία	
Γεωθερμικός ατμός, θερμό νερό Αβαθής γεωθερμία Θερμά/Ξηρά πετρώματα Μαγματική θερμότητα Γεωπεπιεσμένα συστήματα	

1.2 Ηλιακή Ενέργεια

Όσον αφορά τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, η ηλιακή ενέργεια είναι αυτή που βρίσκεται σε αφθονία και είναι διαθέσιμη τόσο σε άμεση όσο και σε έμμεση μορφή. Είναι η ενέργεια που λαμβάνουμε από τον ήλιο υπό μορφή θερμότητας ή κατευθείαν ως ηλεκτρική ενέργεια. Η ενέργεια αυτή φτάνει στην επιφάνεια της γης ως ηλιακή ακτινοβολία και γίνεται αισθητή από τα αποτελέσματα που επιφέρει ως φως, θερμότητα αλλά και ως υπεριώδης ακτινοβολία.

Ο ήλιος εκπέμπει ενέργεια με ρυθμό $3.8 \times 10^{23} \text{ kW}$, εκ των οποίων τα $1.8 \times 10^{14} \text{ kW}$ παρεμποδίζονται από τη γη [5]. Ως εκ τούτου, υπάρχει πολύ μεγάλο περιθώριο εκμετάλλευσης της διαθέσιμης ηλιακής ενέργειας για θερμικές εφαρμογές όπως το μαγείρεμα, η θέρμανση του νερού κλπ. Αξίζει να σημειωθεί ότι, η συνολική παγκόσμια μέση ισχύς που φτάνει στην επιφάνεια της γης με τη μορφή της ηλιακής ακτινοβολίας υπερβαίνει τη συνολική τρέχουσα

κατανάλωση ενέργειας κατά 15.000 φορές [6]. Συνεπώς, η ηλιακή ενέργεια αποτελεί μία πολύ σημαντική πηγή ενέργειας καθώς διαθέτει πολλά πλεονεκτήματα. Παραδείγματος χάρη, υπάρχουν πολλές απομακρυσμένες περιοχές ανά τον κόσμο στις οποίες ο ηλεκτρισμός δεν είναι διαθέσιμος. Εφόσον η ηλιακή ακτινοβολία είναι άπλετη, δύναται να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή ηλεκτρισμού στις περιοχές αυτές [7].

Η ηλιακή ακτινοβολία όπως προαναφέρθηκε είναι διαθέσιμη σε οποιοδήποτε μέρος της γης. Παρόλα αυτά, η χαμηλή πυκνότητα και οι γεωγραφικές και χρονικές διακυμάνσεις αποτελούν σημαντικές προκλήσεις για την αποτελεσματική αξιοποίησή της. Έτσι λοιπόν, η ηλιακή πηγή εκτιμάται γενικά με τα ακόλουθα κριτήρια:

- Πυκνότητα ισχύος ή ακτινοβολία
- Γωνιακή κατανομή (διάχυτη ή άμεση ακτινοβολία)
- Φασματική κατανομή.

Το κόστος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας μέσω της ηλιακής ακτινοβολίας είναι αρκετά υψηλότερο από αυτό του συμβατικού σταθμού ηλεκτροπαραγωγής. Ενώ όσον αφορά τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα, πρόκειται για σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στους οποίους απελευθερώνεται σχεδόν μηδενική ποσότητα άνθρακα, όπως παρουσιάζεται και στον πίνακα που ακολουθεί (Πίνακας 1.3).

Πίνακας 1.3 Οικονομικά και εκπομπές συμβατικών τεχνολογιών σε σύγκριση με την παραγωγή ηλιακής ενέργειας.
(Πηγή: Demirbas, 2007)

Τεχνολογία Παραγωγής Ηλεκτρικής Ενέργειας	Εκπομπές Άνθρακα (gC/kWh)	Κόστος Παραγωγής (US ¢/kWh)
Ηλιακή Θερμική και Ηλιακές Φωτοβολταϊκές Εγκαταστάσεις	0	9-40
Λιθάνθρακας/Φυσικό Αέριο	100-300	5-7

Η μέγιστη πυκνότητα ισχύος του ηλιακού φωτός στη γη είναι περίπου 1kW/m^2 ανεξάρτητα από τη τοποθεσία. Η ηλιακή ακτινοβολία ανά μονάδα επιφάνειας κατά τη διάρκεια μιας χρονικής περιόδου ορίζεται ως *πυκνότητα ενέργειας ή ηλιακή ακτινοβολία*. Μετρούμενη σε οριζόντιο επίπεδο, η ετήσια ηλιακή ακτινοβολία μπορεί να ποικίλλει από περίπου $800\text{kWh/m}^2/\text{έτος}$ στη βόρεια Σκανδιναβία και τον Καναδά με μέγιστο τα $2.500\text{kWh/m}^2/\text{έτος}$ σε ορισμένες ξηρές περιοχές της ερήμου. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι για πολλές πρακτικές εφαρμογές η απόλυτη τιμή της ετήσιας ηλιακής ακτινοβολίας είναι λιγότερο σημαντική από ότι οι μεταβολές των μέσων μηνιαίων τιμών. Δεδομένου ότι η μέση πυκνότητα ισχύος της ηλιακής ακτινοβολίας είναι $100\text{-}300\text{ W/m}^2$ και η καθαρή αποδοτικότητα μετατροπής των εγκαταστάσεων είναι συνήθως 10% ή/και λιγότερη, παρατηρεί κανείς ότι χρειάζονται μεγάλες εκτάσεις για τη σύλληψη και τη

μετατροπή σημαντικών ποσών ηλιακής ενέργειας. Για παράδειγμα, για μία αποδοτικότητα του συστήματος εγκατάστασης 10%, απαιτούνται 3-10km² για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με μέσο όρο 100MW (δηλαδή 0,9TWh ή 3,2 PJε ετησίως) με τη χρήση φωτοβολταϊκού ή ηλιακού θερμικού ηλεκτρικού συστήματος. Το εύρος των συντελεστών αποδοτικότητας ενός σύγχρονου συστήματος ηλιακής ενέργειας είναι περίπου 10-20% [6].

Χαρακτηριστικό μειονέκτημα της ηλιακής ενέργειας είναι ότι δεν είναι διαθέσιμη επί 24ώρου βάσεως ή όταν ο ουρανός είναι συννεφιασμένος. Τους χειμερινούς μήνες η διαθέσιμη ενέργεια είναι μειωμένη, καθώς οι ημέρες είναι μικρότερες, οπότε έχουμε και λιγότερες ώρες ηλιοφάνειας. Επιπλέον, έχουμε περισσότερες νεφώσεις και οι ακτίνες του ήλιου πέφτουν λοξότερα στην επιφάνεια της γης και έτσι μειώνεται η απόδοση.

Γενικότερα, θα πρέπει να επισημανθεί ότι η διαθεσιμότητα της ηλιακής ακτινοβολίας είναι αντιστρόφως ανάλογη με τη ζήτηση ενέργειας. Αυτό συμβαίνει κυρίως τη νύχτα και όταν έχει συννεφιά όπου χρειαζόμαστε περισσότερο φωτισμό, καθώς επίσης και κατά τη διάρκεια των χειμερινών μηνών όπου οι ανάγκες για θέρμανση είναι αυξημένες [8]. Συνεπώς, μία σωστή προκαταρκτική αξιολόγηση των διαθέσιμων ηλιακών πόρων θα πρέπει να περιλαμβάνει τα ακόλουθα [6]:

- Δεδομένα εποχικής ηλιακής ακτινοβολίας με καθαρό ουρανό, με έμφαση στις πιθανές τοποθεσίες αλλά και στη μέση ετήσια ηλιακή ακτινοβολία.
- Δεδομένα για την απομόνωση του χώρου για την αξιολόγηση του οικονομικού δυναμικού του έργου της ηλιακής ενέργειας.
- Ανασκόπηση της έκτασης ή των επιφανειών που είναι διαθέσιμες για την εγκατάσταση των ηλιακών συστημάτων.
- Ενεργειακή υποδομή, πυκνότητα πληθυσμού, επισκόπηση γεωγραφικών συνθηκών.
- Τεχνικό δυναμικό ανάπτυξης του συγκεκριμένου ηλιακού έργου.

1.2.1 Κύριες τεχνολογίες ηλιακής ενέργειας

Κατά τη διάρκεια των τελευταίων δεκαετιών έχουν δημιουργηθεί αρκετές νέες εμπορικές βιομηχανίες οι οποίες παρέχουν ποικιλία τεχνολογιών ηλιακών συστημάτων, επιδεικνύοντας διάφορους τύπους τεχνολογίας με μεγάλη επιτυχία. Οι τεχνολογίες αυτές μπορούν να κατηγοριοποιηθούν ως ακολούθως [6]:

Συστήματα Ηλιακής Θερμότητας

- Η θερμική ηλιακή ενέργεια χαμηλής θερμοκρασίας (LTSE), η οποία χρησιμοποιείται κυρίως για τη θέρμανση νερού, αέρα ή άλλου μέσου, για οικιακή ή επαγγελματική χρήση. Το σύστημα αυτό αποτελείται από έναν ηλιακό συλλέκτη, μία συσκευή αποθήκευσης της θερμικής ενέργειας και από το απαραίτητο σύστημα διανομής.

- Οι αντλίες ηλιακής θερμότητας χρησιμοποιούνται για τη μετατροπή της διαθέσιμης ενέργειας που βρίσκεται στον περιβάλλοντα χώρο και έχει θερμανθεί από τον ήλιο σε χρήσιμη θερμότητα χαμηλής θερμοκρασίας.
- Ηλιακή αρχιτεκτονική, αυτή η παθητική ηλιακή ενέργεια έχει σχεδιαστεί για να μειώνει τη κατανάλωση ενέργειας για το διάστημα θέρμανσης, φωτισμού κλπ, χρησιμοποιώντας τη δομή της ίδιας της οικοδομής για συλλογή, διανομή και αποθήκευση ηλιακής ενέργειας.

Ηλιακή ηλεκτρική ενέργεια

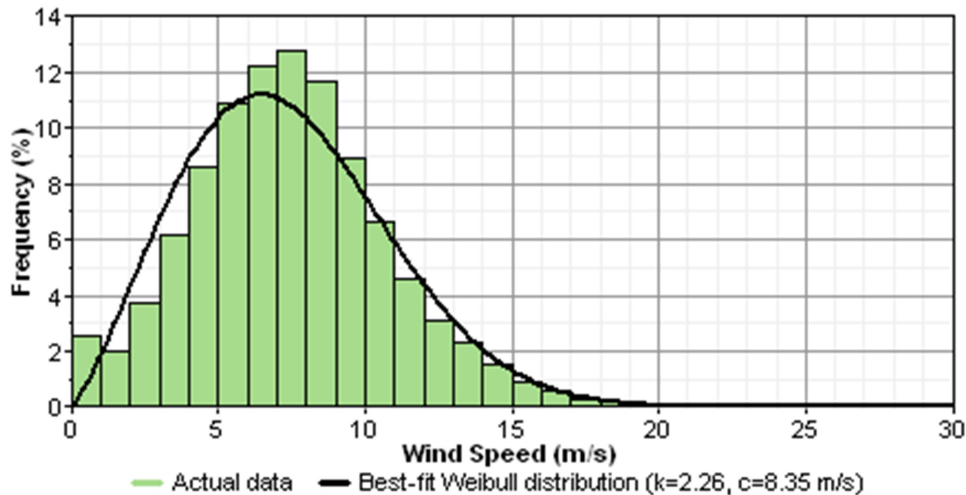
- Η φωτοβολταϊκή (PV) ηλιακή ενέργεια, είναι η άμεση μετατροπή του ηλιακού φωτός σε ηλεκτρική ενέργεια. Αυτό μπορεί να γίνει με τη χρήση μιας επίπεδης πλάκας και ενός συστήματος συγκέντρωσης ενέργειας. Οι ηλιακές μονάδες που χρησιμοποιούνται είναι ένας αριθμός ηλιακών κυψελών που συνδέονται σε σειρά. Η αποτελεσματικότητα των πρακτικών των ηλιακών κυψελών καθορίζεται από μια σειρά μηχανισμών απώλειας. Οι τυπικές μονάδες επίπεδης πλάκας επιτυγχάνουν αποδόσεις από 10 έως 15%. Τα φωτοβολταϊκά στοιχεία μπορεί να είναι λεπτού υμενίου, πολυκρυσταλλικά, μονοκρυσταλλικά αλλά και υβριδικά.
- Οι θερμικές ηλιακές εγκαταστάσεις, χρησιμοποιούνται για τη παραγωγή θερμότητας υψηλής θερμοκρασίας, η οποία μετατρέπεται σε ηλεκτρική ενέργεια. Οι συγκεκριμένες εφαρμοζόμενες τεχνολογίες είναι οι σταθμοί παραγωγής ηλιακής ενέργειας (SPPF), οι παραβολικές εγκαταστάσεις ηλιακής ενέργειας, το παραβολικό κάτοπτρο σε συνδυασμό με κινητήρες Stirling (ή Brayton ή Rankine) και ο κεντρικός δέκτης σε συνδυασμό με ηλιοστάτες (ξεχωριστά εστιασμένα κάτοπτρα). Το SPPF μπορεί να επιτύχει μια ηλεκτρική απόδοση της τάξης του 10%, ενώ σε συνδυασμό με το πιάτο Stirling μπορεί να επιτύχει απόδοση έως και 30%.

1.3 Αιολική Ενέργεια

Από τις τεχνολογίες ανανεώσιμων πηγών ενέργειας που εφαρμόζονται για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, η αιολική ενέργεια καταλαμβάνει τη δεύτερη θέση και βιώνει ταχεία ανάπτυξη. Ο άνεμος είναι ένας ευρέως διανεμημένος ενεργειακός πόρος και θα μπορούσε να πει κανείς ότι στην πραγματικότητα είναι μία δευτερεύουσα μορφή της ηλιακής ενέργειας, αφού για την ύπαρξη κίνησης του αέρα και κατ' επέκταση τη δημιουργία ανέμου θα πρέπει κάποιες αέριες μάζες να ζεσταθούν, να γίνουν ελαφρύτερες και να κινηθούν ανοδικά [8].

Οι παγκόσμιες αιολικές πηγές είναι άφθονες. Το παγκόσμιο δυναμικό αιολικής ενέργειας εκτιμάται ότι ανέρχεται στα 26.000 TWh/έτος, ενώ μπορεί να αξιοποιηθούν μόνο τα 9.000TWh/έτος εξαιτίας οικονομικών και άλλων λόγων [9]. Η διαθεσιμότητα του ανέμου ποικίλλει από περιοχή σε περιοχή, ενώ η μέση ταχύτητα ανέμου μπορεί να διαφέρει κατά 25% από έτος σε έτος. Στις περισσότερες περιοχές θα πρέπει να σημειωθεί ότι υπάρχουν σημαντικές εποχιακές διαφορές. Γενικά, οι ταχύτητες ανέμου είναι υψηλότερες κατά τη χειμερινή περίοδο, αν και πάντα υπάρχουν εξαιρέσεις. Στην Καλιφόρνια (ΗΠΑ) παραδείγματος χάρη, οι

καλοκαιρινοί άνεμοι είναι ισχυρότεροι λόγω της τοπικής τοπογραφίας και των επιπτώσεων της θαλάσσιας αύρας. Λόγω των εποχιακών διακυμάνσεων, το δυναμικό της αιολικής ενέργειας για τη παραγωγή ενέργειας μπορεί να είναι σημαντικά υψηλότερο από την ετήσια μέση ταχύτητα ανέμου. Επομένως, όχι μόνο η μέση ταχύτητα του ανέμου, αλλά και η κατανομή συχνότητας της μέση ταχύτητας ανέμου (κατανομή Weibull), θα πρέπει να ληφθεί υπόψιν προκειμένου να εκτιμηθεί η ποσότητα ηλεκτρικής ενέργειας που μπορεί να παραχθεί από τους αιολικούς στροβίλους κατά μέσο όρο σε μία περιοχή (**Διάγραμμα 1.1**).



Διάγραμμα 1.1 Παράδειγμα χρονικής κατανομής ταχυτήτων ανέμου ετήσιων μετρήσεων και σύγκρισή τους με την κατανομή Weibull.

(Πηγή: www.homerenergy.com)

Η ταχύτητα του ανέμου ποικίλλει ανάλογα με το ύψος, την τραχύτητα της επιφάνειας αλλά και τις ατμοσφαιρικές συνθήκες της περιοχής. Η αύξηση της ταχύτητας του ανέμου με το ύψος συνήθως περιγράφεται με όρους λογαριθμικής εξίσωσης. Οι ημερήσιες και ωριαίες μεταβολές της ταχύτητας του ανέμου είναι επίσης σημαντικές για τον προγραμματισμό και τη λειτουργία των συμβατικών σταθμών ηλεκτροπαραγωγής, αλλά και για τη προσαρμογή της παραγωγής στις εκάστοτε συνθήκες προκειμένου να αξιοποιηθούν οι διακυμάνσεις αυτές. Επιπλέον, όσον αφορά τη κλίμακα των λεπτών αλλά και των δευτερολέπτων, οι μεταβολές στην ταχύτητα του ανέμου είναι εξίσου σημαντικές για τους μελετητές καθώς επηρεάζουν τον βέλτιστο σχεδιασμό μιας ανεμογεννήτριας.

Οι αιολικοί πόροι μπορούν να αξιοποιηθούν κυρίως σε περιοχές όπου η πυκνότητα της αιολικής ενέργειας είναι τουλάχιστον 400W/m^2 στα 30 μέτρα πάνω από το έδαφος. Η αξιολόγηση περιλαμβάνει περιοχές όπου η ετήσια μέση πυκνότητα αιολικής ενέργειας υπερβαίνει τα $250\text{-}300\text{W/m}^2$ στα 50 μέτρα. Λόγω της ευαισθησίας του δυναμικού στην τιμή της ταχύτητας του ανέμου, ο προσδιορισμός συγκεκριμένων τοποθεσιών για έργα αιολικής ενέργειας θα εξαρτηθεί από ακριβείς μετεωρολογικές μετρήσεις, χάρτες αιολικής ενέργειας και εγχειρίδια, επιτόπιες μετρήσεις κλπ. Αξίζει να σημειωθεί ότι ακόμη και στις βέλτιστες τοποθεσίες, ο άνεμος δεν

φυσάει συνεχώς. Επομένως, δεν μπορεί ποτέ να επιτύχει συντελεστή απόδοσης 100%, αλλά στα περισσότερα συστήματα ο άνεμος είναι σε θέση να επιτύχει απόδοση 23-28%.

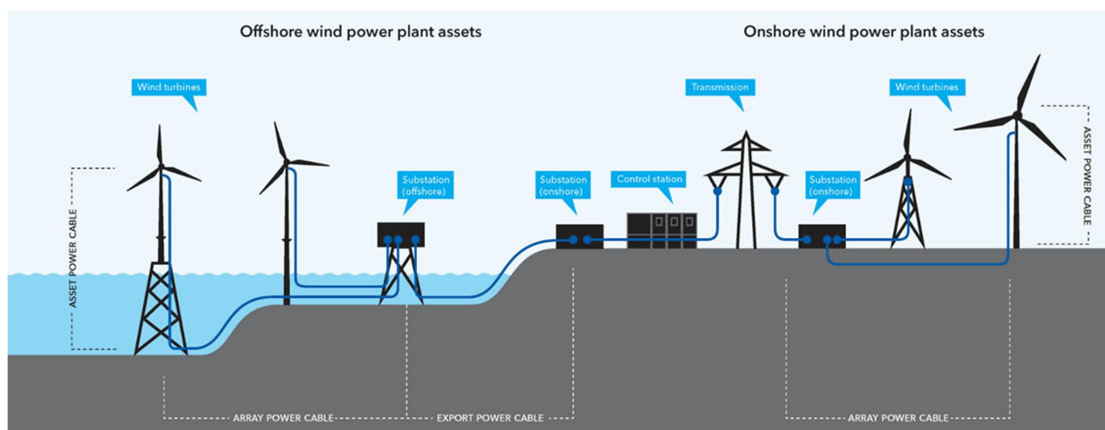
Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας αξιοποιώντας την ενέργεια που προσφέρεται από τον άνεμο, αποτελεί σήμερα μία ώριμη, ανταγωνιστική και ουσιαστικά χωρίς ρύπανση τεχνολογία που χρησιμοποιείται ευρέως σε πολλές περιοχές του κόσμου [10]. Για την ανάπτυξη ενός σωστού δικτύου κατά τη προκαταρκτική αξιολόγηση των πόρων του ανέμου θα πρέπει να περιλαμβάνονται τα εξής [6]:

- Χαρτογράφηση του ανέμου, η οποία εξαρτάται από τη φύση των περιφερειακών ροών ανέμου και τη πολυπλοκότητα του εδάφους,
- Αξιολόγηση δυναμικού περιοχής με βάση το μετεωρολογικό δυναμικό,
- Ανεύρεση αιολικής ενέργειας, αξιολόγηση όλων των παραπάνω δεδομένων και προετοιμασία ενημερωτικών δελτίων για την εκτέλεση του έργου (συμπεριλαμβανομένης και της αξιολόγησης κινδύνου),
- Αξιολόγηση εναλλακτικών ενεργειακών πόρων ή συνδυασμός με άλλους εναλλακτικούς πόρους.

Η αιολική ενέργεια μπορεί να αποδειχτεί καλή πρακτική για μικρές ενεργειακές ανάγκες απομακρυσμένων περιοχών, αλλά για μεγαλύτερη ευελιξία θα πρέπει να χρησιμοποιηθεί σε συνδυασμό με άλλες μεθόδους παραγωγής ενέργειας ώστε να εξασφαλιστεί η συνέχειά της [11]. Στις υποανάπτυκτες χώρες, οι οποίες πλήττονται από τη φτώχεια, η αιολική ενέργεια αποτελεί μία βιώσιμη πηγή ηλεκτρικής ενέργειας, καθώς μπορεί να εγκατασταθεί και να μεταδοθεί γρήγορα, ακόμη και στις πιο απομακρυσμένες, απρόσιτες και λοφώδεις περιοχές [12].

1.3.1 Ανεμογεννήτριες

Η μετατροπή της αιολικής ενέργειας σε ηλεκτρική πραγματοποιείται μέσω μηχανών οι οποίες ονομάζονται **ανεμογεννήτριες**, ενώ με τη χρήση πλήθους ανεμογεννητριών σε συστοιχία δημιουργούνται τα λεγόμενα **αιολικά πάρκα**. Τα αιολικά πάρκα δίνουν τη δυνατότητα παραγωγής μεγάλης ποσότητας ισχύος, επομένως μπορούν να λειτουργήσουν και ως μονάδα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.



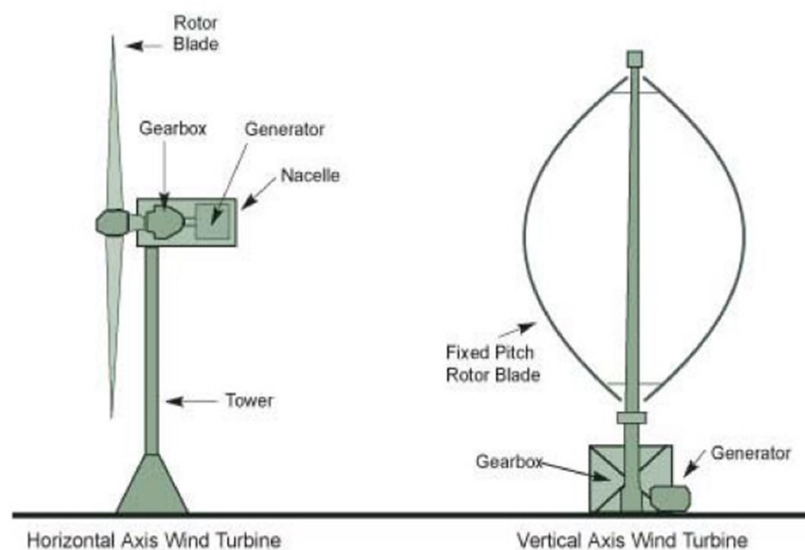
Εικόνα 1.1 Χερσαίες και υπεράκτιες ανεμογεννήτριες.

Η λειτουργία της ανεμογεννήτριας βασίζεται σε δύο στάδια. Σε πρώτο στάδιο τα πτερύγια της ανεμογεννήτριας παγιδεύουν την ενέργεια του αέρα καθώς είναι αεροδυναμικά σχεδιασμένα και τη μετατρέπουν σε περιστρεφόμενη μηχανική ισχύ. Στη συνέχεια, σε δεύτερο στάδιο επιτυγχάνεται η μετατροπή της μηχανικής ενέργειας σε ηλεκτρική, μέσω γεννήτριας. Τέλος, η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια από τις ανεμογεννήτριες μπορεί είτε να καταναλωθεί επιτόπου, είτε εγχέεται και διοχετεύεται στο ηλεκτρικό δίκτυο. Επιπλέον, όταν η παραγωγή ρεύματος είναι μεγαλύτερη από την εκάστοτε ζήτηση, συχνά αποθηκεύεται για να χρησιμοποιηθεί αργότερα.

Κατά καιρούς έχουν σχεδιαστεί και κατασκευαστεί αρκετές συσκευές για τη παραγωγή αιολικής ενέργειας. Οι συσκευές αυτές διακρίνονται κυρίως σε δύο βασικούς τύπους:

- α) κατακόρυφου άξονα περιστροφής, και
- β) οριζόντιου άξονα περιστροφής.

Οι ανεμογεννήτριες **κατακόρυφου άξονα** (*VAWT-Vertical Axis Wind Turbine*), έχουν τον άξονα περιστροφής τους κάθετα στην κατεύθυνση του ανέμου και έτσι διαθέτουν το πλεονέκτημα της ανεξαρτησίας ως προς τη ρύθμιση του δρομέα με την αλλαγή της κατεύθυνσης του ανέμου. Καθώς οι δυνάμεις που αναπτύσσονται στα πτερύγια αυτών των ανεμογεννητριών μπορεί να είναι μεγάλες, το ιδανικό πτερύγιο έχει σχήμα σχεδόν παραβολικό, το οποίο μεταφέρει τη φυγόκεντρο δύναμη από τα πτερύγια στον κεντρικό άξονα. Αυτό το είδος πτερυγίων εφαρμόζεται κυρίως σε μεγάλες ανεμογεννήτριες, οι οποίες αναπτύσσουν ιδιαίτερα υψηλές ταχύτητες περιστροφής, προκειμένου να μην αστοχήσουν. Χαρακτηριστικό μειονέκτημα αυτού του τύπου ανεμογεννητριών αποτελεί η μείωση της ακτίνας των πτερυγίων στην βάση αλλά και στη κορυφή του άξονα (**Εικόνα 1.2**). Συνεπώς, τα μέρη αυτά λόγω της μικρής διαμέτρου τους, έχουν χαμηλή ταχύτητα περιστροφής και επομένως δεν παράγουν σχεδόν καθόλου ισχύ [13].

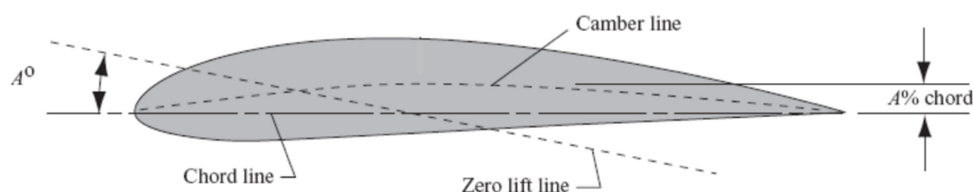


Εικόνα 1.2 Σχηματική απεικόνιση ανεμογεννητριών οριζόντιου και κάθετου άξονα περιστροφής.

Οι ανεμογεννήτριες **οριζόντιου άξονα** (*HAWT-Horizontal Axis Wind Turbine*), είναι αυτές που χρησιμοποιούνται ευρέως και πρέπει να τοποθετηθούν με τέτοιο τρόπο ώστε ο άξονας να είναι παράλληλος με τη διεύθυνση του ανέμου. Αυτός ο τύπος ανεμογεννήτριας είναι ικανός να προσαρμόζεται μέσω του συστήματος περιστροφής προκειμένου το μπροστινό μέρος του ρότορα να είναι κάθε στιγμή κάθετο προς τη κατεύθυνση του ανέμου. Έτσι, η επιφάνεια του δρομέα μπορεί να μετακινηθεί στην κατεύθυνση που εντοπίζεται η μέγιστη ταχύτητα ανέμου [13]. Οι ανεμογεννήτριες οριζόντιου άξονα διαθέτουν συνήθως δύο ή τρία πτερύγια τύπου έλικας, ενώ το 75% των ανεμογεννητριών εντοπίστηκε πως έχουν τρία [1].

Καθώς σκοπός των περισσότερων ανεμογεννητριών είναι να εξάγουν όσο το δυνατόν περισσότερη ενέργεια από τον άνεμο, θα πρέπει κάθε στοιχείο του στροβίλου να βελτιστοποιηθεί για το σκοπό αυτό. Τα κύρια τμήματα από τα οποία αποτελείται μία ανεμογεννήτρια όπως φαίνονται και στην **Εικόνα 1.2**, είναι τα ακόλουθα:

1. **Δρομέας ή πτερωτή (rotor)**, ο οποίος αποτελείται από τα πτερύγια τα οποία είναι συνήθως κατασκευασμένα από PVC. Όπως παρατηρεί κανείς και στην εικόνα το μπροστινό άκρο του πτερυγίου είναι στρογγυλεμένο, ενώ το πίσω μέρος είναι κωνικό ούτω ώστε να προσεγγίζει τα αντίστοιχα πτερύγια του κινητήρα των αεροπλάνων.



Εικόνα 1.3 Σχηματική απεικόνιση πτερυγίων ανεμογεννήτριας οριζόντιου άξονα.

(Πηγή: Swati, 2013)

2. **Γέφυρα (nacelle)**, η οποία είναι ένα περίβλημα το οποίο περιέχει όλα τα στοιχεία που είναι απαραίτητα για την αποτελεσματική λειτουργία του στροβίλου. Είναι τοποθετημένη στη κορυφή του πύργου και περιλαμβάνει το κιβώτιο ταχυτήτων, τους άξονες χαμηλής και υψηλής ταχύτητας, τη γεννήτρια, τον ελεγκτή και τα φρένα. Επιπλέον, στη γέφυρα τοποθετούνται ένα ανεμόμετρο υπολογισμού ταχύτητας και ένας ανεμοδείκτης. Ο **κύριος άξονας (main shaft)**, αποτελεί κύριο μέρος για τη μετάδοση της παραγόμενης ισχύος. Είναι κατασκευασμένος από ειδικό ενισχυμένο χάλυβα, και περνάει μέσα από τον πύργο χρησιμοποιώντας ρουλεμάν για να εξασφαλιστεί η ομαλή περιστροφή. Στο ένα άκρο του ο κύριος άξονας είναι συνδεδεμένος με τη πλήμνη, ενώ στο άλλο άκρο με το κιβώτιο ταχυτήτων. Ο κύριος άξονας ονομάζεται επίσης και **άξονας χαμηλής ταχύτητας** καθώς περιστρέφεται σε χαμηλές ταχύτητες. Ο **άξονας της γεννήτριας (generator shaft)**, συνδέεται την έξοδο του κιβωτίου ταχυτήτων με την είσοδο της γεννήτριας. Περιστρέφεται σε πολύ

υψηλή ταχύτητα η οποία ισούται με την ονομαστική ισχύ της γεννήτριας. Ονομάζεται επίσης και άξονας υψηλής ταχύτητας. Το **κιβώτιο ταχυτήτων (gear box)**, χρησιμοποιείται στα συστήματα αιολικής ενέργειας για την αλλαγή της χαμηλής ταχύτητας υψηλής ισχύος που προέρχεται από τα πτερύγια σε υψηλή ταχύτητα χαμηλής ροπής που χρησιμοποιείται για τη γεννήτρια. Συνδέεται μεταξύ του κύριου άξονα και του άξονα της γεννήτριας για να αυξάνει την ταχύτητα περιστροφής από περίπου 30-60 rpm σε περίπου 1000-1800rpm. Τα κιβώτια ταχυτήτων που χρησιμοποιούνται για τις ανεμογεννήτριες, κατασκευάζονται από κράματα αλουμινίου ανώτερης ποιότητας, ανοξείδωτο χάλυβα, χυτοσίδηρο κλπ. Η **γεννήτρια (generator)**, συνδέεται μέσω του άξονα της γεννήτριας με το κιβώτιο ταχυτήτων. Λειτουργεί με βάση την αρχή του νόμου της ηλεκτρομαγνητικής επαγωγής του Faraday, και μετατρέπει τη μηχανική ενέργεια σε ηλεκτρική.

3. **Πύργος (tower)**, ο οποίος είναι κατασκευασμένος από σωληνωτό χάλυβα, σκυρόδεμα ή χαλύβδινο πλέγμα και στηρίζει την γέφυρα και τη πλήμνη του ρότορα στην κορυφή του. Το ύψος του πύργου είναι πολύ σημαντικό κατά το σχεδιασμό μιας ανεμογεννήτριας. Επειδή η ταχύτητα του ανέμου αυξάνεται με το ύψος, οι ψηλότεροι πύργοι επιτρέπουν στους στρόβιλους να συλλάβουν περισσότερη ενέργεια και να παράγουν περισσότερο ηλεκτρισμό.
4. **Βάση (foundation)**, η οποία θα πρέπει να προσφέρει πολύ καλή θεμελίωση για την υποστήριξη του πύργου και των υπόλοιπων μερών της καθώς ζυγίζει τόνους.

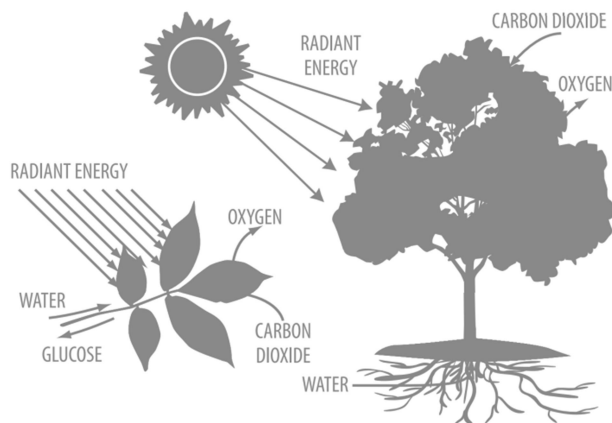
1.4 Βιοενέργεια

Η βιομάζα μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως υποκατάστατο των ορυκτών καυσίμων για τη παραγωγή ανανεώσιμης ηλεκτρικής ενέργειας, θερμικής ενέργειας ή βιοκαύσιμα. Με τον όρο **βιομάζα**, ορίζεται το σύνολο της μάζας των ζωντανών οργανισμών, των υπολειμμάτων και των αποβλήτων τους σε μία περιοχή ή ένα οικοσύστημα [14].

Ένα ευρύ φάσμα πηγών βιομάζας μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη παραγωγή βιοενέργειας σε διάφορες μορφές. Για παράδειγμα, τρόφιμα, ίνες και υπολείμματα επεξεργασίας ξύλου από τον βιομηχανικό τομέα, ενεργειακές καλλιέργειες, γεωργικά απόβλητα, υπολείμματα δασών και άλλα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας ή θερμότητας καθώς και άλλων μορφών ενέργειας.

Η παραδοσιακή βιομάζα, συμπεριλαμβανομένων των καυσόξυλων, το κάρβουνο και τη κοπριά ζώων, εξακολουθούν μέχρι και σήμερα να αποτελούν σημαντικές πηγές βιοενέργειας σε πολλά μέρη του κόσμου. Μέχρι σήμερα, η καύση του ξύλου αντιπροσωπεύει τη πιο κοινή πηγή βιοενέργειας και όχι μόνο στις λιγότερο ανεπτυγμένες περιοχές.

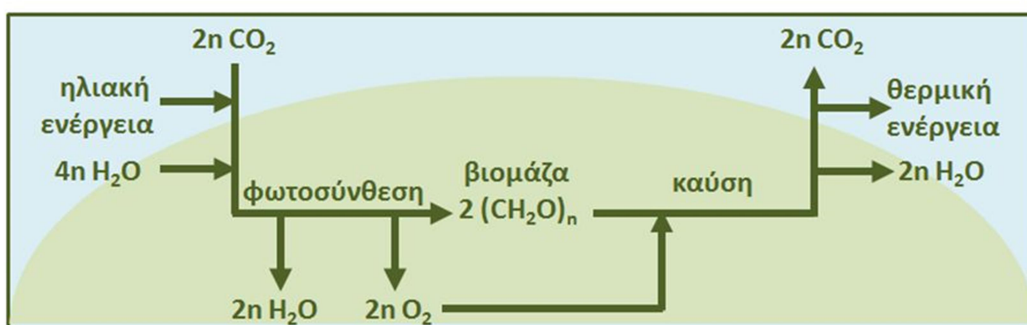
Η σύγχρονη βιοενέργεια βασίζεται στην αποδοτική μετατροπή διαφόρων τεχνολογιών προκειμένου να δεχτούν αυτή τη μορφή ενέργειας και μπορεί να έχει εφαρμογή σε οικιακές, μικρές αλλά και βιομηχανικές κλίμακες.



Εικόνα 1.4 Διαδικασία μετατροπής ηλιακής ακτινοβολίας σε χημική ενέργεια υπό τη μορφή γλυκόζης, φωτοσύνθεση

(Πηγή: NEED, 2015)

Ουσιαστικά, η βιομάζα ως πηγή ενέργειας, περιέχει την ηλιακή ενέργεια που απορροφούν τα φυτά αποθηκευμένη με τη μορφή της ενέργειας των χημικών δεσμών στην οργανική τους ύλη. Η διάρρηξη των χημικών δεσμών με ελεγχόμενες αντιδράσεις χώνευσης ή καύσης, οδηγεί στην απελευθέρωση της αρχικά αποθηκευμένης ηλιακής ενέργειας με τη μορφή εκμεταλλεύσιμης θερμικής ενέργειας, η οποία επίσης είναι ελεγχόμενη. Αξίζει να σημειωθεί ότι, το διοξείδιο του άνθρακα που εκλύεται στην ατμόσφαιρα κατά τη διάρκεια των διεργασιών που αναφέρθηκαν, είναι ποσοτικά ίσο με το διοξείδιο του άνθρακα που είχε δεσμευτεί αρχικά από το φυτό (Εικόνα 1.5).



Εικόνα 1.5 Ο κύκλος του διοξειδίου του άνθρακα κατά το σχηματισμό και την ενεργειακή αξιοποίηση της βιομάζας.

(Πηγή: Πανελλήνιος Σύλλογος Χημικών Μηχανικών, 2014)

Συνεπώς, η ενεργειακή αξιοποίηση της βιομάζας δεν επιφέρει κάποιο αρνητικό αποτέλεσμα καθώς δε συνεισφέρει στην αύξηση του ατμοσφαιρικού διοξειδίου του άνθρακα. Επιπλέον, η

ενέργεια που παράγεται από βιομάζα ανανεώνεται διαρκώς μέσω της βιοχημικής δέσμευσης νέων ποσοτήτων ηλιακής ενέργειας και ατμοσφαιρικού διοξειδίου. Για τους λόγους που αναφέρθηκαν ανωτέρω, η βιομάζα συγκαταλέγεται στις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας [14].

1.4.1 Κατηγορίες και τύποι βιομάζας

Η βιομάζα μπορεί να χρησιμοποιηθεί τόσο σε στερεή όσο και σε υγρή μορφή ούτως ώστε να μετατραπεί σε χρήσιμες μορφές βιοενέργειας. Σε αυτές περιλαμβάνονται τα **στερεά καύσιμα**, όπως η ξυλώδης βιομάζα, η αγρωστώδης βιομάζα, οι πελλέτες κ.α., τα **υγρά καύσιμα**, όπως η βιο-αιθανόλη, το βιο-ντίζελ και το βιο-έλαιο, τα **αέρια καύσιμα**, όπως το βιοαέριο, το αέριο σύνθεσης, ή το υδρογόνο ή την θερμότητα που λαμβάνεται απευθείας κατά τη διαδικασία παραγωγής τους. Οι ερευνητές χαρακτηρίζουν τους διάφορους τύπους βιομάζας με διαφορετικούς τρόπους, ένας απλός τρόπος είναι να οριστούν οι τέσσερις κύριοι τύποι [15]:

- Ξυλώδη φυτά,
- Ποώδη φυτά/ χόρτα,
- Υδρόβια φυτά, και
- Λιπάσματα

Στον πίνακα που ακολουθεί, αναλύονται εκτενώς οι διάφορες κατηγορίες και τύποι βιομάζας (Πίνακας 1.4).

Πίνακας 1.4 Κατηγορίες και τύποι βιομάζας (Πηγή: Πανελλήνιος Σύλλογος Χημικών Μηχανικών, 2014)

A. Αγροτική Βιομάζα

Από ενεργειακές καλλιέργειες	
ξυλώδης	Δενδρώδεις ενεργειακές καλλιέργειες (ακακία, λεύκα, ιτιά, ευκάλυπτος κ.α.) για τη παραγωγή λιγνινο-κυτταρινικής βιομάζας, βιομάζα με υψηλή περιεκτικότητα λιγνίνης και χαμηλή υγρασία κατάλληλη για καύση και άλλες θερμοχημικές διεργασίες ή βιοκαύσιμα 2 ^{ης} γενιάς.
	Χορτώδεις ενεργειακές καλλιέργειες (μίσχανθος, καλάμι, αγριαγκινάρα κ.α.) για τη παραγωγή λιγνινο-κυτταρινικής βιομάζας, βιομάζα με χαμηλή περιεκτικότητα λιγνίνης και χαμηλή υγρασία κατάλληλη για καύση και άλλες θερμοχημικές διεργασίες ή βιοκαύσιμα 2 ^{ης} γενιάς.
Υγρή αγρωστώδης	Χορτώδεις ενεργειακές καλλιέργειες (κυρίως ενεργειακός αραβόσιτος) για τη παραγωγή λιγνινο-κυτταρινικής βιομάζας, βιομάζα με χαμηλή περιεκτικότητα λιγνίνης και χαμηλή υγρασία κατάλληλη για καύση και άλλες θερμοχημικές διεργασίες ή βιοκαύσιμα 2 ^{ης} γενιάς.
Σακχάρων/άμυλου	Ενεργειακές καλλιέργειες για την παραγωγή βιομάζας πλούσιας σε σάκχαρα (σακχαρούχο σόργο, ζαχαρότευτλα) ή άμυλο (αραβόσιτος και άλλα δημητριακά) κατάλληλες για τη παραγωγή βιο-αιθανόλης.
Ελαίων	Ενεργειακές καλλιέργειες σπόρων πλούσιων σε έλαια (ελαιοκράμβη, ηλιάνθος κ.α.), για την παραγωγή βιοντίζελ και υδρογονωμένων ελαίων.
Από αγροτικά υπολείμματα	

Αγρωστώδης	Υπολείμματα ετήσιων καλλιεργειών (άχυρα, υπολείμματα αραβόσιτου, βαμβακιού, καπνού κ.α.) για την παραγωγή λιγνινο-κυτταρινικής βιομάζας, βιομάζα με χαμηλή περιεκτικότητα λιγνίνης και χαμηλή υγρασία κατάλληλη για καύση και άλλες θερμοχημικές διεργασίες ή βιοκαύσιμα 2 ^{ης} γενιάς (στην κατηγορία αυτή εμπίπτει και η βιομάζα από μόνιμους βοσκοτόπους και χορτολιβαδικές εκτάσεις)
Ξυλώδης	Υπολείμματα δενδρωδών πολυετών καλλιεργειών (κλάδεμα ελιάς, αμπελιών, οπωροφόρων κ.α.) για την παραγωγή λιγνινο-κυτταρινικής βιομάζας, βιομάζα με υψηλή περιεκτικότητα λιγνίνης και χαμηλή υγρασία κατάλληλη για καύση και άλλες θερμοχημικές διεργασίες ή βιοκαύσιμα 2 ^{ης} γενιάς.
Από ζωικά απόβλητα	
Ξηρή	Απόβλητα πτηνοτροφίας και αμνοεριφίων, χαμηλής περιεκτικότητας σε υγρασία, κατάλληλα για χώνευση προς βιοαέριο αλλά και καύση ή άλλες θερμοχημικές διεργασίες.
Υγρή	Απόβλητα βοοειδών και χοίρων με υψηλή περιεκτικότητα σε υγρασία κατάλληλα για χώνευση προς βιοαέριο.
Β. Δασική Βιομάζα	
Από την άμεση δασική παραγωγή	
Υφιστάμενη	Κορμοί για την παραγωγή οικοδομικής ξυλείας, επίπλων και άλλων αντικειμένων ή χαρτιού, αν και δυνάμει βιομαζικά καύσιμα λιγνινοκυτταρινικής βιομάζας με υψηλή περιεκτικότητα λιγνίνης (κατάλληλη για καύση και άλλες θερμοχημικές διεργασίες ή βιοκαύσιμα 2 ^{ης} γενιάς) η παραγωγή τους καθορίζεται από τη ζήτηση για μη ενεργειακές χρήσεις (οικοδομική ξυλεία, έπιπλα κ.α.) και δεν προσμετρούνται στο δυναμικό βιομάζας.
Συμπληρωματική	Δυνητική επιπλέον παραγωγή κορμών, η οποία να υπερβαίνει τη ζήτηση μη ενεργειακών χρήσεων και να προορίζεται για ενεργειακούς σκοπούς, εντός των ορίων ανανεώσιμης εκμετάλλευσης των δασών, λιγνινοκυτταρινική βιομάζα με υψηλή περιεκτικότητα λιγνίνης (κατάλληλη για καύση και άλλες θερμοχημικές διεργασίες ή βιοκαύσιμα 2 ^{ης} γενιάς).
Από υπολείμματα υλοτομίας και βιομηχανίας ξύλου	
Πρωτογενή	Υπολείμματα υλοτομίας εντός των δασικών περιοχών, αποτελούμενα από τις βάσεις δέντρων και το τμήμα της ρίζας που μπορεί να εξαχθεί από το έδαφος, το επάνω λεπτό μέρος του κορμού, τα κλαδιά και τα φύλλα, η απομάκρυνσή τους από το δάσος πρέπει να εμπίπτει στους όρους ανανεώσιμης υλοτομίας, λιγνινοκυτταρινική βιομάζα με υψηλή περιεκτικότητα λιγνίνης (κατάλληλη για καύση και άλλες θερμοχημικές διεργασίες ή βιοκαύσιμα 2 ^{ης} γενιάς).
Δευτερογενή	Υπολείμματα της επεξεργασίας και της βιομηχανίας ξύλου (φλοιοί, ακατάλληλα τεμάχια ξύλου, ροκανίδια, πριονίδια, ξυλοσκόνη), λιγνινοκυτταρινική βιομάζα με υψηλή περιεκτικότητα λιγνίνης (κατάλληλη για καύση και άλλες θερμοχημικές διεργασίες ή βιοκαύσιμα 2 ^{ης} γενιάς).
Τριτογενή	Ξύλο από κατεδαφίσεις και αστικά απορρίμματα ξύλου, λιγνινοκυτταρινική βιομάζα με υψηλή περιεκτικότητα λιγνίνης (κατάλληλη για καύση και άλλες θερμοχημικές διεργασίες ή βιοκαύσιμα 2 ^{ης} γενιάς).
Γ. Απόβλητα	
Πρωτογενή	Ξυλώδης ή χορτώδης βιομάζα από τη διαχείριση κήπων, πάρκων και νησίδων ή παριών αστικών και εθνικών οδών.

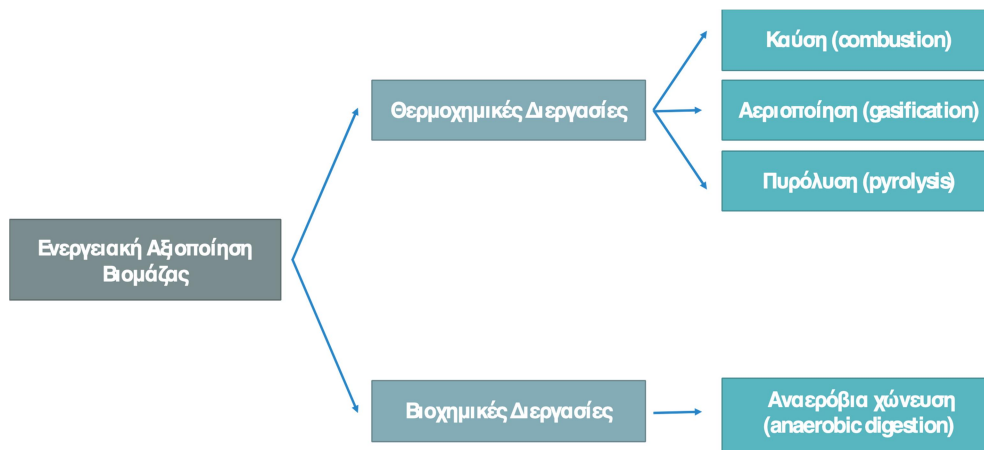
Δευτερογενή	Απόβλητα βιομηχανιών τροφίμων ποικίλης φύσης (υγρά απόβλητα κατάλληλα για χώνευση προς βιοαέριο, ελαιοπυρήνες, περιβλήματα ξηρών καρπών, απόβλητα εκκοκκιστηρίων κ.α., ειδικά τα λίπη σφαγείων και το έλαιο από σπόρους βαμβακιού μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη παραγωγή βιοντίζελ)
Τριτογενή	Ιλύς αστικών αποβλήτων (υψηλής υγρασίας κατάλληλη για αναερόβια χώνευση προς βιοαέριο ή χαμηλής υγρασίας για καύση σε άλλες θερμοχημικές διεργασίες), οργανικό κλάσμα αστικών απορριμμάτων (ζυμώσιμο προς χώνευση για παραγωγή βιοαερίου ή μη ζυμώσιμο χαμηλής υγρασίας και ξυλώδης προς καύση ή θερμοχημική αξιοποίηση), χρησιμοποιημένα έλαια προς βιοντίζελ ή υδρογόνωση κ.α.

1.4.2 Διεργασίες Ενεργειακής Αξιοποίησης Βιομάζας

Προκειμένου να αναλυθεί η χρήση της βιομάζας για τη παραγωγή ενέργειας, είναι σημαντικό να οριστούν τρία βασικά στοιχεία της παραγωγικής διαδικασίας [16]:

1. **Απόθεμα Βιομάζας (biomass feedstocks)**, έρχεται σε διάφορες μορφές με διαφορετικές ιδιότητες οι οποίες έχουν αντίκτυπο στη χρήση τους για τη παραγωγή ενέργειας.
2. **Μετατροπή Βιομάζας (biomass conversion)**, είναι η διαδικασία κατά την οποία μετατρέπονται οι πρώτες ύλες βιομάζας σε ενεργειακή μορφή που δύναται να χρησιμοποιηθεί για τη παραγωγή θερμικής ή/και ηλεκτρικής ενέργειας.
3. **Τεχνολογίες παραγωγής ενέργειας (power generation technologies)**, υπάρχει ένα ευρύ φάσμα διαθέσιμων εμπορικών αποδεδειγμένων τεχνολογιών παραγωγής ισχύος που δέχονται ως εισροή τη βιομάζα και μπορούν να χρησιμοποιηθούν.

Η πηγή και η βιωσιμότητα του αποθέματος της βιομάζας είναι ζωτικής σημασίας για την οικονομική επιτυχία του έργου παραγωγή ενέργειας. Όπως εξετάστηκε και ανωτέρω, υπάρχει μεγάλη ποικιλία διαθέσιμων πρώτων υλών βιομάζας. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον για την ποιότητα της βιομάζας παρουσιάζουν η ενέργεια που περιέχεται, η τέφρα και η περιεκτικότητα σε υγρασία καθώς και η ομοιογένεια που υπάρχει. Τα χαρακτηριστικά αυτά είναι πολύ σημαντικά και είναι αυτά που θα καθορίσουν το κόστος της πρώτης ύλης ανά μονάδα ενέργειας, τη μεταφορά, την προεπεξεργασία που θα υποστεί, το κόστος αποθήκευσης, αλλά και την καταλληλότητα για τις διαφορετικές τεχνολογίες μετατροπής.



Διάγραμμα 1.2 Διεργασίες ενεργειακής αξιοποίησης βιομάζας (Πηγή: Ίδια Επεξεργασία)

Η βιοενέργεια, μπορεί να μετατραπεί σε χρήσιμη μορφή ενέργειας μέσω θερμοχημικών διεργασιών (δηλαδή, καύση, αεριοποίηση και πυρόλυση) ή βιοχημικών διεργασιών (όπως η αναερόβια χώνευση). Σε συνέχεια της ενότητας, θα περιγραφούν συνοπτικά οι διεργασίες που προαναφέρθηκαν.

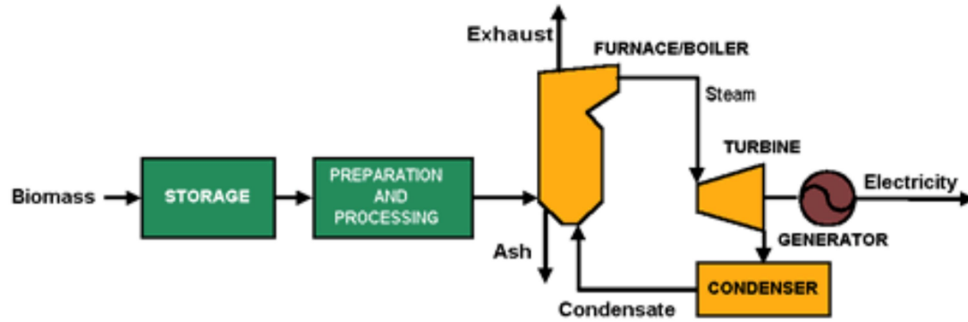
ΘΕΡΜΟΧΗΜΙΚΕΣ ΔΙΕΡΓΑΣΙΕΣ

Καύση (combustion)

Για τη διεργασία αυτή χρησιμοποιείται ο συμβατικός κύκλος Rankine. Η καύση (οξείδωση) της βιομάζας πραγματοποιείται σε έναν λέβητα, στον οποίο παράγεται ατμός υψηλής πίεσης. Ο ατμός αυτός ρέει σε μια σειρά από αεροδυναμικά πτερύγια τα οποία προκαλούν τη περιστροφή ενός στρόβιλου, ο οποίος με τη σειρά του μετατρέπει μέσω μίας συνδεδεμένης ηλεκτρικής γεννήτριας την περιστροφική κίνηση σε ηλεκτρική ενέργεια [17].

Συμπυκνωμένες μορφές βιομάζας, όπως πελλέτες μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν για καύση. Το σύστημα αυτό είναι γνωστό ως σύστημα άμεσης καύσης και είναι παρόμοιο με τη διαδικασία παραγωγής ηλεκτρισμού των περισσότερων σταθμών ηλεκτροπαραγωγής που χρησιμοποιούν ως καύσιμο ορυκτά καύσιμα. Οι καθαρές αποδόσεις του κύκλου ισχύος που μπορούν να επιτευχθούν είναι περίπου 23-25% [16]. Το αέριο που εκλύεται από τον ατμοστρόβιλο μπορεί να είναι είτε πλήρως συμπυκνωμένο για τη παραγωγή ενέργειας, είτε χρησιμοποιείται μερικώς ή/και πλήρως για άλλες δραστηριότητες θέρμανσης.

Direct Combustion / Steam Turbine System



Εικόνα 1.6 Σύστημα άμεσης καύσης (σύστημα ατμοστρόβιλου Rankine) (Πηγή: US. Department of Energy)

Εκτός από την αποκλειστική χρήση της βιομάζας που προέρχεται από τον ατμοστρόβιλο, μπορεί επιπλέον να συνδυαστεί και με άλλες τεχνολογίες. Έτσι, η βιομάζα μπορεί επίσης να καεί σε συνδυασμό με άνθρακα σε ένα λέβητα μιας συμβατικής μονάδας παραγωγής ενέργειας. Η ταυτόχρονη καύση βιομάζας και άνθρακα αποτελεί σήμερα την πιο αποδοτική μέθοδο, ενσωματώνοντας την τεχνολογία των ανανεώσιμων πηγών ενέργεια στη συμβατική παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Η διαδικασία αυτή είναι ιδιαίτερα δημοφιλής καθώς μεγάλο μέρος των υποδομών ηλεκτροπαραγωγής που προϋπάρχουν μπορούν να χρησιμοποιηθούν χωρίς μεγάλες τροποποιήσεις.

Η συν-καύση άνθρακα και βιομάζας σε μεγάλης κλίμακας εργοστάσια έχει παρατηρηθεί ότι έχει σημαντικά υψηλότερη απόδοση (έως και 45%) από τις μονάδες που χρησιμοποιούν αποκλειστικά τη βιομάζα. Σύμφωνα με το Υπουργείο ενέργειας των ΗΠΑ, και το Συμβούλιο Ερευνών για τη χρήση του άνθρακα, ο συμβατικός κονιοποιημένος άνθρακας σε σύγχρονες εγκαταστάσεις μπορεί να έχει απόδοση έως και 50% και έχουν δυνατότητα να επιτύχουν απόδοση 70-80% με την εφαρμογή σύγχρονων τεχνολογιών αεριοποίησης.

Αεριοποίηση (gasification)

Μέσω της διαδικασίας της αεριοποίησης, η στερεή βιομάζα μετατρέπεται σε αέριο καύσιμο ή βιοαέριο. Οι αεριοποιητές βιομάζας λειτουργούν με θέρμανση της βιομάζας σε περιβάλλον με ανοξικές συνθήκες, υψηλής θερμοκρασίας προκειμένου να διασπαστεί για να απελευθερώσει ένα εύφλεκτο, πλούσιο σε ενέργεια αέριο σύνθεσης. Το αέριο που προκύπτει είναι ένα μείγμα μονοξειδίου του άνθρακα, νερού, CO₂, πίσσας και υδρογόνου. Η διοχέτευση του βιοαερίου μπορεί να πραγματοποιηθεί σε κινητήρες εσωτερικής καύσης, μικροστρόβιλους, κυψέλες καυσίμου αλλά και αεριοστρόβιλους. Κατά τη χρήση του σε στρόβιλους και κυψέλες καυσίμου επιτυγχάνονται υψηλότερες ηλεκτρικές αποδόσεις από τις αντίστοιχες των ατμοστρόβιλων.

Επιπλέον, το παραγόμενο αέριο δύναται να φιλτραριστεί ώστε να απομακρυνθούν οι ανεπιθύμητες χημικές ενώσεις, προκειμένου να χρησιμοποιηθεί σε αποδοτικά συστήματα παραγωγής ισχύος, τα γνωστά ως 'συνδυασμένου κύκλου'. Τα συστήματα αυτά μπορούν να συνδυάσουν ατμοστρόβιλους και αεριοστρόβιλους για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με

απόδοση έως και 60%. Γενικότερα, η ενέργεια στα συστήματα αυτά μπορεί να παραχθεί είτε άμεσα (δηλαδή, βιομάζα και άνθρακας αεριοποιούνται μαζί), είτε έμμεσα (δηλ, αεριοποίηση άνθρακα και βιομάζας ξεχωριστά για χρήση σε αεριοστροβίλους) [16].

Πυρόλυση (pyrolysis)

Η πυρόλυση αποτελεί ένα υποσύνολο του συστήματος της αεριοποίησης. Η βιομάζα θερμαίνεται απουσία αέρα ή με τη μερική καύση ενός μέρους αυτής, ενώ παράλληλα τροφοδοτείται περιορισμένη ποσότητα αέρα ή οξυγόνου. Η μερική καύση της βιομάζας πρέπει να σταματήσει σε χαμηλές θερμοκρασίες (450°C - 600°C), έχοντας ως αποτέλεσμα τη δημιουργία διαφόρων προϊόντων όπως, αέρια, ατμοί, υγρά έλαια και στερεά πίσσα. Η σύνθεση των προϊόντων αυτών εξαρτάται από διάφορες παραμέτρους όπως η θερμοκρασία, ο τύπος της πρώτης ύλης που δέχεται την κατεργασία καθώς επίσης και από τη διαδικασία που εφαρμόζεται. Το έλαιο της πυρόλυσης μπορεί στη συνέχεια να χρησιμοποιηθεί ως καύσιμο για τη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

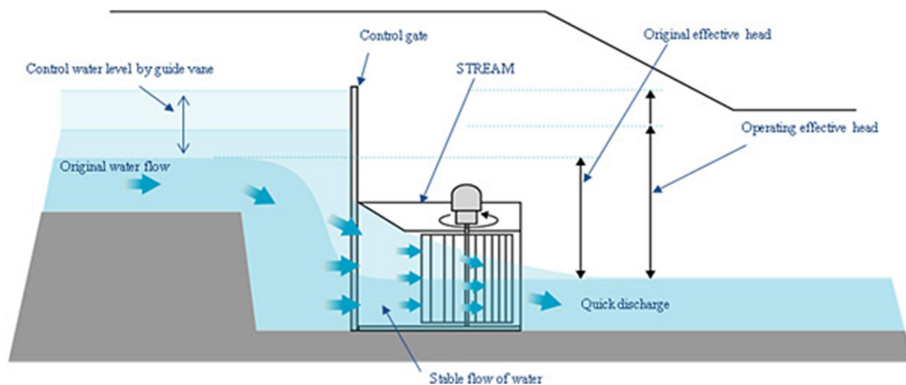
ΒΙΟΧΗΜΙΚΕΣ ΔΙΕΡΓΑΣΙΕΣ

Αναερόβια Χώνευση (anaerobic digestion)

Η αναερόβια χώνευση είναι μία διαδικασία που λαμβάνει χώρα σχεδόν σε οποιοδήποτε βιολογικό υλικό που αποσυντίθεται και ευνοείται από τις θερμές, υγρές και χωρίς αέρα συνθήκες. Το τελικό προϊόν αυτής της διεργασίας είναι βιοαέριο που περιέχει μεγάλη ποσότητα μεθανίου αλλά και διοξειδίου του άνθρακα. Το βιοαέριο μπορεί να χρησιμοποιηθεί, μετά τον καθαρισμό του, σε κινητήρες εσωτερικής καύσης, μικροστρόβιλους, αεριοστρόβιλους, κυψέλες καυσίμου και κινητήρες ανάδευσης ή μπορεί να αναβαθμιστεί σε βιομεθάνιο.

1.5 Υδροηλεκτρική

Το νερό είναι μία καθαρή, φθηνή και φιλική προς το περιβάλλον πηγή παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και έχει σημαντική αξία για τη βιώσιμη ανάπτυξη [18]. Η υδροηλεκτρική ενέργεια είναι η μεγαλύτερη πηγή ανανεώσιμης ενέργειας στον κόσμο που χρησιμοποιείται για τη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και σήμερα αντιπροσωπεύει σχεδόν το ένα πέμπτο της παγκόσμιας παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Η παραγωγή της υδροηλεκτρικής ενέργειας, η οποία ποικίλλει ετησίως ανάλογα με τις υδρολογικές συνθήκες, υπολογίζεται σε 4.185 TWh το 2017, περίπου 2% περισσότερη σε σχέση με αυτή του 2016 [19].



Εικόνα 1.7 Σχηματική απεικόνιση συστήματος παραγωγής υδροηλεκτρικής ενέργειας μικρής κλίμακας. (Πηγή: http://www.unido.or.jp/en/technology_db/1683/)

Ουσιαστικά, η υδροηλεκτρική ενέργεια αναφέρεται στη μετατροπή της κινητικής ενέργειας του ρέοντος νερού σε ηλεκτρική. Η ενέργεια αυτή θεωρείται ανανεώσιμη καθώς ο κύκλος του νερού ανανεώνεται συνεχώς από τον ήλιο [20]. Η μετατροπή της πραγματοποιείται σε δύο κυρίως στάδια. Αρχικά, η κινητική ενέργεια του τρεχούμενου νερού μετατρέπεται σε μηχανική κατά τη περιστροφή του άξονα της περωτής του στροβίλου. Όσο μεγαλύτερη είναι η υψομετρική διαφορά της αρχικής θέσης από τη θέση του στροβίλου, τόσο μεγαλύτερη είναι η ταχύτητα στο τέλος της διαδρομής. Στη συνέχεια, επιτυγχάνεται μετατροπή της μηχανικής ενέργειας σε ηλεκτρική μέσω της εγκατεστημένης γεννήτριας (**Εικόνα 1.7**). Εκτός από την υψομετρική διαφορά, θα πρέπει να σημειωθεί ότι ιδιαίτερη σημασία για τη παραγόμενη ποσότητα ενέργειας έχει και η ποσότητα του διαθέσιμου νερού.

1.5.1 Τύποι Υδροηλεκτρικών Σταθμών

Η υδροηλεκτρική ενέργεια είναι μία ευέλικτη τεχνολογία παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας που μπορεί κατ'ελάχιστο να τροφοδοτήσει ένα σπίτι, ενώ στο μέγιστο των δυνατοτήτων της δύναται να προμηθεύσει μία ολόκληρη βιομηχανία με ανανεώσιμη ηλεκτρική ενέργεια σε τοπική αλλά και περιφερειακή κλίμακα. Οι υδροηλεκτρικοί σταθμοί, μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σε τρεις βασικούς τύπους. Η κύρια διαφορά μεταξύ των τριών αυτών τύπων έγκειται στη μέθοδο με την οποία το νερό αποθηκεύεται και χρησιμοποιείται για να περάσει από τον υδροστρόβιλο [21].

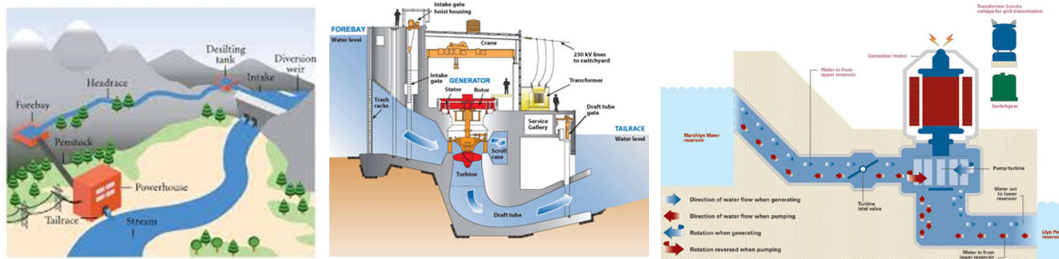
1. **Υδροηλεκτρικός Σταθμός Αποθήκευσης Νερού (*storage hydropower /impoundment*)**, είναι η πιο κοινή τεχνολογία κατά την οποία χρησιμοποιείται ένα φράγμα για την αποθήκευση του νερού σε μία δεξαμενή κατάντη ενός ποταμού. Το νερό που απελευθερώνεται από τη δεξαμενή ρέει μέσω του στροβίλου, τον περιστρέφει και στη συνέχεια ενεργοποιεί μία γεννήτρια για τη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στην περίπτωση αυτή μπορεί εύκολα να ελεγχθεί ρυθμίζοντας την ογκομετρική παροχή που διέρχεται από τον στρόβιλο. Η ροή του νερού θα πρέπει να είναι υψηλότερη σε περιόδους υψηλής ηλεκτρικής χρήσης και χαμηλότερη σε περιόδους όπου δεν απαιτούνται μεγάλες

ποσότητες φορτίου. Νερό από τη δεξαμενή απελευθερώνεται επίσης προκειμένου να διατηρηθεί η στάθμη σε ένα σταθερό επίπεδο.

2. **Αναστρέψιμοι Υδροηλεκτρικοί Σταθμοί (*pumped storage hydropower*)**, στη περίπτωση αυτή οι σταθμοί λειτουργούν σαν μπαταρίες, αποθηκεύοντας την ενέργεια που παράγεται για μεταγενέστερη χρήση. Στο σύστημα αυτό χρησιμοποιούνται δύο δεξαμενές για την επαναχρησιμοποίηση της ίδιας παροχής νερού. Η μία τοποθετείται σε υψηλότερο υψόμετρο προκειμένου να αποθηκεύει ενέργεια με άντληση του νερού προς τα πάνω, ενώ η δεύτερη σε χαμηλότερο σημείο. Όταν η ζήτηση για ηλεκτρική ενέργεια είναι χαμηλή, μέσω της αντλίας μεταφέρεται νερό από τη χαμηλότερη δεξαμενή στην υψηλότερη. Αντίθετα, κατά τη διάρκεια περιόδων υψηλής ηλεκτρικής ζήτησης, το αποθηκευμένο νερό απελευθερώνεται πίσω στην χαμηλότερη δεξαμενή, προκειμένου να παραχθεί μηχανική ενέργεια κατά τη περιστροφή του στροβίλου η οποία μετέπειτα θα μετατραπεί σε ηλεκτρισμό.
3. **Φυσικοί Υδροηλεκτρικοί Σταθμοί (*run-of-river hydropower*)**, χρησιμοποιούν τη φυσική ροή του ποταμού για τη περιστροφή του στροβίλου. Ένα ξεχωριστό κανάλι κατασκευάζεται παράλληλα με τη ροή του ποταμού για να εκτρέψει μέρος αυτής που θα χρησιμοποιηθεί για τη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Αποτέλεσμα του συστήματος αυτού είναι να παράγεται ηλεκτρισμός με συνεχή παροχή. Κατά κανόνα, τα συστήματα αυτά διαθέτουν μικρή ή καμία εγκατάσταση αποθήκευσης, συνεπώς σε περιόδους χαμηλής ηλεκτρικής χρήσης η ροή του νερού είναι περιορισμένη στα κανάλια.

Οι εγκαταστάσεις των σταθμών υδροηλεκτρικής ενέργειας κυμαίνονται σε μέγεθος από μεγάλους σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής που τροφοδοτούν μεγάλο αριθμό καταναλωτών με

ηλεκτρική ενέργεια, μέχρι μικρής κλίμακας μονάδες που καλύπτουν τις ενεργειακές ανάγκες ενός νοικοκυριού. Αν και οι απόψεις δίστανται στον πίνακα που ακολουθεί (**Πίνακας 1.5**), παρουσιάζεται ο διαχωρισμός που κυριαρχεί με βάση την εγκατεστημένη ισχύ των σταθμών.



Εικόνα 1.8 Σχηματική απεικόνιση κατηγοριών υδροηλεκτρικών σταθμών, run-of-river (αριστερά), impoundment (κέντρο), pumped storage (δεξιά) (Πηγή: Διαδίκτυο)

Πίνακας 1.5 Ταξινόμηση υδροηλεκτρικών σταθμών με βάση την εγκατεστημένη ισχύ. (Πηγή: www.energy.gov)

Υδροηλεκτρικός Σταθμός	Εγκατεστημένη Ισχύς
Μεγάλης Κλίμακας	30 MW
Μεσαίας Κλίμακας	10 MW
Μικρής Κλίμακας	100 kW

1.6 Γεωθερμία

Η γεωθερμική ενέργεια, είναι η θερμότητα που εμπεριέχεται στη γη υπό τη μορφή θερμού νερού ή ατμού. Είναι σχετικά διάχυτη, ενώ η θερμότητά της συγκεντρώνεται σε περιοχές οι οποίες σχετίζονται με τα όρια των τεκτονικών πλακών στο φλοιό της γης. Γενικά, οι υδροθερμικές πηγές διανέμονται ευρέως, αλλά κατανέμονται άνισα σε ολόκληρο τον κόσμο. Τα γεωθερμικά πεδία υψηλής ενθαλπίας εμφανίζονται μέσα σε καλά καθορισμένες ζώνες γεωλογικής δραστηριότητας, στις οποίες συχνά εκδηλώνονται σεισμοί, ηφαιστειακά φαινόμενα, θερμές πηγές κ.α..

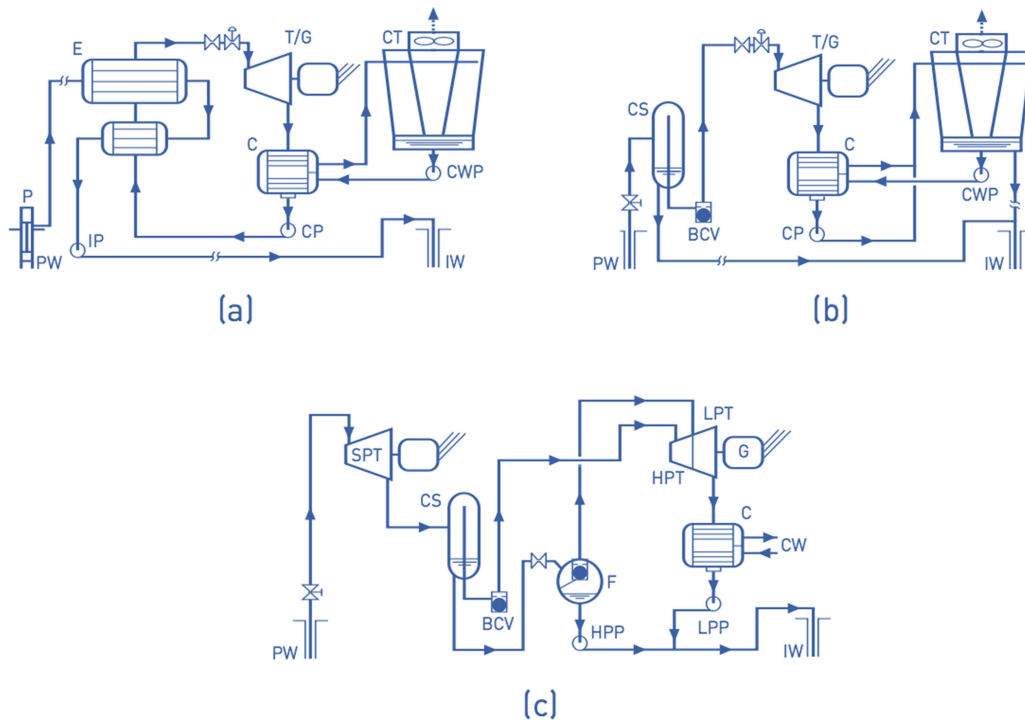
Κατά μέσο όρο, η θερμοκρασία της γης αυξάνεται κατά περίπου 3 °C κάθε 100 μέτρα βάθους. Αυτό σημαίνει ότι σε βάθος 2 χλμ, η θερμοκρασία είναι περίπου 70 °C. Ωστόσο, σε ορισμένες περιοχές, η τεκτονική δραστηριότητα επιτρέπει στη θερμότητα ή τη γηγενή πέτρα να πλησιάσει στην επιφάνεια της γης. Έτσι δημιουργούνται πηγές υψηλότερης θερμοκρασίας σε ευκολότερα προσβάσιμα μεγέθη [6].

Το δυναμικό των γεωθερμικών πόρων εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τα αποτελέσματα της έρευνας πόρων που πρέπει να διεξαχθεί προκειμένου να επιβεβαιωθεί η γεωθερμική δεξαμενή, ο

όγκος της καθώς και η προσβασιμότητά της. Ο γεωθερμικός πόρος είναι σταθερός και μπορεί να προσφέρει αδιάκοπη παροχή ηλεκτρισμού και θερμότητας, με ετήσιο συντελεστή χωρητικότητας άνω των 90% για τα ηλεκτρικά συστήματα.

1.6.1 Τεχνολογίες Παραγωγής Ηλεκτρικής Ενέργειας από Γεωθερμικούς Πόρους

Για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από τους γεωθερμικούς πόρους, χρησιμοποιούνται τρεις κύριες τεχνολογίες [22].



Εικόνα 1.9 Σχηματική απεικόνιση διατάξεων μετατροπής ισχύος, α) μονάδα χρησιμοποίησης δευτερεύοντος ρευστού, β) μονάδα εκτόνωσης διφασικού ρευστού και γ) μονάδα παραγωγής ενέργειας τριπλής εξαγωγής για υπερκρίσιμα υγρά. (Πηγή: MIT, 2006)

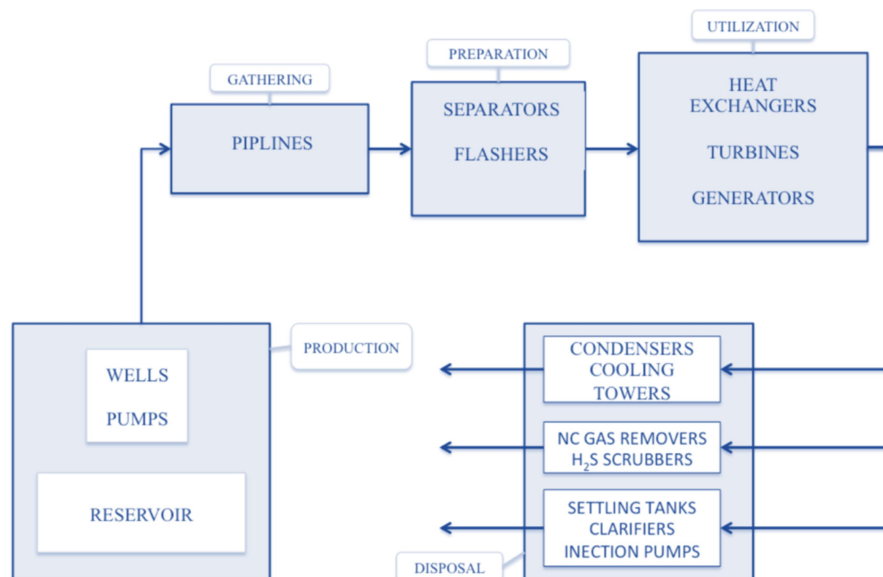
- **Απευθείας χρησιμοποίηση ατμού (*Dry steam plants*).** Χρησιμοποιούν τον ατμό απευθείας από τη γεωθερμική δεξαμενή χωρίς καμία περαιτέρω επεξεργασία, ο οποίος στη συνέχεια οδηγείται σε ένα στρόβιλο. Αποτελεί την πιο απλή και με το λιγότερο κόστος μέθοδο.
- **Εκτόνωση διφασικού ρευστού (*Flash steam plants*).** Οι μονάδες αυτές λαμβάνουν ζεστό νερό υψηλής πίεσης από μεγάλο βάθος και το μετατρέπουν σε ατμό για να μεταφερθείς τη συνέχεια στις γεννήτριες. Όταν ο ατμός ψυχθεί, συμπυκνώνεται σε νερό και εισάγεται πίσω στο έδαφος προκειμένου να χρησιμοποιηθεί ξανά.

- **Χρησιμοποίηση δευτερεύοντος ρευστού (*Binary cycle power plants*)**. Η μονάδα αυτή ονομάζεται και κύκλος Rankine με οργανικό ρευστό. Οι μονάδες ηλεκτροπαραγωγής δυαδικού κύκλου μεταφέρουν τη θερμότητα από το ζεστό γεωθερμικό ρευστό σε μία οργανική ουσία (ισοβουτάνιο, υδροφθοράνθρακας). Η θερμότητα αναγκάζει την ουσία αυτή να μετατραπεί σε ατμό, ο οποίος χρησιμοποιείται για τη κίνηση του στροβίλου, συμπυκνώνεται και επανεισάγεται πάλι στον εναλλάκτη.

Ο τύπος της μονάδας που πρόκειται να εφαρμοστεί για τη μετατροπή της γεωθερμικής ενέργειας σε ηλεκτρική συνήθως καθορίζεται από τις ιδιότητες και τη θερμοκρασία του γεωθερμικού ρευστού ή ατμού προκειμένου να πραγματοποιηθεί η εξαγωγή της μέγιστης ηλεκτρικής ενέργειας [23].

Παρόλο που οι τεχνολογίες αυτές διαφέρουν κατά κάποιο τρόπο, η κύρια διαδικασία παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας είναι η ίδια. Αν ο κυριαρχούμενος πόρος είναι ατμός, μπορεί να χρησιμοποιηθεί μία γεννήτρια στροβίλων, ενώ σε ορισμένες περιπτώσεις χρειάζεται μία πηγή θερμού νερού για τη παραγωγή ατμού. Το γεωθερμικό υγρό (το υγρό που αντλείται μέσω της δεξαμενής) εμφανίζεται από δύο κύριες πηγές [24]:

- **Φυσική ροή**, μπορεί να την συναντήσει κανείς σε πηγάδια που σχηματίζονται μέσω φυσικών διαδικασιών.
- **Αρτεσιανή ροή**, σχηματίζεται όταν οι στάθμη του νερού που βρίσκεται αποθηκευμένο στο έδαφος αυξάνεται φυσιολογικά λόγω της υδραυλικής πίεσης.



Διάγραμμα 1.3 Γενική διαδικασία παραγωγής ενέργειας από γεωθερμικούς πόρους. (Πηγή: DiPirro, 2012)

Στις περιπτώσεις που δεν υπάρχει φυσική ή αρτεσιανή ροή, το νερό ή ο ατμός πρέπει να αντληθούν στο επίπεδο της επιφάνειας της γης. Όταν το νερό ή ο ατμός φτάσει στην επιφάνεια, οι αγωγοί το μεταφέρουν στο επόμενο βήμα της διαδικασίας, την προετοιμασία. Κατά τη διάρκεια της διόδου του γεωθερμικού υγρού, αυτό μπορεί να παρασύρει σωματίδια, ωστόσο μέσω της διαδικασίας του καθαρισμού τα σωματίδια αυτά αφαιρούνται. Στη συνέχεια της διαδικασίας αυτής, λαμβάνει χώρα η αξιοποίηση των στροβίλων και της γεννήτριας [25].

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο

ΑΠΕ ΣΤΟΝ ΕΛΛΑΔΙΚΟ ΧΩΡΟ

2.1 Νομοθετικό Πλαίσιο/ Γενική Ενεργειακή Πολιτική

Ο πρωταρχικός και βασικός στόχος της Ελληνικής Ενεργειακής Πολιτικής, είναι η διαφύλαξη και η διαχείριση των ενεργειακών πόρων, με τέτοιο τρόπο ώστε να διασφαλίζεται η ομαλή, αδιάλειπτη και αξιόπιστη κάλυψη των ενεργειακών αναγκών των πολιτών, αλλά και η πρόσβασή τους σε προσιτή και ασφαλή ενέργεια. Ο δεύτερος στόχος αφορά την εξασφάλιση των ενεργειακών αποθεμάτων, μέσω συμμαχιών και εναλλακτικών πηγών ενέργειας, προκειμένου να εξασφαλιστεί ο εφοδιασμός της εγχώριας αγοράς και να είναι προστατευμένοι οι καταναλωτές σε περίπτωση έκτακτης ανάγκης. Τέλος, τρίτο στόχο αποτελεί η βιώσιμη και αειφόρος ανάπτυξη του ενεργειακού τομέα από το στάδιο της παραγωγής έως και το τελικό στάδιο της κατανάλωσης, προστατεύοντας ταυτόχρονα το περιβάλλον.

Η στρατηγική για την κάλυψη των αναγκών εφοδιασμού και την αντιμετώπιση των ενεργειακών προβλημάτων στην Ελλάδα, διαμορφώνεται από το κανονιστικό και νομοθετικό πλαίσιο που επικεντρώνεται σήμερα στον ακόλουθο γενικό άξονα [26]:

- Πρόσβαση σε μεγάλη ποικιλία πηγών ενέργειας.
- Κατασκευή αγωγών πετρελαίου και φυσικού αερίου στα διεθνή δίκτυα.
- Αυξημένη χρήση εγχώριων ενεργειακών πηγών και αποθεμάτων.
- Μειωμένη εξάρτηση από ορισμένες πηγές ενέργειας υψηλού κινδύνου.
- Ανάπτυξη εγκαταστάσεων ΑΠΕ με τη χορήγηση κινήτρων.
- Χρήση και διάδοση καθαρών, αποδοτικών και φιλικών προς το περιβάλλον τεχνολογιών.
- Απελευθέρωση της αγοράς, αύξηση της ανταγωνιστικότητας και τερματισμός των μονοπωλίων στους τομείς της ηλεκτρικής ενέργειας και του φυσικού αερίου.
- Δημιουργία ενός υγιούς επενδυτικού κλίματος για τις επιχειρήσεις του ενεργειακού τομέα.
- Εξοικονόμηση ενέργειας στον βιομηχανικό τομέα, στις μεταφορές και τα κτίρια.
- Καθιέρωση εθνικών στόχων για την αυξημένη διείσδυση της ενέργειας που παράγεται από ΑΠΕ, τη μείωση των αέριων εκπομπών του θερμοκηπίου και την εξοικονόμηση ενέργειας.

Η Ελλάδα, ανέπτυξε το πλαίσιο πολιτικής της με βάση την ντιρεκτίβα για τις ΑΠΕ της ΕΕ (οδηγία 2009/28/ΕΚ). Σύμφωνα με αυτή, κάθε κράτος μέλος μεριμνά ώστε το μερίδιο ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές, στην ακαθάριστη τελική κατανάλωση ενέργειας το 2020 να αντιστοιχεί τουλάχιστον στον εθνικό συνολικό στόχο (18%), όσον αφορά το μερίδιο της ενέργειας από

ανανεώσιμες πηγές κατά το εν λόγω έτος. Η Ελλάδα επέλεξε να αυξήσει τις φιλοδοξίες της σε συνολικό μερίδιο 20% για το 2020 και να θέσει τους ακόλουθους στόχους (Νόμος 3851/2010):

- Ακαθάριστη τελική κατανάλωση ενέργειας για θέρμανση και ψύξη: τουλάχιστον 20%
- Ακαθάριστη τελική κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας: τουλάχιστον 40%
- Ακαθάριστη τελική κατανάλωση ενέργειας στις μεταφορές: τουλάχιστον 10%.

Αξιοσημείωτο αποτελεί το γεγονός ότι η Ελλάδα, έχει σημειώσει ανομοιογενή πρόοδο σε όλους τους τομείς (Πίνακας 2.1).

Πίνακας 2.1 Πρόοδος που σημειώθηκε όσον αφορά τους στόχους που τέθηκαν για το 2020, βάσει Οδηγίας 2009/28/ΕΚ. (Πηγή: IEA, 2017)

	2011	2012	2013	2014	2015
ΑΠΕ-θέρμανση και ψύξη	20.23	24.43	26.47	26.85	25.90
ΑΠΕ-ηλεκτρισμός	13.82	16.48	21.24	21.92	22.09
ΑΠΕ-μεταφορά	0.74	1.06	1.04	1.37	1.43
Σύνολο ΑΠΕ	11.03	13.83	14.99	15.32	15.44

Όπως παρατηρείται, η τιμή για την ανανεώσιμη ενέργεια που χρησιμοποιείται για θέρμανση και ψύξη είναι περίπου 26%, άνω των αναμενόμενων στόχων του 2020, ενώ η ανανεώσιμη ενέργεια που χρησιμοποιείται για τις μεταφορές παρουσιάζει υστέρηση κατά 1,4%, έναντι του στόχου σε 10%. Οι εγκαταστάσεις φωτοβολταϊκών υπερέβησαν τον στόχο που έχει τεθεί, καθώς έφτασαν τα 2.600MW έναντι των 2.200MW για το 2020, ενώ η αιολική ενέργεια δεν έχει πετύχει τον στόχο της μέχρι το 2015.

2.2 Βασικοί Θεσμικοί Φορείς Ενεργειακού Τομέα

○ Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας

Το Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας, είναι υπεύθυνο για το περιβάλλον, την ενέργεια και την περιβαλλοντική πολιτική για την κλιματική αλλαγή εντός των ορίων της κυβέρνησης. Στο πλαίσιο του υπουργείου, η Διεύθυνση για την ενέργεια είναι υπεύθυνη για τη διεκπεραίωση στατιστικών μελετών τόσο για την ενέργεια όσο και την ενεργειακή πολιτική. Το συγκεκριμένο

υπουργείο, είναι επίσης υπεύθυνο για την ανάπτυξη των πολιτικών που αφορούν την ανανεώσιμη ενέργεια και την ενεργειακή απόδοση, και εποπτεύει το Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών και Εξοικονόμησης Ενέργειας, ΚΑΠΕ (Center for Renewable Energy Sources & Saving, CRES). Το Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας εποπτεύει επίσης 48 θεσμικά όργανα, συμπεριλαμβανομένων των εταιρειών ενέργειας του δημόσιου τομέα.

ο **Υπουργείο Οικονομικών**

Το Υπουργείο Οικονομικών είναι αρμόδιο για τη φορολογία, συμπεριλαμβανομένης της φορολογίας που αφορά ενεργειακά και άλλα δημοσιονομικά θέματα και επιβλέπει την Ελληνική Επιτροπή ανταγωνισμού και άλλους φορείς.

ο **Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας (ΡΑΕ)**

Η Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας (ΡΑΕ), είναι μία ανεξάρτητη αρχή με οικονομικά μέσα και διοικητική ανεξαρτησία για την αγορά ενέργειας. Η ΡΑΕ παρακολουθεί τη λειτουργία των αγορών ενέργειας, συμπεριλαμβανομένης της ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ. Εκδίδει γνώμες για τα τιμολόγια λιανικής πώλησης της ηλεκτρικής ενέργειας καθώς και τιμολόγια πρόσβασης στα δίκτυα μεταφοράς και διανομής ηλεκτρικής ενέργειας. Είναι υπεύθυνη για τη χορήγηση αδειών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ. Η ΡΑΕ ενεργεί επίσης ως αρχή επίλυσης διαφορών όσον αφορά καταγγελίες κατά των συστημάτων μεταφορά ή διανομής στον τομέα της ηλεκτρικής ενέργειας. Εποπτεύεται από το Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας.

ο **Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών και Εξοικονόμησης Ενέργειας (ΚΑΠΕ)**

Το Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών και Εξοικονόμησης Ενέργειας (ΚΑΠΕ), είναι ο εθνικό κέντρο για τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, την ορθολογική χρήση της ενέργειας και την εξοικονόμησή της, και συντονίζει τις εθνικές πολιτικές σε αυτούς τους τομείς. Εκπονεί επίσης μελέτες ανάλυσης των ενεργειακών συστημάτων και δραστηριοποιείται σε έργα που χρηματοδοτούνται από την ΕΕ. Οι οικονομικοί του πόροι, προέρχονται κυρίως από Εθνικά, Ευρωπαϊκά και Διεθνή προγράμματα.

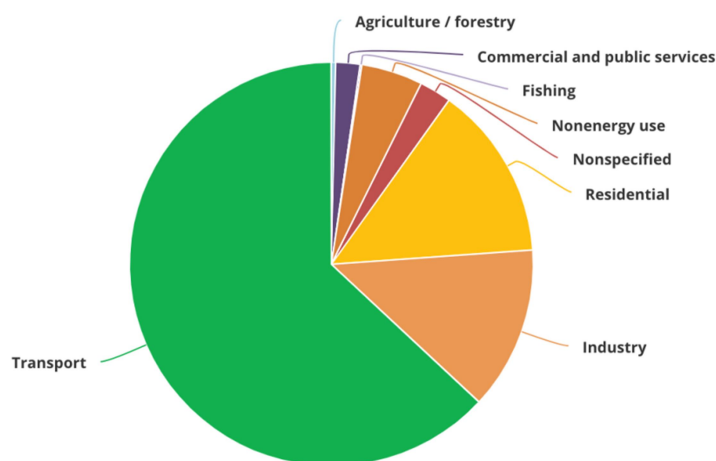
ο **Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού (ΔΕΗ)**

Η Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού (ΔΕΗ), αποτελείται μέχρι και σήμερα από τέσσερις εταιρείες με ξεχωριστές νομικές και διαχειριστικές ταυτότητες (ΔΕΗ Α.Ε., ΔΕΔΔΗΕ ΑΕ., ΔΕΗ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ Α.Ε., ΛΙΓΝΙΤΙΚΗ ΜΕΓΑΛΟΠΟΛΗΣ Α.Ε., ΛΙΓΝΙΤΙΚΗ ΜΕΛΙΤΗΣ Α.Ε.). Ο όμιλος της ΔΕΗ, κατέχει επί του παρόντος περιουσιακά στοιχεία σε ορυχεία λιγνίτη, παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, μετάδοση και διανομή. Είναι η μεγαλύτερη εταιρεία παραγωγής και παροχής ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα και η χωρητικότητά της αντιπροσώπευε το 68% της συνολικής εγκατεστημένης ισχύος το 2016. Ο Ανεξάρτητος Διαχειριστής Μεταφοράς

Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΑΔΜΗΕ) και το Ελληνικό Σύστημα Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΕΣΜΗΕ),, δημιουργήθηκαν το 2012 ως δύο θυγατρικές της ΔΕΗ. Ενώ, ένα μερίδιο της ΑΔΜΗΕ (24%), έχει πρόσφατα πωληθεί σε στρατηγικό επενδυτή. Τέλος, η ΔΕΗ δραστηριοποιείται και στον τομέα τον ΑΠΕ, μέσω της θυγατρικής της εταιρείας ΔΕΗ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ Α.Ε.

2.3 Ενεργειακό Δυναμικό

Μέχρι και σήμερα, ο άνθρακας εξακολουθεί να είναι το κυρίαρχο καύσιμο παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, καθώς αντιπροσωπεύει το 1/3 της συνολικής παραγωγής. Παρόλα αυτά, τα τελευταία χρόνια παρατηρείται μία πτωτική τάση στη χρήση του. Επιπλέον, το πετρέλαιο αποτελεί το πιο σημαντικό καύσιμο της χώρας, αφού ο τομέας των μεταφορών είναι ο τομέας που καταλαμβάνει το μεγαλύτερο μερίδιο τελικής κατανάλωσης ενέργειας στην Ελληνική αγορά (**Διάγραμμα 2.1**) [26].



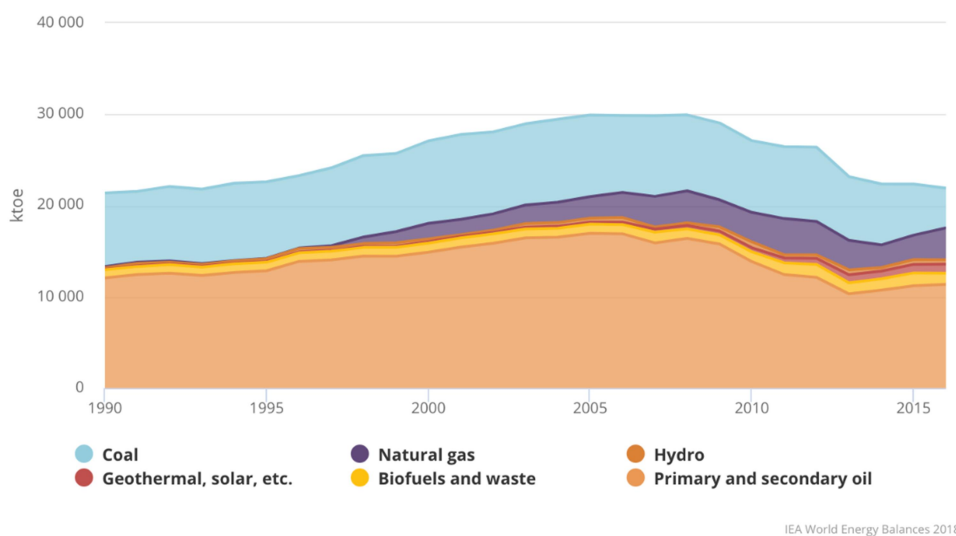
Διάγραμμα 2.1 Μερίδιο τελικής κατανάλωσης πετρελαιοειδών ανά τομέα στην Ελλάδα το 2016. (Πηγή: <https://www.iea.org/statistics>)

Παροχή Πρωτογενούς Ενέργειας

Ο συνολικός ενεργειακός εφοδιασμός (TPES, Total Primary Energy Supply) της Ελλάδας όπως παρατηρείται και στο διάγραμμα που ακολουθεί (**Διάγραμμα 2.2**), έχει μειωθεί κατά 24% από το 2006 έως το 2016, κυρίως λόγω της οικονομικής κρίσης που έπληξε τη χώρα από το 2009 και έπειτα. Το πετρέλαιο, όπως παρατηρείται, αποτελεί το κυρίαρχο καύσιμο της χώρας, το οποίο αντιπροσωπεύει το μισό του TPES το 2016, αν και η συνολική προσφορά μειώθηκε σχεδόν κατά το 1/3 από το 2006 [26].

Total Primary Energy Supply (TPES) by source*

Greece 1990 - 2016



Διάγραμμα 2.2 Συνολική παροχή πρωτογενούς ενέργειας (TPES) ανά πηγή για το χρονικό διάστημα 1990 – 2016.

(Πηγή: <https://www.iea.org/statistics>)

Ο άνθρακας, είναι το δεύτερο σε σειρά προτιμητέο καύσιμο της χώρας και αντιπροσώπευε το 19% σύμφωνα με τα τελευταία στατιστικά στοιχεία του 2016. Χρησιμοποιείται κατά κύριο λόγο για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, ενώ ένα μικρό μερίδιο αυτού το εκμεταλλεύεται και ο τομέας της βιομηχανίας. Η προσφορά του άνθρακα την τελευταία δεκαετία έχει μειωθεί σχεδόν κατά το ήμισυ.

Στα τέλη της δεκαετίας του 1990, η Ελλάδα εισήγαγε φυσικό αέριο στο ενεργειακό της σύστημα, γεγονός το οποίο το κατέστησε το τρίτο σε σειρά κυρίαρχο πρωτογενές καύσιμο το 2016. Η προσφορά φυσικού αερίου έφτασε το 2011 τα 4,0 εκ. τόνους και μειώθηκε κατά 12% έκτοτε, με το 2016 να ανέρχεται στα 3.5 Mtoe.

Το μερίδιο της ενέργειας που παράγεται από ανανεώσιμες πηγές είναι σχετικά μικρό, αλλά μέσα σε μία δεκαετία παρατηρείται πως έχει διπλασιαστεί (12.5% το 2016, έναντι 5.9% το 2006). Τα βιοκαύσιμα και τα απόβλητα αντιπροσωπεύουν σχεδόν τη μισή ενέργεια που παράγεται από ανανεώσιμες πηγές στην TPES. Ως επί το πλείστον, παρατηρείται χρήση πρωτογενών στερεών βιοκαυσίμων σε κατοικίες, ενώ η αύξηση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας την τελευταία δεκαετία οφείλεται στη ραγδαία αύξηση αιολικής και ηλιακής ενέργειας. Η ηλιακή ενέργεια κατέχει τη δεύτερη θέση στο μερίδιο

Ενέργεια από ΑΠΕ

Δεδομένα

(Προσωρινά για το έτος 2016)

Συνολική Παροχή: 2.9 Mtoe (12.5% του TPES) και 15.0TWh (30.7% της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας)

Μέσος όρος χωρών IEA: 9.6% του TPES και 24.2% της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας

Υδροηλεκτρική: 0.5 Mtoe (2.1% των TPES) και 5.5 TWh (11.4% της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας)

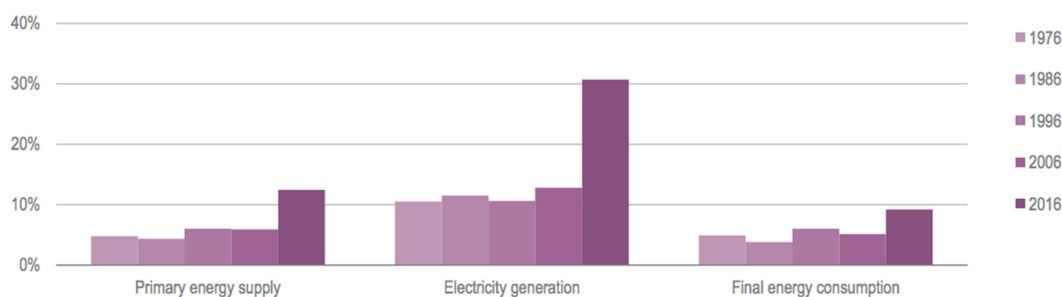
Βιοκαύσιμα & Απόβλητα*: 1.4 Mtoe (6.1% των TPES) και 0.4 TWh (0.7% της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας)

Αιολική Ενέργεια: 0.4 Mtoe (1.9% των TPES) και 5.1TWh (10.5% της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας)

Ηλιακή Ενέργεια: 0.5 Mtoe (2.3% του TPES) και 3.9TWh (8.1% της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας)

*Τα βιοκαύσιμα και τα απόβλητα περιλαμβάνουν στερεά, υγρά και αέρια βιοκαύσιμα, καθώς και αστικά και βιομηχανικά απόβλητα.

Η Ελλάδα διαθέτει πολλούς ανανεώσιμους ενεργειακούς πόρους, με το μερίδιό τους να αυξάνεται κατακόρυφα μέσω της αιολικής και ηλιακής ενέργειας τα τελευταία χρόνια (**Διάγραμμα 2.3**). Στο σημείο αυτό θα πρέπει να σημειωθεί ότι η Ελλάδα διαθέτει ανταγωνιστική αγορά ως προς τα φωτοβολταϊκά συστήματα και την αιολική ενέργεια. Η απλούστευση και η επιτάχυνση των πολύπλοκων αδειών χρήσης, είναι αυτή που βελτίωσε τη κατάσταση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.



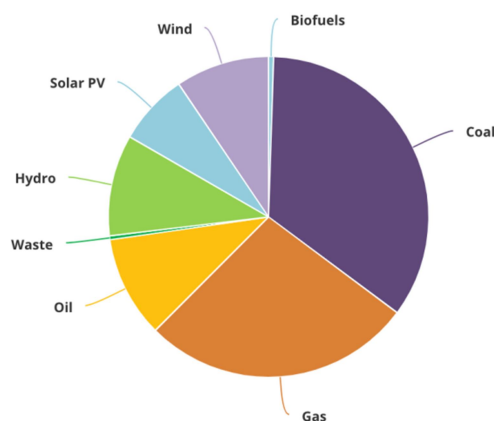
Διάγραμμα 2.3 Χρονολογική εξέλιξη ΑΠΕ όσον αφορά το TPES, την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και την συνολική κατανάλωση (TFC). (Πηγή: <https://www.iea.org/statistics>)

Ηλεκτρική Ενέργεια από ΑΠΕ

Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας έφθασαν το 31% της συνολικής ηλεκτρικής παραγωγής, σύμφωνα με τα τελευταία δεδομένα του 2016. Το γεγονός αυτό οφείλεται στην ταχεία αύξηση της εγκατεστημένης αιολικής και ηλιακής ενέργειας αλλά και στη μείωση της συνολικής ηλεκτρικής παροχής κατά τη τελευταία δεκαετία.

Share of electricity generation by fuel

Greece 2016



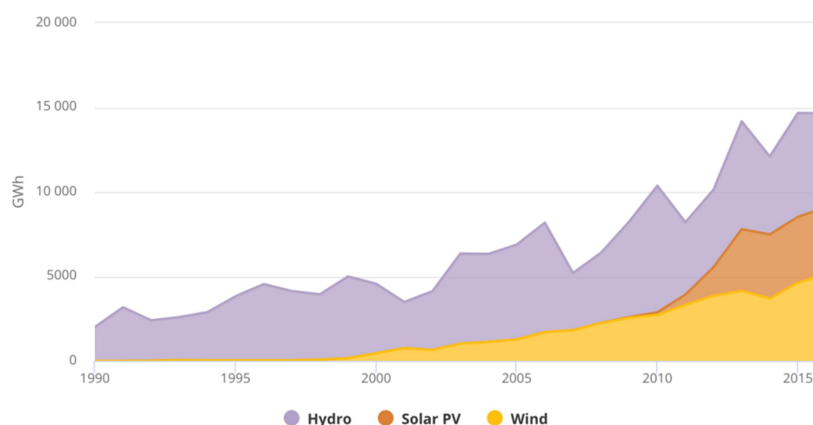
IEA Electricity Information 2018

Διάγραμμα 2.4 Μερίδιο παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας ανά καύσιμο για το έτος 2016. (Πηγή: <https://www.iea.org/statistics>)

Η συνολική παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας κορυφώθηκε σε 62.9 TWh το 2008, ενώ έκτοτε μειώθηκε κατά 22%. Η παραγωγή αιολικής ενέργειας, όπως παρατηρείται στο **Διάγραμμα 2.5**, αυξήθηκε από τα αμελητέα επίπεδα στα τέλη της δεκαετίας του 90' σε 5.1 TWh το 2016, ενώ το ποσό αυτό αντιστοιχεί στο 10.5% της συνολικής παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Η ηλιακή ενέργεια από την άλλη είχε μία πιο εντυπωσιακή ανάπτυξη, σημειώνοντας σχεδόν 25πλάσια αύξηση από το 2010 μέχρι το 2016 (3.9TWh το 2016, έναντι 0.16 TWh το 2010). Η υδροηλεκτρική ενέργεια παρείχε παγίως το μεγαλύτερο μερίδιο προσφοράς στις ΑΠΕ από το 1990 έως το 2016. Παρόλα αυτά παρατηρείται ότι είχε σημαντικές ετήσιες διακυμάνσεις, ενώ το 2016 παρήχθησαν 5.5TWh που αντιστοιχούν στο 11.4% της συνολικής παραγωγής.

Electricity generation from renewables by source

Greece 1990 - 2016

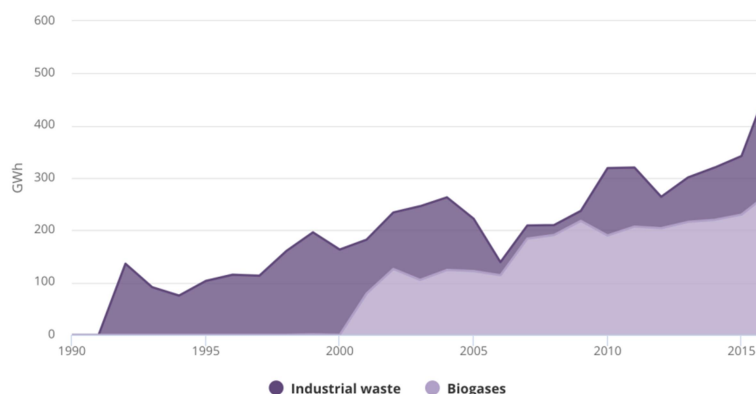


Διάγραμμα 2.5.

Η Ελλάδα έχει επίσης μικρό μερίδιο παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από βιοκαύσιμα, καθώς αντιπροσωπεύει λιγότερο από το 1% της συνολικής παραγωγής (**Διάγραμμα 2.4**). Στο διάγραμμα που ακολουθεί (**Διάγραμμα 2.6**) παρόλα αυτά παρατηρείται ότι τα τελευταία χρόνια υπάρχει μία σημαντική άνοδος.

Electricity generation from waste and biofuels by source

Greece 1990 - 2016



Διάγραμμα 2.5 Συνολική παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα από ΑΠΕ (υδροηλεκτρική, αιολική και ηλιακή) για τη χρονική περίοδο 1990-2016. (Πηγή: <https://www.iea.org/statistics>)

Στον πίνακα που ακολουθεί (**Πίνακας 2.2**), παρουσιάζεται το καταγεγραμμένο συνολικό δυναμικό της χώρας καθώς και η εξέλιξή του ανά ενεργειακή πηγή για τη χρονική περίοδο 2000 έως 2015. Στο Παράρτημα Α του παρόντος τεύχους, επισυνάπτεται χάρτης με την υποδομή της ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα.

Πίνακας 2.2 Εγκατεστημένη ηλεκτρική ενέργεια ανά πηγή προέλευσης, 2000-2015 (MW). (Πηγή: IEA, 2018)

Ενεργειακή Πηγή	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Καύσιμη Ύλη	7606	9708	10597	11048	11226	11229	10932	10855
Άνθρακας και τα προϊόντα του	4492	4808	4793	4793	4556	4556	4302	4302
Φυσικό Αέριο	1112	2529	3252	3677	4117	4103	4068	3972
Υγρά Καύσιμα	1966	2318	2505	2505	2503	2500	2492	2503
Άλλη καύσιμη ύλη	36	53	47	73	50	70	70	78
Υδροηλεκτρική	3072	3106	3215	3224	3236	3238	3389	3392
Αιολική	226	491	1298	1640	1753	1809	1978	2091

Ηλιακή (φωτοβολταϊκά)	0	0	1	202	612	1536	2579	2596
Σύνολο	10904	13306	15312	16524	17751	18855	18895	18942

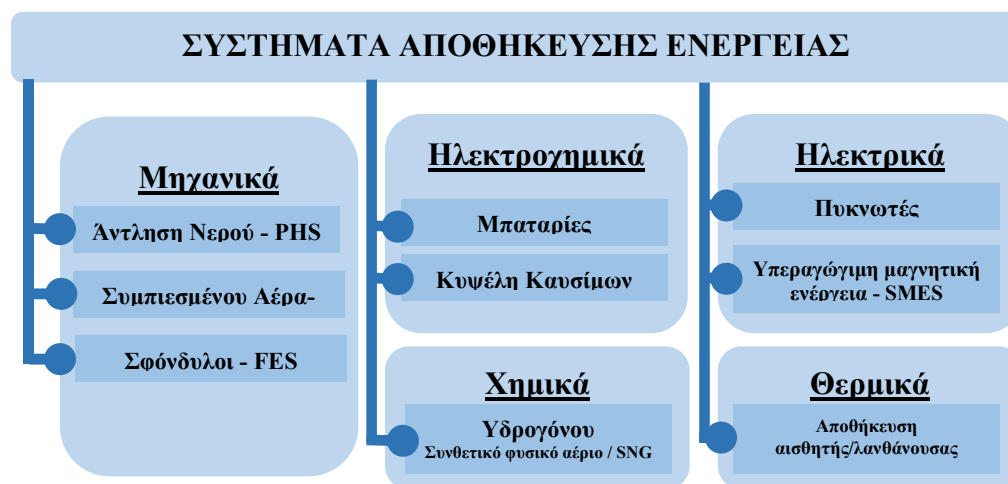
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο

ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

3.1 Γενικά

Η ανάπτυξη και χρήση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας όπως παρουσιάστηκε και στην προηγούμενη ενότητα, παρουσίασαν ταχεία ανάπτυξη τα τελευταία χρόνια. Ενώ στα επόμενα 20 χρόνια όλα τα συστήματα βιώσιμης ενέργειας θα πρέπει να βασίζονται στην ορθολογική χρήση των παραδοσιακών πόρων, και στη μεγαλύτερη χρήση των ΑΠΕ. Η αποκεντρωμένη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ, εξασφαλίζει μεγαλύτερη ασφάλεια στους καταναλωτές με λιγότερους περιβαλλοντικούς κινδύνους. Ωστόσο, ο απρόβλεπτος χαρακτήρας αυτών απαιτεί αποθήκευση ενέργειας και σταθερότητα φορτίου. Υπάρχουν διάφοροι τύποι μεθόδων αποθήκευσης, μερικοί από τους οποίους είναι ήδη σε χρήση, ενώ άλλοι βρίσκονται ακόμη σε εξέλιξη. Οι τεχνικές αποθήκευσης λοιπόν, μπορούν να ταξινομηθούν σύμφωνα με τα ακόλουθα κριτήρια:

- Τον τύπο εφαρμογής: μόνιμος ή φορητός,
- Διάρκεια αποθήκευσης: βραχυπρόθεσμη ή μακροπρόθεσμη,
- Τύπος παραγωγής: μέγιστη απαιτούμενη ισχύς



Διάγραμμα 3.1 Ταξινόμηση των συστημάτων αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας σύμφωνα με την ενεργειακή μορφή (Πηγή: Fraunhofer ISE, Ίδια Επεξεργασία)

Μία ευρέως χρησιμοποιούμενη προσέγγιση για την ταξινόμηση των συστημάτων αποθήκευσης ενέργειας, είναι ο προσδιορισμός σύμφωνα με τη μορφή ενέργειας που αποθηκεύουν. Έτσι, στο διάγραμμα που ακολουθεί (**Διάγραμμα 3.1**), ταξινομούνται τα συστήματα αυτά σε χημικά, θερμικά, μηχανικά, ηλεκτρικά αλλά και ηλεκτροχημικά.

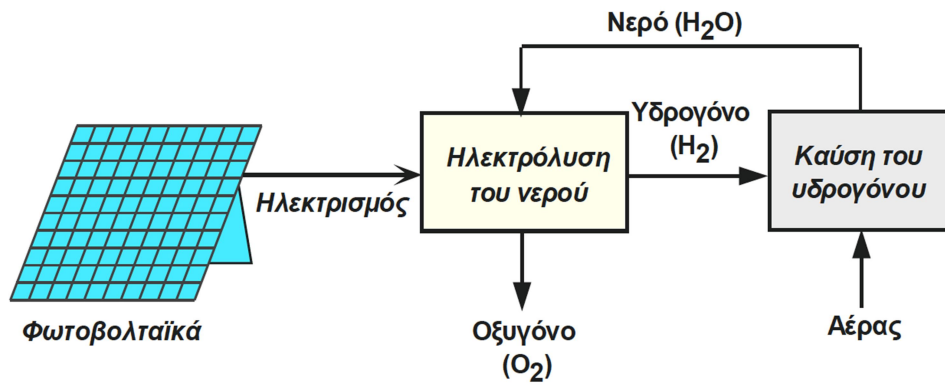
3.2 Χημικά Συστήματα Αποθήκευσης Ενέργειας

Η χημική ενέργεια αποθηκεύεται στους χημικούς δεσμούς των ατόμων και των μορίων, τα οποία μπορούν να εξεταστούν και να παρατηρηθούν μόνο κατά την απελευθέρωσή τους σε μία χημική αντίδραση. Έπειτα από την απελευθέρωση της χημικής ενέργειας, η αρχική ουσία συχνά μετατρέπεται σε τελείως διαφορετική [27]. Τα χημικά καύσιμα, αποτελούν τη κυρίαρχη μορφή αποθήκευσης ενέργειας τόσο κατά την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας όσο και για την ενέργεια που χρησιμοποιείται για τη μεταφορά. Τα πιο κοινά χρησιμοποιούμενα χημικά καύσιμα τα οποία είναι επεξεργασμένα, είναι ο άνθρακας, η βενζίνη, το πετρέλαιο, το φυσικό αέριο, το υδροποιημένο αέριο, το βουτάνιο, το προπάνιο, η αιθανόλη το βιοντίζελ και το υδρογόνο. Όλα τα καύσιμα που προαναφέρθηκαν, μπορούν να μετατραπούν ελεύθερα σε θερμική και μηχανική ενέργεια και μετέπειτα σε ηλεκτρική χρησιμοποιώντας διάφορα συστήματα [28]. Από την άλλη μεριά, η αποθηκευμένη χημική ενέργεια μπορεί εύκολα να απελευθερωθεί μέσω αντιδράσεων μεταφοράς ηλεκτρονίων προς άμεση παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

Η μέθοδος αυτή είναι κατάλληλη για αποθήκευση μεγάλων ποσοτήτων ενέργειας αλλά και για μεγαλύτερη διάρκεια. Έτσι, τα συστήματα χημικής αποθήκευσης ενέργειας επικεντρώνονται στο υδρογόνο και στο συνθετικό φυσικό αέριο (SNG), ως δευτερεύουσες μορφές ενέργειας [29, 30]. Εκτός από τις δύο αυτές μορφές, τα καύσιμα που προέρχονται από την επεξεργασία της βιομάζας, μπορούν επίσης να ληφθούν υπόψη ως μέθοδοι αποθήκευσης χημικής ενέργειας. Οι μορφές αυτές αναλύονται στην συνέχεια της παρούσας ενότητας.

3.2.1 Αποθήκευση Υδρογόνου

Το υδρογόνο είναι ένα καθαρό, άφθονο και μη τοξικό ανανεώσιμο καύσιμο, το οποίο μπορεί να θεωρηθεί ως φορέας ενέργειας [31, 32]. Είναι ευρέως χρησιμοποιούμενο στην χημική βιομηχανία, μπορεί να παραχθεί από οποιαδήποτε πρωτογενή πηγή ενέργειας, όπως το νερό με θερμόλυση ή ηλεκτρόλυση, από μετασχηματισμό ορυκτών καυσίμων, αεριοποίηση βιομάζας, μεθανόλη κ.λπ. [32], απελευθερώνοντας μόνο υδρατμούς ως εκπομπή μετά την αντίδραση καύσης [33, 34, 35]. Η χημική ενέργεια του υδρογόνου ανέρχεται στα 142 kJ/kg, η οποία μάλιστα είναι υψηλότερη από τους υπόλοιπους υδρογονάνθρακες που έχουν ως βάση τον άνθρακα [32].

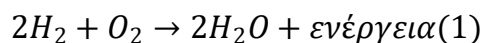


Εικόνα 3.1 Σχηματική απεικόνιση παραγωγής υδρογόνου από ηλιακή ενέργεια. (Πηγή: Ανδρίτσος, 2008)

Τα συστήματα αποθήκευσης της ενέργειας που παράγεται από το υδρογόνο χρησιμοποιούν δύο χωριστές διαδικασίες για την αποθήκευση και την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας (**Εικόνα 3.1**). Οι μέθοδοι αποθήκευσης υδρογόνου μπορούν να διαχωριστούν σε δύο κατηγορίες ανάλογα: (1) με τη φυσική μορφή του (υγρή ή αέρια φάση), και (2) με την βάση αποθήκευσής του. Κατά την αέρια φάση, η αποθήκευση πραγματοποιείται σε δεξαμενές υψηλής πίεσης 350-700bar, ενώ το σημείο βρασμού του υδρογόνου είναι $-252.8\text{ }^{\circ}\text{C}$ σε 1 atm. Ως εκ τούτου, η υγρή αποθήκευση του υδρογόνου απαιτεί μεθόδους κρυογονικής ψύξης [36]. Η αποθήκευση με βάση το χρησιμοποιούμενο υλικό είναι δυνατή σε μεταλλικό υδρίδιο αλλά και απορροφητικά υλικά. Η αποθήκευση του υδρογόνου είναι δυνατή στην επιφάνεια στερεών με προσρόφηση ή εντός των στερεών με απορρόφηση, ενώ οι μελετητές διεξάγουν έρευνες για τις ακόλουθες περιοχές, μεταλλικά οργανικά πλαίσια, υδρίδια μετάλλων, υδρίδια αργιλίου, αλειφατικό νάτριο, υδρίδια μαγνησίου, σύνθετο υδρίδιο των LiBH_4 και MgH_2 .

3.2.2 Κυψέλη Καυσίμου

Για την αξιοποίηση του αποθηκευμένου υδρογόνου προς παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, η κυψέλη καυσίμου (fuel cell) αποτελεί την πιο γνωστή τεχνολογία. Οι κυψέλες καυσίμου, μπορούν να μετατρέψουν τη χημική ενέργεια σε υδρογόνο και οξυγόνο (από τον αέρα) σε ηλεκτρική ενέργεια [37, 38]. Η χημική αντίδραση που λαμβάνει χώρα είναι η ακόλουθη [39], ενώ κατά τη διάρκεια της διαδικασίας απελευθερώνεται τόσο ηλεκτρική όσο και θερμική ενέργεια:

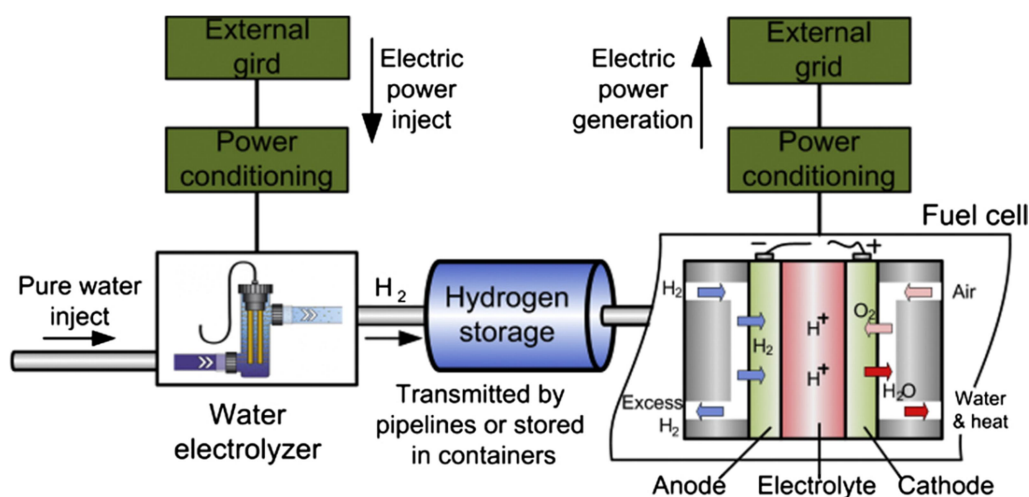


Ανάλογα με την επιλογή του καυσίμου και του χρησιμοποιούμενου ηλεκτρολύτη, διακρίνονται έξι μεγάλες κατηγορίες κυψελών καυσίμου:

- Κυψέλη αλκαλικών καυσίμων (AFC),
- Κυψέλη καυσίμων φωσφορικού οξέος (PAFC),
- Κυψέλη καυσίμων στερεού οξειδίου (SOFC),
- Κυψέλη καυσίμων τετηγμένου άνθρακα (MCFC),

- Κυψέλη καυσίμων με μεμβράνη ανταλλαγής πρωτονίων (*PEMFC*), και
- Κυψέλη καυσίμων άμεσης μεθανόλης (*DMFC*).

Γενικότερα, η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας χρησιμοποιώντας κυψέλες καυσίμου, απελευθερώνει μικρότερη ποσότητα ρυπογόνων ουσιών στο περιβάλλον και είναι πιο αποτελεσματική σε σχέση με τη συμβατική μέθοδο καύσης [40]. Έτσι, τα συστήματα αυτά σε συνδυασμό με την παραγωγή υδρογόνου, μπορούν να παρέχουν σταθερή και καταναμημένη ισχύ, η οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως πρωτεύουσα ηλεκτρική ενέργεια, για θέρμανση/ψύξη ή για εφεδρική, αλλά ακόμη και για τη μεταφορά, ενδεχομένως αντικαθιστώντας τα ορυκτά καύσιμα των οχημάτων [39].



Εικόνα 3.2 Σχεδιαγραμματική απεικόνιση συστήματος αποθήκευσης υδρογόνου και κυψέλης καυσίμου. (Πηγή: Luo, Huang, Gong, & Ma, 2012)

Τα συστήματα αυτά, μπορούν να προσφέρουν μεγάλη χωρητικότητα και ενεργειακή ανεξαρτησία στην παραγωγή, την αποθήκευση και τη χρήση της ενέργειας, εξαιτίας των ξεχωριστών διαδικασιών παραγωγής. Θα πρέπει όμως να σημειωθεί, ότι η διάθεση των καυσαερίων που παράγονται από τις κυψέλες καυσίμων, είναι υπό εξέταση από τους ερευνητές προς ανακύκλωση, καθώς χρησιμοποιούνται τοξικά μέταλλα ως ηλεκτρόδια και καταλύτες [41]. Για παράδειγμα, το παλλάδιο που χρησιμοποιείται στους καταλύτες των κυψελών καυσίμων, μπορεί θεωρητικά να μετατραπεί σε άλλα προϊόντα.

Ως εκ τούτου, ο συνδυασμός της παραγωγής υδρογόνου και των κυψελών καυσίμων, είναι μία τεχνολογία η οποία βρίσκεται υπό ανάπτυξη, ενώ οι στατιστικές εφαρμογές για την παραγωγή ισχύος είναι σχετικά σε πρώιμο στάδιο. Παρόλα αυτά, το 2012 σχεδόν το 80% των συνολικών επενδύσεων στην παγκόσμια βιομηχανία των κυψελών καυσίμων, πραγματοποιήθηκε από Αμερικάνικες Εταιρείες. Η μείωση του κόστους, η επαλήθευση και η βελτίωση της αντοχής του συστήματος αυτού, είναι μερικές απαραίτητες ενέργειες που πρέπει να γίνουν προκειμένου να αναπτυχθεί η τεχνολογία αυτή και να εφαρμοστεί σε ευρεία κλίμακα [42].

Ορισμένα επιδεικτικά έργα είναι σε εξέλιξη σε όλο τον κόσμο, με πρώτη παγκόσμια δοκιμή το αυτόνομο σύστημα ανανεώσιμης ενέργειας που εγκαταστάθηκε στην Νορβηγία, το οποίο κατάφερε να αποδώσει ενέργεια με την απαιτούμενη ποιότητα και υψηλή αξιοπιστία [43]. Σήμερα, τα σχετικά έργα που έχουν αναπτυχθεί περιλαμβάνουν το IdealHy (Ολλανδία), RE4CELL (Ισπανία), Sapphile (Νορβηγία), SmartCat (Γαλλία), κλπ.

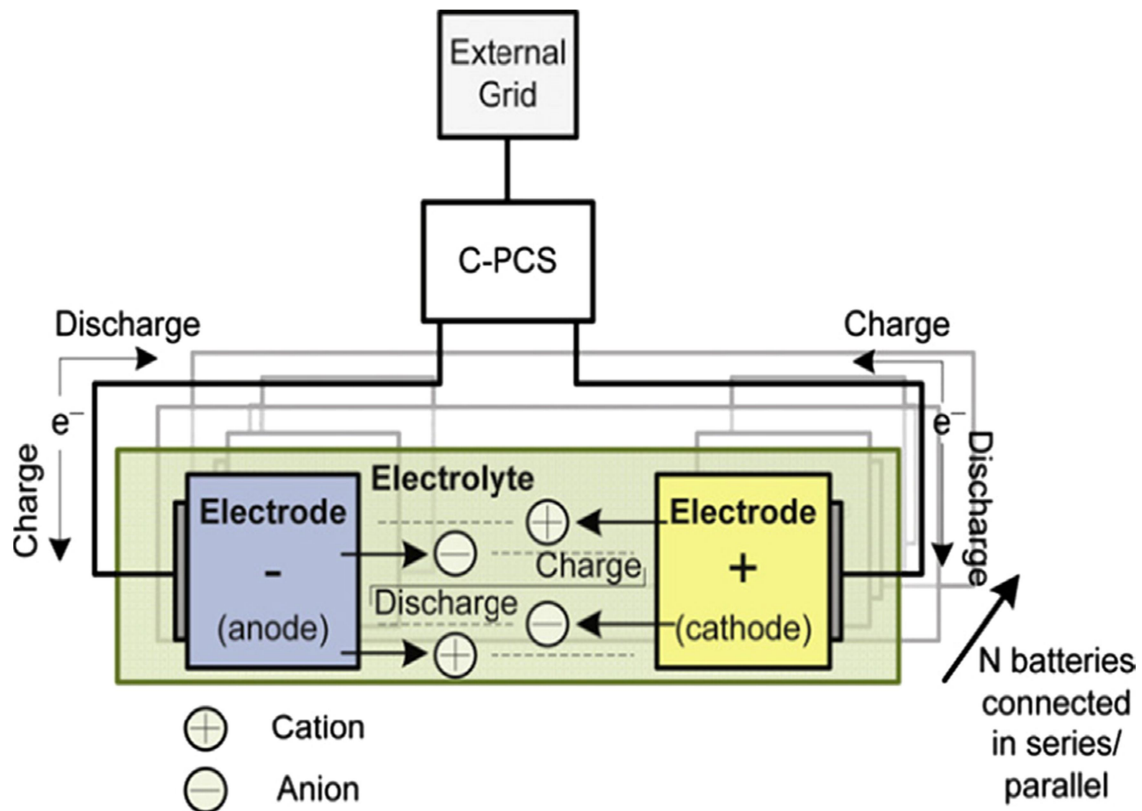
3.2.3 Συνθετικό Φυσικό Αέριο (SNG)

Το φυσικό αέριο, είναι το πιο δημοφιλές αέριο καύσιμο, το οποίο αποτελείται κυρίως από CH₄. Το βιοαέριο, το αέριο από τις χωματερές και το συνθετικό φυσικό αέριο αποτελούν μερικά καύσιμα τα οποία προέρχονται από το φυσικό αέριο. Το βιοαέριο παράγεται από αποσυντιθέμενες οργανικές ουσίες και περιέχει CH₄ και CO₂. Η σύνθεση του αερίου που παράγεται από τις χωματερές είναι παρόμοια με αυτή του βιοαερίου. Ως συνθετικό φυσικό αέριο, νοείται η μερική μετατροπή της στερεάς πρώτης ύλης με αεριοποίηση, ακολουθούμενη από αερισμό, η σύνθεσή του και τέλος η αναβάθμιση του αερίου.

Το παραγόμενο συνθετικό φυσικό αέριο, μπορεί να αποθηκευτεί σε δεξαμενές πίεσης, υπογείως ή να διοχετευτεί κατευθείαν στο δίκτυο φυσικού αερίου. Η παραγωγή του προτιμάται σε περιπτώσεις όπου υπάρχει CO₂ αλλά και πρόσβαση σε ηλεκτρικό δίκτυο [30]. Η αεριοποίηση ατμού-οξυγόνου, η υδρογόνωση και η καταλυτική αεριοποίηση με ατμό, είναι μερικές διαφορετικές διεργασίες που θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για τη μετατροπή του άνθρακα σε συνθετικό φυσικό αέριο. Η τεχνολογία υδρομεθανιοποίησης ή καταλυτικής αεριοποίησης του αερίου, θεωρούνται οι πιο ενεργητικά αποδοτικές διαδικασίες μετατροπής σε σχέση με τις παραδοσιακές διεργασίες της μεθανιοποίησης [44].

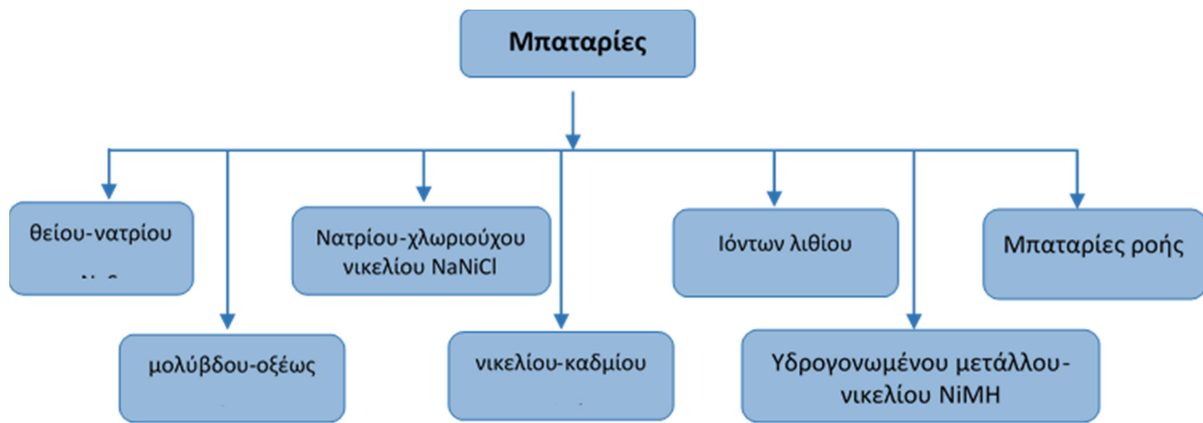
3.3 Ηλεκτροχημική Αποθήκευση Ενέργειας

Οι μπαταρίες αποθήκευσης ενέργειας (*battery energy storage system, BESS*), ανήκουν στην κατηγορία αποθήκευσης ενέργειας με ηλεκτροχημική μορφή, όπως παρουσιάστηκε και στο **Διάγραμμα 3.1**. Το σύστημα αυτό, είναι ουσιαστικά μία συσκευή αποθήκευσης ενέργειας που έχει σχεδιαστεί για τη μετατροπή της αποθηκευμένης χημικής ενέργειας σε ηλεκτρική, αλλά και της αντίστροφης διαδικασίας κατά τη διάρκεια φόρτισής της. Μπαταρίες έχουν χρησιμοποιηθεί σε διάφορες εφαρμογές σε ολόκληρο τον κόσμο, ενώ τα βασικότερα τμήματά τους είναι η μπαταρία, το σύστημα ελέγχου και κλιματισμού (C-PCS), ενώ το υπόλοιπο τμήμα της εγκατάστασης περιλαμβάνει και σύστημα προστασίας [38] (**Εικόνα 3.3**). Ανάλογα με την ισχύ τους, κάποιες μπαταρίες χρησιμοποιούνται για εφαρμογές υψηλής τάσης, ενώ άλλες για χαμηλότερες τιμές τάσεων. Ως εκ τούτου, η τεχνολογία του συστήματος των μπαταριών αποτελεί την πιο διαδεδομένη μέθοδο αποθήκευσης της ενέργειας [45, 46, 47].



Εικόνα 3.3 Βασικά στοιχεία και αρχή λειτουργίας του συστήματος αποθήκευσης ενέργειας μέσω της τεχνολογίας των μπαταριών. (Πηγή: Diaz-Gonzalez, Super, Gomis-Bellmunt, & Villafafila-Robles, 2012)

Οι μπαταρίες μπορούν να ταξινομηθούν σε δύο κύριες κατηγορίες, στις μπαταρίες χαμηλών θερμοκρασιών εσωτερικής αποθήκευσης (συνήθως λειτουργούν σε θερμοκρασία δωματίου), και σε αυτές των υψηλών θερμοκρασιών εξωτερικής αποθήκευσης. Η κύρια διαφορά μεταξύ των δύο αυτών κατηγοριών είναι ότι τα συστήματα εξωτερικής αποθήκευσης, επιτρέπουν τον διαχωρισμό του τμήματος της μετατροπής της ενέργειας από εκείνο των ενεργών υλικών που είναι αποθηκευμένα στο σύστημα. Παραδείγματα μπαταριών χαμηλής θερμοκρασίας εσωτερικής αποθήκευσης είναι οι μπαταρίες μολύβδου-οξέως (PbO_2), νικελίου-καδμίου (NiCd), ιόντων λιθίου, και υδρογονωμένου μετάλλου-νικελίου (NiMH), ενώ υψηλής νατρίου-θείου (NaS), νατρίου-χλωριούχου νικελίου ($NaNiCl$) και μπαταριών οξειδοαναγωγικής ροής και υβριδικής ροής (**Διάγραμμα 3.2**).

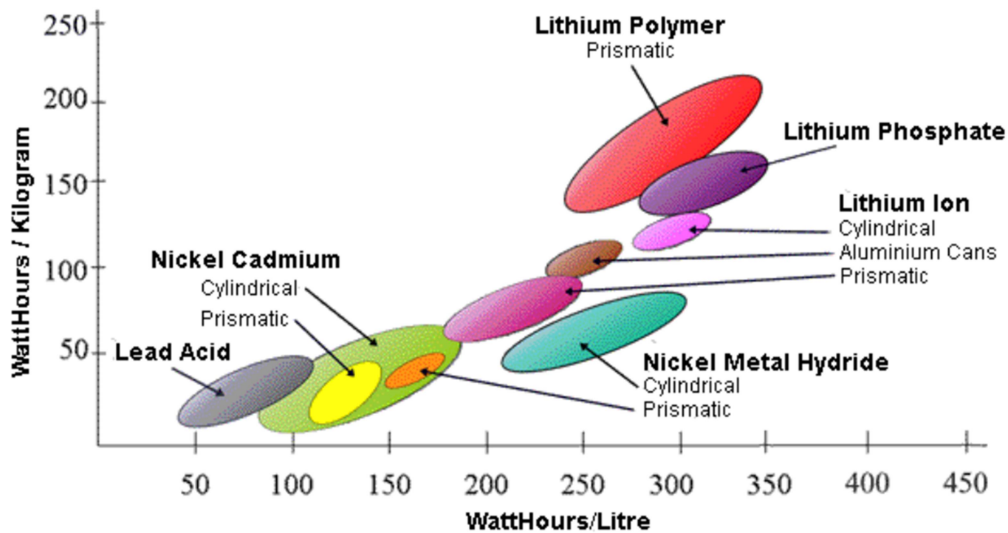


Διάγραμμα 3.2 Διαφορετικά είδη μπαταριών. (Πηγή: Ίδια Επεξεργασία)

3.3.1 Ιόντων Λιθίου

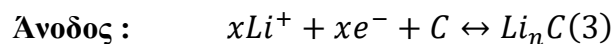
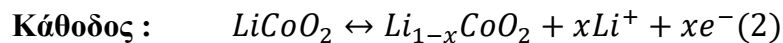
Οι μπαταρίες ιόντων λιθίου (Li-ion), έχουν εξαιρετικές εφαρμογές τόσο σε συσκευές χαμηλής όσο και υψηλής ισχύος καθώς και σε φορητές ηλεκτρονικές συσκευές. Προτιμώνται κυρίως λόγω της υψηλότερης ενεργειακής πυκνότητας αλλά και της υψηλότερης αποδοτικότητά τους [48]. Στο διάγραμμα που ακολουθεί (**Διάγραμμα 3.3**), απεικονίζεται η ενεργειακή πυκνότητα διαφόρων ειδών μπαταριών, ενώ παρατηρείται ότι οι μπαταρίες ιόντων λιθίου καταλαμβάνουν την υψηλότερη θέση.

Τα κύρια λειτουργικά μέρη μιας μπαταρίας είναι η άνοδος, η κάθοδος και ο ηλεκτρολύτης. Η άνοδος της μπαταρίας αυτής είναι κατασκευασμένη από γραφιτούχο άνθρακα, ενώ η κάθοδος αποτελείται από λιθιοποιημένο μεταλλικό οξείδιο. Ως μέσο αποθήκευσης, χρησιμοποιείται ένα μίγμα αλάτων λιθίου (LiBF_4 , LiClO_4 ή LiPF_6) σε οργανικό διάλυμα (ανθρακικό αιθυλένιο ή ανθρακικό διαιθυλεστέρα που περιέχει συμπλέγματα ιόντων λιθίου).



Διάγραμμα 3.3 Διαγραμματική απεικόνιση ενεργειακής πυκνότητας διαφόρων τύπων μπαταριών. (Πηγή: <https://www.mpoweruk.com/chemistries.htm>)

Κατά τη διαδικασία εκφόρτισης μιας μπαταρίας ιόντων λιθίου, η άνοδος οξειδώνεται ηλεκτροχημικά, γεγονός το οποίο προκαλεί την απελευθέρωση ιόντων λιθίου μέσα στον ηλεκτρολύτη. Τα ιόντα λιθίου Li^+ ιόν, μεταναστεύουν από το αρνητικό ηλεκτρόδιο, ενώ μεταφέρει ρεύμα στον θετικό πόλο και απορροφώνται από την κάθοδο. Η αντίστροφη διαδικασία είναι αυτή της φόρτισης, ενώ οι ηλεκτροχημικές εξισώσεις που περιγράφουν τις διαδικασίες αυτές είναι οι ακόλουθες (2,3):



Οι σύγχρονες μπαταρίες ιόντων λιθίου, έχει αποδειχθεί ότι έχουν διάρκεια άνω των 3000 κύκλων πλήρους φόρτισης [49], και αρκετά πλεονεκτήματα έναντι των υπόλοιπων τύπων μπαταριών. Μερικά από αυτά είναι:

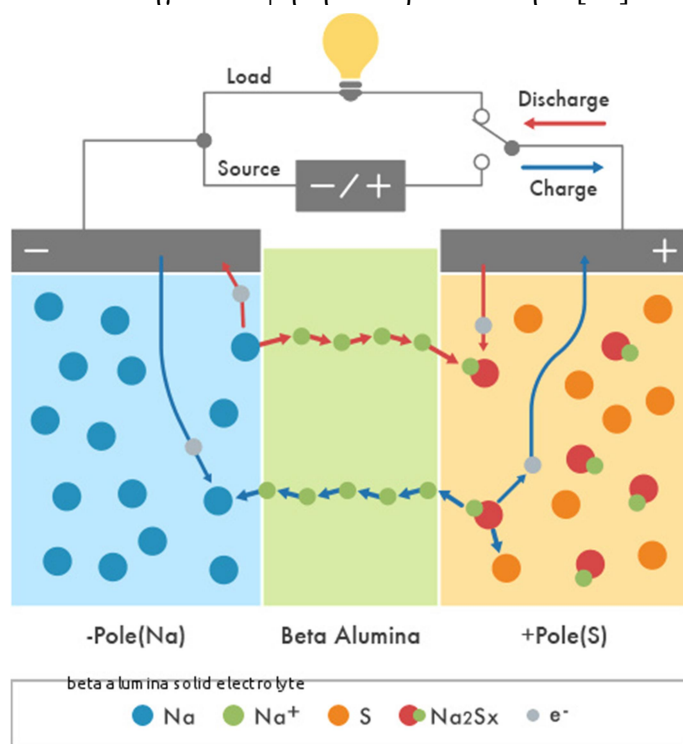
- **Υψηλή ενεργειακή πυκνότητα**, όπως αναφέρθηκε και ανωτέρω είναι ένα από τα κύρια πλεονεκτήματα των μπαταριών αυτών, καθώς οι σύγχρονες ενεργειακές ανάγκες απαιτούν μεγάλη διάρκεια λειτουργίας μεταξύ των φορτίσεων αφού η απαίτηση σε κατανάλωση ισχύος συνεχώς αυξάνεται.
- **Διατήρηση ενεργειακού φορτίου**, οι μπαταρίες λιθίου πλεονεκτούν σε αυτόν τον τομέα καθώς διαθέτουν αρκετά μικρό ρυθμό εκφόρτισης. Κατά τη διάρκεια μη χρήσης τους χάνουν περίπου 5% του φορτίου τους ανά μήνα, ενώ ο αντίστοιχος ρυθμός εκφόρτισης των μπαταριών NiMH είναι 20%.
- **Υψηλότερη απόδοση**, καθώς αποτελούνται από χημικά συστατικά καλύτερης ποιότητας σε σχέση με τους υπόλοιπους τύπους. Έτσι, διαθέτουν καλύτερη ηλεκτρική αγωγιμότητα και συνεπώς μικρότερες απώλειες άρα μεγαλύτερο βαθμό απόδοσης.

- **Μειωμένο βάρος**, μία μπαταρία ιόντων λιθίου είναι πολύ ελαφρύτερη από τις αντίστοιχες άλλου τύπου, όπως για παράδειγμα 40% πιο ελαφριά από αυτή του νικελίου.
- **Ποικιλία διαθέσιμων τύπων**, καθώς έχουν αναπτυχθεί διάφορα διαθέσιμα μοντέλα τέτοιων μπαταριών, το καθένα από τα οποία εξυπηρετεί ανάγκες διαφορετικών εφαρμογών.
- **Μειωμένη συντήρηση**, γεγονός το οποίο υποδεικνύει ότι δεν απαιτούν συντήρηση για να διασφαλιστεί η ποιοτική λειτουργία τους.

Μειονέκτημα των μπαταριών αυτών είναι το υψηλό κόστος, περίπου 40% ακριβότερες από αντίστοιχες μπαταρίες νικελίου καδμίου, καθώς εξαρτάται από τη διάρκεια ζωής τους, την απόδοσή τους κλπ. Επιπλέον, απαιτείται η δημιουργία ενός κυκλώματος προστασίας αυτών, προκειμένου να διασφαλιστεί η ασφαλής λειτουργία τους, καθώς οι μπαταρίες ιόντων λιθίου δεν είναι τόσο στιβαρές όσο άλλες επαναφορτιζόμενες τεχνολογίες [50].

3.3.2 Θεικού Νατρίου (NaS)

Οι μπαταρίες αυτές ανήκουν στην κατηγορία Molten-metal batteries, δηλαδή μπαταρίες που αποτελούνται από λιωμένα μέταλλα. Έτσι, μία μπαταρία NaS αποτελείται από τηγμένο θείο στο θετικό ηλεκτρόδιο και τηγμένο νάτριο στο αρνητικό. Για τον διαχωρισμό των ενεργών αυτών υλικών, χρησιμοποιείται ηλεκτρολύτης τύπου Beta-Alumina solid electrolyte, ο οποίος είναι ταχείας αγωγής. Οι αντιδράσεις που πραγματοποιούνται συνήθως απαιτούν υψηλές θερμοκρασίες (574-624 K), προκειμένου να διασφαλιστεί ότι τα ηλεκτρόδια βρίσκονται σε υγρή κατάσταση, γεγονός το οποίο οδηγεί σε υψηλή αντιδραστικότητα [37].



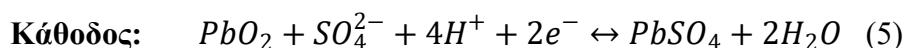
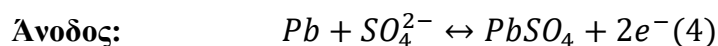
Εικόνα 3.4 Διάταξη μπαταρίας θεικού νατρίου, NaS. (Πηγή: www.sciencphoto.oou)

Οι μπαταρίες αυτές έχουν σχετικά υψηλή ενεργειακή πυκνότητα (150-300 Wh/l), σχεδόν μηδενική ημερήσια αυτοεκφόρτιση και μεγάλη χωρητικότητα σε σχέση με τους υπόλοιπους τύπους μπαταριών (244,8 MWh) [38, 51]. Επιπλέον, η τεχνολογία αυτή χρησιμοποιεί μη τοξικά υλικά τα οποία οδηγούν σε υψηλό επίπεδο ανακυκλωσιμότητας έως και 99% [38]. Διαθέτει κύκλο ζωής περίπου 2.500 κύκλους πλήρους φόρτισης, ενώ έχει δημιουργηθεί για να χρησιμοποιείται σε εφαρμογές με σχετικά υψηλές απαιτήσεις ενέργειας, όπως για παράδειγμα στις ΑΠΕ αλλά και σε εγκαταστάσεις διανομής (σταθερότητα, ρύθμιση τάσης).

3.3.3 Μολύβδου-Οξέως (PbO_2)

Οι μπαταρίες αυτές αποτελούν το πρώτο είδος επαναφορτιζόμενων μπαταριών που χρησιμοποιήθηκαν τόσο για οικιακούς σκοπούς, όσο και σε εμπορικές εφαρμογές [52]. Παρόλα αυτά η χρήση των μπαταριών μολύβδου - οξέως σε εμπορικές εφαρμογές μέχρι και σήμερα είναι περιορισμένη, καθώς έχουν κατασκευαστεί αποδοτικότερες μπαταρίες ως προς την ενεργειακή πυκνότητα. Επί του παρόντος, εξακολουθούν να χρησιμοποιούνται μέχρι και σήμερα σε ορισμένους τομείς εξαιτίας του χαμηλού κόστους τους, της αξιοπιστίας που προσφέρουν, την εκτεταμένη διάρκεια ζωής καθώς και την γρήγορη ανταπόκριση που έχουν [53].

Όπως και με τις υπόλοιπες τεχνολογίες μπαταριών, έτσι και στις μπαταρίες μολύβδου οξέως, η λειτουργία τους βασίζεται σε δύο χημικές αντιδράσεις. Οι αντιδράσεις που πραγματοποιούνται στην άνοδο αλλά και στην κάθοδο του συστήματος αυτού, είναι οι ακόλουθες (4,5):



Ειδικότερα, χρησιμοποιείται διοξείδιο του μολύβδου (PbO_2) ως κάθοδος, μολύβδος ως άνοδος, ενώ ο ηλεκτρολύτης αποτελείται από θειικό οξύ. Οι μπαταρίες μολύβδου – οξέως έχουν γρήγορους χρόνους απόκρισης, μικρές ημερήσιες αναλογίες αυτοαπορρόφησης (<0.3%), σχετικά υψηλή απόδοση κύκλου (63-90%) και χαμηλό κόστος κεφαλαίου.

Μειονέκτημα αυτής της τεχνολογίας μπαταριών αποτελεί η μικρή ενεργειακή πυκνότητα που διαθέτουν, γεγονός το οποίο τις καθιστά ογκώδεις. Επιπλέον, σημαντικό πρόβλημα αποτελεί η διαχείρισή τους μετά το τέλος ζωής τους, καθώς απαιτείται ιδιαίτερη προσοχή και φιλική προς το περιβάλλον απόρριψη, αφού περιέχουν μολύβδο, ο οποίος είναι ιδιαίτερα δηλητηριώδης. Συνεπώς, οι μπαταρίες αυτές είναι ιδιαίτερα οικονομικές και αξιόπιστες αλλά δύναται να χρησιμοποιηθούν σε περιπτώσεις, όπως Φ/Β εγκαταστάσεις, όπου το μέγεθός τους και το βάρος δεν αποτελούν ιδιαίτερο πρόβλημα.

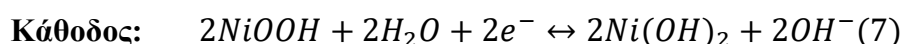
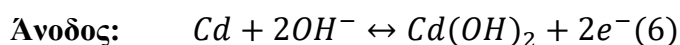
Σήμερα, η έρευνα και η ανάπτυξη των μπαταριών αυτών επικεντρώνεται στην εύρεση καινοτόμων υλικών για τη βελτίωση της απόδοσης, όπως η επέκταση των κύκλων φόρτισης αλλά και η εφαρμογή της τεχνολογίας σε εφαρμογές όπως η αιολική ενέργεια, φωτοβολταϊκές εγκαταστάσεις αλλά και στον τομέα της αυτοκινητοβιομηχανείας. Τέλος, έχουν αναπτυχθεί

αρκετές προηγμένες μπαταρίες μολύβδου οξέως, οι οποίες έχουν γρήγορες αποκρίσεις συγκρίσιμες με αυτές των σφονδύλων και των υπερκαταναλωτών, και σήμερα είναι σε φάση ανάπτυξης ή βρίσκονται υπό πιλοτικές εφαρμογές [54].

3.3.4 Νικελίου-Καδμίου (NiCd)

Το 1899, ο Waldemar Junger Σουηδός Μηχανικός, εφεύρε τις μπαταρίες νικελίου. Οι μπαταρίες αυτές, οι οποίες ανήκουν επίσης στην κατηγορία των επαναφορτιζόμενων μπαταριών, έχουν μέτρια ενεργειακή απόδοση, καλή διάρκεια κύκλων φόρτισης, καλή απόδοση συστήματος σε χαμηλές θερμοκρασίες και πολλά διαθέσιμα μεγέθη. Οι μπαταρίες νικελίου είναι ιδιαίτερα ισχυρές και αποδεδειγμένα έχουν αντικαταστήσει αυτές του μολύβδου οξέως.

Τα κύρια συστατικά από τα οποία αποτελείται μία μπαταρία νικελίου, είναι το υδροξείδιο του νικελίου και το κάδμιο, τα οποία χρησιμεύουν ως κάθοδος και άνοδος αντίστοιχα. Υδροξείδιο του καλίου χρησιμοποιείται ως αλκαλικός ηλεκτρολύτης, ενώ το περιεχόμενο της μπαταρίας είναι κλεισμένο σε καλά ασφαλισμένο μεταλλικό περίβλημα. Οι ηλεκτροχημικές αντιδράσεις που λαμβάνουν χώρα κατά τις διεργασίες φόρτισης και εκφόρτισης είναι οι ακόλουθες (6,7):



Ένα από τα αξιοσημείωτα μειονεκτήματα της τεχνολογίας αυτής βασίζεται στο υψηλό κόστος, εξαιτίας των ιδιαίτερα δαπανηρών υλικών που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή τους, όπως είναι το κάδμιο και το νικέλιο. Περιβαλλοντικοί περιορισμοί πιθανότατα να υπάρχουν κατά τη χρήση των μπαταριών αυτών, καθώς τα μέταλλα που περιέχονται είναι τοξικά και συνήθως δεν πραγματοποιείται σωστή απόρριψή τους κατά το πέρας της λειτουργίας τους. Το κάδμιο και το νικέλιο θα πρέπει να σημειωθεί ότι είναι τοξικά βάρεια μέταλλα, με ιδιαίτερα υψηλό αντίκτυπο κινδύνου για την υγεία των ανθρώπων [55].

Ένα άλλο σημαντικό πρόβλημα των μπαταριών αυτών είναι το λεγόμενο “φαινόμενο μνήμης”. Η μπαταρία πρέπει να φορτιστεί και να αποφορτιστεί πλήρως καθώς, σε περίπτωση που είναι μέτρια φορτισμένη και εισαχθεί σε νέο κύκλο φόρτισης, θα ξεχάσει την νέα κατάσταση και θα αποφορτιστεί σύμφωνα με την προηγούμενη. Κατά το φαινόμενο αυτό, η χωρητικότητα των μπαταριών αυτών μειώνεται δραματικά. Επιπλέον, ένα μειονέκτημα των μπαταριών νικελίου καδμίου που έχει αναφερθεί είναι η αυτοεκφόρτισης [56, 57].

Ωστόσο, παρόλα τα ελαττώματα που έχουν προαναφερθεί, αυτός ο τύπος μπαταριών χρησιμοποιείται σε αρκετές εφαρμογές όπως για παράδειγμα σε συστήματα UPS, ενώ μερικά από τα πλεονεκτήματά τους είναι τα ακόλουθα [58]:

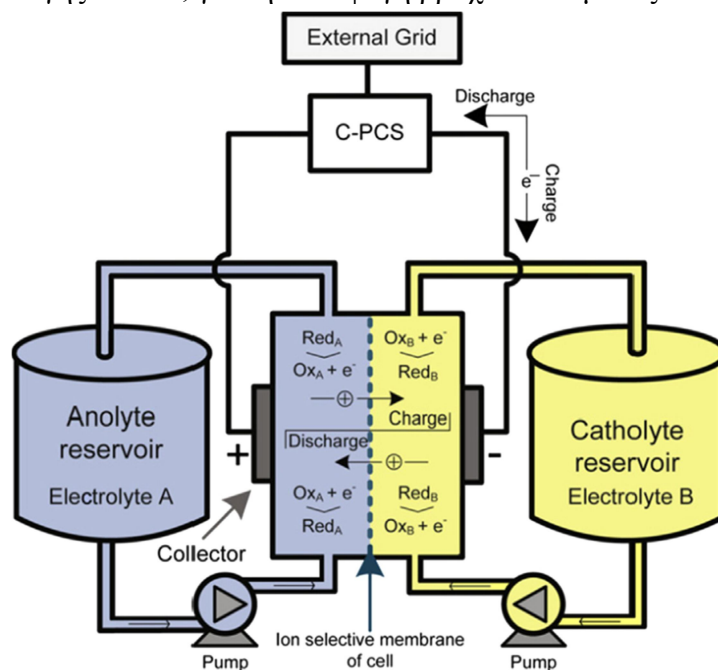
- ο Καλής ποιότητας χαρακτηριστικά, με μεγάλη διάρκεια ζωής (πάνω από 3500 κύκλους φόρτισης), σε συνδυασμό με χαμηλές απαιτήσεις συντήρησης.

- Εξαιρετικά στιβαρή κατασκευή που τις καθιστούν λιγότερο επιρρεπείς στις φθορές.
- Ικανές να αντέχουν σε υψηλό ρεύμα αποφόρτισης.

Συμπερασματικά, το κύριο μειονέκτημα των μπαταριών αυτών είναι η τοξικότητα των υλικών τους, ο υψηλός ρυθμός αυτοεκφόρτισης, ενώ σε σχέση με τις μπαταρίες λιθίου ή μολύβδου οξέως δεν διαθέτουν κάποιο ιδιαίτερο πλεονέκτημα.

3.3.5 Μπαταρίες Ροής (Flow Batteries)

Οι μπαταρίες ροής, αποτελούν μία νέα τεχνολογία επαναφορτιζόμενων μπαταριών που έχει αναπτυχθεί τα τελευταία χρόνια. Η αρχή λειτουργίας του συστήματος αυτού απεικονίζεται σχηματικά στην εικόνα που ακολουθεί (Εικόνα 3.5). Όπως παρατηρεί κανείς, τα συστήματα μπαταριών ροής είναι σχεδιασμένα έτσι ώστε να έχουν δύο εξωτερικές δεξαμενές αποθήκευσης ηλεκτρολυτών και να διαχωρίζονται από την μονάδα μετατροπής της ηλεκτρικής ενέργειας με μία μεμβράνη ανταλλαγής ιόντων, για την αποφυγή βραχυκυκλώματος.



Εικόνα 3.5 Σχηματική απεικόνιση αρχή λειτουργίας μπαταριών ροής. (Πηγή: Diaz-Gonzalez, Super, Gomis-Bellmunt, & Villafafila-Robles, 2012)

Η διαδικασία μετατροπής της ηλεκτρικής ενέργειας λαμβάνει χώρα στο ηλεκτροχημικό κύτταρο, αφού πρώτα μεταφερθούν σε αυτό οι ηλεκτρολύτες με τη βοήθεια αντλιών. Έτσι, κατά τη διαδικασία αυτή και καθώς οι ηλεκτρολύτες διέρχονται από τη μεμβράνη, ο μεν οξειδώνεται ενώ ο δε ανάγεται, με αποτέλεσμα την παραγωγή ρεύματος στο εσωτερικό του κυκλώματος.

Οι μπαταρίες ροής χωρίζονται σε τρεις κύριες κατηγορίες ανάλογα με το είδος του ηλεκτρολύτη που χρησιμοποιείται, ο οποίος μπορεί να είναι:

- Ηλεκτρολύτης θεικού οξέος (οξειδοαναγωγικά ζεύγη βαναδίου),
- Ηλεκτρολύτης βρωμιούχου ψευδαργύρου, και
- Ηλεκτρολύτης βρωμιδίου του νατρίου / πολυθειούχου νατρίου.

Στα συστήματα ισχύος, οι μπαταρίες ροής έχουν σημαντική εφαρμογή όσον αφορά την παραγωγή, τη μετάδοση αλλά και τη διανομή της ενέργειας. Έτσι, οι μπαταρίες ροής προσφέρουν αρκετά πλεονεκτήματα σε σύγκριση με τις συμβατικές μπαταρίες. Αρκεί να σημειωθεί ότι αντίθετα με τις μπαταρίες στερεής κατάστασης, στις μπαταρίες ροής η ικανότητα αποθήκευσης της ενέργειας, και η ικανότητα παροχής ισχύος είναι δύο τελείως ανεξάρτητες έννοιες. Η απόδοση ισχύος εξαρτάται από το ενεργό εμβαδόν των κυψελών, ενώ η χωρητικότητα αποθήκευσης από τη ποσότητα του διαθέσιμου ηλεκτρολύτη και κατά συνέπεια, από το μέγεθος των δεξαμενών.

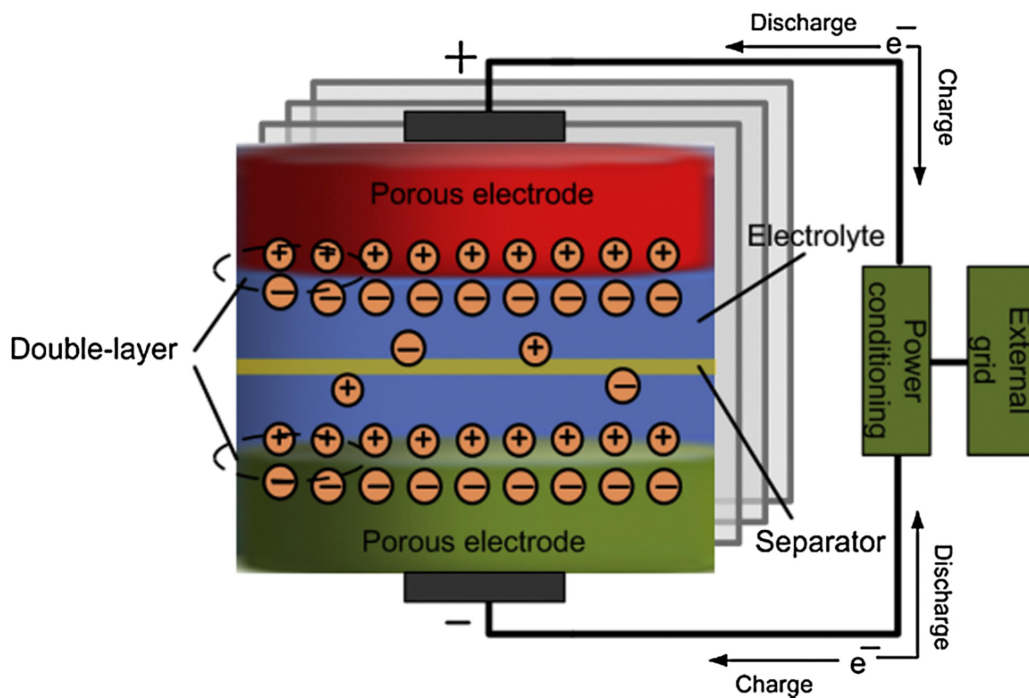
Ως εκ τούτου, οι μπαταρίες ροής πλεονεκτούν αφού οι δύο παράγοντες που αναφέρθηκαν ανωτέρω, καθιστούν δυνατή τη σχεδίαση του συστήματος με τέτοιο τρόπο ώστε να έχει τις βέλτιστες δυνατότητες και τη μέγιστη ενεργειακή πυκνότητα. Επιπλέον, τα ηλεκτρόδια που χρησιμοποιούνται, κατά τη διάρκεια λειτουργίας του συστήματος δεν υπόκεινται σε φυσικές ή χημικές αλλαγές, γεγονός το οποίο καθιστά το σύστημα αυτό περισσότερο ανθεκτικό, ασφαλές αλλά και με σταθερή απόδοση [59].

Στα μειονεκτήματα των μπαταριών ροής συγκαταλέγονται η χαμηλή απόδοση η οποία οφείλεται σε ανομοιόμορφες πτώσεις πίεσης λόγω των αντλιών, το σχετικά υψηλό κόστος κατασκευής, και οι πολύπλοκες απαιτήσεις του συστήματος σε σύγκριση με τις παραδοσιακές μπαταρίες [60, 61].

3.4 Ηλεκτρικά Συστήματα Αποθήκευσης EESS

3.4.1 Πυκνωτές και Ηλεκτροχημικοί Πυκνωτές

Ο πιο ευθύς και άμεσος τρόπος αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας είναι με τη χρήση του πυκνωτή (*capacitor*). Στην απλούστερη μορφή του, ένας πυκνωτής αποτελείται από δύο μεταλλικές πλάκες, οι οποίες χωρίζονται από μια μη αγώγιμη επιφάνεια, η οποία ονομάζεται διηλεκτρικό. Όταν φορτίζεται ο πυκνωτής, αποθηκεύεται ενέργεια στο διηλεκτρικό υλικό σε ένα ηλεκτροστατικό πεδίο [62]. Η μέγιστη τάση λειτουργίας ενός πυκνωτή εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά διάσπασης του διηλεκτρικού υλικού, ενώ είναι κατάλληλοι για την αποθήκευση μικρών ποσοτήτων ενέργειας καθώς έχουν υψηλότερη πυκνότητα ισχύος και μικρότερο χρόνο φόρτισης σε σύγκριση με τις συμβατικές μπαταρίες [63]. Ωστόσο, έχουν περιορισμένη ικανότητα, σχετικά χαμηλή ενεργειακή πυκνότητα και υψηλή κατανάλωση ενέργειας λόγω των υψηλών απωλειών [62]. Σύμφωνα με τα χαρακτηριστικά αυτά, οι πυκνωτές μπορούν να χρησιμοποιηθούν για ορισμένες εφαρμογές ισχύος, όπως διόρθωση της υψηλής τάσης, εξομάλυνση της παροχής ισχύος και ανάκτηση ενέργειας στα συστήματα μαζικής μεταφοράς.



Εικόνα 3.6 Σχηματική απεικόνιση διάταξης υπερπυκνωτή. (Πηγή: (Luo, Huang, Gong, & Ma, 2012)

Με την πάροδο των χρόνων έχει επιτευχθεί μεγάλη πρόοδος στη τεχνολογία αποθήκευσης ενέργειας μέσω πυκνωτών. Αντί της κοινής διάταξης που περιεγράφηκε ανωτέρω, ενός στερεού διηλεκτρικού μεταξύ των ηλεκτροδίων, πλέον τοποθετείται ένα διάλυμα ηλεκτρολύτη μεταξύ των δύο στερεών αγωγών. Εξαιτίας της δομής τους, οι υπερπυκνωτές μπορούν να έχουν τα χαρακτηριστικά τόσο των παραδοσιακών πυκνωτών, όσο και των ηλεκτροχημικών μπαταριών. Σε σύγκριση με τους συμβατικούς πυκνωτές, η διάταξη αυτή έχει πολύ μεγαλύτερη χωρητικότητα και πυκνότητα ενέργειας [64, 62]. Οι ηλεκτροχημικοί πυκνωτές, έχουν σχεδόν απεριόριστη σταθερότητα κύκλου καθώς και εξαιρετικά υψηλή πυκνότητα ισχύος, γρήγορη φόρτιση και εκφόρτιση, εξαιτίας της εξαιρετικά χαμηλής εσωτερικής αντίστασης που διαθέτουν. Άλλα πλεονεκτήματα είναι η ανθεκτικότητα, η υψηλή αξιοπιστία, η συντήρηση, η μεγάλη διάρκεια ζωής και η λειτουργία σε μεγάλο εύρος θερμοκρασιών και σε ποικίλα περιβάλλοντα. Είναι φιλικό προς το περιβάλλον, και ανακυκλώνονται ή επαναχρησιμοποιούνται πολύ εύκολα. Η απόδοση είναι συνήθως 90%, και ο χρόνος εκφόρτισης κυμαίνεται από δευτερόλεπτα έως ώρες.

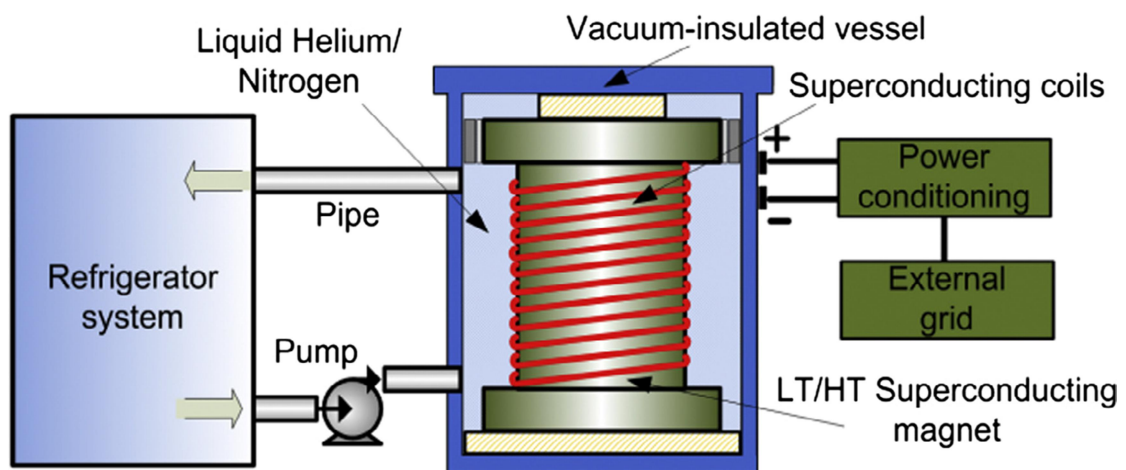
Η έρευνα και η ανάπτυξη των ηλεκτροχημικών πυκνωτών τα τελευταία χρόνια είναι ιδιαίτερα ενεργή. Ορισμένες πρόσφατες μελέτες επικεντρώθηκαν στην ανάπτυξη χημικών υλικών για την αποθήκευση ενέργειας. Ένα νέο σύνθετο υλικό που σχηματίζεται με διασπορά νανοσωματιδίων πυριτίου σε πολυανιλίνη, αναπτύχθηκε για χρήση ως ηλεκτρόδιο σε υπερπυκνωτές [65].

3.4.2 Υπεραγώγιμη Μαγνητική Ενεργειακή Αποθήκευση (SMES)

Ένα τυπικό σύστημα υπεραγώγιμης μαγνητικής ενεργειακής αποθήκευσης (*superconducting magnetic energy storage, SMES*), αποτελείται από τρία βασικά στοιχεία τα οποία

περιλαμβάνουν: μία υπεραγώγιμη μονάδα πηνίου, ένα υποσύστημα κλιματισμού και ένα υποσύστημα ψύξης [66, 38]. Το σύστημα αυτό αποθηκεύει ηλεκτρική ενέργεια στο μαγνητικό πεδίο που παράγεται από το συνεχές ρεύμα στο υπεραγώγιμο πηνίο, το οποίο κρυογονικά ψύχεται σε θερμοκρασία χαμηλότερη από την κρίσιμη υπεραγώγιμη θερμοκρασία του. Γενικά, όταν το ρεύμα διέρχεται από ένα πηνίο, η ηλεκτρική ενέργεια διαχέεται ως θερμότητα λόγω της αντίστασης του ρεύματος. Ωστόσο, εάν το πηνίο είναι κατασκευασμένο από υπεραγώγιμο υλικό, όπως για παράδειγμα ο υδράργυρος ή το βανάδιο, έχουμε μηδενική αντίσταση και η ηλεκτρική ενέργεια μπορεί να αποθηκευτεί σχεδόν με μηδενικές απώλειες.

Κατά τη φάση της εκφόρτισης, το σύστημα απελευθερώνει την αποθηκευμένη ηλεκτρική ενέργεια πίσω στο σύστημα του εναλλασσόμενου ρεύματος, μέσω συνδεδεμένου μετασχηματιστή ισχύος. Η ποσότητα της αποθηκευμένης ενέργειας προσδιορίζεται από την αυτοαγωγιμότητα του πηνίου και το ρεύμα που διέρχεται από αυτό. Μία απλοποιημένη μορφή ενός συστήματος SMES, απεικονίζεται στην εικόνα που ακολουθεί (Εικόνα 3.7).



Εικόνα 3.7 Σχηματική απεικόνιση διάταξης συστήματος SMES. (Πηγή: Luo, Huang, Gong, & Ma, 2012)

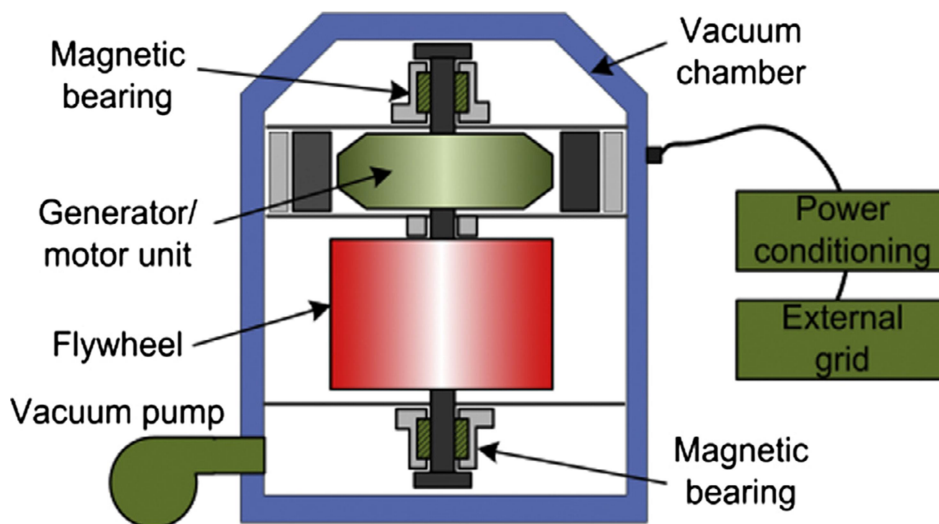
Τα χαρακτηριστικά του συστήματος SMES περιλαμβάνουν, σχετικά υψηλή πυκνότητα ισχύος (έως και 4000W/L), γρήγορο χρόνο απόκρισης, υψηλή απόδοση κύκλου (95-98%). Τα μειονεκτήματα του συστήματος αυτού είναι το υψηλό κόστος κεφαλαίου, η υψηλή ημερήσια αυτοεκφόρτιση (10-15%), και το αρνητικό περιβαλλοντικό αντίκτυπο εξαιτίας του ισχυρού μαγνητικού πεδίου που αναπτύσσεται [62]. Επίσης, το πηνίο είναι ευαίσθητο σε μικρές μεταβολές της θερμοκρασίας, οι οποίες μπορεί να προκαλέσουν απώλεια ενέργειας. Από όλα τα παραπάνω που προαναφέρθηκαν, ένα σύστημα SMES είναι κατάλληλο για βραχυπρόθεσμη αποθήκευση ενέργειας [66].

3.5 Μηχανική Αποθήκευση

3.5.1 Σφόνδοιλοι (FES)

Η τεχνολογία αποθήκευσης ενέργειας μέσω σφονδύλων (*flywheels, FES*), έχει αρχίσει να αναπτύσσεται από τη δεκαετία του 1950, κατά την οποία είχαν κατασκευαστεί αρκετά πειραματικά λεωφορεία, χρησιμοποιώντας την αρχή λειτουργίας του σφονδύλου, γνωστά και ως “gyrobuses” [67]. Ένα σύγχρονο σύστημα σφονδύλων αποτελείται, όπως φαίνεται και στην εικόνα που ακολουθεί (**Εικόνα 3.8**), από τέσσερα κύρια στοιχεία [68]:

1. έναν σφόνδυλο,
2. μια ομάδα ρουλεμάν,
3. έναν αναστρέψιμο ηλεκτρικό κινητήρα / γεννήτρια, και
4. ένα θάλαμο κενού.



Εικόνα 3.8 Σχηματική απεικόνιση διάταξης σφονδύλου. (Πηγή: Luo, Huang, Gong, & Ma, 2012)

Η **Εικόνα 3.8** δείχνει την απλοποιημένη δομή μιας σύγχρονης εγκατάστασης FES. Στο σύστημα αυτό, χρησιμοποιείται ηλεκτρισμός για να επιταχύνεται ή να επιβραδύνεται ο σφόνδυλος, δηλαδή, η αποθηκευμένη ενέργεια μεταφέρεται από ή προς τον σφόνδυλο μέσω του ενσωματωμένου κινητήρα / γεννήτριας. Για τη μείωση των απωλειών από την αντίσταση του αέρα, το σύστημα αυτό μπορεί να τοποθετηθεί σε περιβάλλον υψηλού κενού. Η ποσότητα της αποθηκευμένης ενέργειας εξαρτάται από την ταχύτητα περιστροφής του σφονδύλου καθώς και την αδράνεια του. Έτσι, η διάταξη αυτή μπορεί να ταξινομηθεί σε δύο κατηγορίες με βάση τη παραγόμενη ταχύτητα: (1) **χαμηλής ταχύτητας**, χρησιμοποιείται χάλυβας ως υλικό σφονδύλου και περιστρέφεται κάτω από $\sim 6 \times 10^3$ rpm και (2) **υψηλής ταχύτητας**, χρησιμοποιούνται προηγμένα σύνθετα υλικά για το σφόνδυλο, όπως οι ίνες άνθρακα, οι οποίες μπορούν να φτάσουν έως και τις $\sim 10^5$ rpm [69].

Τα συστήματα χαμηλής ταχύτητας FES χρησιμοποιούνται συνήθως βραχυπρόθεσμα και για εφαρμογές μέσης / υψηλής ισχύος. Τα συστήματα FES υψηλής ταχύτητας χρησιμοποιούν μη μαγνητικά έδρανα για την άμβλυνση της φθοράς τους, βελτιώνοντας έτσι παράλληλα και την αποδοτικότητα. Η ακριβής ενέργεια των σφονδύλων χαμηλής ταχύτητας είναι 5Wh/kg, και ο σύνθετος ρότορας υψηλής ταχύτητας μπορεί να επιτύχει ενέργεια έως και 100Wh/kg [70].

Συνεπώς, το κόστος των σύνθετων συστημάτων υψηλών ταχυτήτων μπορεί να είναι πολύ υψηλότερο από αυτό των συμβατικών συστημάτων σφονδύλου.

Το FES διαθέτει αρκετά θετικά χαρακτηριστικά, μεταξύ των οποίων είναι η υψηλή απόδοση (έως και 95% της ονομαστικής ισχύος), η σχετικά υψηλή πυκνότητα ισχύος, η εύκολη συντήρηση με χαμηλό κόστος, οι ελάχιστες επιπτώσεις απορρίψεων, η φιλικότητα ως προς το περιβάλλον και το ευρύ φάσμα θερμοκρασιών λειτουργίας το οποίο το καθιστά ικανό να επιβιώσει σε απαιτητικές καταστάσεις [71, 72]. Το υλικό του στροφείου, η γεωμετρία καθώς και το μήκος του είναι οι βασικοί παράγοντες που επηρεάζουν άμεσα την ποσότητα της παραγόμενης ενέργειας αλλά και τη χωρητικότητα αποθήκευσης του εκάστοτε σφονδύλου [73].

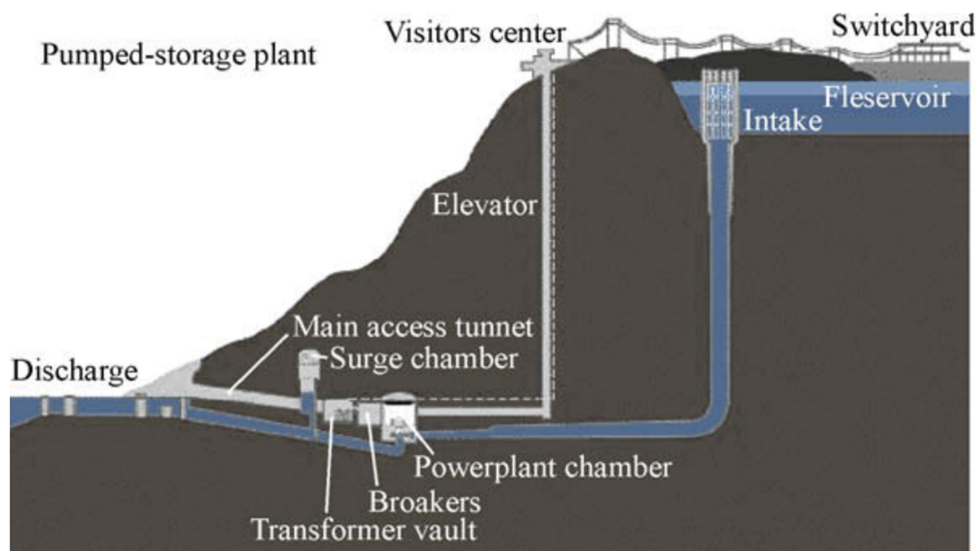
Κανονικά, τα συστήματα αυτά μπορούν να παρέχουν επαρκή ποσότητα ισχύος σε σύντομο χρονικό διάστημα με μέτρια χωρητικότητα. Παρόλα αυτά όμως, δεν χρησιμοποιούνται ως ανεξάρτητη εφεδρική ισχύ παρά μόνο εάν λειτουργούν με άλλα συστήματα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, όπως μπαταρίες ή γεννήτριες καυσίμων. Η κύρια αδυναμία των FES είναι ότι το τμήμα του σφονδύλου υποφέρει από απώλειες κατά το χρονικό διάστημα που ο σφόνδυλος είναι σε λειτουργία ρελαντί. Το γεγονός αυτό δύναται να οδηγήσει το σύστημα σε σχετικά υψηλή αυτοεκφόρτιση, μέχρι και 20% της αποθηκευμένης χωρητικότητας ανά ώρα [70].

3.5.2 Αντλησιοταμίευση (PHSS)

Το σύστημα αποθήκευσης ενέργειας με αντλίες υδροηλεκτρικής ενέργειας (*pumped hydro storage system, PHSS*), ήταν το πρώτο σε δημιουργία σύστημα που χρησιμοποιήθηκε [74]. Είναι η πιο ευρέως εφαρμοζόμενη τεχνολογία, αντιπροσωπεύοντας σχεδόν το 99% της παγκόσμιας αγοράς με εγκατεστημένη χωρητικότητα 127-129GW το 2012, συνεισφέροντας περίπου στο 3% της παγκόσμιας παραγωγής [64, 75].

Όπως απεικονίζεται και σχηματικά στη εικόνα που ακολουθεί (**Εικόνα 3.9**), ένα συμβατικό σύστημα αντλησιοταμίευσης αποτελείται από:

1. δύο δεξαμενές νερού τοποθετημένες σε διαφορετικά υψόμετρα,
2. μία μονάδα άντλησης νερού στο υψηλότερο σημείο,
3. έναν στρόβιλο για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.



Εικόνα 3.9 Σχηματική αναπαράσταση συστήματος αντλιοσταμείωσης. (Πηγή:Chen, Cong, & Yang, 2009)

Ουσιαστικά, το νερό που βρίσκεται στην δεξαμενή με το υψηλότερο υψόμετρο, αντιπροσωπεύει το δυναμικό ή την αποθηκευμένη ενέργεια. Τις ώρες μη λειτουργίας, αντλείται νερό από τη δεξαμενή χαμηλότερου επιπέδου, προκειμένου να φορτιστεί η δεξαμενή του υψηλότερου επιπέδου. Στη διαδικασία αποφόρτισης, το νερό από την άνω δεξαμενή απελευθερώνεται και ρέει μέσω υδροστροβίλων οι οποίοι συνδέονται με γεννήτριες, παράγοντας ηλεκτρική ενέργεια τις ώρες αιχμής [76]. Σαφώς, η ποσότητα της αποθηκευμένης ενέργειας είναι ανάλογη με την υψομετρική διαφορά των δύο δεξαμενών και την ένταση του αποθηκευμένου νερού.

Η μέθοδος αυτή, έχει την καλύτερη ενεργειακή αξιολόγηση, αποδίδοντας την μεγαλύτερη ισχύ και απόδοση, έχοντας μεγάλη διάρκεια ζωής με σχετικά χαμηλό κόστος κεφαλαίου ανά μονάδα παραγόμενης ενέργειας. Επιπλέον, εξαιτίας της μικρής εξάτμισης και διεύδυσης του νερού, η περίοδος αποθήκευσης του συστήματος αυτού μπορεί να ποικίλει από μερικές ώρες έως μερικές ημέρες ή ακόμη και χρόνια. Έτσι, λαμβάνοντας υπόψιν τους δύο αυτούς παράγοντες απωλειών, το 71-85% που χρησιμοποιείται για την ανύψωση του νερού στην δεξαμενή αποθήκευσης, μπορεί να επανακτηθεί.

Η μέθοδος αυτή, εκτός από τα πολλά πλεονεκτήματα διαθέτει και τρεις βασικούς περιορισμούς. Αρχικά, το κυριότερο μειονέκτημα έγκειται στην έλλειψη διαθέσιμων χώρων, καθώς απαιτείται χώρος για δύο μεγάλες δεξαμενές και ένα ή και δύο φράγματα. Ο μεγάλος χρόνος (τυπικά 10 χρόνια) αλλά και το υψηλό κόστος για κατασκευαστικά και περιβαλλοντικά θέματα, είναι επίσης δύο σημαντικοί περιορισμοί [77, 78].

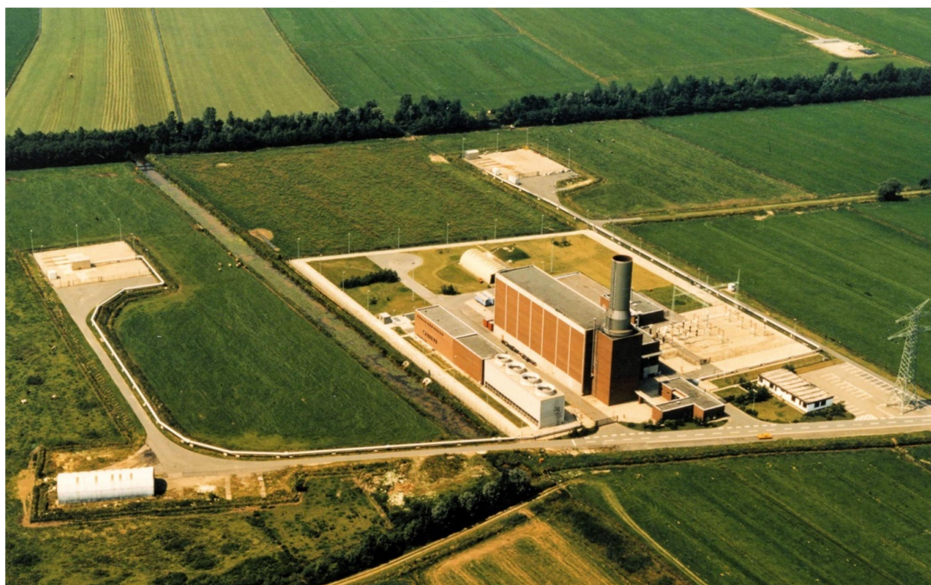
3.5.3 Ενεργειακή Αποθήκευση Συμπιεσμένου Αέρα (CAES)

Η ενεργειακή αποθήκευση συμπιεσμένου αέρα (*compressed air energy storage, CAES*), είναι η δεύτερη σε σειρά πιο εμπορική διαθέσιμη τεχνολογία μετά την αντλιοσταμείωση, ικανή να

χαρακτηριστικό του συστήματος αυτού είναι η απορριπτόμενη θερμότητα των καυσαερίων ενδεχομένως να επαναχρησιμοποιείται στο στάδιο της εκτόνωσης.

Τα συστήματα αυτά σχεδιάζονται για να λειτουργούν αποτελεσματικά καθημερινά σε συνθήκες μερικού φορτίου. Ο σχεδιασμός αυτός επιτρέπει τις μονάδες αυτές να μεταβαίνουν γρήγορα από συνθήκες παραγωγής σε συνθήκες συμπίεσης. Τα συστήματα που επωφελούνται από αυτή τη μέθοδο περιλαμβάνουν αυτά που το φορτίο τους διαφέρει σημαντικά κατά τη διάρκεια του ημερήσιου κύκλου και αυτά που το κόστος τους εξαρτάται σημαντικά από το επίπεδο παραγωγής ή τις ώρες λειτουργίας κατά τη διάρκεια της ημέρας. Έτσι, τα συστήματα αυτά, μπορούν να ανταποκριθούν άμεσα στις παραπάνω αλλαγές φορτίου που μπορεί να παρουσιαστούν.

Τα συστήματα αυτά, διαθέτουν επίσης βελτιωμένα περιβαλλοντικά χαρακτηριστικά σε σύγκριση με άλλες συμβατικές μονάδες παραγωγής. Έχουν σχετικά μεγάλη διάρκεια αποθήκευσης, χαμηλό κόστος κεφαλαίου και υψηλή απόδοση, η οποία κυμαίνεται από 70 έως 89% [62].



Εικόνα 3.11 Μονάδα αποθήκευσης ενέργειας με συμπιεσμένο αέρα στο Hundorf της Γερμανίας. (Πηγή: Διαδίκτυο)

Σήμερα, υπάρχουν δύο μονάδες αποθήκευσης ενέργειας υπό τη μορφή συμπιεσμένου αέρα στον κόσμο. Το πρώτο εργοστάσιο βρίσκεται στο Hundorf της Γερμανίας και λειτουργεί από το 1978 (

Εικόνα 3.11). Η μονάδα αυτή διαθέτει ένα σπήλαιο 310.000m^3 , το οποίο μετατράπηκε από ορυχείο εξόρυξης φυσικού αλατιού σε κοιλότητα αποθήκευσης, και βρίσκεται 600m υπογείως. Διαθέτει συμπιεστές με παροχή 60MW και μέγιστης πίεσης 10 MPa. Λειτουργεί σε καθημερινό κύκλο, με 8 ώρες φόρτισης και έχει τη δυνατότητα να παράγει 290MW για 2 ώρες. Το εργοστάσιο μέχρι σήμερα, έχει δείξει εξαιρετική απόδοση με 90% διαθεσιμότητα και 99% αξιοπιστία στην εκκίνηση.



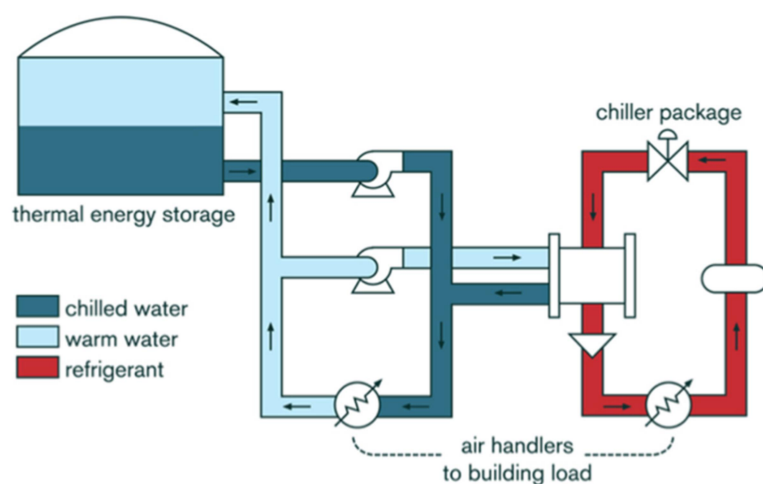
Εικόνα 3.12 Μονάδα αποθήκευσης ενέργειας με συμπιεσμένο αέρα στο McIntosh, Alabama στις ΗΠΑ. (Πηγή: Διαδίκτυο)

Η δεύτερη μονάδα αποθήκευσης βρίσκεται στο McIntosh, Alabama στις ΗΠΑ και λειτουργεί από το 1991 (Εικόνα 3.12). Η μονάδα αυτή συμπιέζει αέρα μέχρι και 7.5MPa σε ένα υπόγειο σπήλαιο εξόρυξης φυσικού αλατιού, το οποίο βρίσκεται 450m κάτω από την επιφάνεια της γης. Η χωρητικότητα αποθήκευσης είναι πάνω από 500.000 m³ με παραγωγική ικανότητα 110MW και διάρκεια λειτουργίας άνω των 26 ωρών. Η συγκεκριμένη εγκατάσταση διαθέτει σύστημα ανάκτησης για την επαναχρησιμοποίηση της θερμότητας που παράγεται από τον αεριοστρόβιλο, με άμεση συνέπεια να μειώνεται η κατανάλωση καυσίμου κατά 35% σε σύγκριση με την αντίστοιχη του εργοστασίου της Huntorf. Τέλος, θα πρέπει να σημειωθεί ότι υπάρχουν επίσης αρκετές μονάδες οι οποίες σχεδιάζονται ή βρίσκονται υπό κατασκευή, όπως στο Norton, Ohio Project (9.300MW) κ.α. [80].

Παρομοίως με τα συστήματα αντλησιοταμίευσης, βασικό εμπόδιο της μεθόδου αυτής είναι η ευνοϊκή γεωγραφία. Συνεπώς, η μέθοδος αυτή είναι οικονομικά εφικτή μόνο σε περιπτώσεις όπου βρίσκονται σε κοντινές περιοχές ανθρακωρυχεία, σπήλαια αλατιού κλπ. Επιπλέον, το σύστημα αυτό δεν μπορεί να χαρακτηριστεί ως ανεξάρτητο, καθώς πρέπει να συνδέεται με έναν αεριοστρόβιλο. Θα πρέπει επίσης να σημειωθεί ότι τα συστήματα αυτά δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν με άλλους τύπους μεθόδων ηλεκτροπαραγωγής όπως καύση άνθρακα, πυρηνική ενέργεια, ανεμογεννήτριες ή φωτοβολταϊκά συστήματα. Τέλος, το σημαντικότερο μειονέκτημα της μεθόδου αυτής που την καθιστά λιγότερο ελκυστική, είναι η απαίτηση καύσης των ορυκτών καυσίμων, η οποία απελευθερώνει επιβλαβείς ρύπους στην ατμόσφαιρα [78, 77, 81].

3.6 Θερμική Αποθήκευση TES

Τα συστήματα αποθήκευσης θερμικής ενέργειας (*thermal energy storage, TES*), αποτελούν τις πιο πρακτικές μορφές αποθήκευσης ενέργειας [82, 83]. Τα συστήματα αυτά αποτελούνται από συσκευές, οι οποίες χρησιμοποιούνται για την αποθήκευση της ηλεκτρικής ενέργειας ή άλλων πηγών όπως θερμότητα από απόβλητα. Γενικά, υπάρχουν τρεις βασικοί μέθοδοι αποθήκευσης θερμικής ενέργειας, οι οποίες θα αναλυθούν στην συνέχεια της παρούσας ενότητας. Η επιλογή της μεθόδου που θα χρησιμοποιηθεί, εξαρτάται από διάφορους παράγοντες, όπως το εύρος της θερμοκρασίας αποθήκευσης, η χρησιμοποιούμενη εφαρμογή καθώς και τα μέσα αποθήκευσης.



Εικόνα 3.13 Σχηματική απεικόνιση συστήματος θερμικής αποθήκευσης. (Πηγή: Deforest, Mendes, Stadler, Feng, Lai, & Marnay, 2015)

Οι διατάξεις θερμικής αποθήκευσης ταξινομούνται γενικά στα συστήματα χαμηλής και υψηλής θερμοκρασίας, ανάλογα εάν η θερμοκρασία λειτουργίας του συστήματος είναι υψηλότερη από τη θερμοκρασία δωματίου [62]. Έτσι, τα συστήματα χαμηλής θερμοκρασίας θεωρούνται ότι λειτουργούν σε μία περιοχή θερμοκρασιών από 200 °C. Συνήθως, βρίσκουν εφαρμογή σε συστήματα θέρμανσης ή ψύξης κτιρίων, ηλιακό λέβητα νερού και σε συστήματα θέρμανσης του αέρα. Τα συστήματα υψηλής θερμοκρασίας, χρησιμοποιούνται συνήθως στις τεχνολογίες ανανεώσιμων πηγών ενέργειας καθώς και στην ανάκτηση θερμότητας από απόβλητα.

3.6.1 Σύστημα Αισθητής Θερμότητας (*SENSIBLE HEAT SYSTEM*)

Σε αυτή τη μορφή αποθήκευσης ενέργειας, το υλικό αποθήκευσης δεν υπόκειται σε αλλαγή της φάσης του κατά τη θερμοκρασία που απαιτείται για την αποθήκευση [84]. Επιπλέον, οι παράγοντες από τους οποίους εξαρτάται η ποσότητα της αποθηκευμένης θερμότητας είναι, η μεταβολή της θερμοκρασίας, η θερμική χωρητικότητα του υλικού και η ποσότητα του αποθηκευτικού υλικού. Ως αποθηκευτικό υλικό χρησιμοποιείται ένα στερεό ή υγρό μέσο αποθήκευσης. Έτσι, τα πιο κοινώς χρησιμοποιούμενα υλικά για αυτήν την κατηγορία υψηλών θερμοκρασιών αποτελούν το νερό, το σκυρόδεμα, τα τούβλα, λιωμένα άλατα, μέταλλα, ακόμα και το έδαφος.

Οι Fernandez et. Al [84], προτείνουν μία μέθοδο επιλογής του καλύτερου μέσου αποθήκευσης (μακροπρόθεσμοι και βραχυπρόθεσμοι), προκειμένου να ελαχιστοποιηθεί το κόστος. Συνδυάζοντας πολλαπλές παραμέτρους και στόχους, μέσω της μεθόδου αυτής είναι κανείς σε θέση να προσδιορίσει το κατάλληλο μέσο αποθήκευσης, αξιολογώντας το κόστος, τη διαθεσιμότητα αλλά και τις περιβαλλοντικές πτυχές, όπως το αποτύπωμα του άνθρακα.

Γενικότερα, υπάρχουν αρκετά πλεονεκτήματα αλλά και μειονεκτήματα τόσο των υγρών όσο και των στερεών μέσων αποθήκευσης. Για παράδειγμα, τα υγρά μέσα όπως το νερό, είναι άμεσα διαθέσιμα, φτηνά, έχουντα εξαιρετικά χαρακτηριστικά μεταφοράς θερμότητας. Είναι μη τοξικό, μη εύφλεκτο, έχει υψηλή πυκνότητα και είναι εύκολο να χρησιμοποιηθεί. Ωστόσο, σε εφαρμογές χαμηλής ή υψηλής θερμοκρασίας, το νερό μπορεί να ψυχθεί ή να βράσει αντίστοιχα, συνεπώς περιορίζεται το θερμοκρασιακό εύρος του. Επιπλέον, είναι ιδιαίτερα διαβρωτικό και δύσκολο να διαστρωματωθεί. Για να αποφευχθούν τέτοιου είδους προβλήματα ψύξης και διάβρωσης, όταν χρησιμοποιείται νερό ως μέσο αποθήκευσης μπορούν να προστεθούν κάποια πρόσθετα χημικά. Άλλα υγρά μέσα, όπως τηγμένα άλατα, υγρά μέταλλα και οργανικά έλαια, μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε περιπτώσεις όπου το νερό κρίνεται ακατάλληλο [85]. Τα τηγμένα άλατα είναι αυτά που έχουν χρησιμοποιηθεί περισσότερο σε ηλιακές θερμικές εφαρμογές, ενώ κύριο μειονέκτημά τους είναι ότι τα περισσότερα από αυτά έχουν υψηλό σημείο ψύξης (περίπου 100 °C), το οποίο μπορεί να οδηγήσει σε απώλειες ενέργειας.

3.6.2 Σύστημα Λανθάνουσας Θερμότητας (LATENT HEAT SYSTEM)

Όπως υποδηλώνει και ο τίτλος της υποενότητας, τα χρησιμοποιούμενα υλικά αποθηκεύουν λανθάνουσα θερμότητα η οποία προκύπτει ως αποτέλεσμα της αλλαγής της φάσης ενός υλικού αποθήκευσης, από στερεό σε υγρό ή υγρό σε αέριο και αντιστρόφως [86]. Για την αποθήκευση ενέργειας, η διαδικασία αλλαγής φάσης του υλικού προσαρμόζεται στην θερμοκρασία που ταιριάζει στην πηγή θερμικής εισόδου [62].

Τα υλικά αυτά είναι συνήθως γνωστά ως υλικά αλλαγής φάσης (PCMs), και επιτυγχάνουν πάντα υψηλότερο δυναμικό αποθήκευσης σε σχέση με τα αντίστοιχα που χρησιμοποιούνται στην αποθήκευση της αισθητής θερμότητας. Ταξινομούνται σε οργανικά (παραφίνης και μη) και ανόργανα PCM. Η θερμική αγωγιμότητα (K), είναι μία βασική παράμετρος του συστήματος λανθάνουσας θερμότητας. Επιπλέον, η πυκνότητα και η ενθαλπία είναι δύο παράμετροι οι οποίοι λαμβάνονται υπόψη κατά την αλλαγή της φάσης, καθώς προσδιορίζουν την χωρητικότητα της ογκομετρικής αποθήκευσης [87].

3.6.3 Σύστημα Αποθήκευσης Θερμοχημικής Ενέργειας

Αυτό το είδος συστήματος θερμοχημικής αποθήκευσης, είναι ένας από τους έμμεσους τρόπους που χρησιμοποιούνται για την αποθήκευση θερμότητας. Η θερμότητα δεν αποθηκεύεται

απευθείας ως αισθητή ή λανθάνουσα θερμότητα, αλλά μέσω μιας φυσικοχημικής αντίδρασης. Η απορρόφηση και η προσρόφηση είναι δύο παραδείγματα διαδικασιών που λαμβάνουν χώρα στο σύστημα αυτό, στα οποία καταναλώνεται και απελευθερώνεται θερμότητα σύμφωνα με την αρχή της φόρτισης και της εκφόρτισης αντίστοιχα.

Η υψηλή ενεργειακή πυκνότητα (περίπου 1000MJ/m^3) και κατά συνέπεια ο μικρός όγκος χρησιμοποιούμενου υλικού, αποτελεί το κύριο πλεονέκτημα του συστήματος απορρόφησης. Πολλά συστήματα απορρόφησης λειτουργούν ως αντλίες θερμότητας, οι οποίες δίνουν τη δυνατότητα ψύξης ή θέρμανσης [87].

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο

ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ

4.1 Συνολική Σύγκριση Συστημάτων Αποθήκευσης Ενέργειας

Κάθε μία από τις τεχνολογίες αποθήκευσης ενέργειας που παρουσιάστηκαν εκτενώς στο προηγούμενο κεφάλαιο, έχει κάποια μοναδικά χαρακτηριστικά που την καθιστούν κατάλληλη για μία συγκεκριμένη εφαρμογή. Τα μοναδικά αυτά χαρακτηριστικά βοηθούν τους μελετητές να υιοθετήσουν την βέλτιστη τεχνολογία ανάλογα με την περίπτωση. Ορισμένα από αυτά θα εξεταστούν στις ενότητες που ακολουθούν, ενώ θα πρέπει να σημειωθεί ότι όλες οι εφαρμογές δεν είναι δυνατόν να ανταποκριθούν στις ίδιες απαιτήσεις.

Οι τεχνολογίες αποθήκευσης ενέργειας, είναι δυνατόν να εφαρμοστούν και στα πέντε στάδια του συστήματος παραγωγής: παραγωγή, μεταφορά, υποσταθμοί, διανομή και τελική διάθεση στους καταναλωτές. Ορισμένες από τις θετικές επιπτώσεις των τεχνολογιών αποθήκευσης ενέργειας περιλαμβάνουν: ευελιξία και σταθερότητα δικτύου, βοηθητικό απόθεμα, ρυθμιστικό έλεγχο κλπ. [88]. Οι τεχνικές λεπτομέρειες των χαρακτηριστικών για τις διάφορες τεχνολογίες αποθήκευσης ενέργειας, συνοψίζονται στον πίνακα που ακολουθεί (Πίνακας 4.1).

Με βάση τα τεχνικά κριτήρια που παρουσιάζονται στον πίνακα, οι μπαταρίες ιόντων λιθίου αποτελούν την καλύτερη υποψήφια τεχνολογία. Όσον αφορά τα μικρά συστήματα, δηλαδή λίγες kWh σε απομονωμένες περιοχές οι οποίες βασίζονται σε διαλείπουσες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, το βασικότερο κριτήριο που πρέπει να ληφθεί υπόψη είναι η αυτονομία. Στα συστήματα αυτά οι μπαταρίες μολύβδου παραμένουν η καλύτερη επιλογή μεταξύ απόδοσης και κόστους. Οι μπαταρίες ιόντων λιθίου έχουν καλύτερες επιδόσεις, αλλά εξακολουθούν να έχουν μέχρι και σήμερα υψηλό κόστος.

Για μέτρια συστήματα παραγωγής, ο μολύβδος εξακολουθεί να προτιμάται σε σχέση με αυτές των ιόντων λιθίου καθώς οι εναλλακτικές λύσεις είναι είτε λιγότερο αποτελεσματικές, είτε πολύ ακριβές: πεπιεσμένος αέρας (προβλήματα αυτοκατανάλωσης), κυψέλες καυσίμου (ακριβή και χαμηλή ενεργειακή απόδοση, υψηλά έξοδα συντήρησης).

Πίνακας 4.1 Σύγκριση τεχνικών χαρακτηριστικών συστημάτων αποθήκευσης ενέργειας. (Πηγή: Mahlia, Saktisahdan, Jannifar, Hasan, & Matseelar, 2014)

Τεχνολογία	Πυκνότητα Συστήματος (Wh/kg)	Αποτελεσματικότ ητα Ανάκτησης (%)	Διαθεσιμότη τα	Κόστος Κεφαλαί ου (€/kW)	Πλεονεκτήμα τα	Μειονεκτήμα τα	Καταλληλότητα		
							Διαχείρι ση Ενέργεια ς	Ποιότητ α Ισχύος	Μεταφο ρά
Υπερπυκνω τές	0,1-5	85-98	Υπό ανάπτυξη	200-1000	Υψηλή απόδοση, μεγάλη διάρκεια	Μικρή ενεργειακή πυκνότητα, τοξικές και διαβρωτικές χημικές ενώσεις	✓✓	✓✓✓	✓✓✓
Μπαταρίες Νικελίου	20-120	60-91	Διαθέσιμες	200-750	Υψηλή ισχύς και ενεργειακή πυκνότητα, καλή απόδοση	Απαιτείται ανακύκλωση, ιδιαίτερα τοξικές	✓✓	✓✓✓	✓✓✓
Μπαταρίες Λιθίου	80-150	90-100	Διαθέσιμες	150-250	Υψηλή ισχύς και ενεργειακή πυκνότητα, υψηλή απόδοση	Υψηλό κόστος οξειδίου του λιθίου και απαιτείται ανακύκλωση	✓	✓✓✓	✓✓✓
Μπαταρίες Μολύβδου- οξέος	24-45	60-95	Διαθέσιμες	50-150	Χαμηλό κόστος	Απαιτείται ανακύκλωση	✓✓	✓✓✓	✓✓✓
PHES	-	75-85	Διαθέσιμες	140-680 m για 1000MW	Υψηλή χωρητικότητα , σχετικά χαμηλό κόστος ανά μονάδα	Διαταράσει την τοπική πανίδα και το επίπεδο του νερού	✓✓✓	✓✓✓	×
CAES	-	80	Διαθέσιμες	400	Υψηλή χωρητικότητα , σχετικά χαμηλό κόστος ανά μονάδα	Προβληματική για ορισμένες περιοχές	✓✓✓	✓✓✓	×
Σφόνδυλος	30-100	90	Διαθέσιμος	3000- 10000	Υψηλή ισχύς	Χαμηλή ενεργειακή πυκνότητα	✓✓	✓✓✓	✓
SMES	-	97-98	Αναπτύχθηκ αν μέχρι 10MW, και θα αυξηθούν στα 2000MW	350	Υψηλή ισχύς	Επιπτώσεις στην υγεία σε μεγάλες εγκαταστάσεις	✓	✓✓✓	×

Κουπέλη Καυσίμου	-	25-58	Υπό ανάπτυξη	6000- 30000	Μεγάλη χωρητικότητα αποθήκευσης, διάφορα είδη εφαρμογών	Ακριβή τεχνολογία	✓✓✓	✓✓✓	✓✓✓
-----------------------------	---	-------	-----------------	----------------	---	----------------------	-----	-----	-----

Στην τρίτη κατηγορία, αυτή που απαιτείται αποθήκευση υψηλής ενέργειας, οι τεχνολογίες πεπιεσμένου αέρα και οι μπαταρίες ροής είναι οι καλύτερες επιλογές. Όσον αφορά την ποιότητα της ηλεκτρικής ενέργειας, τα βασικά κριτήρια επιλογής είναι η χωρητικότητα ενέργειας και οι κύκλοι φόρτισης. Με βάση τα κριτήρια αυτά, οι σφόνδυλοι και οι υπερπυκνωτές είναι οι καλύτερα προσαρμοσμένες τεχνολογίες σε σχέση με τις μπαταρίες ιόντων λιθίου. Μεταξύ των γενικών επιλογών, οι μπαταρίες μολύβδου πληρούν τα τεχνικά κριτήρια όλων των κατηγοριών, αλλά έχουν περιορισμένη ανθεκτικότητα και είναι αναξιόπιστες. Οι μπαταρίες νικελίου δεν πληρούν κανένα από τα κριτήρια που θα πρέπει να έχει μία τεχνολογία αποθήκευσης, ενώ οι κυψέλες καυσίμου είναι μία νέα αναπτυσσόμενη τεχνολογία.

Τέλος, ορισμένες τεχνολογίες είναι σε θέση να ικανοποιήσουν τις ανάγκες αποθήκευσης διαλείποντων ενεργειακών αποθεμάτων. Αυτές είναι οι υδραυλικές και οι θερμικές εγκαταστάσεις αποθήκευσης για εφαρμογές μεγάλης κλίμακας, και η υπεραγώγιμη μαγνητική αποθήκευση ενέργειας (SMES), για εφαρμογές μικρότερου εύρους.

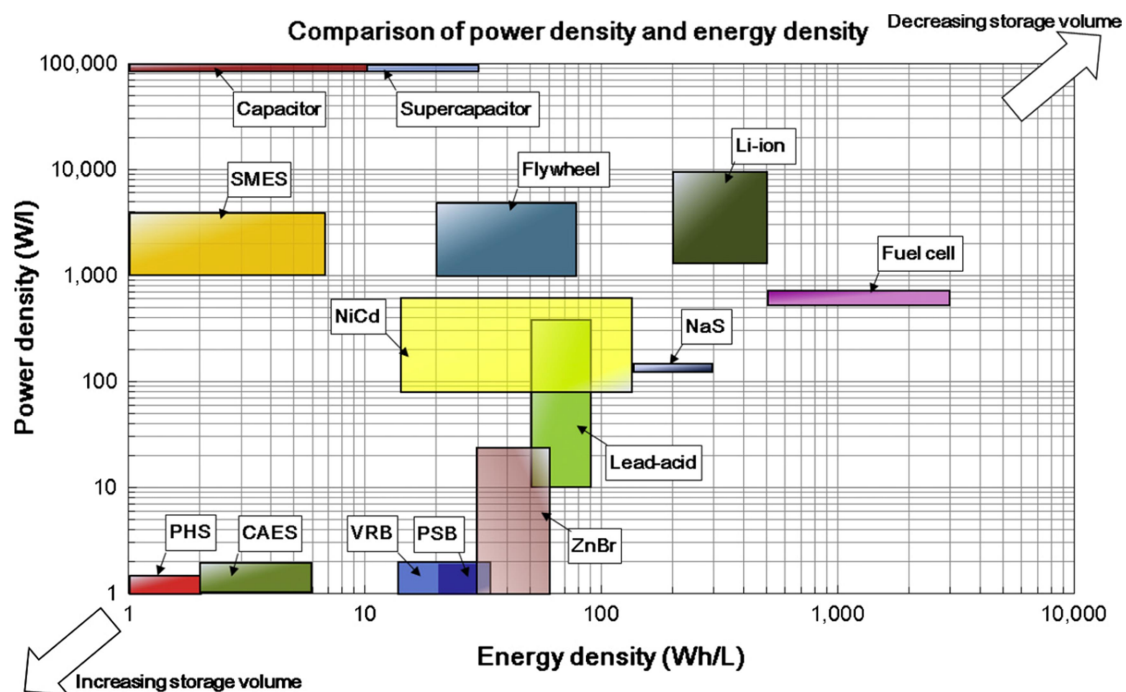
Πίνακας 4.2 Συγκριτική ανάλυση SWOT μακροπρόθεσμων τεχνολογιών αποθήκευσης ενέργειας. (Πηγή: Guney & Tere, 2016)

	Δυνατότητες	Αδυναμίες	Ευκαιρίες	Απειλές
CAES	-Υψηλή χωρητικότητα. -Χαμηλό κόστος ανά kWh. -Ελάχιστες ανάγκες για μετατροπείς	-Ανάγκη για υπόγειες κοιλάδες και καύσιμα	-Μπορεί μελλοντικά να υιοθετηθεί για κατανεμημένη αποθήκευση.	-Δημοτικότητα που σχετίζεται με τους θερμοηλεκτρικούς σταθμούς.
PHEs	-Υψηλή χωρητικότητα. -Χαμηλό κόστος ανά kWh. -Ελάχιστες ανάγκες για μετατροπείς	-Κεντρική αποθήκευση -Γεωγραφικοί περιορισμοί	-Μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε υπεράκτια αιολικά πάρκα	-Μπορεί να καταστεί άνευ αντικειμένου όταν προτιμάται η κατανεμημένη αποθήκευση.
BES	-Κατανεμημένη αποθήκευση -Καλή δυνατότητα ρύθμισης	-Υψηλά επενδυτικά έξοδα. -Κύκλος ζωής. -Θερμοκρασιακή εξάρτηση	-Αναδυόμενες τεχνολογίες	-Περιορισμός πρώτων υλών
Υδρογόνου	-Κατανεμημένη αποθήκευση. -Ελάχιστα περιβαλλοντικά θέματα	-Χαμηλή αποδοτικότητα. -Υψηλά επενδυτικά έξοδα. -Ανάγκη για σταθερό φορτίο.	-Διείδυση στην αγορά. -Προοπτική μέσω αποθήκευσης σε νανοσωλήνες.	-Τεχνολογίες ωρίμανσης των μπαταριών. -Χρήση μετατροπέων ισχύος.

4.2 Σύγκριση Συστημάτων Αποθήκευσης ως προς τα Τεχνικά Χαρακτηριστικά τους

- Πυκνότητα Ισχύος (*Energy / Power density*)

Η *πυκνότητα ισχύος* οποιασδήποτε τεχνολογίας αποθήκευσης ενέργειας ορίζεται ως η ονομαστική ισχύς εξόδου διαιρούμενη με τον όγκο της διάταξης (W/kg ή W/l) [62]. Η έννοια αυτή είναι διαφορετική από την *ενεργειακή πυκνότητα*, η οποία ορίζεται ως η πραγματική αποθηκευμένη ενέργεια διαιρούμενη με τον όγκο της διάταξης αποθήκευσης (Wh/kg ή Wh/l). Στους ορισμούς αυτούς, ως όγκος διάταξης θεωρείται ο όγκος ολόκληρου του συστήματος αποθήκευσης ενέργειας, συμπεριλαμβανομένων: του στοιχείου αποθήκευσης ενέργειας, των εξαρτημάτων, των δομών υποστήριξης και των συστημάτων μετατροπής [62].



Διάγραμμα 4.1 Σύγκριση πυκνότητας ισχύος και ενεργειακής πυκνότητας των τεχνολογιών αποθήκευσης ενέργειας.

(Πηγή: Luo, Huang, Gong, & Ma, 2012)

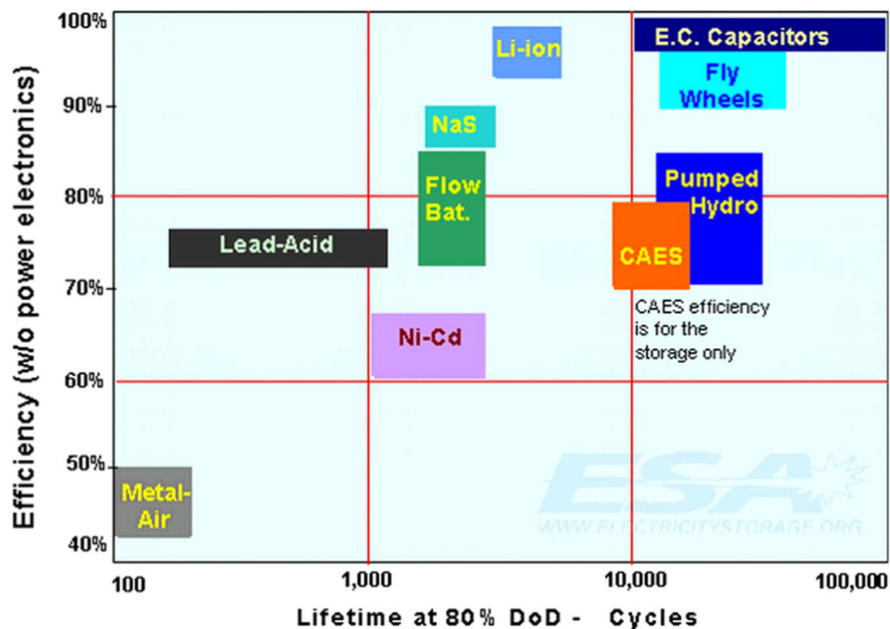
Το **Διάγραμμα 4.1** αναπαριστά μία σύγκριση ανάμεσα στην πυκνότητα ισχύος και την ενεργειακή πυκνότητα των διαφορετικών τεχνολογιών αποθήκευσης ενέργειας. Για μια δεδομένη ποσότητα ενέργειας, όσο υψηλότερες είναι η πυκνότητα ισχύος και η ενεργειακή πυκνότητα, τόσο μικρότερος είναι ο όγκος του απαιτούμενου συστήματος αποθήκευσης ενέργειας. Στο διάγραμμα αυτό όπως παρατηρεί κανείς οι εξαιρετικά συμπαγείς τεχνολογίες, οι οποίες είναι κατάλληλες για εφαρμογές περιορισμένου όγκου, μπορούν να βρεθούν στην επάνω δεξιά γωνία, ενώ τα συστήματα αποθήκευσης μεγάλου όγκου βρίσκονται στην κάτω αριστερή γωνία. Μπορεί να

διαπιστωθεί ότι οι περισσότερες μπαταρίες, ο σφόνδυλος και τα στοιχεία καυσίμου, έχουν σχετικά μέτρια ενεργειακή πυκνότητα και πυκνότητα ισχύος.

Τα PHS και CAES έχουν χαμηλότερες πυκνότητες, επομένως χρησιμοποιούνται κυρίως σε στατικές συνθήκες και απαιτούν μεγάλες δεξαμενές για εφαρμογές κλίμακας δικτύου. Οι πυκνωτές αλλά και οι ηλεκτροχημικοί πυκνωτές, έχουν πολύ υψηλές πυκνότητες ισχύος, αλλά σχετικά χαμηλή ενεργειακή πυκνότητα. Οι πυκνότητες των μπαταριών ροής, όπως παρατηρείται, είναι συνήθως χαμηλότερες από αυτές των συμβατικών μπαταριών. Αντίθετα, η μπαταρία ιόντων λιθίου έχει υψηλή ενεργειακή πυκνότητα και υψηλή πυκνότητα ισχύος, γεγονός το οποίο οδηγεί σε ευρεία χρήση σε φορητές συσκευές και σε ελπιδοφόρο δυναμικό στις μεταφορές και σε άλλες εφαρμογές μικρής κλίμακας.

- **Διάρκεια ζωής (*Lifetime Cycles*)**

Η διάρκεια ζωής κάθε χρησιμοποιούμενης τεχνολογίας για αποθήκευση ενέργειας, παίζει επίσης σημαντικό ρόλο κατά την επιλογή για το εάν η τεχνολογία θα υιοθετηθεί για κάποια συγκεκριμένη εφαρμογή ή όχι. Ακόμη και αν τα υπόλοιπα τεχνικά χαρακτηριστικά μίας τεχνολογίας ήταν ισάξια, οι τεχνολογίες αποθήκευσης ενέργειας με μεγάλη διάρκεια ζωής συνήθως προτιμώνται από επενδυτικής απόψεως σε σχέση με αυτές που έχουν μικρότερη διάρκεια.

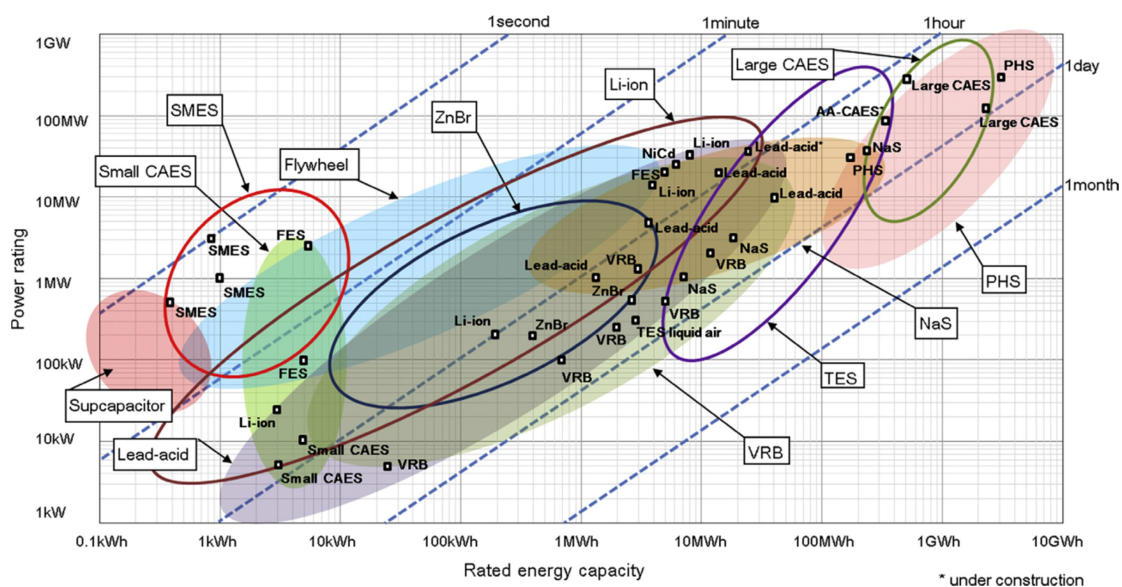


Διάγραμμα 4.2 Σύγκριση κύκλων ζωής και αποδοτικότητας των τεχνολογιών αποθήκευσης ενέργειας. (Πηγή: Guney & Tepe, 2016)

Από το **Διάγραμμα 4.2**, μπορεί να επιβεβαιωθεί ότι οι τεχνολογίες αποθήκευσης μηχανικής ενέργειας οι οποίες βασίζονται στην συμβατική μηχανική όπως PHEs, CAES, οι σφόνδυλοι και τα συστήματα αποθήκευσης ενέργειας υδρογόνου, έχουν συνήθως μεγάλο χρόνο ζωής δεδομένου ότι ο χρόνος ζωής τους καθορίζεται κυρίως από διάρκεια ζωής των μηχανικών εξαρτημάτων τους. Αντίθετα, τα συστήματα που έχουν ως βάση τη μπαταρία, έχουν συνήθως μικρό χρόνο ζωής λόγω της χημικής φθοράς με το χρόνο λειτουργίας.

• **Χωρητικότητα Αποθήκευσης / Διάρκεια Εκφόρτισης (*Storage capacity/ Discharge Time Duration*)**

Η έννοια αυτή αναφέρεται στην ποσότητα της διαθέσιμης ενέργειας που υπάρχει στην συσκευή αποθήκευσης. Με άλλα λόγια, είναι η συνολική ενέργεια που αποθηκεύεται στη συσκευή και έχει μονάδα μέτρησης την Wh. Διαφέρει από την ενέργεια που ανακτάται από τη συσκευή αποθήκευσης, καθώς η εκφόρτιση είναι συνήθως ατελής. Οι διατάξεις αποθήκευσης ενέργειας σε εμπορική κλίμακα έχουν συνήθως μεγάλη χωρητικότητα αποθήκευσης. Λόγω του φαινομένου της αυτοεκφόρτισης, η διάρκεια αποθήκευσης θεωρείται επίσης ως ένα από τα βασικά χαρακτηριστικά που πρέπει να ληφθούν υπόψη κατά την επιλογή της τεχνολογίας αποθήκευσης η οποία θα αναπτυχθεί για οποιαδήποτε δεδομένη εφαρμογή. Δείχνει λοιπόν, πόση ποσότητα αποθηκευμένης ενέργειας μπορεί να διατηρηθεί από την διάταξη αποθήκευσης ενέργειας για μια δεδομένη χρονική περίοδο.



Διάγραμμα 4.3 Σύγκριση ενεργειακής χωρητικότητας, ενεργειακής ισχύος και διάρκεια εκφόρτισης των τεχνολογιών αποθήκευσης ενέργειας. (Πηγή: Luo, Huang, Gong, & Ma, 2012)

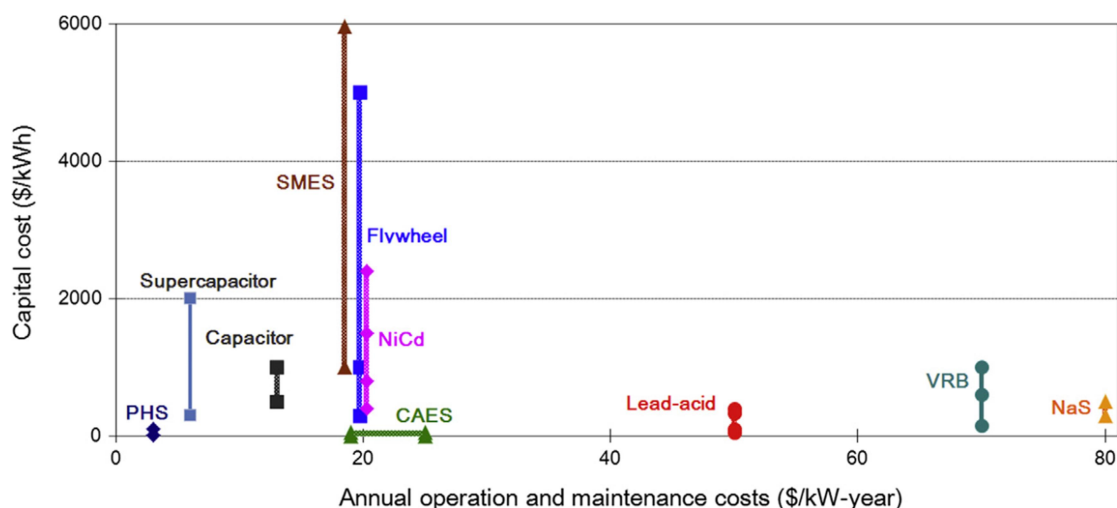
Το **Διάγραμμα 4.3** απεικονίζει μια σύγκριση της ενεργειακής χωρητικότητας και της ενεργειακής ισχύος των τεχνολογιών που εξετάστηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο. Η ονομαστική διάρκεια

του χρόνου εκφόρτισης εμφανίζεται επίσης στον άνω άξονα του διαγράμματος σε μονάδα χρόνου (από δευτερόλεπτα έως μήνες). Στο **Διάγραμμα 4.3** παρατηρείται ότι, τα συστήματα PHES και CAES, έχουν μεγάλη χωρητικότητα αποθήκευσης και επομένως είναι κατάλληλα για εφαρμογή αποθήκευσης ενέργειας σε κλίμακα δικτύου.

4.3 Σύγκριση Συστημάτων Αποθήκευσης ως προς το Κόστος Επένδυσης

Τα συστήματα αποθήκευσης ενέργειας (ESS) μπορούν να αυξήσουν τόσο την σταθερότητα όσο και την αποδοτικότητα των συστημάτων παραγωγής ενέργειας και να διευκολύνουν την ενσωμάτωση των ανανεώσιμων ανανεώσιμων πηγών σε αυτά. Ωστόσο, η τεχνολογία αυτή θα παραμείνει περιορισμένη έως ότου να αναπτυχθεί ένα ελκυστικό ποσοστό απόδοσης.

Σύμφωνα με μελέτη που πραγματοποίησαν οι Luo, Huang, Gong, & Ma, (2012), μεταξύ των διαφόρων τεχνολογιών που συγκρίθηκαν, ξεχώρισαν τα συστήματα PHS και CAES, καθώς σήμερα διαθέτουν το μεγαλύτερο δυναμικό όσον αφορά το κόστος τους.



Διάγραμμα 4.4 Σύγκριση κόστους κεφαλαίου και κόστους λειτουργίας και συντήρησης των τεχνολογιών αποθήκευσης ενέργειας. (Πηγή: Luo, Huang, Gong, & Ma, 2012)

Στο **Διάγραμμα 4.4** παρουσιάζεται μία σύγκριση ανάμεσα στο κόστος του ενεργειακού κεφαλαίου και του ετήσιου κόστους λειτουργίας και συντήρησης. Μια πλήρης οικονομική ανάλυση των τεχνολογιών αποθήκευσης, θα πρέπει να λαμβάνει υπόψη όχι μόνο το κόστος κεφαλαίου, αλλά και το κόστος λειτουργίας και συντήρησης, και το αντίκτυπο της διάρκειας ζωής της διάταξης. Για παράδειγμα, παρόλο που το κόστος ενεργειακού κεφαλαίου της μπαταρίας μολύβδου-οξέος είναι σχετικά χαμηλό, ενδέχεται να μην είναι η καλύτερη επιλογή για εφαρμογές ευρείας κλίμακας λόγω του σχετικά υψηλού κόστους λειτουργίας και συντήρησης αλλά και της μικρής διάρκειας ζωής τους. Γενικότερα, με την πάροδο των χρόνων και τις συνεχείς προσπάθειες έρευνας και ανάπτυξης, το κόστος των τεχνολογιών αποθήκευσης τείνει να μειώνεται.

Σύμφωνα με το **Διάγραμμα 4.4** μεταξύ των ώριμων και εμπορικών τεχνολογιών αποθήκευσης, συμπεριλαμβάνονται οι PHS και CAES, οι οποίες έχουν το χαμηλότερο κόστος κεφαλαίου σε σύγκριση με τις υπόλοιπες τεχνολογίες. Επίσης, παρατηρείται ότι οι μπαταρίες θειικού νατρίου (NaS) και μολύβδου οξέος (Lead-Acid) έχουν σχετικά υψηλό κόστος λειτουργίας και συντήρησης. Οι SMES και οι σφόνδυλοι, είναι κατάλληλοι για εφαρμογές μεγάλης ισχύος και μικρής κλίμακας, καθώς είναι φθηνές σε σχέση με το κόστος ισχύος, αλλά δαπανηρές από την άποψη του κόστους του ενεργειακού κεφαλαίου. Τέλος, πρέπει να σημειωθεί ότι το κόστος κεφαλαίου ενός συστήματος αποθήκευσης ενέργειας ποικίλλει ανάλογα με το χρονοδιάγραμμα κατασκευής, την τοποθεσία του εργοστασίου / εγκατάστασης και το μέγεθος του συστήματος.

4.4 Σύγκριση Συστημάτων Αποθήκευσης ως προς το Περιβαλλοντικό τους

Αντίκτυπο

Εκτός από την θετική συμβολή των συστημάτων αποθήκευσης ενέργειας, δεν θα πρέπει να παραλειφθούν και ορισμένες αρνητικές επιπτώσεις. Αυτές αφορούν την απαίτηση μεγάλων εκτάσεων προς εγκατάσταση, επιπτώσεις στην αλλαγή του κλίματος, χημική ρύπανση με τη χρήση των μπαταριών, δημιουργία επιβλαβών για το περιβάλλον υποπροϊόντων από τους χημικούς μετασχηματισμούς κ.α.

Στον πίνακα που ακολουθεί (**Πίνακας 4.3**), συνοψίζονται μερικές εκτιμώμενες περιβαλλοντικές επιπτώσεις των διαφόρων συστημάτων αποθήκευσης ενέργειας. Το κύριο ενδιαφέρον επικεντρώνεται στην παραγωγή εκπομπών που συνδέονται με τα συστήματα μπαταριών.

Πίνακας 4.3 Περιβαλλοντικές επιπτώσεις συστημάτων αποθήκευσης ενέργειας. (Πηγή: Guney & Tere, 2016)

Σύστημα Αποθήκευσης Ενέργειας	Κατασκευαστικές Επιπτώσεις	Λειτουργικές Επιπτώσεις			Επιπτώσεις Διάθεσης
		Αέρας	Νερό	Έδαφος	

Συμπιεσμένου Αέρα	Σχετικά χαμηλές	Όχι σημαντικές εκτός από τους στροβίλους καύσης	Όχι σημαντικές	Όχι σημαντικές	Σχετικά χαμηλές
Σφόνδυλοι	Σχετικά χαμηλές	Όχι σημαντικές	Όχι σημαντικές	Όχι σημαντικές	Σχετικά χαμηλές
Κυψέλες Καυσίμου	Σχετικά χαμηλές (εξαρτάται από την χρησιμοποιούμενη τεχνολογία και υλικά)	Όχι σημαντικές	Πιθανότητα δεν είναι σημαντικές, το νερό εκκένωσης μπορεί να έχει χαμηλό pH	Όχι σημαντικές	Σχετικά χαμηλές (εξαρτάται από την χρησιμοποιούμενη τεχνολογία και υλικά)
Μπαταρίες Μολύβδου-Οξέος	Οι εκπομπές μολύβδου και SO ₂ , μπορεί να είναι σημαντικές	Όχι σημαντικές	Όχι σημαντικές	Όχι σημαντικές	Μόλυνση από ηλεκτρολύτη μολύβδου και θειικού οξέος προκαλούν σοβαρή ανησυχία
Αντλησιοταμίευση	Σχετικά χαμηλές	Όχι σημαντικές όταν αντλείται ενέργεια από καθαρές ανανεώσιμες πηγές	Όχι σημαντικές	Όχι σημαντικές	Σχετικά χαμηλές

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Τα συστήματα αποθήκευσης ενέργειας προσφέρουν πολλές δυνατότητες στην παραγωγή ενέργειας, εξαιτίας της βελτίωσης της απόδοσής τους. Η αποθήκευση της πλεονάζουσας ενέργειας και η χρήση της σε περιόδους αιχμής, καθιστά τις τεχνολογίες αποθήκευσης περισσότερο σημαντικές σε σχέση με την κατασκευή ενός νέου σταθμού ηλεκτροπαραγωγής.

Με γνώση των πλεονεκτημάτων και των μειονεκτημάτων κάθε συστήματος, οι τεχνολογίες αυτές αποτελούν τη βέλτιστη λύση προκειμένου να μειωθεί η ανάγκη χρήσης ορυκτών καυσίμων για το δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας, αλλά και αυτό των μεταφορών που συχνά παραλείπεται.

Ένα σύστημα αποθήκευσης ενέργειας θα επιτρέψει την εφαρμογή έξυπνων ιδεών στο υπάρχον δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας, γεγονός το οποίο αποτελεί το μέγιστο ενδιαφέρον για τις τεχνολογίες του μέλλοντος. Εξαλείφοντας τις διακυμάνσεις που σχετίζονται με την παραγωγή ενέργειας, τα συστήματα αυτά μπορούν να διευκολύνουν την ενσωμάτωση των συστημάτων ανανεώσιμης ενέργειας. Έτσι, τα συστήματα αποθήκευσης ενέργειας μπορούν να εγγυηθούν μεγαλύτερη αξιοπιστία και παράλληλα να προσφέρουν ορισμένες βοηθητικές ενέργειες. Επιπλέον, μπορούν να συμβάλλουν στην αντιστάθμιση του φορτίου αιχμής και με αυτόν τον τρόπο να μειώσουν τις καταστροφές που δημιουργούνται στις γεννήτριες. Η χωρητικότητα των μονάδων παραγωγής μπορεί επίσης να αυξηθεί με αυτόν τον τρόπο, γεγονός το οποίο αποτελεί θετικό παράγοντα για τις τεχνολογίες αποθήκευσης ενέργειας με χαμηλό κόστος.

Οι τεχνολογίες αποθήκευσης ενέργειας φαίνεται να αποτελούν βασική συνιστώσα για την εφαρμογή των νέων τεχνολογιών παραγωγής ενέργειας, για τις διαφορετικές καταναλωτικές συνήθειες και δραστηριότητες, και τον εναλλακτικό μηχανισμό παραγωγής και φόρτισης ηλεκτρικής ενέργειας των τελευταίων δεκατιών. Επιπλέον, μπορούν να προσφέρουν πολλές βελτιώσεις στην απόδοση του δικτύου ηλεκτρισμού, όπως αξιοπιστία, γρήγορη ανταπόκριση, αντιστοίχιση φορτίου κλπ.

Σημαντικά προβλήματα ενεργειακών θεμάτων, όπως η αειφορία και η προστασία του περιβάλλοντος μας ωθούν να ακολουθήσουμε μία διαφορετική πορεία όσον αφορά τις πηγές ενέργειας και την αύξηση της χρήσης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Η συνεχής διακύμανση της ποσότητας της παραγόμενης ενέργειας λόγω βραχυπρόθεσμων και μακροπρόθεσμων αυξομειώσεων των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, απαιτούν κάποιες κρίσιμες μετρήσεις. Έτσι, η αποθήκευση ενέργειας καθίσταται σημαντική για την βελτίωση της χωρητικότητας του ηλεκτρικού δικτύου, λόγω της εύκολης εγκατάστασης και διαχειρισιμότητάς τους, της δυνατότητας ελέγχου, της προβλεψιμότητας και της ευελιξίας τους. Ωστόσο, ορισμένες παράμετροι όπως το επενδυτικό κόστος, η κατασκευή δίχως περιορισμούς, η ενεργειακή πυκνότητα, η ονομαστική ισχύς, η διάρκεια του κύκλου, η ανταπόκριση, η απόδοση αλλά και η

αποτελεσματικότητα, θα πρέπει να εξετάζονται κατά την σωστή επιλογή ενός τέτοιου συστήματος.

Τα μηχανικά συστήματα φαίνεται να προτιμώνται λόγω της μεγάλης χωρητικότητας που διαθέτουν. Οι μπαταρίες επιλέγονται για αυτόνομα συστήματα, ενώ τόσο οι μπαταρίες όσο και οι κυψέλες καυσίμου επιλέγονται σε φορητά συστήματα. Ο ρυθμός μετατροπής και η γρήγορη ανταπόκριση των συστημάτων σε ξαφνικές αλλαγές του φορτίου, αποτελούν επίσης δύο σημαντικές παραμέτρους. Ενώ, τα ηλεκτρικά συστήματα ανταποκρίνονται καλύτερα στις βασικές απαιτήσεις ενός δικτύου.

Γενικότερα, από την παρούσα επισκόπηση που πραγματοποιήθηκε, φαίνεται ότι οι σημερινές τεχνολογίες διαθέτουν ένα εύρος τεχνολογικών χαρακτηριστικών. Με τον κατάλληλο συνδυασμό των διαφορετικών τεχνολογιών, τα συστήματα αποθήκευσης ενέργειας μπορούν να καλύψουν ανάγκες διαφόρων ειδών. Παρόλα αυτά, ενώ έχουν ολοκληρωθεί κάποια επιδεικτικά έργα, η λεπτομερή τεχνικοοικονομική ανάλυση εξακολουθεί να είναι μη επαρκής. Συνεπώς, η περαιτέρω ανάπτυξη των συστημάτων αυτών θα εξαρτηθεί από την πρόοδο των σχετικών τεχνολογιών, αλλά βασίζεται επίσης και στην περαιτέρω ποσοτικοποίηση και την ανάλυση των οφελών που αποκομίζει κανείς από τα συστήματα αυτά.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Ν. Ανδρίτσος, Ενέργεια και Περιβάλλον, Βόλος: Διδακτικές Σημειώσεις, 2008.
- [2] Ν. Rathore και Ν. Panwar, «Renewable energy sources for sustainable development,» *New India Publishing Agency*, 2007.
- [3] R. Zakhidov , «Central Asian countries energy system and role of renewable energy sources.,» *Applied Solar Energy*, Vol. 44, No. 3, pp. 218-223, 2008.
- [4] A. Bergmann, S. Colombo και Ν. Hanley, «Rural versus urban preferences for renewable energy developments.,» *Ecological Economics*, Vol. 65, pp. 615-625, 2008.
- [5] Μ. Thirugnanasambandam, S. Iniyani και R. Goic, «A review of solar thermal technologies,» *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, No. 14, p. 312–322, 2010.
- [6] World Energy Council, Renewable Energy Projects Handbook, London, United Kingdom, 2004.
- [7] Μ. Demirbas, «Electricity production using solar energy,» *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, Vol. 29, No. 6, p. 563–9, 2007.
- [8] Μ. Τσατήρης, Ενέργεια & Περιβάλλον, Αθήνα: Τυπωθήτω, 2002.
- [9] Ο. Ozgener, K. Ulgen και Α. Hepbasli, «Wind and wave power potential,» *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, Vol. 26, No. 9, p. 891–901, 2004.
- [10] Μ. Balat, «Review of modern wind turbine technology,» *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, Vol. 31, No. 17, p. 1561–72, 2009.
- [11] Kothari και Nagrath, Power system engineering, New Delhi: Tata McGraw- Hill, 1994.
- [12] S. Singh, T. Bhatti και D. Kothari, «Indian scenario of wind energy: problems and solutions,» *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, Vol. 26, No. 9, p. 811–819, 2004.
- [13] R. Swati, Construction of Horizontal Axis Wind Turbines A beginners Approach, LAP LAMBERT Academic Publishing, 2013.
- [14] Πανελλήνιος Σύλλογος Χημικών Μηχανικών, Βιοκαύσιμα, Αειφόρος Ενέργεια, Θεσσαλονίκη: Τζιόλα, 2014.
- [15] P. McKendry, «Energy production from biomass (part 1): overview of biomass.,» *Bioresource Technology*, Vol. 83, pp. 37-46, 2002.
- [16] IRENA, «Cost analysis of Biomass for Power Generation,» United Arab Emirates, 2012.

- [17] US Department of Energy, «Biomass Power Fact Sheet,» σε *Distributed Energy Program*, 2006.
- [18] D. Abhijit και A. Akbarzadeh, «Design and cost analysis of low head simple reaction hydro turbine for remote area power supply.,» *Renew Energy*, Vol. 34, p. 409–15, 2009.
- [19] REN, «A comprehensive annual overview of the state of renewable energy. Global Status Report,» 2018.
- [20] Boyle G., «Renewable Energy (2nd Edition),» Oxford University Press, Oxford, 2004.
- [21] T. K. Ghash και M. A. Prelas, «Energy Resources and Systems,» *Renewable Resources*, Vol. 2, pp. 157-210, 2009.
- [22] MIT, «The Future of Geothermal Energy Impact of Enhanced Geothermal Systems (EGS) on the United States in the 21st Century,» 2006.
- [23] C. Luo, L. Huang, Y. Gong και W. Ma, «Thermodynamic comparison of different types of geothermal power plant systems and case studies in China,» *Renewable Energy*, Vol. 48, pp. 155-160, 2012.
- [24] Government of Western Australia, Department of Water, «Glossary,» 2010. [Ηλεκτρονικό]. Available: <http://www.water.wa.gov.au>.
- [25] R. DiPippo, *Geothermal Power Plants: Principles, Applications, Case Studies and Environmental Impact*, Vol. 3rd ed., Butterworth-Heinemann, 2012.
- [26] IEA, «Energy Policies of IEA Countries : Greece 2017 Review,» IEA Publications, 2018.
- [27] M. Guney and Y. Tepe, "Classification and assessment of energy storage systems," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, pp. 1-11, 2016.
- [28] L. Wagner, "Overview of energy storage methods," 2007.
- [29] International Electrochemical Commission, "Electrical energy storage," White Paper, IEC, Geneva, 2011.
- [30] H. Kiehne, *Battery Technology Handbook*, Vol. II, New York, Basel: Marcel Dekker Inc, 2003.
- [31] Q. Wang, C. Zhu, W. Liu και T. Wu, «Hydrogen storage by carbon nanotube and thin films under ambient pressure.,» *Int. J. Hydrog. Energy*, No. 27, pp. 497-500, 2002.
- [32] S. Niaz, T. Manzoor και A. Pandith, «Hydrogen storage: materials, methods, and perspectives.,» *Renew. Sustain. Energy Rev*, No. 50, pp. 457-69, 2015.
- [33] A. Zuttel, «Materials for hydrogen storage,» *Mater Today*, No. 6, pp. 24-33, 2003.
- [34] A. Van de Berg και C. Arean, «Materials for hydrogen storage: current research trends and perspectives.,» *Chem. Commun.*, No. 6, pp. 668-81, 2008.

- [35] A. Zuttel, A. Borgschulte και L. Schlapbach, *Hydrogen as a future energy*, Weinheim: Carrier Wiley-VCH Verlag GmbH & CO, 2008.
- [36] US. Department of Energy, «Hydrogen Storage,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.energy.gov/eere/fuelcells/hydrogen-storage>. [Πρόσβαση 04 01 2019].
- [37] P. Taylor, R. Bolton, D. Stone, X. Zhang, C. Martin, P. Upham and e. al., "Pathways for energy storage in the UK.," in *Technical Report Centre for low carbon futures*, 2012.
- [38] F. Diaz-Gonzalez, A. Super, O. Gomis-Bellmunt και R. Villafafila-Robles, «A review of energy storage technologies for wind power applications,» *Renew. Sust. Energy Rev.*, No. 16, pp. 2154-71, 2012.
- [39] S. Mekhilef, R. Saidur και A. Safari, «Comparative study of different fuel cell technologies.,» *Renew. Sust. Energy Rev.*, No. 16, pp. 981-9, 2012.
- [40] A. Ozaeslan, «Large-scale hydrogen energy storage in salt caverns.,» *Int. J. Hydrogen Energy*, No. 37, pp. 14265-77, 2012.
- [41] R. Borup, J. Meyers, B. Pivovar, Y. Kim, R. Mukundan και N. Garland, «Scientific aspects of polymer electrolyte fuel cell durability and degradation.,» *Chem. Rev.*, No. 107, pp. 3904-51, 2007.
- [42] AEA Technology plc, «Energy storage and management study,» Scottish Government, 2010.
- [43] T. Nakken, L. Strand, E. Frantzen, R. Rohden και P. Eide, «The Utsira wind-hydrogen system operational experience.,» *In. Eur. Wind Energy Conf.*, pp. 1-9, 2006.
- [44] L. Chen, R. Nolan και S. Avadhany, *Thermodynamic Analyses of Coal to Synthetic Natural Gass Process*, 2009.
- [45] K. Divya και J. Ostergaard, «Battery energy storage technology for power systems-an overview.,» *Electr. Power Syst. Res.*, No. 79, pp. 511-20, 2009.
- [46] I. Gyuk, P. Kulkarni, J. Sayer, J. Boyes, G. Corey και G. Peek, «The united states of storage,» *IEEE Power Energy Mag*, No. 3, pp. 31-9, 2005.
- [47] A. Joseph και M. Shahidehpour, «Battery energy storage systems in electric power systems.,» *In: IEEE power engineering society general meeting*, 2006.
- [48] P. Hall και E. Bain, «Energy-storage technologies and electricity generation.,» *Energy Policy*, No. 36, pp. 4352-5, 2008.
- [49] J. Leadbetter και L. Swan, «Selection of battery technology to support grid integrate renewable electricity.,» *J. Power Source*, No. 216, pp. 376-86, 2012.

- [50] M. Yekini Suberu, M. Mustafa και N. Bashir, «Energy storage systems for renewable energy power sector integration and mitigation of intermittency.,» *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, No. 35, pp. 499-514, 2014.
- [51] N. Kawakami, Y. Iijima, M. Fukuhara, M. Bando, Y. Sakanaka και K. Ogawa, «Development and field experiences of stabilization system using 34MW NAS batteries for a 51MW wind farm.,» *In:2010 IEEE int. Symp. Ind. Electron.,*, pp. 2371-6, 2010.
- [52] H. Ibrahim, A. Ilinca και J. Perron, «Energy storage systems-characteristics and comparisons.,» *Renew. Sust. Energy Rev.*, No. 12, pp. 1221-50, 2008.
- [53] J. McDowall, «Integrating energy storage with wind power in weak electricity grids.,» *J. Power Sourc*, No. 162, pp. 959-64, 2005.
- [54] M. Wald, «Wind drives growing use of batteries,» *New York Times*, 2010.
- [55] R. Baxter, «Energy storage - a nontechnical guide.,» PennWell Corporation, Oklahoma, 2006.
- [56] C. Bueno και J. Carta, «Wind powered pumped hydro storage systems, a means of increasing the penetration of renewable energy in the Canary Islands.,» *Renew. Sustain Energy Rev*, No. 10, pp. 312-40, 2006.
- [57] K. Zaghib, M. Dontignya, A. Guerfi, P. Charest, I. Rodrigues και .. Mauger, «Safe and fast - charging Li-ion battery with long shelf life for power applications.,» *J. Power Sourc*, No. 196, pp. 3949-54, 2011.
- [58] A. Joseph και M. Shahidehpour, «Battery energy storage systems in electric power systems,» *IEEE Power Energy Mag*, No. 3, pp. 31-9, 2005.
- [59] T. Nguyen και R. Savinell, «Flow batteries,» *Electrochem Soc Interface*, pp. 54-6, 2011.
- [60] T. Nguyen και R. Savinell, «Flow batteries.,» *Electrochem Soc Interface*, No. 19, pp. 54-6, 2010.
- [61] E. Taylor, «Flow battery structures to improve performance and reduce manufacturing cost.,» *The 2012 DOE Energy Storage Program Peer Review and Update Meeting*, 2012.
- [62] H. Chen, T. Cong και W. Yang, «Progress in electrical energy storage systems: a critical review.,» *Progress in Natural Science*, Vol. 19, pp. 291-312, 2009.
- [63] F. Farret και M. Simoes, «Integration of alternative sources of energy,» *John Wiley & Sons Inc*, pp. 262-3000, 2006.
- [64] IEC, «Electrical Energy Storage, White Paper,» International Electrotechnical Commission , Geneva, Switzerland, 2011.
- [65] Q. Liu, M. Nayfeh και S. Yau, «Supercapacitor electrodes based on polyanilinesilicon nanoparticle composite,» *J. Power Sources*, Vol. 195, pp. 3956-9, 2010.

- [66] M. Ali και R. Dougal, «An overview of SMES applications in power and energy Systems,» *IEEE Trans Sust Energy*, Vol. 1, pp. 38-47, 2010.
- [67] W. Bahn Fleth και J. Song, «Constant flow rate charging characteristics of a fullscale stratified chilled water storage tank with double-ring slotted pipe diffusers,» *Appl Therm Eng*, No. 25, pp. 3067-82, 2005.
- [68] L. Zhou και Z. Qi, «A review of flywheel energy storage system,» σε *Proceedings of ISES. World Congress 2007*, Berlin, Heidelberg, 2009.
- [69] R. Pena-Alzola, R. Sebastian, J. Quesada και A. Colmenar, «A Review of flywheel based energy storage systems.,» σε *In 2010 Int. Conf. Power Eng. Energy Electr Drives IEEE*, 2011.
- [70] I. Hadjipaschalis, A. Poullikkas και V. Efthimiou, «Overview of current and future energy storage technologies for electric power applications.,» *Renew. Sust. Energy Rev.*, No. 13, pp. 1513-22, 2009.
- [71] Z. Kohari και I. Vajda, «Losses of flywheel energy storages and joint operation with solar cells.,» *J. Mater Process Tech.*, pp. 62-5, 2005.
- [72] G. Ries και H. Neumueller, «Comparison of energy storage in flywheels and SMES,» *Physica C.*, pp. 1306-10, 2001.
- [73] H. Liu και J. Jiang, «Flywheel energy storage - an upwing technology for energy sustainability,» *Energy Build*, No. 39, pp. 599-604, 2007.
- [74] D. Connolly, «An investigation into the energy storage technologies available for the integration of alternative generation techniques,» 2007.
- [75] D. Zafirakis, K. Chalvatzis και G. Baiocchi, «Modeling of financial incentives for investments in energy storage systems that promode the large-scale integration of wind energy.,» *Appl. Energy*, No. 105, pp. 138-154, 2013.
- [76] EPRI-DOE, Energy storage for grid connected wind generation applications, EPRI-DOE Handbook Supplement, 2004.
- [77] P. Denhom και G. Kulcinski, «Life cycle energy requirements and greenhouse gas emissions from large scale energy storage systems.,» *Energy Convers Manage*, Vol. 44, pp. 2393-2401, 2003.
- [78] P. Denholm και T. Holloway, «Improved accounting of emissions from utility energy storage system operation.,» *Environmental Science Technology*, Vol. 39, pp. 9016-9022, 2005.
- [79] J. Jewitt, «Impact of CAES on Wind in Tx, OK and NM In: Annual peer review meeting of DOE energy storage systems research.,» San Francisco, USA, 2005.
- [80] J. Ahearne, «Storage of electric energy, Report on research and development of energy technologies.,» *International Union of Pure and Applied Physics*, pp. 76-86, 2004.

- [81] Sears JR., «TEX: The next generation of energy storage technology,» σε *Telecommunications Energy Conference INTELEC 2004 In: 26th annual international volume issue*, 2004.
- [82] B. Rismanchi, R. Saidur, G. Boroumandjazi και S. Ahmed, «Energy, exergy and environmental analysis of cold thermal energy storage (CTES) systems.,» *Renew Sustain Energy Rev*, No. 16, pp. 5741-6, 2012.
- [83] Y. Yau και B. Rismanchi, «A review on cool thermal energy storage technologies and operating strategies.,» *Renew Sustain energy Rev*, No. 15, pp. 787-97, 2012.
- [84] D. Fernandes, M. Martinez, M. Segarra, I. Martorell και L. Cabeza, «Selection of materials with potential in sensible thermal energy storage.,» *Sol Energy Mater SOL Cells*, No. 94, pp. 1723-9, 2010.
- [85] T. Senjyu, K. Shimabukuro, K. Uezato και T. Funabashi, «A technique for thermal and energy storage system unit commitment,» 2004.
- [86] A. Sharma, V. Tyagi, C. Chen και D. Buddhi, «Review on thermal energy storage with phas change materials and applications.,» *Renew Sustain Energy Rev*, No. 13, pp. 318-45, 2009.
- [87] N. Pflieger, T. Bauer, C. Martin, M. Eck και A. Worner, «Thermal energy storage - overview and specific insight into nitrate salts for sensible and latent heat storage.,» *Beilstein J Nanotechnol*, No. 6, pp. 1487-97, 2015.
- [88] A. Wann, P. Leahy, M. Reidy, S. Doyle, H. Dalton και P. Barry, «Environmental performance of existing energy storage installations,» 2012.
- [89] NEED, National Energy Education Development, «www.need.org,» 2015. [Ηλεκτρονικό]. Available:
https://www.need.org/Files/curriculum/Energy%20At%20A%20Glance/BiomassAtAGlance_11x17.pdf.
- [90] US. Department of Energy, «www.fossil.energy.gov,» [Ηλεκτρονικό]. Available: www.fossil.energy.gov/programs/powersystems/gasification/index.html.
- [91] Coal Utilization Research Council, [Ηλεκτρονικό]. Available: www.coal.org/facts/combustion.html.
- [92] D. Uner, "Storage of Chemical Energy and Nuclear Materials Energy Storage Systems," UNESCO-EOLSS sample chapters, [Online]. Available: <http://www.eolss.net/samplechapters/c08/e3-14-05.pdf>.
- [93] N. Deforest, G. Mendes, M. Stadler, W. Feng, J. Lai και C. Marnay, «Optimal deployment of thermal energy storage under siverse economic and climate conditions,» *Applied Energy*, No. 119, pp. 448-496, 2015.

[94] T. Mahlia, T. Saktisahdan, A. Jannifar, M. Hasan και Η. Matseelar, «A review of available methods and development on energy storage;technology update,» *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, No. 33, pp. 532-545, 2014.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1^ο

Χάρτης Υποδομών Ηλεκτρικής Ενέργειας Ελλάδος

