

**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ
ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΦΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ**

ΠΡΟΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

«Αποθήκευση Ενέργειας σε Ευφυή Συστήματα Ηλεκτρικής Ενέργειας»

Νικόλας Προκοπίου

ΒΟΛΟΣ 2016

«Αποθήκευση Ενέργειας σε Ευφυή Συστήματα Ηλεκτρικής Ενέργειας»

Επιβλέπων: Ελευθέριος Τσουκαλάς, Καθηγητής – Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας
Δεύτερο μέλος επιτροπής: Διονύσιος Βαβουγιός, Δ.Ε.Π. – Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον επιβλέπων καθηγητή μου κύριο Ελευθέριο Τσουκαλά για την εμπιστοσύνη του και την καθοδήγησή του κατά την εκπόνηση της διπλωματικής μου εργασίας.

Τέλος από καρδιάς θα ήθελα να ευχαριστήσω τους γονείς μου για την αμέριστη συμπαράσταση και στήριξη που μου παρείχαν όλα αυτά τα χρόνια, για την ολοκλήρωση των προπτυχιακών μου σπουδών.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η ενέργεια επηρεάζει κάθε πτυχή της ανθρώπινης δραστηριότητας. Στο σύγχρονο κόσμο, υπάρχει μια συνεχής παγκόσμια ανάγκη για περισσότερη ενέργεια, η οποία ταυτόχρονα πρέπει να είναι «καθαρότερη» από την ενέργεια που παράγεται από τις συμβατικές μονάδες ηλεκτροπαραγωγής. Η κάλυψη της ζήτησης σε ενέργεια επιτάσσει, με τη σειρά της, την κατανάλωση των φυσικών πηγών ενέργειας του πλανήτη. Αποτελέσματα όλων αυτών είναι η ελάττωση των ορυκτών καυσίμων και η εμφάνιση πολλών περιβαλλοντικών προβλημάτων, όπως η όξινη βροχή, τα αστικά νέφη, η τρύπα του όζοντος και πάνω απ' όλα, το φαινόμενο του θερμοκηπίου, υπεύθυνο για την αύξηση της θερμοκρασίας της γης. Η ανάγκη και τα προβλήματα αυτά οδήγησαν στην αυξανόμενη διείδυση των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας, η εκτεταμένη χρήση των οποίων στα σημερινά ηλεκτρικά δίκτυα μπορεί αδιαμφισβήτητα να ελαχιστοποιήσει την απειλή του φαινομένου του θερμοκηπίου και της κλιματικής αλλαγής. Εφαρμογές όπως οι ηλιακοί συλλέκτες και τα φωτοβολταϊκά συστήματα, τα αιολικά πάρκα, τα συστήματα βιομάζας και γεωθεμίας θεωρούνται πλέον πρώτης προτεραιότητας ανάπτυξης. Έχουν σπουδαίες προοπτικές χρήσης σε πολλές εφαρμογές, αποτελούν καθαρές πηγές ενέργειας, χωρίς εκπομπές ρύπων, και παράλληλα είναι δωρεάν, άφθονες και ανανεώσιμες, αφού βασίζονται στην ηλιακή, την αιολική και τη γεωθεμική ενέργεια αντίστοιχα. Παρόλα αυτά, η ποσότητα της ισχύος που παράγεται από τις διατάξεις τέτοιων πηγών δεν προσαρμόζεται εύκολα στις διακυμάνσεις της ζήτησης, δημιουργώντας την ανάγκη για ενεργειακή αποθήκευση. Μέσα απ' όλα αυτά γίνεται αντιληπτή η ανάγκη για την αποθήκευση της ενέργειας.

Ανάλογα με την εφαρμογή τους, οι διατάξεις αποθήκευσης ενέργειας μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σε διατάξεις βραχυπρόθεσμης και μακροπρόθεσμης αποθήκευσης. Αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η ανάλυση των σημαντικότερων διατάξεων ενεργειακής αποθήκευσης. Τεχνολογίες με υψηλή πυκνότητα ισχύος και ικανότητα ανταπόκρισης στα αιτήματα σε μικρά χρονικά πλαίσια, όπως οι σφόνδυλοι, οι υπέρ-πυκνωτές και τα υπέρ-αγωγά μαγνητικά πηνία ανήκουν στην πρώτη κατηγορία. Διατάξεις ενεργειακής αποθήκευσης με ικανότητα να απορροφούν και να αποδεσμεύουν την ηλεκτρική ενέργεια για περιόδους μακράς διάρκειας, όπως οι μπαταρίες, τα συστήματα αντλησιοταμίευσης, τα συστήματα ενεργειακής αποθήκευσης συμπιεσμένου αέρα και οι τεχνολογίες ενεργειακής αποθήκευσης υδρογόνου εντάσσονται στη δεύτερη κατηγορία. Επιπρόσθετα, μια σύγκριση των διαφόρων τεχνολογιών κάθε κατηγορίας αποθήκευσης παρουσιάζεται υπό το πρίσμα των σημαντικότερων χαρακτηριστικών της κάθε τεχνολογίας, όπως είναι για παράδειγμα η πυκνότητα ισχύος και ενέργειας, η ενεργειακή απόδοση και η διάρκεια ζωής.

ABSTRACT

Energy affects every aspect of human activity. In the modern world, there is a continuing global need for more energy, which both must be "cleaner" than the energy produced by conventional power plants. The coverage of the energy demand requires the consumption of natural energy resources. Result of these is the reduction of fossil fuels and the occurrence of many environmental problems such as acid rain, urban clouds, the ozone hole and above all, the greenhouse effect, responsible for the increase of the global temperature. The need and these problems led to the increasing penetration of Renewable Energy Sources, the widespread use of which in the existing electrical networks can undoubtedly minimize the threat of global warming and climate change. Applications such as solar panels and photovoltaic systems, wind farms, biomass and geothermal systems are now considered first development priority. They have great potential for use in many applications, they are clean energy without emissions, and also is free, abundant and renewable, since they are based on solar, wind and geothermal energy respectively. However, the amount of power generated by the provisions of such sources are not easily adapt to fluctuations in demand, creating the need for energy storage. Through all of this is perceived a need for energy storage.

Depending on the application, the energy storage devices can be categorized into short and long term storage devices. The subject of this thesis is the analysis of the most important energy storage devices. Technology with high power density and ability to respond to requests in small time frames, such as flywheels, the super-capacitors and super-conducting magnet coils in the first category. energy storage devices with the ability to absorb and release electrical energy for long periods, such as batteries, pumped storage systems, compressed air energy storage and hydrogen energy storage technologies fall into the second category. Additionally, a comparison of different technologies, each storage class is presented in the light of the main characteristics of each technology, such as for example the power density and energy, energy efficiency and durability.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1.ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
1.1 Γενικά.....	1
1.2 Ταξινόμηση μεθόδων αποθήκευσης ενέργειας.....	2
1.3 Χαρακτηριστικά των συστημάτων αποθήκευσης ενέργειας.....	4
2. ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ	5
2.1 Τεχνολογίες Μηχανικής Αποθήκευσης Ενέργειας	5
2.1.1 Σύστημα συμπιεσμένου αέρα.....	5
2.1.1.1 Γενικά.....	5
2.1.1.2 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα.....	6
2.1.2 Αντλησιοταμίευση.....	7
2.1.2.1 Γενικά.....	7
2.1.2.2 Αναστρέψιμο υδροηλεκτρικό σύστημα.....	9
2.1.2.3 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα.....	10
2.1.3 Σφόνδυλοι κινητικής ενέργειας.....	11
2.1.3.1 Γενικά.....	11
2.1.3.2 Εφαρμογές.....	12
2.1.3.3 Χαρακτηριστικά των σφονδύλων.....	13
2.1.3.4 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα.....	14
2.2 Χημική Αποθήκευση Ενέργειας.....	15
2.2.1 Υδρογονοαποθήκευση.....	15
2.2.1.1 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα.....	16
2.2.1.2 Αποθήκευση Υδρογόνου.....	17
2.2.1.3 Παραγωγή – Διανομή του Υδρογόνου.....	19
2.3 Θερμική Αποθήκευση Ενέργειας.....	21
2.3.1 Αισθητή Θερμότητα.....	21
2.3.1.1 Μέσα αποθήκευσης.....	23
2.3.1.1.1 Υγρά μέσα αποθήκευσης.....	23
2.3.1.1.2 Στερεά μέσα αποθήκευσης.....	25
2.3.1.2 Υπέργειες Εφαρμογές Αποθήκευσης Αισθητής Θερμότητας.....	27
2.3.1.2.1 Αποθήκευση αισθητής θερμότητας σε δεξαμενές υγρού...27	
2.3.1.2.2 Θερμική κλίση στερεών.....	28
2.3.1.2.3 Ηλιακή λίμνη.....	29
2.3.1.3 Υπόγειες Εφαρμογές Αποθήκευσης Αισθητής Θερμότητας.....	31
2.3.1.3.1 Γεωθερμία.....	32
2.3.1.3.1.1 Σύστημα γεωθερμικής αντλίας	
θερμότητας.....	33
2.3.1.3.2 Αποθήκευση σε σπήλαια.....	36
2.3.1.3.3 Αποθήκευση σε υπόγεια φυσικά υδροφόρα στρώματα.....	36
2.3.1.3.4 Σύστημα γεώτρησης για αποθήκευση θερμότητας σε	
ξηρό έδαφος.....	37
2.3.2 Λανθάνουσα θερμότητα τήξης.....	38
2.3.2.1 Υλικά αλλαγής φάσης.....	38
2.3.2.1.1 Ιδιότητες των PCM.....	39
2.3.2.1.2 Κατηγοριοποίηση Υλικών Αλλαγής Φάσης.....	40

2.3.2.1.2.1 Οργανικά PCM.....	40
2.3.2.1.2.2 Ανόργανα PCM.....	42
2.3.2.1.2.3 Εύτηκτα μείγματα.....	44
2.3.2.1.3 Συστήματα Αποθήκευσης με PCM.....	45
2.3.2.2 Συστήματα Αποθήκευσης Πάγου.....	49
2.3.2.2.1 Συστήματα Αποθήκευσης Πάγου.....	50
2.3.2.2.1.1 Σύστημα Τήξης σε σερπαντίνα.....	51
2.3.2.2.1.2 Σύστημα Θρυμματοποίησης πάγου.....	54
2.3.2.2.1.3 Πάγος σε μικροκάψουλες.....	55
2.3.2.2.1.4 Παγοπολτός.....	56
2.4 Άλλες Μορφές Αποθήκευσης Ενέργειας.....	58
2.4.1 Υπερπυκνωτές.....	58
2.4.1.1 Είδη Υπερπυκνωτών – Χαρακτηριστικά.....	58
2.4.2 Υπεραγωγίμα υλικά.....	60
2.4.2.1 Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα.....	61
3. ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΜΕ ΜΠΑΤΑΡΙΑ.....	62
3.1 Μπαταρίες μολύβδου – οξέος.....	63
3.2 Αλκαλικές μπαταρίες.....	64
3.3 Προηγμένες μπαταρίες.....	65
3.3.1 Μπαταρίες λιθίου.....	65
3.3.2 Μπαταρίες νατρίου – θείου.....	66
3.3.3 Μπαταρίες ροής.....	67
3.3.4 Μπαταρίες μετάλλου – αέρα.....	68
3.4 Σύγκριση των διαφόρων τύπων μπαταριών.....	69
4. ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ.....	71
4.1 Αιολική ενέργεια.....	72
4.1.1 Τεχνολογία αξιοποίησης αιολικής ενέργειας.....	73
4.1.2 Περιβαλλοντικά οφέλη και επιπτώσεις των αιολικών πάρκων.....	73
4.1.3 Πλωτά και υβριδικά αιολικά πάρκα.....	75
4.2 Ηλιακή Ενέργεια.....	75
4.3 Υδροδυναμική Ενέργεια / Υδατοπτώσεις.....	78
4.4 Βιομάζα.....	79
4.4.1 Πλεονεκτήματα.....	81
4.4.2 Μειονεκτήματα.....	81
4.5 Βιοκαύσιμα.....	81
4.6 Γεωθερμική ενέργεια.....	82
4.7 Ενέργεια από παλίρροιες.....	83
4.8 Ενέργεια από κύματα.....	85
4.9 Ενέργεια από τους ωκεανούς.....	87
4.10 Το υδρογόνο ως φορέας ενέργειας.....	88
4.11 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των ΑΠΕ.....	89
5. ΑΞΙΟΠΙΣΤΙΑ ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ.....	91
5.1 Η έννοια της αξιοπιστίας και η ανάλυση αξιοπιστίας.....	92
5.2 Οφέλη από τη βελτίωση της αξιοπιστίας.....	92
5.2.1 Για την εταιρία διανομής.....	93
5.2.2 Για τους παρόχους ηλεκτρικής ενέργειας.....	93

5.2.3 Για τους καταναλωτές.....	93
5.2.4 Ευρύτερα κοινωνικά οφέλη.....	94
5.3 Το κόστος αξιοπιστίας για τον πελάτη.....	95
5.3.1 Έρευνες γύρω από το κόστος των καταναλωτών.....	95
6. ΜΕΛΛΟΝ - ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	96
6.1 Μελλοντικό παγκόσμιο ενεργειακό τοπίο.....	96
6.2 Η ανάγκη της ενεργειακής αποθήκευσης.....	97
6.3 Συμπεράσματα	99
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΕΙΑ.....	100

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1ο - ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Γενικά

Σε κάθε ενεργειακό σύστημα το μεγαλύτερο πρόβλημα που αντιμετωπίζεται είναι αυτό της διαχείρισης της παραγόμενης ενέργειας σύμφωνα με το απαιτούμενο φορτίο. Στα διάφορα ενεργειακά συστήματα είναι δυνατόν να παρατηρηθούν εποχική διακύμανση των ενεργειακών απαιτήσεων, διακύμανση κατά την παραγωγή ενέργειας και διαφορά στην ποσότητα παραγωγής και ζήτησης της ενέργειας. Η ανάγκη αντιμετώπισης αυτών των θεμάτων είναι αυξημένη και σε αυτό το σημείο έρχεται να παίξει το ρόλο του ρυθμιστή η αποθήκευση της ενέργειας ώστε να εξομαλύνει τα προαναφερθέντα ζητήματα.

Μια μονάδα αποθήκευσης της ενέργειας σε ένα οποιοδήποτε σύστημα παραγωγής ενέργειας είναι μια εγκατάσταση, συνήθως υποκείμενη σε ανεξάρτητο έλεγχο, η οποία αποθηκεύει την ενέργεια που παράγεται στο σύστημα παραγωγής και μπορεί να τη διατηρεί και να την αποδίδει όταν είναι απαραίτητο. Ένας κύκλος αποθήκευσης ενέργειας περιλαμβάνει τη φόρτιση της ενεργειακής αποθήκης, τη διατήρηση της αποθηκευμένης ενέργειας και την αποφόρτιση της. Οι απώλειες τοποθετούνται στο σύστημα διατήρησης της αποθηκευμένης ενέργειας αλλά μπορούν να υπεισέρχονται σε οποιοδήποτε στάδιο.

Τα συστήματα αποθήκευσης ενέργειας έχουν ορισμένα πλεονεκτήματα από την εφαρμογή τους:

- Αυξάνουν την παραγωγική ικανότητα του συστήματος, αφού η ενέργεια που παράγεται σε περιόδους απαίτησης χαμηλού φορτίου μπορεί να αποθηκευτεί και να χρησιμοποιηθεί σε περιόδους ενεργειακής αιχμής χωρίς το σύστημα να λειτουργεί σε μόνιμη κατάσταση με υψηλά φορτία.

- Ενδυναμώνουν την καλύτερη λειτουργία των συστημάτων συμπαραγωγής θερμότητας και ηλεκτρισμού αφού με την αποθήκευση της ενέργειας τα συστήματα δε χρειάζεται να ενεργοποιούνται σύμφωνα με τις μεταβαλλόμενες ανάγκες του φορτίου.

- Αυξάνουν την αξιοπιστία του παραγωγικού συστήματος, αφού επιτρέπουν τη σταθερή παραγωγή χωρίς επικίνδυνες διακυμάνσεις.

Μεταφέρουν την παραγωγή ενέργειας από τις περιόδους υψηλής ζήτησης σε περιόδους χαμηλής όπου το κόστος παραγωγής είναι μικρότερο με αποτέλεσμα το μειωμένο κόστος της ενέργειας.

Αυξάνουν την προσαρμοστικότητα ενός συστήματος στις εκάστοτε ανάγκες.

- Μειώνουν το αρχικό κόστος και το κόστος συντήρησης του παραγωγικού συστήματος ενέργειας καθώς μειώνεται ο απαιτούμενος εξοπλισμός και η δυναμικότητα του.

- Μειώνουν την κατανάλωση των καυσίμων με αποτέλεσμα την εξοικονόμηση κόστους και την μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων

Οι εφαρμογές των συστημάτων αποθήκευσης ενέργειας είναι πολλές και οι σημαντικότερες σήμερα είναι:

- Σε εταιρίες κοινής ωφέλειας, είναι δυνατή η αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας σε περιόδους χαμηλού κοστολογίου με σκοπό την χρησιμοποίησή της σε περιόδους αιχμής, μειώνοντας την εξάρτηση από τα ορυκτά καύσιμα (λιγνίτης, φυσικό αέριο, πετρέλαιο) και περιορίζοντας τη χρήση επιπλέον μονάδων παραγωγής για την

κάλυψη των φορτίων.

- Στη βιομηχανία, απορροές υψηλής θερμότητας μπορούν να αποθηκευτούν και να χρησιμοποιηθούν σε στάδια προθέρμανσης και απόδοσης ενέργειας σε άλλες διεργασίες.
- Στην παραγωγή ενέργειας μέσω ΑΠΕ είναι δυνατή η αποθήκευση της ενέργειας σε περιόδους χαμηλού φορτίου ώστε να καλύψουν της ανάγκες αιχμών ή περιπτώσεων όπου η ανανεώσιμη ενέργεια δεν είναι διαθέσιμη λόγω περιοδικότητας (π.χ. ηλιακά συστήματα, αιολικά συστήματα).
- Στον κτιριακό τομέα (οικιακό και εμπορικό) είναι δυνατή η αποθήκευση θερμικής ενέργειας και ηλεκτρικής ενέργειας σε εκτός αιχμής περιόδους, επιτρέποντας έτσι την εγκατάσταση μικρότερων μονάδων παραγωγής θερμικής ενέργειας για την κάλυψη των θερμικών και ψυκτικών φορτίων, την εξοικονόμηση ηλεκτρικής ενέργειας και την μείωση των τιμολογίων της.

1.2 Ταξινόμηση μεθόδων αποθήκευσης ενέργειας

Τα συστήματα αποθήκευσης της ενέργειας μπορούν να ταξινομηθούν σε δυο γενικές κατηγορίες:

1. Βάσει της διάρκειας αποθήκευσης της παραγόμενης ενέργειας.
2. Βάσει της μορφής στην οποία αποθηκεύεται η παραγόμενη ενέργεια.

Βάσει της διάρκειας της αποθήκευσης της ενέργειας μπορούν οι εφαρμογές να χωριστούν σε μικρής, μεσαίας και μεγάλης διάρκειας ενεργειακή αποθήκευση.

Η *μικρής διάρκειας αποθήκευση (βραχυπρόθεσμη)* χρησιμοποιείται για να εξυπηρετήσει τις αιχμές ζήτησης ενός ενεργειακού συστήματος για ορισμένο χρονικό διάστημα μέσα στη διάρκεια μιας ημέρας. Με τον τρόπο αυτό μειώνεται το μέγεθος ενός ενεργειακού συστήματος, οι θερμικές απώλειες και οι μονάδες παραγωγής ενέργειας. Στα συστήματα βραχυπρόθεσμης αποθήκευσης ανήκουν οι σφόνδυλοι, οι υπερπυκνωτές, τα υπεραγωγία υλικά, οι δεξαμενές αποθήκευσης υγρού.

Η *μεσαίας διάρκειας αποθήκευση (μεσοπρόθεσμη)* συστήνεται όταν το πλεόνασμα της ενέργειας ή το εποχιακό κέρδος μπορεί να μεταφερθεί με μια καθυστέρηση από μερικές ημέρες έως και λίγες εβδομάδες και να εξυπηρετήσει μελλοντική ζήτηση. Σε αυτή την κατηγορία ανήκουν τα συστήματα μπαταριών, υδρογονοαποθήκευσης, θερμοκλίνες στερεών.

Οι *μεγάλης διάρκειας εφαρμογές αποθήκευσης* αφορούν συστήματα με μεγάλη χωρητικότητα ενέργειας και μικρές ή μηδενικές απώλειες κατά την αποθήκευση, όπου μπορούν να αποθηκεύουν ενέργεια από μερικούς μήνες μέχρι και σε ετήσια βάση. Οι εφαρμογές αυτές μπορούν να εκμεταλλεύονται τις ετήσιες κλιματικές αλλαγές (διεποχική αποθήκευση) και να επιτυγχάνουν ελαχιστοποίηση των ετήσιων απαιτήσεων σε ενέργεια σε ένα σύστημα ή να εξυπηρετούν ένα πλήθος καταναλωτών (πόλη, οικισμός, βιομηχανικές και εμπορικές περιοχές) σε έκτακτες περιπτώσεις. Οι συνήθεις εφαρμογές για της μακροπρόθεσμη ενεργειακή αποθήκευση ή τη διεποχική αποθήκευση περιλαμβάνει τις τεχνολογίες της αντλησιοταμίευσης, της αποθήκευσης συμπιεσμένου αέρα, τη γεωθερμία, την υπόγεια αποθήκευση θερμότητας σε στερεά ή

υγρά μέσα.

Βάσει της μορφής στην οποία αποθηκεύεται η παραγόμενη ενέργεια, τα συστήματα χωρίζονται σε συστήματα αποθήκευσης:

- *Μηχανικής ενέργειας:* Τα συστήματα αποθήκευσης μηχανικής ενέργειας περιλαμβάνουν εκείνα τα συστήματα τα οποία αποθηκεύουν την ενέργεια υπό μορφή δυναμικής (υπερυψωμένων σωμάτων ή ελαστικών υλικών), κινητικής ενέργειας (είτε ευθύγραμμης είτε περιστροφικής κίνησης) και ενέργειας συμπιεσμένου αερίου. Βάση αυτών οι βασικές μέθοδοι είναι η αντλησιοταμίευση, οι περιστρεφόμενοι τροχοί (σφόνδυλοι) και το σύστημα συμπιεσμένου αέρα (CAES).
- *Χημικής ενέργειας:* Τα συστήματα χημικής αποθήκευσης ενέργειας περιλαμβάνουν την ηλεκτροχημική αποθήκευση ενέργειας με χρήση μπαταριών, τη φωτοχημική αποθήκευση ενέργειας μέσω φωτοχημικών αντιδράσεων, τη θερμοχημική αποθήκευση ενέργειας μέσω αμφίδρομων αντιδράσεων που απελευθερώνουν και αποθηκεύουν μεγάλα ποσά ενέργειας ή συστημάτων διάλυσης, απορρόφησης και προσρόφησης και την αποθήκευση ενέργειας με τη μορφή υδρογόνου, το οποίο αποθηκεύεται σε υγρή ή αέρια ή στερεή μορφή και αξιοποιείται ως καύσιμο όταν απαιτείται.
- *Θερμικής ενέργειας:* Τα συστήματα αποθήκευσης θερμικής ενέργειας περιλαμβάνουν τα συστήματα αποθήκευσης της ενέργειας με τη μορφή αισθητής θερμότητας σε στερεά ή υγρά μέσα και της λανθάνουσας θερμότητας σε διάφορα υλικά.
- *Άλλης μορφής ενέργειας:* Άλλα συστήματα αποθήκευσης της ενέργειας αποτελούν τα συστήματα μαγνητικής αποθήκευσης σε υπεραγώγιμα υλικά και την αποθήκευση σε πυκνωτές και ηλεκτροχημικούς πυκνωτές του λεγόμενου υπερπυκνωτές.

Βάση των παραπάνω διακρίσεων των μεθόδων αποθήκευσης της παραγόμενης ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας μπορούν να προκύψουν ποικίλες εφαρμογές ενεργειακής αποθήκευσης οι οποίες να αντιμετωπίζουν κατά περίπτωση όλες τις απαιτήσεις των συστημάτων στα οποία εγκαθίστανται καλύπτοντας ένα ευρύ πεδίο εφαρμογής από τεχνικής και οικονομικής σκοπιάς.

Συνεπώς, τα διαθέσιμα συστήματα αποθήκευσης ενέργειας μπορούν να βρουν εφαρμογή σε μεμονωμένα μικρά συστήματα (κατοικίες), σε μεμονωμένα μεγάλα συστήματα που περιλαμβάνουν υποσυστήματα με διαφορετικά ενεργειακά προφίλ κατανάλωσης ενέργειας (μεγάλα εμπορικά κέντρα ή συνοικίες), σε συστήματα που υπάγονται στα δίκτυα διανομής της ηλεκτρικής ενέργειας ή σε συστήματα με εγκατεστημένες τεχνολογίες εκμετάλλευσης ΑΠΕ και άλλες τεχνολογίες διανεμημένης παραγωγής. Λαμβάνοντας υπόψη αυτό, τα συστήματα ενεργειακής αποθήκευσης μπορούν να εγκατασταθούν είτε κεντρικά είτε διανεμημένα. Ο παραπάνω διαχωρισμός των αποθηκευτικών διατάξεων σχετίζεται με την ύπαρξη ενεργειακής δικτύωσης (ηλεκτρική ή και θερμική) σε ένα σύστημα.

1.3 Χαρακτηριστικά των συστημάτων αποθήκευσης ενέργειας

Η επιλογή της κατάλληλης τεχνολογίας ή των κατάλληλων τεχνολογιών αποθήκευσης για ένα δεδομένο ενεργειακό με σκοπό την επίτευξη των επιθυμητών αποτελεσμάτων για την ενεργειακή διαχείριση αποτελεί μια απαιτητική και πολυπαραμετρική διαδικασία.

Ο σωστός σχεδιασμός του συστήματος παραγωγής ενέργειας σε ένα σύστημα, οι απαιτήσεις σε ενέργεια στη διάρκεια του έτος και της ημέρας, η πρόβλεψη για επέκταση ή αλλαγή της τεχνολογίας, το κόστος και η διάθεση της αποθηκευτικής διάταξης, οι κλιματολογικές συνθήκες και η διαθεσιμότητα σε χώρο αποτελούν μερικούς από τους παράγοντες οι οποίοι πρέπει να ληφθούν υπόψη για την σωστή επιλογή και εφαρμογή μιας ή περισσότερων τεχνολογιών αποθήκευσης της ενέργειας. Σχεδιάζοντας μια αποθηκευτική διάταξη είναι σημαντικό να λαμβάνονται υπόψη μια πληθώρα παραμέτρων όπως:

- Η μορφή της αποθηκευμένης ενέργειας
- Η θερμοκρασία αποθήκευσης
- Η ποσότητα της αποθηκευμένης ενέργειας
- Η ποιότητα της αποθηκευμένης ενέργειας
- Η ισχύς εισόδου και εξόδου
- Η απόδοση
- Η διάρκεια αποθήκευσης
- Η χρονική απόκριση του συστήματος ανάλογα με τη ζήτηση
- Η ταχύτητα φόρτισης και εκφόρτισης του συστήματος
- Τα φυσικά χαρακτηριστικά του συστήματος (όγκος, βάρος)
- Η ενεργειακή πυκνότητα ανά μονάδα όγκου
- Η πυκνότητα ισχύος ανά μονάδα όγκου
- Το κόστος επένδυσης ανά μονάδα ενέργειας εξόδου
- Το κόστος ισχύος ανά μονάδα ισχύος εισόδου και εξόδου
- Το κόστος συντήρησης και λειτουργίας
- Διάρκεια ζωής (σε κύκλους φόρτισης-εκφόρτισης, έτη)
- Οι κρίσιμες παράμετροι ασφαλείας
- Οι επιπτώσεις στο περιβάλλον από τα υλικά και τη μέθοδο που χρησιμοποιείται
- Η συμβατότητα με τις τεχνολογίες παραγωγής ενέργειας
- Το ποσοστό εξοικονόμησης ενέργειας

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2ο - ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζονται αναλυτικά οι διαθέσιμες και υπό ανάπτυξη και εμπορική τυποποίηση τεχνολογίες ενεργειακής αποθήκευσης βάσει της μορφής στην οποία αποθηκεύεται η ενέργεια.

Γίνεται περιγραφή των τεχνολογιών, αναφέρονται οι βασικές εφαρμογές τους, τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα που παρουσιάζουν και τα τεχνικά και οικονομικά χαρακτηριστικά τους.

2.1 Τεχνολογίες Μηχανικής Αποθήκευσης Ενέργειας

Τα συστήματα αποθήκευσης μηχανικής ενέργειας περιλαμβάνουν εκείνα τα συστήματα τα οποία αποθηκεύουν την ενέργεια υπό μορφή δυναμικής, κινητικής ενέργειας και ενέργειας συμπιεσμένου αερίου. Βάση αυτών οι βασικές μέθοδοι είναι η αντλησιοταμίευση, οι περιστρεφόμενοι τροχοί (σφόνδυλοι) και το σύστημα συμπιεσμένου αέρα (CAES).

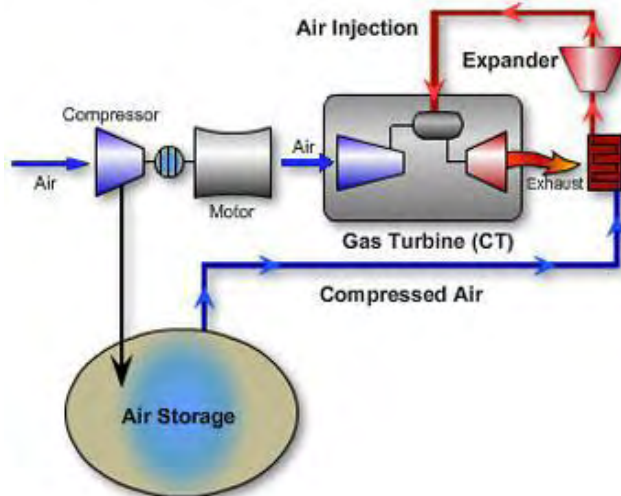
2.1.1 Σύστημα συμπιεσμένου αέρα

2.1.1.1 Γενικά

Τα συστήματα αποθήκευσης συμπιεσμένου αέρα (CAES) αφορούν σε μακροπρόθεσμη και μεγάλης κλίμακας ενεργειακή αποθήκευση. Η ισχύς αυτών των συστημάτων ενεργειακής αποθήκευσης μπορεί να ξεκινά από 50 MW και να ξεπερνά τα 300 MW. Η απόδοση αυτών των συστημάτων είναι μεγάλη, περίπου 80%.

Τα συστήματα CAES χρησιμοποιούν ενέργεια εκτός αιχμής για τη συμπίεση και την αποθήκευση ποσοτήτων αέρα σε μεγάλες πιέσεις (κοντά στα 75 bar) και σε υπόγειο αεροστεγή ταμειυτήρα. Όταν θεωρηθεί απαραίτητο (αιχμή ζήτησης) ποσότητες συμπιεσμένου αέρα αποδεσμεύονται από τον υπόγειο αεροστεγή ταμειυτήρα και στη συνέχεια θερμαίνονται και εκτονώνονται σε ένα στρόβιλο καύσης συνδεδεμένο με μια γεννήτρια, για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Η απορριπτόμενη από το στρόβιλο ενέργεια πριν απελευθερωθεί στο περιβάλλον οδηγείται σε προθερμαντήρα για την πρόσδοση ικανής θερμότητας στο συμπιεσμένο αέρα, πριν ο τελευταίος αναφλεχθεί στο θάλαμο καύσης. Σχεδόν τα 2/3 του φυσικού αερίου σε ένα συμβατικό σταθμό παραγωγής καταναλώνονται για τη λειτουργία του συμπιεστή μέσω του στροβίλου. Αντίθετα, για να τεθεί σε ένα σύστημα CAES ο συμπιεστής σε λειτουργία χρησιμοποιείται χαμηλού κόστους συμπιεσμένος αέρα, εξοικονομώντας με αυτόν τον τρόπο σημαντικές ποσότητες φυσικού αερίου.

Το σύστημα CAES βρίσκει εφαρμογή σε μεγάλης κλίμακας έργα αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας αλλά η εφαρμογή του είναι περιορίζεται σε ορισμένα μεγάλα έργα σε παγκόσμιο επίπεδο καθώς πρόκειται για εφαρμογή που απαιτεί μεγάλη δαπάνη αλλά και εξαρτάται σημαντικά από κάποιο διαθέσιμο γεωλογικό σχηματισμό για την ταμίευση του αέρα. Είναι δυνατή η κατασκευή αεροστεγούς ταμειυτήρα, ωστόσο αυτό το έργο εκτοξεύει τη δαπάνη και έτσι καθιστά την τεχνολογία μη ελκυστική λύση. [5] Η βασική εγκατάσταση ενός τυπικού συστήματος CAES αποτελείται από το τμήμα ισχύος, το τμήμα συμπίεσης, έναν υπόγειο αεροστεγή ταμειυτήρα, το κέντρο ελέγχου και τον βοηθητικό εξοπλισμό.



Εικόνα 2.1: Σύστημα αποθήκευσης συμπιεσμένου αέρα

Ο υπόγειος αεροστεγής ταμειυτήρας προορίζεται για την ταμίευση του συμπιεσμένου αέρα. Η υπόγεια αποθήκευση χωρίζεται σε αποθήκευση μεγάλης κλίμακας και μικρής κλίμακας. Στην αποθήκευση μεγάλης κλίμακας μπορούν να χρησιμοποιηθούν γεωλογικοί σχηματισμοί και περιλαμβάνουν τα υπόγεια υδροφόρα στρώματα, τα υπόγεια σπήλαια και αλατωρυχεία και την κατασκευή υπόγειων σπηλαίων από βράχους. Και οι τρεις αυτοί τύποι ταμειυτήρων αποτελούν ιδανικές επιλογές για την αποθήκευση του συμπιεσμένου αέρα, δεδομένου ότι ωφελούνται από τη γεωστατική πίεση, η οποία διευκολύνει τη συγκράτηση της μάζας αέρα. Ωστόσο, ένα μεγάλο πλήθος μελετών έδειξε ότι ο αέρα θα μπορούσε να συμπιεστεί και να αποθηκευτεί σε υπόγειες, υψηλής πίεσεως σωληνώσεις. Αυτή η μέθοδος θα μπορούσε να εξαλείψει τα γεωλογικά κριτήρια, καθιστώντας πιο εύκολη τη λειτουργία του συστήματος. Παρόλα αυτά, η σημερινή τεχνολογία δεν έχει αναπτυχθεί στον απαιτούμενο βαθμό για να κατασκευαστούν αυτοί οι υψηλής πίεσης σωλήνες χωρίς υψηλό κόστος. Στα συστήματα μικρής ή μεσσίας κλίμακας ο συμπιεσμένος αέρας αποθηκεύεται σε αεριοφυλάκια.

2.1.1.2 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα

Τα συστήματα CAES παρουσιάζουν πληθώρα πλεονεκτημάτων, καθιστώντας την τεχνολογία τους εξαιρετικά ανταγωνιστική για εφαρμογές σε μεγάλης κλίμακας αποθηκευτικά έργα. Η ισχύς ενός συστήματος ενεργειακής αποθήκευσης συμπιεσμένου αέρα μπορεί να ξεκινά από 50MW και εύκολα να ξεπερνά τα 300MW. Μια εφαρμογή αυτής της τεχνολογίας μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την αποθήκευση ενέργειας για περισσότερο από ένα έτος.

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

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

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

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

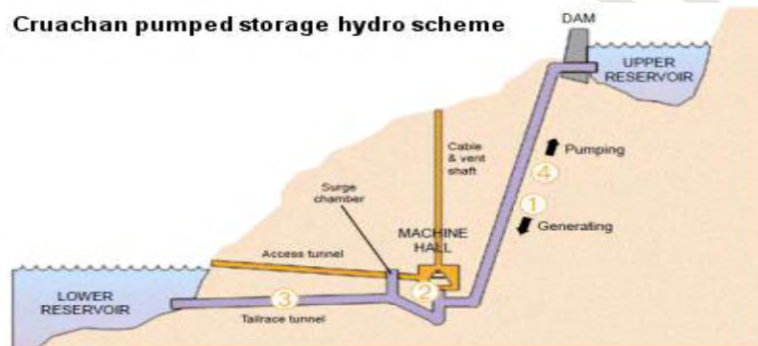
2.1.2 Αντλησιοταμίευση

2.1.2.1 Γενικά

Η αντλησιοταμίευση αποτελεί την πλέον αξιόπιστη τεχνολογία για αποθήκευση μεγάλων ποσοτήτων ενέργειας σε επίπεδο μακράς διάρκειας και κυρίως τα αναστρέψιμα υδροηλεκτρικά συστήματα.

Η λειτουργία αυτών των συστημάτων βασίζεται στην εκμετάλλευση της υδροηλεκτρικής ενέργειας. Το νερό διαθέτει δυναμική ενέργεια, η οποία εκφράζεται από τη στάθμη του ως προς τη στάθμη της θάλασσας. Η ενέργεια αυτή, η οποία μετατρέπεται σε μηχανική ενέργεια μέσω του υδροστροβίλου, είναι ανανεώσιμη καθώς προέρχεται από μία φάση του υδρολογικού κύκλου, τις ατμοσφαιρικές κατακρημνίσεις. Κινητήρια δύναμη του υδρολογικού κύκλου είναι η δράση του ήλιου, οπότε συνεπάγεται ότι η υδραυλική ενέργεια προέρχεται από την ηλιακή ενέργεια. Το σύνολο των έργων και του εξοπλισμού μέσω των οποίων η υδραυλική ενέργεια μετατρέπεται σε μηχανική και στη συνέχεια σε ηλεκτρική ονομάζεται υδροηλεκτρικό έργο (ΥΗΕ).

Κατά τη μέθοδο αυτή της αντλησιοταμίευσης αποθηκεύεται νερό σε δεξαμενή υψηλής στάθμης στη διάρκεια την νύχτας με χρήση αντλίας η οποία καταναλώνει ηλεκτρική ενέργεια. Στη διάρκεια της ημέρας όπου η ζήτηση είναι αυξημένη, το νερό απελευθερώνεται με σκοπό να κινήσει υδροστρόβιλο και παράγει ηλεκτρική ενέργεια. Το σύστημα αυτό αποθηκεύει ηλεκτρική ενέργεια υπό μορφή δυναμικής και κινητικής ενέργειας. Στην εικόνα παρακάτω, φαίνεται ένα σύστημα αντλησιοταμίευσης.



Εικόνα 2.2: Σύστημα αντλησιοταμίευσης

Το σύστημα μπορεί να λειτουργήσει και με άλλο τρόπο. Στη διάρκεια της ημέρας με χρήση ηλιακής ή αιολικής ενέργειας για ηλεκτροπαραγωγή, ο ηλεκτρισμός αυτός κινεί την αντλία η οποία μεταφέρει το νερό στη δεξαμενή αποθήκευσης και τη νύχτα όπου δεν υπάρχει ηλιοφάνεια ή τις περιόδους που δεν έχει αρκετό άνεμο, το σύστημα απελευθερώνει το νερό για ηλεκτροπαραγωγή για την κάλυψη των αναγκών. Ο βαθμός απόδοσης ενός τέτοιου συστήματος είναι περίπου 50% εξαιτίας των απωλειών κατά την άντληση και υδατόπτωση του νερού. Μπορεί να λειτουργήσει για περισσότερο από 20 χρόνια και απαιτεί μόλις 30 sec για να φτάσει στο μέγιστο της ισχύος του.

Ένα τυπικό σύστημα αντλησιοταμίευσης αποτελείται από τα παρακάτω μέρη :

- Μια αντλία ή ένα σύστημα αντλιών: περιλαμβάνεται μία ή περισσότερες αντλίες, που διακινούν ένα το νερό μεταξύ των δύο δεξαμενών, τις μηχανές κίνησης των αντλιών και το σύνολο των σωληνώσεων που συνδέουν τις δεξαμενές με την αντλία.
- Έναν υδροστρόβιλο ή ένα σύστημα υδροστροβίλων: οι σύγχρονοι υδροστρόβιλοι διακρίνονται σε 2 κατηγορίες, τους δράσεως ή μερικής προσβολής και τους αντιδράσεως ή μερικής προσβολής.
- Δύο δεξαμενές νερού, σε ικανή υψομετρική διαφορά μεταξύ τους.
- Ένα σύνολο σωληνώσεων για την άντληση νερού και την προσαγωγή του νερού μεταξύ των δεξαμενών. Σε ένα σύστημα αντλησιοταμίευσης διακρίνουμε δύο βασικές σχεδιαστικές εκδοχές, αυτής της μονής σωλήνωσης και αυτής της διπλής σωλήνωσης, όπου δηλαδή υπάρχει ανεξάρτητη σωλήνωση για τον στρόβιλο και για τη λειτουργία των αντλιών. Στη μονή σωλήνωση το σύστημα είναι οικονομικότερο λόγω μειωμένου κόστους εγκατάστασης αλλά τίθεται ο περιορισμός της προτεραιότητας της λειτουργίας είτε της αντλίας είτε του στροβίλου. Επιπλέον, υπάρχει και η περίπτωση της μονής σωλήνωσης με σύνθετη λειτουργία δηλαδή, υπάρχει η δυνατότητα διπλής ταυτόχρονης λειτουργίας με χρήση μονής σωλήνωσης. Πρόκειται για μια δεύτερη κατηγορία συστήματος αντλησιοταμίευσης, το λεγόμενο αναστρέψιμο υδροηλεκτρικό σύστημα. Αυτή η προτεινόμενη λύση εμφανίζει το πλεονέκτημα ότι είναι οικονομικότερη χωρίς να υστερεί λειτουργικά.
- Μια ηλεκτρική μηχανή που λειτουργεί είτε ως κινητήρας είτε ως γεννήτρια σε κοινή άτρακτο με την αντλία και τον υδροστρόβιλο.

Η φιλοσοφία λειτουργίας του συστήματος αντλησιοταμίευσης είναι απλή. Η περίσσεια ενέργειας τροφοδοτεί τις αντλίες, μέσω των οποίων το εργαζόμενο μέσο (νερό) ανυψώνεται διά των σωληνώσεων ανόδου από την κάτω δεξαμενή στην άνω, δίνοντας έτσι τη δυνατότητα αποθήκευσης της περίσσειας ενέργειας με τη μορφή δυναμικής ενέργειας. Όταν κάποια άλλη χρονική στιγμή απαιτείται ενέργεια, το νερό από την πάνω δεξαμενή αφήνεται να οδεύσει μέσω των σωληνώσεων καθόδου προς την κάτω δεξαμενή, διερχόμενο δε μέσω των υδροστροβίλων παράγει την επιθυμητή ενέργεια. Οι διαστασιολογήσεις των δύο δεξαμενών είναι τέτοιες που να εξασφαλίζουν ότι μόνο ένα μικρό ποσοστό από τον όγκο του αποθηκευμένου νερού θα χρησιμοποιείται και θα είναι ικανό για τις μετατροπές τις διατιθέμενης ενέργειας σε δυναμική και αντίστροφα, αποκλείοντας το ενδεχόμενο κάποια από τις δύο δεξαμενές να αδειάσει εντελώς.

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

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

2.1.2.2 Αναστρέψιμο υδροηλεκτρικό σύστημα

Το αναστρέψιμο υδροηλεκτρικό σύστημα αποτελεί μια δεύτερη κατηγορία συστήματος αντλησιοταμίευσης όπως αναφέρθηκε προηγουμένως (μονή σωλήνωση-σύνθετο σύστημα). Η εγκατάσταση αυτή είναι εξοπλισμένη με αναστρέψιμη υδροδυναμική μηχανή, την ονομαζόμενη στροβιλαντλία, η οποία έχει τη δυνατότητα να λειτουργεί είτε ως αντλία (φάση αποθήκευσης) είτε ως στρόβιλος (φάση παραγωγής) με αντιστροφή της φορά περιστροφής της περωτής (του δρομέα) και της φοράς της ροής.

Όσον αφορά στη λειτουργία του αναστρέψιμου υδροηλεκτρικού συστήματος, σε αυτό ενσωματώνεται ένα πρωτότυπο σύστημα διανομής. Σύμφωνα με αυτό, όταν η παροχή νερού από την κάτω στην άνω δεξαμενή λόγω άντλησης, είναι μεγαλύτερη από την απαιτούμενη παροχή για τη λειτουργία του στροβίλου, μέρος του αντλούμενου νερού πηγαινει απευθείας στον στρόβιλο, και το υπόλοιπο στην άνω δεξαμενή. Δηλαδή η σωλήνωση μεταφέρει νερό προς τα πάνω. Όταν η παροχή της αντλητικής εγκατάστασης είναι μικρότερη από την αντίστοιχη του στροβίλου, όλο το νερό από την άντληση κατευθύνεται στο στρόβιλο και συμπληρωματικά χρησιμοποιείται νερό από την άνω δεξαμενή για να συμπληρωθεί η απαιτούμενη παροχή στροβίλου. Συνεπώς σε αυτήν την περίπτωση, η σωλήνωση μεταφέρει νερό από την άνω στην κάτω δεξαμενή.

Το βασικό πλεονέκτημα του τυπικού συστήματος αντλησιοταμίευσης (είτε με μονή είτε με διπλή σωλήνωση) είναι ότι κάθε μηχανή (υδροστρόβιλος και αντλία) επιλέγεται να λειτουργεί σε αντίστοιχο κανονικό σημείο λειτουργίας της. Αντίθετα, όπως θα γίνει φανερό και στη συνέχεια, στο αναστρέψιμο υδροηλεκτρικό σύστημα είναι ανάγκη να γίνεται συμβιβασμός στα λειτουργικά χαρακτηριστικά της στροβιλοαντλίας. Βέβαια, το πρόβλημα αυτό έχει αρχίζει να ξεπερνιέται τα τελευταία χρόνια, με την ανάπτυξη αναστρέψιμων υδροδυναμικών μηχανών με δύο περωτές που μοιράζονται την ίδια άτρακτο και η μία λειτουργεί ως περωτή αντλίας και η άλλη ως δρομέας στροβίλου, επιτυγχάνοντας βέλτιστη λειτουργία και στις δύο περιπτώσεις.

Ωστόσο, το τυπικό σύστημα αντλησιοταμίευσης χαρακτηρίζεται από σημαντικό κόστος ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού, δεδομένου ότι είναι εξοπλισμένο από δύο υδροδυναμικές μηχανές και έναν συμπλέκτη, σε αντίθεση με το αναστρέψιμο υδροηλεκτρικό σύστημα που περιλαμβάνει μόνο μια αναστρέψιμη υδροδυναμική μηχανή. Επιπλέον, κάθε μονάδα καταλαμβάνει χώρο σημαντικά μεγαλύτερο σε

σύγκριση με τη λύση της αναστρέψιμης υδροδυναμικής μηχανής.

Επιπρόσθετα, σε περιπτώσεις όπου η προβλεπόμενη συχνότητα εναλλαγής της λειτουργίας στροβίλου – αντλίας είναι υψηλή, το αναστρέψιμο υδροηλεκτρικό σύστημα μειονεκτεί έναντι του τυπικού συστήματος αντλησιοταμίευσης. Αυτό οφείλεται στο γεγονός, ότι οι αναστρέψιμες μονάδες θα πρέπει πρώτα να σταματήσουν και στη συνέχεια να αρχίσουν να περιστρέφονται αντίστροφα, με αποτέλεσμα να πρόκειται για μια χρονοβόρα και επίπονη διαδικασία.

Συμπερασματικά, το αναστρέψιμο υδροηλεκτρικό σύστημα εμφανίζει περισσότερα πλεονεκτήματα συγκριτικά με το τυπικό σύστημα αντλησιοταμίευσης, με αποτέλεσμα να βρίσκεται στο επίκεντρο του ενδιαφέροντος όσον αφορά στην αποθήκευση μεγάλων ποσοτήτων ενέργειας υπό υδραυλική μορφή.

Άλλα συστήματα στα οποία μπορεί να βρει εφαρμογή η αποθήκευση ενέργειας με την τεχνολογία της αντλησιοταμίευσης είναι τα υβριδικά συστήματα με χρήση των τεχνολογιών ΑΠΕ αλλά και σε συνδυασμό με θερμικά συστήματα με σκοπό της εξοικονόμηση καυσίμου. Τέτοια συστήματα μελετώνται ιδιαίτερα τα τελευταία χρόνια με σκοπό τη μεγάλη διείσδυση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (ΑΠΕ) στα ηλεκτρικά δίκτυα, ιδιαίτερα στα μη διασυνδεδεμένα νησιά, αλλά και συγχρόνως την παραγωγή ενέργειας σε συμφωνία με τις Ευρωπαϊκές και Εθνικές πολιτικές για την ενέργεια και το περιβάλλον.

2.1.2.3 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα

Τα συστήματα αντλησιοταμίευσης έχουν διπλό όφελος καθώς απορροφούν την περίσσεια ενέργειας κατά τις ώρες χαμηλής ζήτησης μετατρέποντάς την σε υδραυλική ενέργεια, η οποία αποθηκεύεται στον πάνω ταμιευτήρα αλλά και αποδίδουν στο δίκτυο κατά τις ώρες αιχμής την ενέργεια που έχουν αποταμιεύσει, ενώ, στις περισσότερες περιπτώσεις, παράγουν και πρωτογενή ενέργεια από την αξιοποίηση των φυσικών εισροών στον άνω ταμιευτήρα. Η απόδοση αυτών των συστημάτων είναι της τάξης του 70-85%.

Εκείνο που δίνει τη μεγαλύτερη ενεργειακή και οικονομική σημασία στην εκμετάλλευση της υδροηλεκτρικής ενέργειας είναι η ευελιξία των μονάδων ενεργειακής μετατροπής. Σε λιγότερο από ένα λεπτό μια τέτοια μονάδα μπορεί να τεθεί σε λειτουργία και να αναλάβει πλήρες φορτίο. Αυτό επιτρέπει τη χρήση της υδροηλεκτρικής ενέργειας για την κάλυψη των αιχμών της ζήτησης και της προσδίδει έτσι περίπου διπλάσια οικονομική αξία, σε σχέση με τη συμβατική θερμική ενέργεια. Βέβαια, απαραίτητη προϋπόθεση για να υπάρχει αξιοπιστία αυτού του τύπου είναι η διαθεσιμότητα μεγάλου όγκου ταμίευσης νερού, ώστε να μπορεί να λειτουργούν οι μονάδες παραγωγής τις ώρες ακριβώς που χρειάζονται, ενώ τις υπόλοιπες ώρες οι εισροές νερού αποθηκεύονται.

Στα πλεονεκτήματα της εκμετάλλευσης της υδροηλεκτρικής ενέργειας για ενεργειακή αποθήκευση συγκαταλέγεται η θετική περιβαλλοντική επίδραση καθώς αποτελεί μη ρυπογόνο τεχνολογία και προέρχεται από εκμετάλλευση ανανεώσιμης πηγής ενέργειας. Ωστόσο συνυπολογίζονται περιβαλλοντικές επιπτώσεις που σχετίζονται με το οικοσύστημα ιδιαίτερα στα μεγάλα υδροηλεκτρικά έργα από τη δημιουργία τεχνητών λιμνών για ταμίευση και την κατάκλιση μεγάλων εκτάσεων.

Το βασικό μειονέκτημα της τεχνολογίας αφορά στο κόστος της επένδυσης και αφορά εφαρμογές μόνο μεγάλης κλίμακας.

2.1.3 Σφόνδυλοι κινητικής ενέργειας

2.1.3.1 Γενικά

Οι σφόνδυλοι είναι διατάξεις αποθήκευσης κινητικής ενέργειας. Ένας σφόνδυλος αποτελείται από μια μάζα η οποία περιστρέφεται γύρω από ένα άξονα (ρότορας). Μια διάταξη αποθήκευσης σφονδύλου αποτελείται από τον σφόνδυλο και μια ενσωματωμένη ηλεκτρική συσκευή, η οποία μπορεί να λειτουργεί είτε ως κινητήρας είτε ως γεννήτρια.

Η ενέργεια αποθηκεύεται σε μια στρεφόμενη μάζα και μετατρέπεται από ηλεκτρική σε κινητική και αντίστροφα με ένα ρότορα/γεννήτρια. Η ηλεκτρική συσκευή λειτουργεί ως κινητήρας για να περιστρέφει το σφόνδυλο και να αποθηκεύει ενέργεια. Μόλις ο σφόνδυλος αρχίσει να περιστρέφεται αποτελεί ουσιαστικά μια μηχανική μπαταρία, που μπορεί να εμπεριέχει ένα συγκεκριμένο ποσό ενέργειας. Το ποσό της αποθηκευμένης ενέργειας εξαρτάται από τη ροπή αδράνειας και την ταχύτητα περιστροφής του ρότορα. Όσο πιο γρήγορα περιστρέφεται τόσο περισσότερη ενέργεια αποθηκεύει. Η αποθηκευμένη ενέργεια ανακτάται με την επιβράδυνση του σφονδύλου μέσω επιβραδυνόμενης στρεπτικής ροπής και επιστρέφοντας την κινητική ενέργεια στην ηλεκτρική συσκευή. Σε αυτή την περίπτωση, η συσκευή λειτουργεί ως γεννήτρια η οποία παράγει ηλεκτρισμό κατά τη ζήτηση χρησιμοποιώντας την ενέργεια που είχε αποθηκευτεί στο σφόνδυλο. Επιπλέον, για τη μείωση των ενεργειακών απωλειών χρησιμοποιούνται μαγνητικοί τριβείς και ένας θάλαμος υπό κενό. Ο θάλαμος συνεισφέρει στη μείωση των αεροδυναμικών απωλειών και των πιέσεων του στροφέα.

Υπάρχουν εμπορικά διαθέσιμοι τύποι διατάξεων σφονδύλων ωστόσο υπάρχουν και τύποι υπό ανάπτυξη. Οι δύο βασικοί τύποι είναι τα συστήματα χαμηλής ταχύτητας και τα συστήματα υψηλής ταχύτητας.

Τα συστήματα χαμηλής ταχύτητας αφορούν τους εμπορικά διαθέσιμους τύπους αποθήκευσης κινητικής ενέργειας και προορίζονται για διάρκεια αποθήκευσης 10-120 sec. Οι εφαρμογές αυτών των συστημάτων είναι αυτές των UPS και χρησιμοποιούνται για βελτίωση της ποιότητας ισχύος και για την αύξηση του φορτίου σε ώρες αιχμής. Τα βασικά χαρακτηριστικά αυτού του τύπου είναι ο χαλύβδινος ρότορας και τα συμβατικά ρουλεμάν, η τεχνολογική ωριμότητα και τα υψηλά επίπεδα αξιοπιστίας. Τα συστήματα αυτά είναι ρεύματος και απαιτούν μετασχηματιστή για τη διασύνδεσή τους με το δίκτυο. Οι ρότορες έχουν ταχύτητα περιστροφής έως 8000 rpm και ενεργειακή πυκνότητα μέχρι 5 Wh/kg.

Τα συστήματα υψηλής ταχύτητας αποτελούνται από ρότορες σύνθετων υλικών και τα ρουλεμάν χαρακτηρίζονται από εξαιρετικά χαμηλούς συντελεστές τριβής για τη μείωση του βάρους του ρότορα και την επίτευξη ταχυτήτων περιστροφής δεκάδων χιλιάδων rpm (μέχρι 100000 rpm). Επειδή η κινητική ενέργεια του ρότορα είναι συνάρτηση του τετραγώνου της γωνιακής ταχύτητας του, οι ρότορες με αυτά τα υλικά επιτρέπουν υψηλότερες αποθηκευτικές ικανότητες. Από την άλλη, οι ρότορες που είναι οπλισμένοι με σύνθετες ίνες αποτυγχάνουν σε σχέση με τους ατσάλινους και για αυτό είναι εγγενώς ασφαλέστεροι. Η ειδική ενέργεια των συστημάτων αυτών μπορεί να είναι μέχρι 100 Wh/kg. Τα συστήματα αυτά είναι υπό ανάπτυξη.

Στη διάταξη του σφονδύλου όπως όλες οι διατάξεις βραχυπρόθεσμης αποθήκευσης,

χρησιμοποιούνται μετατροπείς ισχύος και ελεγκτές ισχύος. Ο μετατροπέας ισχύος είναι μεταβλητής ταχύτητας περιστροφής, συνήθως αμφίδρομης ρύθμισης και παλλόμενου πλάτους. Ανάλογα με τις απαιτήσεις της εφαρμογής, ο μετατροπέας ισχύος μπορεί να είναι μονοφασικός (εναλλασσόμενο σε συνεχές ρεύμα) ή διφασικός (εναλλασσόμενο σε συνεχές σε εναλλασσόμενο). Τέλος, ο ελεγκτής ισχύος είναι αναγκαίος για τον έλεγχο της μεταβλητότητας των ηλεκτρικών συστημάτων.



Εικόνα 2.3: Σφόνδυλος κινητικής ενέργειας

2.1.3.2 Εφαρμογές

Οι διατάξεις σφονδύλων προορίζονται για εφαρμογές βραχυπρόθεσμης αποθήκευσης ενέργειας και είναι κατάλληλες για εφαρμογές που απαιτούν συνεχή φόρτιση, υψηλή αξιοπιστία και υψηλή ισχύ. Μέχρι τώρα τα συστήματα έχουν χρησιμοποιηθεί σε εφαρμογές UPS στον εμπορικό και βιομηχανικό τομέα σε υβριδικές εγκαταστάσεις με εφεδρικές νηξελογενητήριες και με το σύστημα να παρέχει αδιάκοπη ισχύ σε περίπτωση απώλειας της παροχής του ηλεκτρικού δικτύου. Αυτή η ανάγκη για βελτίωση της ποιότητας παροχής ηλεκτρισμού υπάρχει μόνο στον εμπορικό και βιομηχανικό τομέα όπου οι καταναλωτές έχουν οικονομικές επιπτώσεις από τις διακυμάνσεις ισχύος σε αντίθεση με τον οικιακό τομέα ο οποίος δεν έχει την αντίστοιχη ανάγκη σε τέτοιου είδους επενδύσεις.

Νέες εφαρμογές αυτών των συστημάτων έχουν αρχίσει να παρουσιάζονται από τους κατασκευαστές όπως αυτή της ρύθμισης της συχνότητας με τα συστήματα σφονδύλων. Το πλεονέκτημα των σφονδύλων έναντι των επικουρικών εγκαταστάσεων ορυκτών καυσίμων είναι η μειωμένη περιβαλλοντική επίπτωση.

Σε ότι αφορά στα ενεργειακά δίκτυα και τη διείσδυση της διανεμημένης παραγωγής οι σφόνδυλοι αποτελούν μια τεχνολογία που μπορεί να βρεί άμεση εφαρμογή ανάμεσα σε άλλες. Μπορεί να επιτρέπει στις εταιρίες αυξημένο έλεγχο του δικτύου, να βελτιώσει την ποιότητα και να αναστείλει επενδύσεις για αναβαθμίσεις δικτύου. Επιπλέον, μπορεί να αποδώσει όφελος από την διανεμημένη παραγωγή του ιδιώτη – καταναλωτή. Έτσι, καθώς η αποθήκευση πρέπει να είναι όσο το δυνατόν πιο κοντά στο φορτίο, οι πρώτες εφαρμογές στοχεύουν στα 20 MW. Αρκετοί σφόνδυλοι με ένα τυπικό περιεχόμενο και σε μια ημικινητή εγκατάσταση μπορούν να υποστηρίξουν επίπεδα παραγωγής της τάξης των MW για δεκάδες λεπτά.

Ακόμα ένα όφελος των συστημάτων αποθήκευσης με σφονδύλους είναι η

εξοικονόμηση ενέργειας. Η αποθήκευση μπορεί να παρέχει την απαιτούμενη ισχύ σε περιόδους μέγιστης κατανάλωσης με αποτέλεσμα τη μείωση του ηλεκτρικού τιμολογίου. Επιπλέον, η μέγιστη δυνατή εξοικονόμηση επιτρέπει, όπως για κάθε σύστημα αποθήκευσης, τον υποσχεδιασμό των συστημάτων ηλεκτροπαραγωγής. Με βάση τα παραπάνω και δεδομένου του υψηλού κόστους επένδυσης της τεχνολογίας, η εφαρμογή των σφονδύλων είναι ωφέλιμη για κτιριακές εφαρμογές στις περιπτώσεις όπου υπάρχουν υψηλές απαιτήσεις σε ισχύ και υπάρχει ανάγκη εφεδρικού συστήματος για παροχή φορτίων για μικρό χρονικό διάστημα (ανελκυστήρες). Ακόμα, μπορούν να εφαρμοστούν σε περιπτώσεις όπου ο καταναλωτής πουλά ηλεκτρισμό στο δίκτυο. Τέλος, σε περιπτώσεις λειτουργίας συστημάτων παραγωγής ενέργειας εκτός δικτύου μπορούν να εφαρμοστούν τα συστήματα σφονδύλων για την καλύτερη ενσωμάτωση της διανεμημένης παραγωγής.

2.1.3.3 Χαρακτηριστικά των σφονδύλων

Η υψηλή ικανότητα των σφονδύλων για πολλούς κύκλους φόρτισης – εκφόρτισης είναι ένα βασικό χαρακτηριστικό το οποίο είναι ανεξάρτητο από το ρυθμό φόρτισης και εκφόρτισης. Ένας μέσος χρόνος ζωής των συστημάτων αυτών εκτιμάται γύρω στα 20 χρόνια. Ένας σφόνδυλος λειτουργεί μεταξύ μιας μέγιστης και ελάχιστης ταχύτητας, το οποίο καθορίζει την ωφέλιμη αποθηκευμένη ενέργεια ή τη διαθέσιμη αποθηκευτική ικανότητα. Η διαθέσιμη ικανότητα αυξάνεται σε χαμηλούς χρόνους εκφόρτισης με τη μείωση της ελάχιστης ταχύτητας σε μειωμένη ροπή και ισχύ, ωστόσο αυτό θα μπορούσε να μειώσει τον κύκλο ζωής.

Η τυπική απόδοση ενός συστήματος σφονδύλου είναι περίπου 90%. Μειώνεται σε χαμηλούς ρυθμούς εκφόρτισης κυρίως επειδή εξαρτάται από την απόδοση των ηλεκτρονικών συστημάτων. Ωστόσο, ο υψηλός σχετικά χρόνος αυτοεκφόρτισης σημαίνει τη μείωση της απόδοσης. Οι ρυθμοί αυτοεκφόρτισης είναι από 0.2 μέχρι 2 φορές πάνω από την αποθηκευτική ικανότητα την ώρα. Αυτές οι υψηλές τιμές επιβεβαιώνουν ότι οι σφόνδυλοι δεν είναι κατάλληλοι στις περισσότερες περιπτώσεις για εφαρμογές μακροπρόθεσμης αποθήκευσης. Τα τυπικά συστήματα έχουν χρόνους αποθήκευσης της τάξης των 5 sec μέχρι 2 min.

Οι σφόνδυλοι είναι διατάξεις γρήγορης φόρτισης συχνά προσεγγίζοντας λόγο εκφόρτισης / φόρτισης τη μονάδα.

Οι κατασκευαστές δίνουν ένα μεγάλο εύρος θερμοκρασιών λειτουργίας μεταξύ -20 °C και 40 °C. Ωστόσο, ορισμένα εξαρτήματα των συστημάτων (ηλεκτρονικά ισχύος) περιορίζουν αυτό το εύρος. Η εξάρτηση των συστημάτων από τη θερμοκρασία φαίνεται να είναι μικρή ωστόσο μπορεί να είναι θετικό να γίνεται αποβολή της θερμότητας. Τα συστήματα μπορούν να είναι είτε συνεχούς είτε εναλλασσόμενου ρεύματος. Τα συστήματα σφονδύλων χρειάζονται μια συνδεσμολογία ισχύος που περιλαμβάνει τη γεννήτρια (συνήθως μια σύγχρονη μόνιμα μαγνητισμένη μηχανή) ένα μεταβλητής ταχύτητας μετατροπέα και ένα ελεγκτή ισχύος. Η απόδοση των ηλεκτρονικών ισχύος είναι πάνω από 90% στα μέγιστα φορτία αλλά μικρότερη σε χαμηλά φορτία. Η διακύμανση της τάσης περιορίζεται από τους σφονδύλους σε λιγότερο από 2%.

Οι ρότορες από χάλυβα (steel rotors) έχουν ενεργειακή πυκνότητα μέχρι 5 Wh/kg ενώ οι υψηλής ταχύτητας ρότορες σύνθετων υλικών έχουν ενεργειακή πυκνότητας μέχρι 100 Wh/kg. Ωστόσο, η ενεργειακή πυκνότητα και πυκνότητα ισχύος του συστήματος

μπορεί να μειωθεί τουλάχιστον κατά ένα παράγοντα 10 αν ληφθεί υπόψη το βάρος του συστήματος.

Ένα από τα σημαντικότερα προβλήματα με τους σφονδύλους είναι ο θόρυβος και πρέπει να λαμβάνεται υπόψη κατά το σχεδιασμό και την εισαγωγή τους σε κτιριακές εφαρμογές. Ορισμένοι κατασκευαστές δίνουν τιμές σε απόσταση ενός μέτρου κάτω από τα 70 dBA.

Τα συστήματα σφονδύλων είναι συμπαγή και ελαφρά σε σύγκριση με τα συστήματα μπαταριών. Χαρακτηρίζονται από χαμηλές απαιτήσεις συντήρησης και από υψηλές τιμές χρόνου μεταξύ αστοχιών (MTBF).

Ένα από τα σημαντικά εμπόδια της τεχνολογίας είναι το υψηλό αρχικό κόστος. Παρόλο που τα σύνθετα υλικά είναι ακριβότερα από τα χαλύβδινα, το επιπλέον κόστος εξισορροπείται από τη μείωση της απαιτούμενης μάζας. Το κόστος του ρότορα είναι περίπου 700-800 €/kWh (2003). Το συνολικό κόστος ενός σφονδύλου βρίσκεται στην κλίμακα των 200-500€/kW για αποθήκευση 5 sec και 1000-3000€/kW για αποθήκευση μιας ώρας. Τα συστήματα αποθήκευσης μιας ώρας δεν είναι διαθέσιμα ακόμα. Όσον αφορά στο κόστος λειτουργίας υποθέτοντας ένα κύκλο ζωής 106 φορτίσεων ένα σύστημα αποθήκευσης 5 sec έχει ένα κόστος 0.14-0.36 \$/kWh. Συστήματα με μεγαλύτερο χρόνο αποθήκευσης έχουν μειωμένα κόστη λειτουργίας.

2.1.3.4 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα

Συνοψίζοντας, τα σημαντικότερα οφέλη μιας αποθηκευτικής διάταξης σφονδύλου είναι:

- Η άμεση απόκριση στην απαίτηση ενέργειας. Οι σφόνδυλοι χαρακτηρίζονται από υψηλές ταχύτητες φόρτισης και εκφόρτισης για πολλούς κύκλους.
- Η ικανότητα του σφονδύλου να δώσει στιγμιαία μεγάλα ποσά ενέργειας. Είναι κατάλληλοι και προτιμούνται σε περιπτώσεις ικανοποίησης της ζήτησης σε ώρες αιχμής όπου υπάρχει απαίτηση για άμεση παροχή σχετικά μεγάλης ποσότητας ενέργειας.
- Η μεγάλη ενεργειακή πυκνότητα η οποία κυμαίνεται από 5 μέχρι 100 Wh/kg.
- Η υψηλή ενεργειακή απόδοση η οποία μπορεί να φτάσει το 90%.
- Η μεγάλη διάρκεια ζωής, που φτάνει τα 15-20 χρόνια για χρήση σε υψηλές συχνότητες καθώς και η ελάχιστη απαιτούμενη συντήρηση και παρακολούθηση που απαιτείται.
- Η μη ευαισθησία σε θερμοκρασιακές διακυμάνσεις.

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

2.2 Χημική Αποθήκευση Ενέργειας

Τα συστήματα χημικής αποθήκευσης ενέργειας περιλαμβάνουν την ηλεκτροχημική αποθήκευση ενέργειας με χρήση μπαταριών, τη φωτοχημική αποθήκευση ενέργειας μέσω φωτοχημικών αντιδράσεων, τη θερμοχημική αποθήκευση ενέργειας μέσω αμφίδρομων αντιδράσεων που απελευθερώνουν και αποθηκεύουν μεγάλα ποσά ενέργειας ή συστημάτων διάλυσης, απορρόφησης και προσρόφησης και την αποθήκευση ενέργειας με τη μορφή υδρογόνου, το οποίο αποθηκεύεται σε υγρή ή αέρια ή στερεή μορφή και αξιοποιείται ως καύσιμο όταν απαιτείται. Στην παρούσα ενότητα θα παρουσιαστούν οι τεχνολογίες που παρουσιάζουν εμπορικό ενδιαφέρον για συστήματα που μπορούν να εφαρμοστούν στην πράξη στον κτιριακό τομέα επομένως παρουσιάζονται μόνο η τεχνολογία αποθήκευσης υδρογόνου, ενώ θα δούμε στο επόμενο κεφάλαιο πιο αναλυτικά την αποθήκευση ενέργειας με μπαταρίες.

2.2.1 Υδρογονοαποθήκευση

Το υδρογόνο αποτελεί το 90% της συνολικής μάζας του σύμπαντος και είναι το ελαφρύτερο στοιχείο που υπάρχει στη φύση. Στην καθαρή του μορφή που είναι η αέρια συναντάται σπάνια και δεσμευμένο υπάρχει σχεδόν σε όλα τα ορυκτά της γης. Λόγω του μικρού του βάρους, δεν αποτελεί περισσότερο από το 1% της συνολικής μάζας της γης.

Υπό ίδιες συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίας, το υδρογόνο σαν αέριο είναι πολύ ελαφρύτερο από τον ατμοσφαιρικό αέρα. Συγκεκριμένα, σε κανονικές συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίας ($P=1 \text{ atm}$, $T=0 \text{ }^\circ\text{C}$) πυκνότητα 0.0899 kg/m^3 , δηλαδή περίπου δέκα φορές μικρότερη από αυτήν του αέρα. Όταν η θερμοκρασία του αερίου υδρογόνου κατεβεί κάτω από τους $20,268 \text{ K}$ σε κανονικές συνθήκες πίεσης, αυτό αρχίζει να υγροποιείται, περνώντας σταδιακά από την αέρια στην υγρή του φάση.

Όταν το μοριακό υδρογόνο θερμαίνεται πάνω από φλόγα, αντιδρά σε συνθήκες περιβάλλοντος βίαια με το οξυγόνο του ατμοσφαιρικού αέρα και δίνει σαν παράγωγα νερό και θερμότητα (με 285.83 kJ/mol παραγόμενου H_2O) σύμφωνα με την παρακάτω αντίδραση: $2\text{H}_2 + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{H}_2\text{O} + \text{Θερμότητα}$

Το υδρογόνο αποτελεί μια τομή για την ιστορική εξέλιξη της ενεργειακής παραγωγής από τον άνθρωπο, μιας και είναι ουσιαστικά το πρώτο καύσιμο που δεν βασίζεται καθόλου στον άνθρακα. Εκτός από την μηδενική του περιεκτικότητα σε άνθρακα, ένα εξίσου σημαντικό χαρακτηριστικό που παρουσιάζει το υδρογόνο σαν καύσιμο, είναι ότι μπορεί να προσφέρει πολύ μεγαλύτερα ποσά ενέργειας από τα αντίστοιχα ποσά των διαφόρων ορυκτών καυσίμων, τα οποία είναι ικανά να τροφοδοτήσουν τις περισσότερες από τις καθημερινές ανάγκες του ανθρώπου, ξεκινώντας από την ηλεκτροδότηση των σπιτιών και των πόλεών του, την κίνηση των μεταφορικών του μέσων και την ικανοποίηση των μικρότερων οικιακών ενεργειακών αναγκών.

Το υδρογόνο χρησιμοποιείται σαν βιομηχανικό καύσιμο εδώ και αρκετές δεκαετίες. Από την άλλη μεριά, η χρήση του υδρογόνου σαν ενεργειακό καύσιμο είναι προς το παρόν περιορισμένη. Από την συνολική ποσότητα του υδρογόνου που παράγεται σε παγκόσμια κλίμακα, η βιομηχανία της αμμωνίας καταναλώνει περίπου το 50% αυτής, ενώ τα διυλιστήρια του πετρελαίου το 37%. Το υπόλοιπο 13%, καταναλώνεται σε διάφορους άλλους βιομηχανικούς τομείς, μεταξύ των οποίων το μεγαλύτερο ποσοστό σε κατανάλωση κατέχει η βιομηχανία των τροφίμων.

Οι κυριότερες διατάξεις με τις οποίες παράγεται ενέργεια από το υδρογόνο είναι οι

κυψέλες καυσίμου. Το υδρογόνο όμως, μπορεί να παράγει ενέργεια και μέσω της καύσης του με τον ατμοσφαιρικό αέρα μέσα σε ΜΕΚ, όπως σε καταλυτικούς καυστήρες, σε λέβητες αερίου, σε αεροστρόβιλους και σε κινητήρες εσωτερικής

καύσης. Η καύση του υδρογόνου με τον ατμοσφαιρικό αέρα παράγει σαν κύριο συστατικό το νερό, αλλά λόγω των υψηλών θερμοκρασιών που επικρατούν κατά την διαδικασία αυτή, στη πράξη παράγονται επίσης και ορισμένες ποσότητες από οξειδία του αζώτου.

Εικάζεται, ότι στις επόμενες δεκαετίες θα αρχίσει να καταλαμβάνει ολοένα και σημαντικότερο μερίδιο στην παγκόσμια ενεργειακή αγορά και ότι στο απώτερο μέλλον θα αντικαταστήσει ένα μεγάλο μέρος της υπάρχουσας υποδομής σε παραγωγή, διανομή και κατανάλωση ενέργειας που βασίζεται σήμερα κατά πλείστον στα ορυκτά καύσιμα. Βραχυπρόθεσμα, η ενεργειακή χρήση του υδρογόνου προβλέπεται ότι θα αυξηθεί στη βιομηχανία και στον οικιακό τομέα, προκειμένου να διευκολυνθεί εκεί η παραγωγή και η αποθήκευση της ενέργειας, ενώ στη συνέχεια οι εφαρμογές του προβλέπεται ότι θα επεκταθούν και στον τομέα των μεταφορών. Η μετάβαση όμως, από το υπάρχον σύστημα παραγωγής και διανομής της ενέργειας που επί σειράς δεκαετιών βασίζεται κατά κύριο λόγο στα ορυκτά καύσιμα, σε ένα νέο το οποίο θα έχει σαν κύριο μέσο του το υδρογόνο, απαιτεί χρόνο και δαπανηρά βήματα από κυβερνήσεις και παραγωγούς της ενέργειας σε όλη την υφήλιο.

2.2.1.1 Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα

Στη συνέχεια θα αναφέρουμε συνοπτικά τα πλεονεκτήματα που παρουσιάζει το υδρογόνο σαν μέσο παραγωγής ενέργειας, έναντι των συμβατικών ορυκτών καυσίμων που χρησιμοποιούνται σήμερα για το σκοπό αυτό :

- Σε σχέση με οποιοδήποτε συμβατικό καύσιμο, το υδρογόνο παρουσιάζει την μεγαλύτερη ικανότητα παραγωγής ενέργειας ανά μονάδα βάρους του, η οποία ισούται περίπου με 120.7 kJ/kg. Η ενέργεια αυτή, είναι τρεις φορές μεγαλύτερη περίπου από την ενέργεια 1 kg συμβατικής βενζίνης.
- Κατά την καύση του (ή κατά την ηλεκτρόλυσή του μέσα σε κυψέλες καυσίμου), το υδρογόνο παράγει ελάχιστους ρύπους, οι οποίοι είναι πολύ λιγότεροι από αυτούς που παράγονται κατά την καύση των ορυκτών καυσίμων.
- Το υδρογόνο είναι το ίδιο ακίνδυνο, από πλευράς αυθόρμητης ανάφλεξης, σε σχέση με τα υπόλοιπα συμβατικά ορυκτά καύσιμα που χρησιμοποιούνται σήμερα (π.χ. βενζίνη, πετρέλαιο, φυσικό αέριο κ.τ.λ.). Μάλιστα, κατά την απουσία ατμοσφαιρικού αέρα και υπό συνήθεις συνθήκες περιβάλλοντος ($T=20^{\circ}\text{C}$, $P=1\text{atm}$), το υδρογόνο είναι λιγότερο εύφλεκτο από αυτά τα καύσιμα, έχοντας για θερμοκρασία αυθόρμητης ανάφλεξής του τους 585°C (αντίστοιχη θερμοκρασία αυθόρμητης ανάφλεξης της βενζίνης, απουσία ατμοσφαιρικού αέρα: $230^{\circ}\text{C} \div 480^{\circ}\text{C}$).
- Μπορεί να συμβάλει σταδιακά στη μείωση του ρυθμού κατανάλωσης των ορυκτών καυσίμων, επιφέροντας έτσι σημαντικές ωφέλειες στον περιβαλλοντικό, ενεργειακό αλλά και οικονομικό τομέα, μέσω της δημιουργίας νέων θέσεων εργασίας για τον τελευταίο.
- Τέλος, το υδρογόνο μπορεί να παρασκευαστεί με πολυάριθμες μεθόδους και σε οποιοδήποτε μέρος της γης και επομένως μπορεί να βοηθήσει πολλά κράτη που

είναι «φτωχά» σε διαθέσιμα κοιτάσματα ορυκτών καυσίμων να αναπτύξουν τα δικά τους αυτόνομα και ολοκληρωμένα ενεργειακά συστήματα.

Όσον αφορά στα μειονεκτήματα του υδρογόνου έναντι των υπολοίπων συμβατικών πηγών ενέργειας, τα περισσότερα από αυτά έχουν να κάνουν με την σχετικά πρόσφατη στροφή της έρευνας προς την αξιοποίηση του υδρογόνου ως καύσιμο, με αποτέλεσμα να μην έχουν ακόμα εξελιχθεί οι κατάλληλες τεχνικές, ώστε να είναι ικανό να αξιοποιηθεί σε μαζική κλίμακα στη πράξη. Συνοπτικά, τα μειονεκτήματα αυτά έχουν ως εξής:

- Το μεγαλύτερο πρόβλημα που αντιμετωπίζει σήμερα το υδρογόνο σαν καύσιμο, αλλά και γενικότερα σαν βιομηχανικό προϊόν, είναι αυτό της αποτελεσματικής και ασφαλούς αποθήκευσής του. Οι ακραίες συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίας που απαιτούνται για την αέρια ή την υγρή του αποθήκευση, συνεπάγονται και την κατανάλωση μεγάλων ποσοτήτων ενέργειας για την επίτευξή τους, με αποτέλεσμα η αέρια ή η υγρή αποθήκευση του υδρογόνου να είναι αρκετά δαπανηρή σαν μέθοδος αποθήκευσής του.
- Ένα άλλο σημαντικό πρόβλημα που αντιμετωπίζει το υδρογόνο σαν καύσιμο παραγωγής ενέργειας είναι και το γεγονός, ότι το παγκόσμιο δίκτυο διανομής του προς το παρόν δεν υφίσταται, με αποτέλεσμα να μην μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε μαζική κλίμακα και από όλες τις χώρες του κόσμου. Επιπλέον, λόγω της ανυπαρξίας του δικτύου διανομής του, το κόστος ανεφοδιασμού του υδρογόνου σε παγκόσμια κλίμακα παραμένει ακόμα υψηλό, μιας και οι διάφορες τεχνολογίες παραγωγής του μέσω ΑΠΕ δεν έχουν εξελιχθεί ακόμα σε ικανοποιητικό βαθμό.
- Ένα τελευταίο πρόβλημα που αντιμετωπίζει σήμερα το υδρογόνο σαν καύσιμο μαζικής παραγωγής ενέργειας, είναι και το αυξημένο κόστος των διαφόρων ενεργειακών διατάξεων που χρησιμοποιούνται για την αξιοποίησή του σαν καύσιμο (των κυψελών καυσίμου και των MEK υδρογόνου). Η τεχνολογία των διατάξεων αυτών, προς το παρόν, δε μπορεί ακόμα να θεωρηθεί ολοκληρωτικά αξιόπιστη, μιας και κατά την εφαρμογή τους παρουσιάζονται ορισμένα τεχνικά και οικονομικής φύσης προβλήματα που δεν καθιστούν ικανή τη μαζική χρησιμοποίησή τους.

2.2.1.2 Αποθήκευση Υδρογόνου

Το υδρογόνο προκειμένου να αποθηκευτεί απαιτείται να μειωθεί ο πολύ μεγάλος αέριος όγκος του, γεγονός που συνεπάγεται την ταυτόχρονη αύξηση της πίεσής του ή την ταυτόχρονη μείωση της θερμοκρασίας του (ή και τα δύο). Αυτό επιτυγχάνεται μέσω των διαφόρων τεχνικών αποθήκευσής του σε κατάλληλες διατάξεις ή σε διάφορα υλικά. Η αύξηση της πυκνότητας της αέριας μάζας του (ή αντίστοιχα η μείωση του αέριου όγκου του) που αυτό διαθέτει υπό συνήθεις συνθήκες περιβάλλοντος, επιτυγχάνεται με τρεις διαφορετικούς τρόπους: είτε μέσω της αύξησης της πίεσης του, είτε μέσω της μείωσης της θερμοκρασίας του, είτε, τέλος, μέσω της μείωσης της άπωσης που ασκείται μεταξύ των μορίων του, κατά τη διοχέτευσή του σε διάφορα στερεά υλικά (μεταλλικά υδρίδια, νανοσωλήνες).

Πολλές μέθοδοι αποθήκευσης υδρογόνου που έχουν μέχρι σήμερα εφαρμογή στη βιομηχανία μπορούν να εφαρμοστούν στο μέλλον στις εφαρμογές της αγοράς υδρογόνου αλλά και σε ενεργειακά συστήματα που απαιτούν αποδοτικούς τρόπους

αποθήκευσης ενέργειας.

Οι μέθοδοι αποθήκευσης υδρογόνου μπορούν να διακριθούν βάση της διάρκειας αποθήκευσης σε μακροπρόθεσμες, βραχυπρόθεσμες και μεσοπρόθεσμες. Επιπλέον μπορούν να διακριθούν βάση της μορφής στην οποία αποθηκεύονται όπως για παράδειγμα σε υγρή ή αέρια μορφή και σε στερεά υλικά μέσω απορρόφησης. Η παρουσίαση των τρόπων αποθήκευσης έχει γίνει βάση της κλίμακας αποθήκευσης και για κάθε περίπτωση παρουσιάζονται και οι διάφορες μορφές στις οποίες αποθηκεύεται το υδρογόνο ανάλογα με τη διάρκεια αποθήκευσης.

Μεγάλης κλίμακας αποθήκευση Υδρογόνου

Μεγάλες ποσότητες υδρογόνου σε αέρια μορφή μπορούν να αποθηκευτούν σε υπόγειες αποθηκευτικές διατάξεις σε πιέσεις από μερικές εκατοντάδες μέχρι 1000 psi. Αυτές οι υπόγειες διατάξεις μπορούν να είναι πεδία κοιτασμάτων φυσικού αερίου ή πετρελαίου τα οποία έχουν εξαντληθεί, υπόγειοι υδροφορείς ή σπήλαια πετρωμάτων ή αλάτων. Υπάρχουν δυο εμπορικές εφαρμογές υπόγειας αποθήκευσης υδρογόνου στην Αγγλία σε σπήλαια αλάτων με περιεκτικότητα 95% σε καθαρό υδρογόνο το οποίο προορίζεται για βιομηχανικούς καταναλωτές, και στη Γαλλία σε υπόγειο υδροφορέα με περιεκτικότητα 50% σε υδρογόνο.

Οι υπόγειοι σχηματισμοί που μπορούν να γίνουν υποδοχείς για αποθήκευση υδρογόνου έχουν μεγάλη χωρητικότητα, μέχρι 1000 m³ για υδροφορείς ή κοιτάσματα φυσικού αερίου και της τάξης του εκατομμυρίου m³ για υπόγεια σπήλαια. Για μεγάλα υπόγεια φρεάτια και υπόγειους υδροφορείς μόνο ένα ποσοστό αυτής της χωρητικότητας μπορεί να είναι διαθέσιμο για αποθήκευση (περίπου 35-65%) καθώς ένα τμήμα του όγκου πρέπει να καταλαμβάνεται με ένα στρώμα αερίου το οποίο προστατεύει και διατηρεί την πίεση. Τα σπήλαια πετρωμάτων επιτρέπουν περίπου 25% απόδοση και τα σπήλαια αλάτων μπορούν να προσεγγίσουν το 100%. Αυτά τα συστήματα παρέχουν περίπου 10⁶-10⁷ m³ χωρητικότητα υδρογόνου ανά κύκλο αποθήκευσης.

Το κόστος μιας εφαρμογής μεγάλης κλίμακας υπόγειας αποθήκευσης προσθέτει περίπου 2-6 \$/GJ στο κόστος του υδρογόνου. Αυτό το κόστος μπορεί να είναι μεγαλύτερο αν η αποθήκευση είναι μακράς διάρκειας (διεποχική) λόγω των μεγαλύτερων απωλειών του συστήματος αποθήκευσης (μεγάλη αυτοεκφόρτιση).

Εφόσον η αποθήκευση του υδρογόνου προορίζεται για εφαρμογές που απαιτούν σε ημερήσια βάση υδρογόνο όπως σε εφαρμογές μεταφορών, η παράμετρος του κόστους γίνεται πιο προσιτή. Γενικά το κόστος αποθήκευσης είναι οικονομικό για ημερήσια ή εβδομαδιαίο κύκλο αποθήκευσης.

Μεσαίας και μικρής κλίμακας αποθήκευση Υδρογόνου

Για εφαρμογές μεσαίας και μικρής κλίμακας αποθήκευση υδρογόνου στη βιομηχανία γίνεται χρήση κυλινδρικών δεξαμενών στις οποίες περιέχεται το υδρογόνο είτε σε υγρή μορφή είτε σε αέρια (συμπιεσμένη).

Αποθήκευση σε υγρή μορφή: το υδρογόνο μπορεί να υγροποιηθεί σε πολύ χαμηλές θερμοκρασίες (θερμοκρασία υγροποίησης -273 °C) και να αποθηκευτεί σε κρυογενικές δεξαμενές για την μείωση των απωλειών θερμότητας. Η χωρητικότητα των δεξαμενών έχει ένα μεγάλο εύρος και φτάνει μέχρι και εκατοντάδες τόνους. Το πλεονέκτημα του υγροποιημένου υδρογόνου έναντι του συμπιεσμένου σε αέρια μορφή είναι το χαμηλότερο κόστος μεταφοράς και για αυτό σε βιομηχανικές χρήσεις ευνοείται η

χρήση του όταν η μεταφορά γίνεται με οχήματα. Το μειονέκτημα όμως είναι το αυξημένο κόστος υγροποίησης και το κόστος της δεξαμενής αποθήκευσης. Περίπου το ένα τρίτο του ενεργειακού περιεχομένου του αποθηκευμένου υδρογόνου απαιτείται για κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας ώστε να υγροποιηθεί. Έτσι, η υγροποίηση προσθέτει περίπου 5-10 \$/GJ στο κόστος του υδρογόνου.

Υπέργεια αποθήκευση υδρογόνου σε αέρια μορφή: αυτή η μέθοδος χρησιμοποιείται για αποθήκευση σχετικά μικρής ποσότητας αερίου υδρογόνου (περίπου 10⁶ scf). Οι εμπορικά διαθέσιμες δεξαμενές προσφέρουν πιέσεις 1200-8000 psi με τυπικές χωρητικότητες 6000-9000 scf/δεξαμενή. Το κόστος των δεξαμενών είναι περίπου 3000-5000 \$/GJ. Το κόστος συμπίεσης προσθέτει 2-20 \$/GJ στο κόστος του υδρογόνου.

Νέες τεχνολογίες για αποθήκευση υδρογόνου

Προς το παρόν, βρίσκονται υπό έρευνα διάφορες νέες τεχνολογίες για αποθήκευση υδρογόνου. Αυτές οι μέθοδοι, αφορούν σε αποθήκευση σε ανθρακικά υλικά, σε υδρίδια μετάλλων και εναλλακτικά υδρίδια και σε υψηλής πίεσης αέρια αποθήκευση σε γυάλινα μικροσφαιρίδια.

Η αποθήκευση σε μορφή άνθρακα είναι μια ελκυστική εναλλακτική καθώς είναι άμεσα διαθέσιμη και πιθανόν χαμηλού κόστους. Υπάρχουν πολλές προσεγγίσεις σε σχέση με την έρευνα σε ποιον τύπο άνθρακα μπορεί να γίνει η αποθήκευση όπως, προσρόφιση υδρογόνου σε νάνο-ίνες γραφίτη, νανοσωληνές άνθρακα, φουλερένια και σε ενεργοποιημένο άνθρακα σε χαμηλές θερμοκρασίες.

Σύγκριση μεθόδων αποθήκευσης υδρογόνου

Τα υδρίδια μετάλλων είναι κατάλληλα για αποθήκευση μικρών ποσοτήτων (της τάξης του 1 kg) και όταν υπάρχει απαίτηση για ασφάλεια. Για αποθήκευση μεγάλων ποσοτήτων υδρογόνου κατάλληλες μέθοδοι είναι αυτές της αποθήκευσης σε αέρια συμπιεσμένη μορφή και της υγροποίησης.

Αν κριτήριο επιλογής είναι η διαθεσιμότητα χώρου και η ασφάλεια πλεονεκτεί η υγροποίηση. Για την αποθήκευση σε υγρή μορφή απαιτείται κατανάλωση ενέργειας 12-15 kWh/kg, απαίτηση χώρου 15 lt/kg και κόστος της τάξης των 250-700 €/kg. Παρόλο που το υγροποιημένο υδρογόνο έχει υψηλή ενεργειακή απόδοση έχει συνολικά χαμηλή απόδοση λόγω των απωλειών κατά τη φάση υγροποίησης.

Το συμπιεσμένο υδρογόνο μπορεί να αποθηκευτεί σε διάφορες πιέσεις και να επιτευχθεί η απαίτηση σε χώρο. Η ενέργεια που απαιτείται για τη συμπίεση στα 480 bar σε δεξαμενή από πολυμερή υλικά είναι 2,6 – 3,6 kWh/kg και η απαίτηση σε χώρο είναι 40 lt/kg. Το κόστος είναι 330 €/kg για μαζική παραγωγή ενώ το κόστος των δεξαμενών από χάλυβα είναι 550 €/kg.

2.2.1.3 Παραγωγή – Διανομή του Υδρογόνου

Παραγωγή

Σήμερα, υπάρχουν αρκετές μέθοδοι με τις οποίες μπορεί να παραχθεί οικονομικά και σε μαζικές ποσότητες. Οι εμπορικές μέθοδοι που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή του χωρίζονται σε τρεις βασικές κατηγορίες:

- Θερμοχημικές μέθοδοι
- Ηλεκτρολυτικές μέθοδοι
- Φωτολυτικές μέθοδοι

Με τις θερμοχημικές μεθόδους το υδρογόνο παράγεται από ορυκτά καύσιμα, από αεριοποίηση ή πυρόλυση βιομάζας, από πυρηνική ενέργεια και από τα σουλφίδια του. Η παραγωγή του υδρογόνου από ορυκτά καύσιμα γίνεται με αναμόρφωση φυσικού αερίου ή ελαφρών πετρελαϊκών κλασμάτων, με αεριοποίηση γαιάνθρακα, με μερική οξειδωση φυσικού αερίου, με θερμική διάσπαση διαφόρων υδρογονανθράκων που περιέχονται σε ορυκτά καύσιμα. Η πυρόλυση της βιομάζας πραγματοποιείται με θέρμανση απουσία οξυγόνου ενώ η αεριοποίηση παρουσία περιορισμένων ποσοτήτων οξυγόνου κατά την οποία προκύπτει το αέριο σύνθεσης που αποτελείται από μίγμα ποσοτήτων CO και H₂ και άλλων αερίων προϊόντων.

Το υδρογόνο που παράγεται μέσω της χρησιμοποίησης της τεχνολογίας των διαφόρων ΑΠΕ (ιδιαίτερα της ηλιακής και της αιολικής ενέργειας) θεωρείται ως ιδανικό, γιατί προκαλεί πολύ λιγότερες επιπτώσεις στο περιβάλλον σε σχέση με τις υπόλοιπες μεθόδους παραγωγής του αφού η παραγωγή του γίνεται μέσω ηλεκτρόλυσης από το νερό. Η μόνη έκλυση ρύπων που εμφανίζεται στην περίπτωση αυτή, προκύπτει κατά τις διαδικασίες κατασκευής, μεταφοράς και εγκατάστασης των διαφόρων ΑΠΕ που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή του και δευτερευόντως κατά τη διαδικασία μεταφοράς του προς την κατανάλωση.

Προς το παρόν πάντως, η κύρια μέθοδος παραγωγής του υδρογόνου πραγματοποιείται μέσω της θερμοχημικής επεξεργασίας του φυσικού αερίου, μιας και αποτελεί τον οικονομικότερο τρόπο γι' αυτό.

Διανομή

Το μελλοντικό δίκτυο διανομής του υδρογόνου που προβλέπεται να εφαρμοστεί στο μέλλον, παρουσιάζει ορισμένα θετικά σημεία έναντι του παρόντος δικτύου διανομής της ηλεκτρικής ενέργειας που χρησιμοποιείται σήμερα (δευτερευόντως έναντι του δικτύου διανομής του πετρελαίου και του φυσικού αερίου), τα οποία μπορούν να συνοψιστούν ως εξής: Η διανομή του υδρογόνου (σε αέρια κυρίως μορφή), θεωρείται πολύ πιο αποδοτική από την διανομή του ηλεκτρισμού μέσω μετασχηματιστών και καλωδίων, ενώ το αέριο υδρογόνο μπορεί επίσης να αποθηκευτεί πιο εύκολα και πιο αποδοτικά από την ηλεκτρική ενέργεια.

Υπάρχουν πάντως και ορισμένα μειονεκτήματα, όσον αφορά τη διανομή του υδρογόνου σε αέρια ή υγρή κατάσταση, τα οποία αφορούν κυρίως την δυσκολία κατά την αποθήκευση και διανομή του σε κλειστούς χώρους, λόγω της δυνατότητάς του για εύκολη ανάφλεξη σ' αυτούς. Ένα δεύτερο, μικρότερης σημασίας μειονέκτημα, αφορά το γεγονός, ότι το υδρογόνο σε συνήθεις συνθήκες περιβάλλοντος σαν αέριο είναι άχρωμο και άοσμο, με αποτέλεσμα να είναι εύκολη η διαφυγή του από τα δίκτυα μεταφοράς του προς το περιβάλλον, χωρίς αυτό να γίνει άμεσα αντιληπτό. Το συγκεκριμένο όμως μειονέκτημα μπορεί να λυθεί σχεδόν ουσιαστικά, χρησιμοποιώντας τον τεχνητό χρωματισμό του ή την πρόσδωση σ' αυτό τεχνητής οσμής, όπως εφαρμόζεται και κατά την διανομή του φυσικού αερίου.

Τέλος, οι νέες τεχνικές μέθοδοι αποθήκευσης του υδρογόνου που έχουν αρχίσει να εξελίσσονται τα τελευταία χρόνια, κυρίως μέσω της αποθήκευσης του μέσα σε στερεά υλικά (π.χ. μεταλλικά υδρίδια και στερεές ενώσεις του με τον άνθρακα) έχουν επίσης αρχίσει να επιφέρουν πολλές λύσεις στο εξίσου σημαντικό, σε σχέση με την διανομή του, πρόβλημα της αποθήκευσής του, με αποτέλεσμα η νέα γενιά τεχνολογιών του στα επόμενα από τώρα χρόνια να μπορεί να βασίζεται σε ασφαλή και αποτελεσματική του

αποθήκευση.

2.3 Θερμική Αποθήκευση Ενέργειας

Η αποθήκευση της θερμικής ενέργειας παραδοσιακά γίνεται συνήθως βραχυπρόθεσμα και στις περισσότερες περιπτώσεις οι τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται είναι απλές με κυρίαρχο μέσο αποθήκευσης και μεταφοράς της αποθηκευμένης ενέργειας το νερό. Ωστόσο, ανάλογα με τις απαιτήσεις σε ένα σύστημα, τις κλιματολογικές συνθήκες της εφαρμογής και την αυξημένη ανάγκη για εξοικονόμηση ενέργειας οι εφαρμογές δεν περιορίζονται μόνο στα συμβατικά συστήματα. Για κάθε περίπτωση μπορούν να εφαρμοστούν τεχνολογίες οι οποίες αποθηκεύουν τη θερμότητα με διάφορους τρόπους και για διαφορετικά χρονικά διαστήματα. Η θερμική ενέργεια μπορεί να αποθηκευτεί με τρεις τρόπους: με αισθητή ροή θερμότητας, με λανθάνουσα θερμότητα και με θερμοχημικές αντιδράσεις.

Κατά την αποθήκευση με αισθητή ροή θερμότητας η ενεργειακή αποθήκευση βασίζεται στην θερμοκρασιακή αλλαγή του υλικού αποθήκευσης και εξαρτάται από τη θερμοχωρητικότητα του υλικού.

Η αποθήκευση με τη μορφή λανθάνουσας θερμότητας βασίζεται στην ιδιότητα των υλικών να αλλάζουν φάση σε μια ορισμένη θερμοκρασία και να απορροφούν ή εκλύουν ποσά θερμότητας κατά την αλλαγή φάσης τους. Έτσι η αποθηκευμένη ενέργεια ισούται με το άθροισμα της μεταβολής ενθαλπίας κατά την αλλαγή φάσης και την αισθητή θερμότητα στην περιοχή θερμοκρασιών που δουλεύει το σύστημα.

Οι θερμοχημικές αντιδράσεις μπορούν να αποθηκεύουν μεγάλα ποσά θερμότητας μέσα από αντιδράσεις διάσπασης δεσμών και μπορούν να αποδίδουν την αποθηκευμένη θερμότητα σε μεγάλα συστήματα με αμελητέες απώλειες με την ένωση των δεσμών. Το ενδιαφέρον θα επικεντρωθεί στις τεχνολογίες της αισθητής θερμικής αποθήκευσης και της λανθάνουσας αποθήκευσης θερμότητας με υλικά αλλαγής φάσης.

2.3.1 Αισθητή Θερμότητα

Σε αυτά τα συστήματα, η ενέργεια αποθηκεύεται σε υγρό ή στερεό μέσο το οποίο είτε θερμαίνεται είτε ψύχεται σε μια τιμή θερμοκρασίας ή σε ένα εύρος θερμοκρασιών χωρίς να λαμβάνει χώρα αλλαγή φάσης του υλικού. Η αποθηκευτική ικανότητα των υλικών εξαρτάται από την τιμή της ειδικής θερμοχωρητικότητας τους και επομένως αυτό το μέγεθος αποτελεί το βασικό κριτήριο για την επιλογή των υλικών της αποθήκευσης.

Στον πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζονται οι τιμές των βασικών ιδιοτήτων των υλικών που χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές αποθήκευσης αισθητής θερμότητας.

Υλικό	ρ (kg/m ³)	(MJ/kgK)	C_v (MJ/m ³ K)
Πηλός	1458	0.879	1.28
Τούβλο	1800	0.837	1.51
Αμμόπετρα	220	0.712	1.57
Ξύλο	700	2.390	1.67
Σκυρόδεμα	2000	0.880	1.76
Αλουμίνιο	2710	0.837	2.27
Σίδηρο	7900	0.452	3.57
Ατσάλι	7840	0.465	3.68
Πετρώματα Υπεδάφους	2050	1.840	3.77

Μαγνήτης	5177	0.752	3.89
Νερό	988	4.182	4.17

Πίνακας 2.1: Βασικές ιδιότητες κύριων υγρών και στερεών υλικών αποθήκευσης αισθητής θερμότητας

Ένα πλήθος υλικών έχει χρησιμοποιηθεί σε αυτά τα συστήματα όπως το νερό, τα έλαια, ορισμένα ανόργανα τηγμένα άλατα, πέτρες, πυρίμαχα υλικά και χαλίκι. Τα στερεά υλικά που χρησιμοποιούνται είναι υλικά με πόρους ενώ η αποθήκευση και απόδοση της θερμότητας γίνεται σε ροή αέρα ή υγρού μέσα από τους πόρους τους. Η επιλογή του υλικού εξαρτάται από το θερμοκρασιακό εύρος της εφαρμογής. Το νερό χρησιμοποιείται για θερμοκρασίες μικρότερες από 100°C ενώ τα πυρίμαχα τούβλα για θερμοκρασίες κοντά στους 1000°C. Τα συστήματα αυτά είναι απλά στο σχεδιασμό σε σχέση με αυτά των υλικών αλλαγής φάσης, τα οποία περιγράφονται στη συνέχεια. Ωστόσο έχουν το μειονέκτημα του μεγάλου μεγέθους και για αυτό το λόγο ένα σημαντικό κριτήριο για την επιλογή του υλικού για αυτού του είδους την αποθήκευση είναι η τιμή του γινομένου ρC_p . Ακόμα ένα μειονέκτημα τους είναι ότι δεν μπορούν να αποθηκεύσουν ή να μεταφέρουν θερμότητα σε μια σταθερή θερμοκρασία. Παρακάτω αναφέρονται τα κριτήρια τα οποία εξετάζονται για την επιλογή των υλικών για τις εφαρμογές της αποθήκευσης αισθητής θερμότητας. Για να είναι κατάλληλα τα υλικά θα πρέπει να:

- Έχουν υψηλή ειδική θερμοχωρητικότητα
- Έχουν υψηλή θερμική διάχυση, δηλαδή υψηλό ρυθμό απελευθέρωσης ή απορρόφησης της θερμότητας
- Έχουν υψηλό ειδικό βάρος
- Είναι δυνατή η χρησιμοποίησή τους ως θερμικά και ψυκτικά μέσα
- Έχουν θερμική και γεωμετρική σταθερότητα
- Μην είναι εύφλεκτα, διαβρωτικά ή τοξικά
- Έχουν σχετικά χαμηλό κόστος
- Έχουν ικανοποιητική αντοχή
- Λειτουργούν σε ευρύ φάσμα εφαρμογών

Τα συστήματα αποθήκευσης αισθητής ενέργειας μπορούν να είναι:

- α) παθητικά και
- β) ενεργητικά.

Σε ένα παθητικό σύστημα, το αποθηκευτικό μέσο έρχεται σε άμεση επαφή με το περιβάλλον και δεν μεσολαβούν άλλα εξαρτήματα. Παθητικά συστήματα είναι εκείνα τα οποία χρησιμοποιούνται σε περιπτώσεις βιοκλιματικού σχεδιασμού για αποθήκευση της θερμικής ενέργειας από το ίδιο το κέλυφος του κτιρίου και τα δομικά του στοιχεία. Σε ένα ενεργητικό σύστημα περιλαμβάνονται και συσκευές εισόδου και εξόδου. Η διοχέτευση της θερμότητας στο υλικό αποθήκευσης γίνεται με χρήση συσκευών και κινούμενων μερών το οποίο βρίσκεται εντός της αποθηκευτικής δεξαμενής η οποία είναι μονωμένη για την παρεμπόδιση των θερμικών απωλειών. Στις δεξαμενές αυτές υπάρχει θερμική στρωμάτωση, η οποία είναι επιθυμητή γιατί αυξάνει την απόδοση του συστήματος κατά 10%. Η διατήρηση της θερμοκρασιακής κλίσης (στρωμάτωση) είναι

απλούστερη στα συστήματα αποθήκευσης με στερεά υλικά παρά με υγρά.

2.3.1.1 Μέσα αποθήκευσης

2.3.1.1.1 Υγρά μέσα αποθήκευσης

Το νερό λόγω της υψηλής θερμοχωρητικότητάς του είναι το πιο σύνηθες μέσο σε αυτές τις εφαρμογές. Έχει μεγάλη διαθεσιμότητα, είναι φθινό, έχει χαμηλή πυκνότητα και μπορεί εύκολα να αντληθεί και να μεταφερθεί, μεταφέροντας έτσι και την περιεχόμενη σε αυτό ενέργεια. Το νερό παραμένει οικονομικά ανταγωνιστικό και σε υψηλότερες θερμοκρασίες (έως 357°C) παρόλη την ανάγκη για συμπίεσή του. Ακόμη σαν υγρό επιτρέπει καλούς ρυθμούς μεταφοράς θερμότητας.

Τα περισσότερα συστήματα θέρμανσης χώρων και νερού χρησιμοποιούν δεξαμενές αποθήκευσης οι οποίες τοποθετούνται είτε εντός είτε εκτός του κτιρίου και σε ορισμένες περιπτώσεις υπογείως. Το μέγεθος των δεξαμενών ποικίλει από μερικές εκατοντάδες λίτρα μέχρι μερικές χιλιάδες κυβικά μέτρα. Οι δεξαμενές αποθήκευσης κατασκευάζονται από διάφορα υλικά όπως ατσάλι, τσιμέντο και υαλοβάμβακα. Είναι κατάλληλα μονωμένες με υαλοβάμβακα, πετροβάμβακα ή πολυουρεθάνη. Το πάχος της μόνωσης κυμαίνεται από 10 έως 20 cm και αποτελεί σημαντικό μέρος του κόστους μιας αποθηκευτικής δεξαμενής.

Για τις ενδιάμεσες τιμές θερμοκρασίας, 100-300°C, γίνεται χρήση ελαίων μεταφοράς θερμότητας. Έχουν μικρότερη θερμοχωρητικότητα από αυτή του νερού (περίπου 2,3 kJ/kgK). Δύο από τα έλαια που χρησιμοποιούνται για εφαρμογές αποθήκευσης είναι τα Dowtherm και Thermanal.

Το πρόβλημα των συστημάτων με έλαια είναι ότι τα έλαια τείνουν να υποβαθμίζονται με την πάροδο του χρόνου. Αυτή η υποβάθμιση είναι σημαντική όταν τα έλαια χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές με θερμοκρασίες πάνω από ορισμένα όρια καθώς έχουν την τάση σε υψηλές θερμοκρασίες να διασπών και να αναδιαμορφώνουν τα πτητικά τους προϊόντα. Επίσης, η χρήση των ελαίων αντιμετωπίζει και προβλήματα σε σχέση με την ασφάλεια για περιπτώσεις ανάφλεξης πάνω από το σημείο ανάφλεξής τους. Ακόμη ένας περιορισμός για τη χρήση τους είναι το κόστος και συνεπώς χρησιμοποιούνται κυρίως σε εφαρμογές μικρής αποθηκευτικής κλίμακας.

Τα τηγμένα άλατα εμφανίζουν μια θερμοχωρητικότητα περίπου 1.5 kJ/kgK και χρησιμοποιούνται για αποθήκευση σε υψηλές θερμοκρασίες. Τα μειονεκτήματά τους είναι η εμφάνιση του φαινομένου της στερεοποίησης σε θερμοκρασίες κάτω από 150°C και του φαινομένου της διάβρωσης.

Μερικά τηγμένα ανόργανα άλατα έχουν εφαρμογή σε περιπτώσεις υψηλών θερμοκρασιών από τους 300°C και πάνω. Το ένα είναι ένα ευτηκτικό μείγμα από NaNO_2 (40% κ.β.), NaNO_3 (7% κ.β.) και KNO_2 (53% κ.β.) με την εμπορική ονομασία Hitec. Έχει χαμηλό σημείο τήξης (145°C) και μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε εφαρμογές μέχρι τους 425°C. Πάνω από αυτή τη θερμοκρασία οξειδώνεται και αποσυντίθεται. Ένα άλλο τηγμένο άλας είναι το υδροξείδιο του νατρίου με σημείο τήξης τους 320 °C και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για θερμοκρασίες πάνω από 800°C. Ωστόσο είναι αρκετά διαβρωτικό και αντιμετωπίζει δυσκολία στην αποθήκευσή του σε υψηλότερες θερμοκρασίες.

Για θερμοκρασίες πάνω από τους 100°C, η αποθήκευση σε υδατινές δεξαμενές θα πρέπει να επιτυγχάνει να περιέχει νερό στην τάση ατμών του και το κόστος της

δεξαμενής αυξάνεται κατακόρυφα για θερμοκρασίες πάνω από αυτές. Τα οργανικά έλαια, τα ανόργανα τηγμένα άλατα και τα υγρά μέταλλα δεν αντιμετωπίζουν αυτό το πρόβλημα αλλά έχουν άλλους περιορισμούς για τη χρήση τους που σχετίζονται με το κόστος, την μεταφορά και την ασφάλεια. Μεταξύ όλων των υγρών μέσων, το νερό φαίνεται να μπορεί να χρησιμοποιείται κατά προτίμηση καθώς είναι φτηνό και έχει υψηλή θερμοχωρητικότητα.

Μέσο	Τύπος	Θερμοκρασιακό εύρος εφαρμογών αποθήκευσης (°C)	Πυκνότητα (kg/m ³)	Θερμική χωρητικότητα (J/kgK)	Θερμική αγωγιμότητα (W/mC)
Νερό	-	0-100	1000	4190	0,63 (38°C)
Μίγμα νερού – αιθυλενο-γλυκόλης (50/50)	-		1050	3470	-
Carolie HT 43	Έλαιο	-10 ως 315		2300	
Downtherm A	Έλαιο	12 - 260	867	2200	0,112 (260°C)
Therminal 55	Έλαιο	-18 ως 315		2400	
Therminal 66	Έλαιο	-9 ως 343	750	2100	0,106 (343°C)
Αιθυλενο-γλυκόλη			1116	2382	0,249 (20°C)
Hitec	Molten Salt	142-540	1680	1560	0,61
Engine oil	Έλαιο	Ως 160	888	1880	0.145
Draw salt	Molten Salt	220-540	1733	1550	0,57
Lithium	Υγρό άλας	180-1300	510	4190	38,1
Sodium	Υγρό άλας	100-760	960	1300	67,5

Αιθανόλη	Οργανικό υγρό	Ως 78	790	2400	-
Προπανόλη		Ως 97	800	2500	-
Βουτανόλη		Ως 118	809	2400	-
Ισοβουτανόλη		Ως 100	808	3000	-
Ισοπεντανόλη		Ως 148	831	2200	-

Πίνακας 2.2: Κύριες θερμικές ιδιότητες των διαθέσιμων υγρών μέσων για αποθήκευση αισθητής θερμότητας

2.3.1.1.2 Στερεά μέσα αποθήκευσης

Η θερμότητα μπορεί να αποθηκευτεί σε διάφορα στερεά υλικά όπως πέτρες, βράχους ή χαλίκια τα οποία περιέχονται σε μονωμένα δοχεία. Αυτό το είδος της αποθήκευσης χρησιμοποιείται συχνά για θερμοκρασίες μέχρι 1000°C σε συνδυασμό με ηλιακούς θερμαντήρες αέρα. Είναι συστήματα απλά στο σχεδιασμό με σχετικά χαμηλό κόστος. Το χαρακτηριστικό μέγεθος των κομματιών της πέτρας που χρησιμοποιείται είναι από 1 μέχρι 5 cm. Προς το παρόν, τα περισσότερα συστήματα αποθήκευσης θερμότητας είναι αυτά της αισθητής θερμότητας και έχουν πολλές εφαρμογές και ανεπτυγμένη τεχνολογία.

Οι δυσκολίες και οι περιορισμοί που σχετίζονται με τα υγρά μέσα μπορούν να αποφευχθούν με τη χρήση στερεών μέσων αποθήκευσης αισθητής θερμότητας. Επειδή όμως τα στερεά υλικά αποθήκευσης έχουν χαμηλότερη θερμοχωρητικότητα σε σύγκριση με το νερό, απαιτούνται μεγάλα ποσά όγκου στερεών υλικών για τις εφαρμογές. Το κόστος για την πέτρα ανά μονάδα αποθηκευμένης ενέργειας είναι αποδεκτό. Είναι απαραίτητη η άμεση επαφή του στερεού μέσου αποθήκευσης με ένα ρευστό μεταφοράς για την ελαχιστοποίηση του κόστους της εναλλαγής θερμότητας στα συστήματα αποθήκευσης σε στερεά μέσα.

Το οξείδιο του μαγνησίου, το οξείδιο του αλουμινίου και το οξείδιο του πυριτίου αποτελούν πυρίμαχα υλικά κατάλληλα για εφαρμογές αποθήκευσης υψηλής θερμοκρασίας. Τα τούβλα από μαγνήσιο έχουν χρησιμοποιηθεί από πολλές χώρες για την αποθήκευση θερμότητας. Είναι διαθέσιμα σε συσκευές με στοιχεία ηλεκτρικών θερμαντικών ενσωματωμένα στο υλικό. Η θερμότητα αποθηκεύεται τη νύχτα (χαμηλή τιμή ηλεκτρισμού) και παρέχεται την ημέρα για θέρμανση χώρων επιτρέποντας τον αέρα να περάσει μέσα από τις συσκευές.

Συνήθεις εφαρμογές των υλικών αυτών είναι στην πλήρωση της θερμικής κλίνης στερεών, στους τοίχους θερμικής αποθήκευσης, σαν δομικά υλικά του κελύφους των κτιρίων, στην μακράς διάρκειας υπόγεια αποθήκευση (με υλικά του εδάφους, πετρώματα).

Μέσο	Πυκνότητα (kg/m ³)	Θερμοχωρητικότητα (J/kgK)	Θερμική αγωγιμότητα (W/mC)
Αλουμίνιο	2707	896	204 (20oC)
Οξείδιο του Αργιλίου	3900	840	-
Θεικό Αργίλιο	2710	750	-
Τούβλο	1698	840	0,69 (20oC)
Τούβλο μαγνησίου	3000	1130	5,07
Σκυρόδεμα	2240	1130	0,9-1,3
Χυτοσίδηρος	7900	837	29,3
Σίδηρος	7897	452	73 (20oC)
Χλωριούχο ασβέστιο	2510	670	-
Χαλκός	8954	383	385 (20oC)
Υγρό έδαφος	1700	2093	2,51
Ξηρό έδαφος	1260	795	0,25
Οξείδιο του μαγνησίου	3570	960	-
Χλωριούχο Κάλιο	1980	670	-
Θεικό Κάλιο	2260	920	-
Ανθρακικό νάτριο	2510	1090	-
Χλωριούχο νάτριο	2170	920	-
Θεικό νάτριο	2700	920	-
Πέτρα (γρανίτης)	2640	820	1,73-3,98
Πέτρα (ασβεστόλιθος)	2500	900	1,26-1,33
Πέτρα (μάρμαρο)	2600	800	2,07-2,94
Πέτρα (αμμόπετρα)	2200	710	1,83

Πίνακας 2.3: Κύριες θερμικές ιδιότητες των διαθέσιμων στερεών μέσων αποθήκευσης αισθητής θερμότητας.

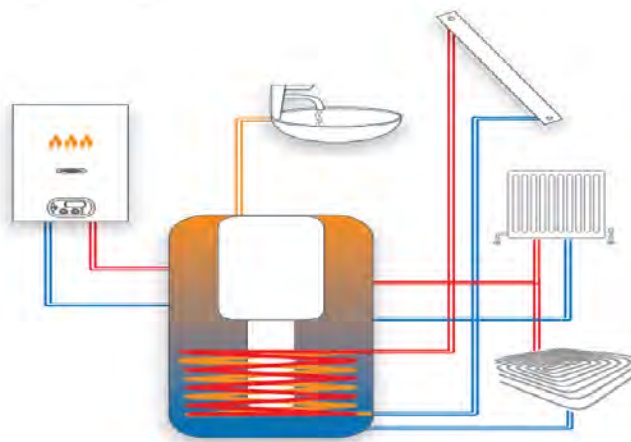
2.3.1.2 Υπέργειες Εφαρμογές Αποθήκευσης Αισθητής Θερμότητας

2.3.1.2.1 Αποθήκευση αισθητής θερμότητας σε δεξαμενές υγρού

Ως συστήματα αποθήκευσης θερμότητας, οι δεξαμενές αποθήκευσης ζεστού νερού αποτελούν την παραδοσιακή και ευρέως χρησιμοποιούμενη μέθοδο ιδιαίτερα σε οικιακές εφαρμογές. Ωστόσο η χρήση των δεξαμενών νερού δεν περιορίζεται μόνο στη χρήση τους ως αποθήκες θερμού νερού αλλά και ψυχρού για εφαρμογές ψύξης. Στη συνέχεια παρατίθενται τα συστήματα αποθήκευσης θερμού και ψυχρού ύδατος.

Δεξαμενές αποθήκευσης θερμού ύδατος

Οι υδάτινες θερμικές αποθήκες, χωρίζονται σε αποθήκες ομοιόμορφης θερμοκρασίας και σε αποθήκες με θερμοκρασιακή διαστρωμάτωση. Στην πρώτη περίπτωση προσδίδεται θερμότητα στο υγρό μέσο με μια σχετικά αργή άνοδο της θερμοκρασίας του μέσου με αποτέλεσμα να επικρατεί σταθερή θερμοκρασία στον όγκο της αποθήκης. Στην περίπτωση της αποθήκης με θερμοκρασιακή διαστρωμάτωση υπάρχει θερμοκρασιακή κλίση μεταξύ του σημείου εισόδου του υγρού και του σημείου εξόδου. Αυτό επιτυγχάνεται με την είσοδο (φόρτιση) της αποθήκης με θερμό υγρό από το πάνω μέρος της δεξαμενής, ενώ το κρύο υγρό βρίσκεται και εξέρχεται από το κάτω μέρος με ταχύτητα τόσο αργή ώστε να μην συμβαίνει πρακτικά ανάμιξη το υγρού με τις διαφορετικές θερμοκρασίες. Η διατήρηση της θερμοκρασίας για μεγάλο χρονικό διάστημα γίνεται καθώς το θερμό υγρό έχει χαμηλότερο ειδικό βάρος και τείνει να μένει στην κορυφή και τα κρύο στον πυθμένα. Η φόρτιση και εκφόρτιση της αποθήκης μπορεί να γίνεται και ταυτόχρονα αντίθετα με μια θερμοκλίνη στερεών. Το πλεονέκτημα της θερμικής στρωμάτωσης είναι ότι μέσα στην δεξαμενή αποθήκευσης δημιουργείται μια ομαλή μετάβαση από τις περιοχές με χαμηλότερη σε υψηλότερη φόρτιση και αυτό έχει σαν αποτέλεσμα τη μείωση των απωλειών λόγω της ανάμιξης των ρευμάτων διαφορετικής θερμοκρασίας. Έτσι αυτό το σύστημα σε σύγκριση με αυτό της ομοιόμορφης θερμοκρασίας θεωρείται ότι έχει αυξημένη απόδοση κατά 5-10%.



Εικόνα 2.4: Σύστημα θέρμανσης με θερμικά διαστρωματομένη δεξαμενή αποθήκευσης Δεξαμενές αποθήκευσης ψυχρού ύδατος

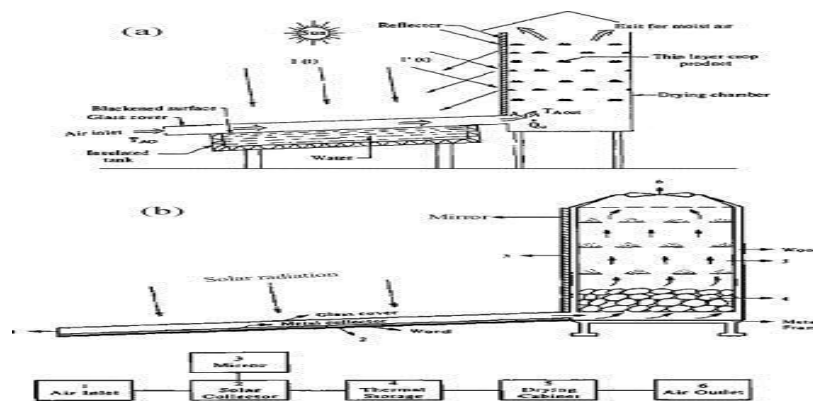
Η τεχνολογία είναι αντίστοιχη αυτής της αποθήκευσης θερμού ύδατος εφόσον εκμεταλλεύεται την αισθητή ειδική θερμοχωρητικότητα του νερού. Μια δεξαμενή ψυχρού ύδατος η οποία συνήθως έχει μεγάλο όγκο σε σχέση με τα συμβατικά συστήματα αποθήκευσης ζεστού νερού χρήσης, είναι κατάλληλη για αποθήκη νερού για πυροπροστασία αλλά μπορεί και να χρησιμοποιείται και ως αποθήκη θερμού νερού τους χειμερινούς μήνες.

Το ποσό της αποθηκευμένης ενέργειας εξαρτάται από τη θερμοκρασιακή διαφορά μεταξύ του αποθηκευμένου ψυχρού ύδατος και του θερμού νερού επιστροφής από το φορτίο. Όπως και στην περίπτωση της αποθήκευσης θερμού ύδατος, η απόδοση του συστήματος διαφοροποιείται ανάλογα με το πόσο διαχωρίζονται τα δυο ρεύματα νερού στο σύστημα. Βάση αυτού διακρίνονται τα παρακάτω συστήματα:

- Δεξαμενές με φυσική στρωμάτωση: η αρχή λειτουργίας είναι κοινή με αυτή της περίπτωσης της θερμοκρασιακής στρωμάτωσης στις δεξαμενές θερμού ύδατος. Αυτά τα συστήματα αποτελούν τον απλούστερο, αποδοτικότερο και οικονομικότερο τρόπο αποθήκευσης ψύξης.
- Μέθοδος πολλαπλών δεξαμενών: σε αυτά τα συστήματα γίνεται διαχωρισμός του ψυχρού νερού από το θερμό νερό επιστροφής αφού αποθηκεύονται σε χωριστές δεξαμενές. Έτσι επιτυγχάνεται σταθερή και ομοιόμορφη θερμοκρασία. Σε αυτά τα συστήματα χρησιμοποιούνται δυο ή περισσότερες δεξαμενές και κατά την έναρξη του κύκλου φόρτισης τους η μια είναι πάντοτε άδεια.
- Δεξαμενή με μεμβράνη: η διάταξη αυτή χρησιμοποιεί μια εύκαμπτη διαχωριστική μεμβράνη ή ένα άκαμπτο διάφραγμα εντός της δεξαμενής και διαχωρίζονται έτσι το ψυχρό από το θερμό νερό. Η μεμβράνη μετακινείται αναλόγως όταν η δεξαμενή γεμίζει και αδειάζει.
- Συστήματα με καθρέφτες και λαβύρινθους: αυτά τα συστήματα περιλαμβάνουν το διαχωρισμό του χώρου αποθήκευσης σε πολλαπλά τμήματα, τα οποία διαχωρίζονται μεταξύ τους με μερικά τοιχώματα.

2.3.1.2.2 Θερμική κλίση στερεών

Η τεχνολογία αυτή περιλαμβάνει ένα σώμα υλικών στα οποία αποθηκεύεται η ενέργεια και μέσω του οποίου διέρχεται ρευστό (αέρας) που απορροφά τη θερμότητα (εκφόρτιση) ή προσδίδει ενέργεια στο θερμοαπορροφητικό σώμα υλικών (φόρτιση). Τα υλικά πλήρωσης, όπως προαναφέρθηκε μπορεί να είναι κεραμικά υλικά, στερεά από τσιμέντο, πέτρες κλπ.



Εικόνα 2.5: Σχηματικό παράδειγμα θερμικής κλίσης στερεών

Συνήθεις εφαρμογές της θερμοκλίνης στερεών αφορούν στη θέρμανση χώρων ή ζεστού νερού. Το πλεονέκτημα αυτής της τεχνολογίας έναντι της αποθήκευσης θερμού νερού είναι η ευκολότερη χρήση της για θερμοκρασίες άνω των 100°C.

Άλλη εφαρμογή μπορεί να είναι η χρήση της τεχνολογίας σε συνδυασμό με ηλιοθερμικό σύστημα με δεξαμενή νερού (μέθοδος Harry Thomason). Κατά τη μέθοδο αυτή η δεξαμενή αποθήκευσης θερμού νερού περιβάλλεται από πληρωτικό υλικό (χαλίκι) το οποίο περιέχεται με τη σειρά του σε άλλο μονωμένο δοχείο. Με αυτό το σύστημα γίνεται αποδοτικότερα η μεταφορά θερμότητας στον αέρα λόγω υψηλής θερμοχωρητικότητας του νερού και της εκτεταμένης επιφάνειας που παρουσιάζει το δοχείο με το πληρωτικό υλικό.

Μια άλλη εκδοχή της παραπάνω μεθόδου αφορά πάλι στη χρήση συστήματος ηλιοθερμίας για θέρμανση νερού και αποθήκευση του σε κυλινδρικό δοχείο το οποίο περιβάλλεται περιμετρικά από στρώμα στερεού υλικού διαμέσου του οποίου διέρχεται αέρας. Η χρήση του στρώματος στερεού λειτουργεί ως μονωτικό και το σύστημα προορίζεται για θέρμανση κατοικίας.

Τα πλεονεκτήματα της χρήσης θερμοκλινών στερεών είναι ο υψηλός συντελεστής μεταφοράς θερμότητας μεταξύ αέρα και στερεού που οδηγεί στη θερμική στρωμάτωση, η μικρή θερμική αγωγιμότητα όταν δεν υπάρχει ροή αέρα, το χαμηλό κόστος του πληρωτικού υλικού και του δοχείου και ο απλός σχεδιασμός του συστήματος.

Ωστόσο, οι θερμοκλίνες στερεών έχουν ορισμένα μειονεκτήματα. Παρουσιάζεται μεγάλη πτώση πίεσης στα συστήματα αέρα και έτσι απαιτούνται ανεμιστήρες οι οποίοι δαπανούν ενέργεια. Ο όγκος της κλίνης είναι μεγάλος (περίπου τρεις φορές μεγαλύτερος σε σχέση με την αποθήκη νερού) και συνεπώς αυξάνει το κόστος εγκατάστασης και τις απαιτήσεις σε χώρο. Η πυκνότητα ενέργειας είναι χαμηλή και ο χρόνος αποθήκευσης είναι μικρός. Τέλος, εμφανίζονται προβλήματα με την αντοχή των υλικών λόγω των μεγάλων θερμοκρασιών.

2.3.1.2.3 Ηλιακή λίμνη

Αποτελεί μια μέθοδο για μακράς διάρκειας αποθήκευση θερμικής ενέργειας με τη μορφή αισθητής θερμότητας. Στην ηλιακή λίμνη συλλέγεται, αποταμιεύεται και αξιοποιείται σε μεγάλες μάζες νερού η ηλιακή ενέργεια. Οι ηλιακές λίμνες διακρίνονται ανάλογα με τη σύσταση του περιεχόμενου σε αυτές νερού σε λίμνες γλυκού ύδατος, που περιέχουν καθαρό νερό και σε λίμνες αλμυρού ύδατος, που περιέχουν διαλυμένο κάποιο αλάτι μέσα στη μάζα του νερού.

Η ηλιακή λίμνη αλμυρού ύδατος είναι μια αβαθής τεχνητή λίμνη, με προοδευτική από την επιφάνεια προς το βυθό αύξηση της περιεκτικότητάς της σε αλάτι και συνήθως ηλιοαπορροφητικό βυθό. Τα άλατα που χρησιμοποιούνται συνήθως είναι το χλωριούχο (NaCl) νάτριο και πιο συχνά το χλωριούχο μαγνήσιο (MgCl₂). Το βάθος της λίμνης είναι περίπου 1-2 m, και σε αυτό διακρίνονται τρία στρώματα νερού. Το υδάτινο στρώμα επιφανείας, το οποίο έχει τη μικρότερη περιεκτικότητα σε αλάτι και συνήθως αποτελείται από φυσικό νερό. Το υδάτινο στρώμα φραγής, που έχει μια προοδευτικά αυξανόμενη περιεκτικότητα σε αλάτι και προφυλάσσει από τις θερμικές απώλειες προς τον αέρα το κατώτερο στρώμα. Τέλος, το κατώτερο θερμικό στρώμα, που έχει τη μεγαλύτερη περιεκτικότητα σε αλάτι και το μεγαλύτερο ειδικό βάρος από τα προηγούμενα και αποτελεί την κύρια αποθήκη της ηλιακής ενέργειας. Καθώς εγκλωβίζεται σε αυτό το στρώμα η ηλιακή ακτινοβολία η θερμοκρασία του διαλύματος

φτάνει το σημείο ζέσεως.

Ο βυθός της λίμνης είναι συνήθως βαμμένος μαύρος για να απορροφά και να αποδίδει την ηλιακή ενέργεια που φτάνει εκεί στο θερμικό στρώμα. Ο βυθός και οι παράπλευρες επιφάνειες πρέπει να αποτελούνται από υλικά που θα παρουσιάζουν τις λιγότερες δυνατές διαρροές. Ο βυθός μονώνεται όταν μετρηθούν κάτω από αυτόν μεγάλες ταχύτητες κίνησης των υπόγειων υδάτων.

Η αποθήκευση αυτή στο έδαφος ισοδυναμεί σύμφωνα με κάποιους ερευνητές με νερό βάθους 1m επιπλέον. Η επιφάνεια της λίμνης μπορεί να σκεπαστεί με ένα πλαστικό δίκτυ. Με αυτόν τον τρόπο αποφεύγεται ο κυματισμός σε περίπτωση ισχυρών ανέμων που αφενός καταστρέφει τη στρωμάτωση της λίμνης, αφετέρου μειώνει το ποσοστό της απορροφημένης ηλιακής ακτινοβολίας λόγω μεγαλύτερης ανακλαστικότητας που παρουσιάζουν οι κυματισμοί στην ηλιακή ακτινοβολία.

Σε μια ηλιακή λίμνη η ηλιακή ακτινοβολία που πέφτει απορροφάται από το υδάτινο σώμα κατά ποσοστό $(1-\rho)$, αν ρ είναι ο συντελεστής ανακλαστικότητας της επιφάνειας του νερού. Ειδικότερα, οι υπέρυθρες ακτινοβολίες απορροφώνται το πολύ στα πρώτα εκατοστά οι υπόλοιπες, όμως, διαπερνούν κατά μεγάλο μέρος το υδάτινο σώμα και απορροφώνται από το βυθό. Από το βυθό η θερμότητα διαδίδεται, με μεταφορά κυρίως, στο υπερκείμενο θερμικό στρώμα. Για το λόγο αυτό το θερμικό στρώμα παρουσιάζει μια διαρκή κίνηση και υψηλότερη θερμοκρασία αλλά λόγω μεγάλης αλατότητας δεν αναμειγνύεται με το υπερκείμενο σε αυτό στρώμα, που θεωρείται ακίνητο. Η ανύψωση της θερμοκρασίας θεωρητικά μπορεί να φτάσει τους 90°C.

Οι ηλιακές λίμνες κατασκευάζονται κυρίως για θέρμανση νερού και θέρμανση συγκροτημάτων κατοικιών, αφού παρουσιάζουν χαμηλό κόστος κατασκευής και συντήρησης και την ικανότητα παραγωγής και αποθήκευσης μεγάλων ποσών ενέργειας. Το γεγονός αυτό είναι ιδιαίτερα χρήσιμο στα μεγάλα γεωγραφικά πλάτη, όπου η ηλιακή ακτινοβολία είναι ασθενέστερη και διαρκεί λιγότερους μήνες, οπότε η αποθήκευσή της είναι μεγάλης σημασίας.

Η ηλιακή λίμνη μπορεί να έχει εφαρμογές την ηλεκτροπαραγωγή, στην αφαλάτωση, σε γεωργικές εφαρμογές, τηλεθέρμανση και θέρμανση νερού για βιομηχανικές διεργασίες. Τα μειονεκτήματα της τεχνολογίας της ηλιακής λίμνης είναι:

- σταδιακή μείωση της διαφάνειας του νερού λόγω της σκόνης που μεταφέρεται από ανέμους
- μεγάλη εξάτμιση το καλοκαίρι, που εξαφανίζει το στρώμα επιφανείας το οποίο πρέπει να αναπληρωθεί
- ενδεχόμενη ανάμιξη των δύο κατώτερων υδάτινων στρωμάτων με συνέπεια τη μείωση της θερμοκρασίας του τελευταίου.

• Πρόβλημα μεταφοράς της θερμότητας προς χρήση

Η ηλιακή λίμνη αλμυρού ύδατος πλεονεκτεί έναντι άλλων ηλιοθερμικών εφαρμογών για αποθήκευση ενέργειας λόγω της απλότητας της κατασκευής της και το χαμηλό της κόστος αλλά και στην ενσωματωμένη μακρά αποθήκευση σε συνδυασμό με την μετατροπή της ηλιακής ακτινοβολίας σε θερμότητα.

Οι εφαρμογές της ηλιακής λίμνης καθορίζονται από τη θερμοκρασία εξαγωγής που είναι δυνατόν να φτάνει τους 100°C. Την απόδοση της καθορίζουν κυρίως δύο παράγοντες που σχετίζονται με το ποσοστό της δεσμευόμενης ακτινοβολίας και συνεπώς της θερμικής αποθήκευσης:

1. Η ενέργεια που φτάνει στον πυθμένα της λίμνης

2. Η ανάκλαση της ακτινοβολίας στην επιφάνεια της λίμνης

Η ενέργεια, που φτάνει στον πυθμένα της λίμνης (στο κατώτερο στρώμα) μειώνεται με την αύξηση του βάθους της λίμνης. Αυτό οφείλεται στο ότι ένα μέρος της προσπίπτουσας στη λίμνη ακτινοβολίας απορροφάται από το διάλυμα νερού-άλατος. Επίσης, η αύξηση της περιεκτικότητας του διαλύματος σε αλάτι οδηγεί σε αύξηση της δεσμευμένης από το διάλυμα ακτινοβολίας. Βέβαια, αυτήν ακριβώς την ιδιότητα της λίμνης εκμεταλλευόμαστε. Επομένως, υπάρχει ένα βάθος, το οποίο εξαρτάται από το μέγεθος της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας στην περιοχή και το οποίο βελτιστοποιεί την αποδοτικότητα της λίμνης. Συνήθης τιμή του βάθους είναι 1- 2 m. Λαμβάνοντας υπόψη τους παραπάνω παράγοντες, η ηλιακή ακτινοβολία που φτάνει στον πυθμένα της ηλιακής λίμνης είναι μεταξύ 15-25% της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας. Συγκρίνοντας αυτή την τιμή με την αντίστοιχη ενός ηλιακού συλλέκτη είναι χαμηλότερη, ωστόσο το κόστος εγκατάστασης και λειτουργίας της τεχνολογίας ισοσταθμίζει αυτή τη διαφορά στην απόδοση του συστήματος και το καθιστά βιώσιμη εναλλακτική για παραγωγή και αποθήκευση θερμότητας.



Εικόνα 2.6: Εφαρμογή ηλιακής λίμνης

2.3.1.3 Υπόγειες Εφαρμογές Αποθήκευση Αισθητής Θερμότητας

Σε αυτές τις περιπτώσεις ως ενεργειακή αποθήκη θεωρείται μια υπόγεια δεξαμενή, σπηλιά ή το έδαφος. Επιτυγχάνεται μακροπρόθεσμη αποθήκευση ενέργειας σε αυτά τα συστήματα τα οποία έχουν τις λεγόμενες διεποχικές εφαρμογές και ως συστήματα χαρακτηρίζονται από το μεγάλο όγκο τους.

Αυτές οι εφαρμογές είναι κατάλληλες για κτιριακά συγκροτήματα καθώς τα ποσά ενέργειας που αποθηκεύονται είναι μεγάλα και το κόστος επιμερίζεται ώστε να γίνεται οικονομικότερη η επένδυση.

Η λογική αυτών των συστημάτων στηρίζεται στην διαδοχική θέρμανση και ψύξη του μέσου μεταφοράς της ενέργειας που αποθηκεύεται στην υπόγεια δεξαμενή ή το έδαφος και αποδίδεται κατάλληλα προς τους χώρους που πρόκειται να θερμανθούν ή να ψυχθούν.

Συνήθως σε αυτά τα συστήματα χρησιμοποιείται νερό ως μέσο μεταφοράς της θερμότητας και αποθήκευσης της. Σε υπόγειες αποθήκες με νερό απαντώνται

κυλινδρικές δεξαμενές με επίπεδο πυθμένα και κορυφής σε σχήμα θόλου. Για αποθήκευση στο έδαφος, το ξηρό έδαφος προσφέρεται ως υλικό και χώρος για αποθήκευση ενέργειας αλλά και ως μόνωση φορτίων που βρίσκονται σε υπόγεια δεξαμενή μέσα σε αυτό. Το έδαφος μπορεί να χρησιμοποιηθεί, λοιπόν ως μονωτικό υλικό σε υπόγειες δεξαμενές νερού ή χαλκιών, ως αποθήκη σε βαθιά φρεάτια με νερό και ως αποθήκη με τη βοήθεια ενός εναλλάκτη (συστήματα γεωθερμίας). Εδάφη τα οποία περιέχουν υγρασία ή κινούμενα νερά έχουν ελαττωμένες ιδιότητες σε σχέση με τα ξηρά για εφαρμογές αποθήκευσης καθώς η διάχυση και η απώλεια της θερμότητας που αποθηκεύεται γίνεται με αγωγή και με μεταφορά.

Καθώς το θέμα των απωλειών σε αυτά τα συστήματα είναι μείζονος σημασίας, χρησιμοποιούνται δομικά υλικά για της υπόγειες δεξαμενές οι οποίες κατασκευάζονται τα οποία είναι συμπαγή για την εξασφάλιση της στιβαρότητας της κατασκευής, της οικονομίας λόγω χαμηλού κόστους των υλικών και την μείωση όσο το δυνατόν των θερμικών απωλειών. Ακόμα ένα πρόβλημα είναι η εμφάνιση διάβρωσης λόγω των ιδιοτήτων του νερού αλλά και οι διαρροές που μπορούν να προκύψουν. Για την αντιμετώπιση αυτών των προβλημάτων χρησιμοποιούνται στα εσωτερικά τοιχώματα των δεξαμενών λεπτές αδιάβροχες μεμβράνες και διπλή στρώση από πλακάκια με αποτέλεσμα την αύξηση του πάχους των τοιχωμάτων και έτσι την μείωση των απωλειών στο έδαφος και των θερμικών απωλειών. Επιπλέον για την αποφυγή της υπερφόρτισης της δεξαμενής χρησιμοποιείται επικάλυψη του σφαιρικού θόλου από ένα συμπαγές και ελαφρύ στρώμα αργίλου.

Η εφαρμογή των υδάτινων υπογείων αποθηκών μπορεί να γίνει με σκοπό τη θέρμανση ή / και την ψύξη των κτιρίων. Στην περίπτωση που συμβαίνουν περιοδικά και οι δύο λειτουργίες του συστήματος τότε γίνεται αναφορά σε διεποχική αποθήκευση ενέργειας. Κατά τη διάρκεια των θερινών μηνών το νερό θερμαίνεται (με το υπάρχον σύστημα θέρμανσης ή με χρήση ηλιακών συλλεκτών) και αποθηκεύεται στην υπόγεια δεξαμενή για να χρησιμοποιηθεί του χειμερινούς μήνες ως πηγή θερμότητας. Η απόδοση του συστήματος εξαρτάται από το επίπεδο της θερμοκρασίας στην οποία αποθηκεύεται το νερό και από τις απώλειες του αποθηκευτικού συστήματος.

Κατά τη διάρκεια των χειμερινών μηνών και σε περιοχές όπου η θερμοκρασία είναι κοντά στους 0°C γίνεται ψεκασμός νερού σε μια δεξαμενή θερμοκρασίας ίση με την ατμοσφαιρική και το νερό παγώνει. Με το γέμισμα της δεξαμενής, κλείνεται και μονώνεται με σκοπό στην διάρκεια των θερινών μηνών ο πάγος να λιώσει και να κυκλοφορήσει ως ψυχρό νερό στα συστήματα ψύξης. Η απόδοση αυτών των συστημάτων μειώνεται εάν προκύψουν χημικές αντιδράσεις στα τοιχώματα των δεξαμενών λόγω των θερμοκρασιών ή με ανάμιξη νερού διαφορετικής σύστασης οπότε μπορεί να υποστεί αλλαγές το πορώδες και η διαπερατότητα της αποθήκης. Στη συνέχεια περιγράφεται μια ειδικές κατηγορίες διεποχικής αποθήκευσης θερμότητας στο έδαφος ή σε υπόγεια ύδατα. Οι οποίες βρίσκουν εφαρμογή κυρίως στη βόρεια Ευρώπη και απαιτούν ειδικούς γεωλογικούς σχηματισμούς.

2.3.1.3.1 Γεωθερμία

Η γεωθερμική ενέργεια είναι η θερμότητα η οποία είναι αποθηκευμένη στο είτε έδαφος είτε στα υπόγεια ύδατα. Το κοινό κριτήριο για να χαρακτηριστεί και να ταξινομηθεί το έδαφος ως κατάλληλο για εφαρμογές γεωθερμίας είναι η ενθαλπία των ρευστών τα οποία μεταφέρουν τη θερμότητα από το έδαφος στην επιφάνεια. Βάση αυτού μπορεί να

γίνει ο εξής διαχωρισμός σε σχέση με την ταξινόμηση και τις εφαρμογές:

- Χαμηλής θερμοκρασίας (<90 °C)
- Μέτριας θερμοκρασίας (90-150°C)
- Υψηλής θερμοκρασίας (>150°C)

Οι πηγές υψηλής θερμοκρασίας προορίζονται κυρίως για ηλεκτροπαραγωγή ενώ οι άλλες δυο πηγές μπορούν να χωριστούν σε εφαρμογές στις οποίες γίνεται είτε άμεση χρήση της θερμότητας μέσω χρήσης του ρευστού από τη γη είτε έμμεση χρήση μέσω γεωθερμικών αντλιών θερμότητας. Συνήθως οι εφαρμογές της άμεσης χρήσης εκμεταλλεύονται τη θερμότητα του ρευστού για θερμοκρασίες από 40 μέχρι 150°C.

Η έμμεση εκμετάλλευση που κάνει χρήση γεωθερμικών αντλιών θερμότητας χρησιμοποιεί το έδαφος ή υπόγεια ύδατα ως πηγή θερμότητας για το χειμώνα (εκφόρτιση) και ως σημείο απόρριψης για το καλοκαίρι (φόρτιση). Σε αυτές τις εφαρμογές οι θερμοκρασίες που επικρατούν κυμαίνονται από 4 μέχρι 40 °C. Αυτές είναι και οι εφαρμογές οι οποίες πρόκειται να μελετηθούν για την αποθήκευση θερμότητας στο έδαφος σε κτιριακές εφαρμογές.

Γενικά, για κτιριακές εφαρμογές αποθήκευσης θερμότητας ή ψύξης με συστήματα γεωθερμίας, η ισχύς των αντλιών μπορεί να είναι περίπου:

- Για μονοκατοικίες <20 kW
- Για πολυκατοικίες ή μεγαλύτερα οικιακά συγκροτήματα 20 kW -100 kW
- Για εμπορικά κέντρα 100 kW - 1MW
- Για μικρούς συνοικισμούς 1 MW - 10 MW
- Για τηλεθέρμανση/τηλεψύξη 10 MW - 100 MW

2.3.1.3.1.1 Σύστημα γεωθερμικής αντλίας θερμότητας

Η γεωθερμική αντλία θερμότητας ανταλλάσσει τη θερμότητα με τη βοήθεια ενός συστήματος σωληνώσεων, κατάλληλα τοποθετημένων, στο οποίο κυκλοφορεί το ρευστό μέσο (νερό). Ένα σύστημα γεωθερμικών αντλιών θερμότητας αποτελείται από:

- Το σύστημα εναλλαγής θερμότητας εντός εδάφους (γεωεναλλάκτης θερμότητας ή υδρογεώτρηση)
- Τη γεωθερμική αντλία θερμότητας (κυρίως αντλία θερμότητας νερού-νερού)
- Το σύστημα θέρμανσης/ψύξης εντός του κτιρίου

Ένα τέτοιο σύστημα λειτουργεί με τον ίδιο τρόπο που λειτουργεί μια αναστρεψίμη ψυκτική διάταξη με λήψη θερμότητας από ένα χώρο και απόρριψή της σε έναν άλλο. Τη χειμερινή περίοδο η θερμότητα λαμβάνεται από το έδαφος ενώ τη θερινή περίοδο απορρίπτεται στο έδαφος και με αυτό τον τρόπο γίνεται η φόρτιση και εκφόρτιση του συστήματος αποθήκευσης στο έδαφος.

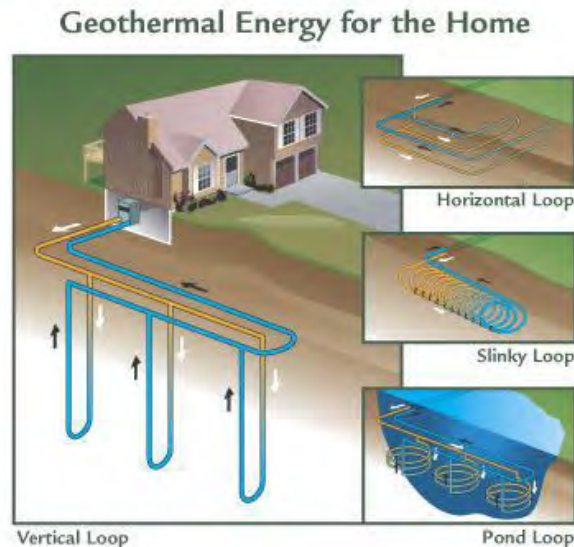
Ένα σωστά σχεδιασμένο σύστημα γεωθερμικής αντλίας λειτουργεί με υψηλότερη απόδοση από αυτή ενός συστήματος αντλίας θερμότητας αέρα-αέρα καθώς το νερό έχει καλύτερες ιδιότητες μετάδοσης της θερμότητας σε σχέση με τον αέρα και υπάρχει σταθερή θερμοκρασία που παρέχεται από τους γεωεναλλάκτες. Η θερμοκρασία είναι υψηλότερη από τις ακραίες περιβαλλοντικές συνθήκες σε περιπτώσεις αιχμών του θερμικού φορτίου και χαμηλότερη στις περιπτώσεις αιχμών του ψυκτικού φορτίου. Τα συστήματα εναλλαγής θερμότητας χωρίζονται σε συστήματα ανοιχτού και κλειστού βρόχου. Στα συστήματα ανοιχτού βρόχου μια υδρογεώτρηση ή μια μικρή λίμνη παίζει το ρόλο της πηγής θερμότητας ή απόρριψής της μέσω του εδάφους, συνεπώς το ρόλο

της αποθήκης. Χρησιμοποιείται νερό από γεώτρηση ή πηγάδια ως ρευστό μεταφοράς θερμότητας το οποίο κυκλοφορεί κατευθείαν μέσα από το σύστημα της αντλίας. Το νερό επιστρέφει στο έδαφος μέσω του πηγαδιού (υπόγειος ταμιευτήρας). Αυτή η λύση αφορά στις περιπτώσεις που είναι διαθέσιμη η παροχή καθαρού νερού και επιτρέπεται η γεώτρηση βάση κανονισμών.

Στα συστήματα κλειστού βρόχου ένας γεωθερμικός εναλλάκτης αποτελεί το σύστημα που απορροφά ή αποβάλλει θερμότητα στο έδαφος. Υπάρχουν δυο τύποι γεωεναλλακτών στα συστήματα γεωθερμίας, ο οριζόντιος και ο κατακόρυφος και αποτελούν συστήματα κλειστού βρόχου. Οι κατακόρυφοι γεωεναλλάκτες αποτελούνται από σωλήνες θαμμένους στο έδαφος σε κατακόρυφη διάταξη μέσα σε γεωτρήσεις. Ανοίγονται τρύπες διαμέτρου 10 cm σε βάθος 30-120 m και με 6 m απόσταση μεταξύ τους. Οι σωληνώσεις συνδέονται μεταξύ τους ώστε να σχηματίσουν ένα βρόχο. Στα οριζόντια συστήματα γεωεναλλάκτη αποτελούνται από σωλήνες θαμμένους στο έδαφος σε οριζόντια διάταξη μέσα σε χαντάκια σε βάθος 0,6-2 m από την επιφάνεια του εδάφους.

Το τυπικό υλικό των σωλήνων είναι πολυαιθυλένιο υψηλής πυκνότητας και τυπική εξωτερική διάμετρο 32 ή 40 mm. Εξαρτώμενη από τη θερμοκρασία λειτουργίας, η πλήρωση του σωλήνα γίνεται με νερό ή με μίγμα νερού και αντιψυκτικού. Το ψυκτικό υγρό είναι δυνατό να ρέει μέσα σε ειδικές γεωθερμικές αντλίες θερμότητας απευθείας εκτόνωσης μέσω τους συστήματος γεωεναλλαγής θερμότητας.

Παρόλο που οι κατακόρυφοι γεωθερμικοί εναλλάκτες έχουν υψηλότερο κόστος χρησιμοποιούνται στις περισσότερες περιπτώσεις καθώς απαιτούν λιγότερο διαθέσιμο χώρο και δεν αντιμετωπίζουν τεχνικές δυσκολίες όπως στις υδρογεωτρήσεις.



Εικόνα 2.7: Τρόποι εγκατάστασης γεωεναλλάκτη στα συστήματα γεωθερμίας

Η γεωθερμική αντλία θερμότητας νερού-νερού χρησιμοποιείται για θέρμανση και ψύξη ακόμα και για παραγωγή ZNX. Σε ορισμένες περιπτώσεις χρησιμοποιούνται και αντλίες αέρα-νερού. Χρησιμοποιεί ηλεκτρισμό για την άντληση της απαιτούμενης ενέργειας. Το σύστημα προσδίδει ή απορροφά θερμότητα από το κτίριο. Συνήθως χρησιμοποιούνται σπειροειδείς συμπιεστές με ρύθμιση on-off και ως ψυκτικά υγρά τα

R407C ή R134a με τάση να αντικατασταθούν από το R410A. Μια μελλοντική τάση είναι η χρήση συμπιεστών μεταβλητής ισχύος.

Ο συντελεστής ενεργειακής απόδοσής τους (COP) ορίζεται σαν το λόγο της αποδιδόμενης ενέργειας προς την ηλεκτρική κατανάλωση. Ο εποχιακός συντελεστής απόδοσης είναι το ολοκλήρωμα του COP κατά την περίοδο θέρμανσης και ψύξης. Τυπικές τιμές αυτών των συντελεστών είναι μεταξύ 3,5 και 5 αντίστοιχα. Στις περιπτώσεις συστημάτων ανοιχτού βρόχου (υδρογεώτρηση) οι τιμές είναι 4 και 6. Η ενεργειακή απόδοση των συστημάτων γεωθερμίας ενισχύεται όταν η θερμοκρασία λειτουργίας του συστήματος θέρμανσης είναι χαμηλή. Σε περίπτωση ψύξης ενισχύεται όταν η θερμοκρασία ψύξης είναι υψηλότερη. Επομένως ιδανική λύση για θέρμανση η χρήση ενδοδαπέδιας θέρμανσης, του ενδοτοιχίου συστήματος ακολουθούμενο από fancoils και κεντρικές κλιματιστικές μονάδες με αεραγωγούς. Στην περίπτωση της ψύξης τα καλύτερα συστήματα είναι τα ενδοτοιχία και τα συστήματα οροφής. Το περιβαλλοντικό κόστος των αντλιών θερμότητας είναι πολύ χαμηλό καθώς οι καταναλώσεις σε ηλεκτρισμό είναι σχετικά χαμηλές. Εφόσον γίνεται χρήση πράσινου ηλεκτρικού ρεύματος (ΑΠΕ, Κυψέλες καυσίμου) τότε έχει μηδενικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις.

Ο παράγοντας της κλιματικής ζώνης είναι πολύ σημαντικός για αυτές τις εφαρμογές αποθήκευσης θερμότητας στο έδαφος (γεωθερμία) ιδιαίτερα για τα οριζόντια συστήματα. Εφόσον υπάρχει διαθέσιμη προς εκμετάλλευση γη με αρκετό βάθος, δεν θα επηρεαστεί το σύστημα από μεταβολές στη θερμοκρασία του υπεδάφους, γεγονός πολύ σημαντικό καθώς η τεχνολογία των γεωθερμικών αντλιών εκμεταλλεύεται ουσιαστικά τη σταθερή θερμοκρασία του υπεδάφους. Το ποσό της αποθηκευμένης στο έδαφος θερμικής ενέργειας χαρακτηρίζεται ως επαρκές ανάλογα με τις απαιτήσεις του εκάστοτε κτιρίου και της θερμικής του απώλειες. Σε θερμότερα κλίματα, οι αντλίες θερμότητας γίνονται πιο αποδοτικές. Το κλίμα και η εξωτερική θερμοκρασία δεν επηρεάζει το σύστημα αποθήκευσης (έδαφος) για τις περιπτώσεις κατακόρυφου σχεδιασμού του γεωεναλλάκτη.

Τα πλεονεκτήματα της τεχνολογίας αυτής είναι πολλαπλά και σχετίζονται τόσο με τα ελάχιστα λειτουργικά κόστη όσο και με τα σημαντικά περιβαλλοντικά οφέλη. Πιο αναλυτικά:

- Ελάχιστα κόστη συντήρησης και λειτουργίας
- Απόδοση συστήματος: αποτελεί σύμφωνα με την EPA των Η.Π.Α το πιο αποδοτικό σύστημα για κλιματισμό κτιρίων. Επιτυγχάνεται εξοικονόμηση ενέργειας μέχρι 70% στη θέρμανση και 50% στην ψύξη.
- Ελάχιστη περιβαλλοντική επιβάρυνση αφού συγκαταλέγεται στην ΑΠΕ
- Ενδείκνυται για εφαρμογή στις περισσότερες κλιματικές ζώνες
- Μπορεί να παρέχεται θέρμανση και ψύξη ταυτόχρονα
- Δεν απαιτούνται τεχνολογίες όπως αυτή του πύργου ψύξης

Τα μειονεκτήματα της τεχνολογίας είναι:

- Υψηλό κόστος εγκατάστασης: ο χρόνος απόσβεσης κυμαίνεται ανάλογα με την περίπτωση από 5 έως 15 έτη
- Περιορισμός των θερμοκρασιών λειτουργίας (55-65°C)
- Πιθανά προβλήματα κατά τη γεώτρηση, μόλυνση υδάτων
- Πιθανά προβλήματα κατά την εγκατάσταση λόγω απαίτησης διαθέσιμης γης για την εγκατάσταση του γεωεναλλάκτη

2.3.1.3.2 Αποθήκευση σε σπήλαια (rock caverns)

Σπήλαια τα οποία έχουν δημιουργηθεί για εφαρμογές εξόρυξης και είναι ανενεργά μπορούν να διατεθούν για αυτές τις εφαρμογές αποθήκευσης θερμότητας μακράς διάρκειας και μεγάλης κλίμακας. Τα σπήλαια αποθηκεύουν νερό σε μεγάλους όγκους και το μεταφέρουν κατά την φόρτιση και εκφόρτιση με κατακόρυφο σύστημα σωληνώσεων. Επιτυγχάνεται υψηλή θερμική διαστρωμάτωση σε θερμοκρασίες από 30 έως 80 °C. Ένα βασικό πλεονέκτημα είναι πως το κόστος κατασκευής της αποθήκευσης είναι χαμηλό αφού είναι διαθέσιμο το σπήλαιο και δεν χρησιμοποιείται μόνωση.



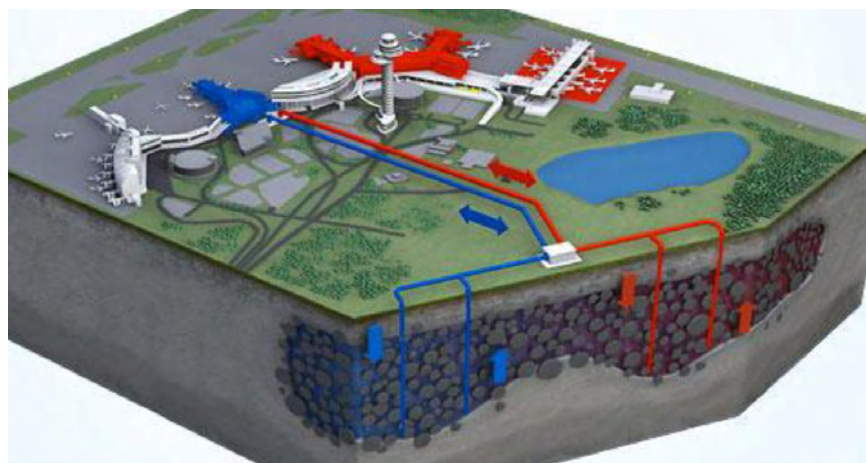
Εικόνα 2.8: Υπόγειο σπήλαιο αποθήκευσης

2.3.1.3.3 Αποθήκευση σε υπόγεια φυσικά υδροφόρα στρώματα (aquifers)

Τα aquifers αποτελούν γεωλογικές δομές σε βάθος από μερικές εκατοντάδες μέτρα και μπορούν να απορροφούν και παρακρατούν το νερό. Ο σχηματισμός των βράχων είναι διαπερατός και πορώδης και το νερό μπορεί να κυκλοφορεί εξαιτίας της ύπαρξης ρωγμών και διασυνδεδεμένων ανοιγμάτων. Τα πετρώματα μπορεί να είναι αμμόλιθοι, αμμοχάλικα ή ασβεστόλιθοι (ιζηματογενούς προέλευσης).

Η ιδέα της χρήσης αυτών των σχηματισμών για αποθήκευσης θερμικής ενέργειας είναι σχετικά πρόσφατη καθώς οι σχηματισμοί συνήθως χρησιμοποιούνται για αποθήκευση φρέσκου νερού ή προϊόντων πετρελαίου ή φυσικού αερίου. Η φόρτιση και εκφόρτιση της συγκεκριμένης αποθήκης γίνεται με έκχυση θερμού νερού στο aquifer και ανάκτηση μέσω φρεατίων όταν απαιτείται θερμική ενέργεια. Λόγω της χαμηλής θερμικής αγωγιμότητας των πετρωμάτων του, δεν εμφανίζονται μεγάλες θερμικές απώλειες. Έχουν τη δυνατότητα να αποθηκεύσουν θεωρητικά νερό σε θερμοκρασίες μέχρι 200 βαθμούς Κελσίου αλλά προς το παρόν περιορίζονται μέχρι τους 55.

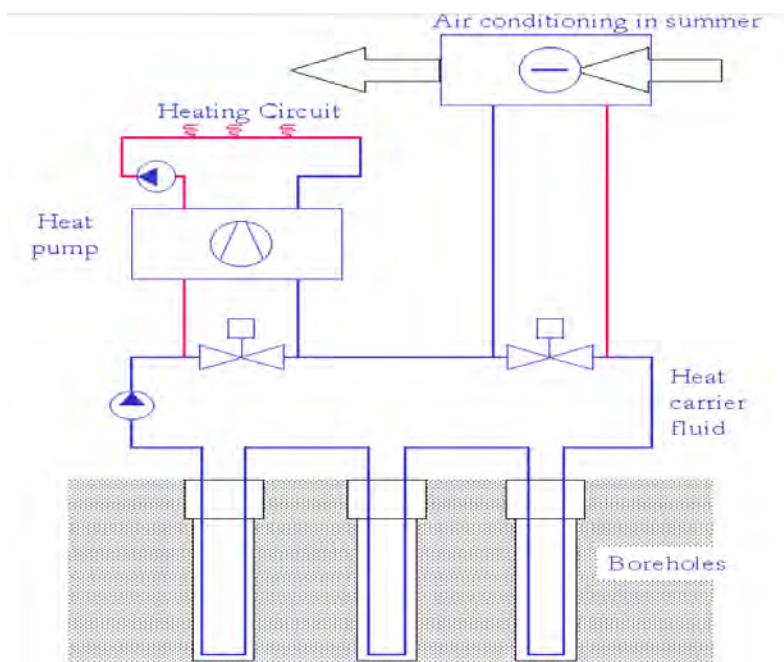
Μια τυπική εφαρμογή αυτού του συστήματος αποτελεί στο αεροδρόμιο στη Στοκχόλμη της Σουηδίας η χρήση aquifer για διεποχική αποθήκευση. Το καλοκαίρι το ψυχρό νερό χρησιμοποιείται για τον ψύξη των χώρων στο αεροδρόμιο ενώ το χειμώνα το αποθηκευμένο θερμό νερό χρησιμοποιείται για την προθέρμανση αέρα και το λιώσιμο των πάγων των αεροδιαδρόμων.



Εικόνα 2.9: Σύστημα διεποχικής αποθήκευσης με χρήση aquifer

2.3.1.3.4 Σύστημα γεώτρησης για αποθήκευση θερμότητας σε ξηρό έδαφος (Borehole energy storage)

Η τεχνολογία αυτή αποτελεί μια από τις γενικότερες εφαρμογές αποθήκευσης στο έδαφος στα πλαίσια της γεωθερμίας. Χρησιμοποιούνται αγωγοί στους οποίους διακινούνται τα ρευστά μεταφοράς της θερμότητας σε κατακόρυφη διάταξη και σχήμα U. Οι αγωγοί τοποθετούνται σε βάθος μέσα σε ξηρό έδαφος, άμμο ή βράχους. Η αρχή λειτουργία είναι όμοια με εκείνη των κατακόρυφων συστημάτων γεωθερμίας. Παρακάτω παρατίθεται το σχήμα λειτουργίας αυτών των συστημάτων.



Εικόνα 2.10: Σχήμα λειτουργίας της αποθήκευσης με borehole για παροχή θερμότητας και ψύξης.

2.3.2 Λανθάνουσα θερμότητα τήξης

Η αποθήκευση θερμικής ενέργειας με τη μορφή λανθάνουσας θερμότητας βασίζεται στην ιδιότητα των υλικών που αλλάζουν φάση να απορροφούν ή να απελευθερώνουν μεγάλα ποσά ενέργειας (λανθάνουσα θερμότητα τήξης) κατά την ισοθερμοκρασιακή αλλαγή φάσης στην οποία βρίσκονται.

Με αυτό τον τρόπο ένα υλικό μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως αποθήκη θερμότητας όταν το περίσσειμα της θερμικής ενέργειας διοχετευτεί σε αυτό έτσι ώστε να τηχθεί και το τήγμα να διατηρηθεί χωρίς απώλειες. Έτσι η αποθηκευμένη ενέργεια ισούται με το άθροισμα της μεταβολής ενθαλπίας κατά την αλλαγή φάσης και την αισθητή θερμότητα στην περιοχή θερμοκρασιών που δουλεύει το σύστημα. Όταν απαιτηθεί αυτή η θερμότητα ανακτάται από το τήγμα σε ποσότητα ίση με τη λανθάνουσα θερμότητα τήξης, οπότε το τήγμα πήζει.

Η πιο συνηθισμένη εφαρμογή της μεθόδου αποθήκευσης λανθάνουσας θερμότητας είναι η μετατροπή νερού σε πάγο. Όμως η χρήση του πάγου σαν υλικό αλλαγής φάσης παρουσιάζει προβλήματα λόγω των ιδιοτήτων του νερού (μεγάλη μεταβολή πυκνότητας με τη θερμοκρασία, χαμηλή θερμοκρασία προσαγωγής στο σύστημα αποθήκευσης). Συνεπώς αναπτύχθηκαν υλικά με βάση το νερό, ώστε να παρουσιάζουν τα πλεονεκτήματα του (μεγάλη λανθάνουσα θερμότητα, μεγάλη τιμή του συντελεστή αγωγιμότητας) χωρίς όμως τα προβλήματα του νερού σε αυτές τις εφαρμογές (κυρίως λόγω χαμηλής θερμοκρασίας τήξης). Έτσι δημιουργήθηκαν τα πρώτα υλικά αλλαγής φάσης, τα ένυδρα άλατα. Στη συνέχεια παρουσιάζονται όλα τα διαθέσιμα υλικά και οι ιδιότητές τους.

Τα βασικά πλεονεκτήματα των συστημάτων αποθήκευσης λανθάνουσας θερμότητας είναι η υψηλή πυκνότητα της αποθηκευμένης ενέργειας ανά μονάδα μάζας σε σχέση με τα συστήματα αποθήκευσης αισθητής θερμότητας και το θερμοκρασιακό εύρος λειτουργίας του συστήματος αφού η διεργασία της αλλαγής φάσης γίνεται σε σχεδόν σταθερή θερμοκρασία. Επιπλέον, δεν υπάρχει βαθμιαία μείωση στη θερμοκρασία καθώς το υλικό αποφορτίζεται. Με τα συστήματα αυτά υπάρχει η δυνατότητα της τροφοδοσίας της θερμότητας σε σταθερή θερμοκρασία.

Η αλλαγή φάσης στα υλικά πραγματοποιείται με διάφορους τρόπους. Η μετατροπή από στερεό σε αέριο και από υγρό σε αέριο, δηλαδή η μεταβολή φάσης από και προς την αέρια φάση δεν μπορεί να αντιμετωπιστεί στις εφαρμογές αποθήκευσης λανθάνουσας θερμότητας καθώς η μεταβολή όγκου των υλικών σε αυτές τις αλλαγές φάσης είναι μεγάλη και απαιτούνται πολύπλοκα συστήματα και εξοπλισμός συμπίεσης. Συνεπώς η περίπτωση αλλαγής φάσης η οποία εκμεταλλεύεται η τεχνολογία αφορά σε μεταβολή από στερεό σε υγρό και αντίστροφα.

2.3.2.1 Υλικά αλλαγής φάσης

Τα υλικά που χρησιμοποιούνται ως υλικά αλλαγής φάσης (PCM, Phase Change Materials) για εφαρμογές αποθήκευσης ενέργειας εκτός από το νερό μπορεί να είναι είτε οργανικά είτε ανόργανα. Παραδείγματα οργανικών ουσιών που χρησιμοποιούνται είναι οι παραφίνες και τα λιπαρά οξέα και ανόργανων ουσιών είναι τα ένυδρα άλατα. Τα οργανικά PCMs μπορεί να είναι αλειφατικές ενώσεις ή άλλες οργανικές. Λειτουργούν σε χαμηλά θερμοκρασιακά εύρη, έχουν μέτρια λανθάνουσα θερμότητα ανά μονάδα μάζας και όγκου και είναι σχετικά ακριβά. Τα ανόργανα PCMs είναι υλικά βασισμένα σε ένυδρα άλατα. Τα μειονεκτηματά τους είναι ότι επέρχεται σε αυτά

διαχωρισμός φάσεων και χάνουν την επανάκτηση της λανθάνουσας θερμότητας. Έχουν τάση για εμφάνιση του φαινομένου της υπόψυξης.

Οι εφαρμογές των υλικών αλλαγής φάσης στον κτιριακό τομέα αφορούν στη θέρμανση χώρων και νερού, στη ρύθμιση και τον έλεγχο της θερμικής άνεσης ενός χώρου και στην αποθήκευση ψύξης. Για αυτές τις εφαρμογές υπάρχουν ορισμένα κριτήρια τα οποία πρέπει να ικανοποιούνται ώστε να μπορούν να χρησιμοποιηθούν κατάλληλα:

- υψηλή ενθαλπία μετάβασης ανά μονάδα μάζας
- Ικανότητα για πλήρη αντιστροφή της διαδικασίας
- Ικανή θερμοκρασία μετάβασης από τη μια φάση στην άλλη
- χημική ισορροπία και σταθερότητα με τον αποθηκευτικό χώρο
- ελάχιστη αλλαγή όγκου με την αλλαγή φάσης
- μη τοξικότητα
- χαμηλό κόστος

Το κύριο πλεονέκτημα των υλικών αλλαγής φάσης έναντι του πάγου είναι η δυνατότητα ρύθμισης της θερμοκρασίας σε ένα μεγάλο εύρος από -40°C μέχρι και 110°C . Αυτό το χαρακτηριστικό είναι βασικό καθώς ανάλογα με την εκάστοτε εφαρμογή η επιθυμητή θερμοκρασία λειτουργίας τους και συνεπώς το σημείο τήξης τους πρέπει να είναι διαφορετικό. Το σημαντικότερο αυτών των κριτηρίων είναι το σημείο τήξεως του υλικού και από αυτή την άποψη τα επιθυμητά σημεία τήξεως για ορισμένες εφαρμογές αποθήκευσης σε κτίρια είναι:

- Ηλιακά συστήματα θέρμανσης: $25-50^{\circ}\text{C}$
- Παθητικά ηλιακά συστήματα: $21-25^{\circ}\text{C}$
- Αποθήκευση ψύξης: $4,5-18^{\circ}\text{C}$
- Παθητική αποθήκευση θερμότητας: $16-28^{\circ}\text{C}$

2.3.2.1.1 Ιδιότητες των PCM

Η σημαντικότερη ιδιότητα, όπως έχει αναφερθεί είναι το σημείο τήξης του εκάστοτε υλικό το οποίο είναι επιθυμητό να βρίσκεται όσο το δυνατό κοντά στην περιοχή τιμών στις οποίες λειτουργεί το σύστημα θέρμανσης ή ψύξης. Οι άλλες εξίσου σημαντικές θερμικές ιδιότητες που απαιτούνται είναι η υψηλή λανθάνουσα θερμότητα τήξης σε ογκομετρική βάση για την ελαχιστοποίηση του μεγέθους του συστήματος των PCM και η υψηλή θερμική αγωγιμότητα για την αποτελεσματικότερη μεταφορά θερμότητα κατά τη φόρτιση και την εκφόρτιση του υλικού.

Όσον αφορά στις φυσικές ιδιότητες των υλικών απαιτείται ευνοϊκή ισορροπία φάσης κατά τη διάρκεια της τήξης, υψηλή πυκνότητα για το σχεδιασμό μικρότερων συστημάτων, μικρή μεταβολή όγκου κατά την αλλαγή φάσης του υλικού και χαμηλή τάση ατμών στη θερμοκρασία λειτουργίας ώστε να μπορεί το πρόβλημα της συσκευασίας να αντιμετωπίζεται ευκολότερα.

Οι απαιτούμενες κινητικές ιδιότητες των υλικών αλλαγής φάσης αφορούν στο φαινόμενο της υπόψυξης και στο ρυθμό κρυστάλλωσης. Η υπόψυξη ειδικά για τα ένυδρα άλατα είναι ένα σημαντικό πρόβλημα και επηρεάζει την απόδοση της αποθηκευμένης θερμότητας. Επομένως είναι επιθυμητός ο περιορισμός του φαινομένου για την βελτιστοποίηση της απόδοσης του συστήματος.

Οι επιθυμητές χημικές ιδιότητες είναι η χημική σταθερότητα σε βάθος χρόνου, η συμβατότητα με τα δομικά υλικά και τα υλικά συσκευασίας, η μη τοξικότητα και η μη αναφλεξιμότητα. Ένα υλικό μπορεί με την πάροδο του χρόνου να υποβαθμιστεί

χάνοντας υδατικά στοιχεία του γεγονός που θα καταστρέψει στην ουσία το σύστημα. Επομένως σε βάθος χρόνου απαιτείται οι ουσίες να είναι χημικά σταθερές και φυσικά να είναι συμβατές με όλα τα υλικά που έρχονται σε επαφή. Τέλος, τα υλικά πρέπει να είναι εμπορικά διαθέσιμα και να έχουν ένα ελκυστικό κόστος τόσο το ίδιο το υλικό όσο και τα υλικά συσκευασίας τους.

2.3.2.1.2 Κατηγοριοποίηση Υλικών Αλλαγής Φάσης

2.3.2.1.2.1 Οργανικά PCM

Τα οργανικά υλικά αποτελούνται κυρίως από παραφίνες και μικροκρυσταλλικά κεριά, τα οποία είναι μείγματα παραφινών με αριθμό ατόμων άνθρακα από 19 έως 25. Εξίσου σημαντικές κατηγορίες των οργανικών είναι τα λιπαρά οξέα, οι εστέρες και αλκοόλες των λιπαρών οξέων ή και μείγματα αυτών.

Τα εμπορικά προϊόντα των οργανικών PCM είναι αρκετά φθηνότερα από τα ένυδρα άλατα αλλά έχουν μέτριες τιμές λανθάνουσας θερμότητας (περίπου 150 kJ/kg). Έχουν αμελητέα εμφάνιση υπόψυξης, είναι χημικά αδρανή και σταθερά, δεν εμφανίζουν διαχωρισμό φάσεων ή εκφυλισμό των ιδιοτήτων τους. Έχουν όμως χαμηλή τιμή συντελεστή αγωγιμότητας και έτσι έχουν περιορισμένες εφαρμογές (0.2 W/mK). Για αυτό το λόγο έχουν εξεταστεί περιπτώσεις εμπλουτισμού τους με μεταλλικά αντικείμενα ή χρήση δοχείων και σωλήνων με πτερύγια με σκοπό την αύξηση του ρεύματος θερμότητας μέσα στο υλικό.

Επίσης, στα οργανικά υλικά αλλαγής φάσης επηρεάζεται η πυκνότητα τους από τη φάση, ώστε όταν το υλικό στερεοποιηθεί και αυξηθεί η πυκνότητά του να αποκολληθεί από τα τοιχώματα του δοχείου γεγονός που επηρεάζει το φαινόμενο της αγωγής θερμότητας. Επιπλέον ένα ακόμα μειονέκτημα τους είναι η αναφλεξιμότητα παρόλο που οι ερευνητές υποστηρίζουν ότι η χαμηλή τάση ατμών της παραφίνης δεν εγκυμονεί κινδύνους ανάφλεξης.

Παραφίνες

Οι παραφίνες είναι ιδανικά υλικά αλλαγής φάσης. Έχουν μεγάλο θερμοκρασιακό εύρος λειτουργίας και μπορούν να δημιουργηθούν μέσω μειγμάτων υλικά τα οποία μπορούν να καλύψουν οποιαδήποτε εφαρμογή. Είναι ουσίες φθηνές και άφθονες. Έχουν αρκετά καλή αποθηκευτική ικανότητα σε σχέση με άλλα υλικά και στερεοποιούνται χωρίς εμφάνιση υπόψυξης επομένως το υλικό αποδίδει τη μέγιστη αποθηκευτική του ικανότητα.

Σαν οργανικές ουσίες δεν εμφανίζουν στη διάρκεια ζωής τους το φαινόμενο του διαχωρισμού των φάσεων. Το μεγαλύτερο πλεονέκτημα τους έναντι άλλων υλικών για εφαρμογές θέρμανσης σε κτίρια είναι πως υπάρχει πλήθος παραφινών με σημεία τήξης από 20-26°C που είναι τα πλαίσια των απαιτήσεων των κτιριακών συστημάτων.

Παρουσιάζουν χαμηλή τάση ατμών και αυτό ερμηνεύει τις ελάχιστες απώλειες υλικού σε μεγάλο βάθος χρόνου χρήσης και αποτελεί πλεονέκτημα για εφαρμογές όπου απαιτείται μεγάλος αριθμός κύκλων φορτίσεων του υλικού.

Ιδιαίτερη προσοχή απαιτείται στην επιλογή της παραφίνης καθώς οι παραφίνες πραγματοποιούν ολοκληρωμένα την αλλαγή της φάσης τους σε ένα θερμοκρασιακό εύρος 10°C, περίπου 9 βαθμούς πριν το σημείο τήξης και 1 βαθμό μετά το σημείο τήξης.

No. of carbon atoms	Melting point (°C)	Latent heat of fusion (kJ/kg)	Group ^a
14	5.5	228	I
15	10	205	II
16	16.7	237.1	I
17	21.7	213	II
18	28.0	244	I
19	32.0	222	II
20	36.7	246	I
21	40.2	200	II
22	44.0	249	II
23	47.5	232	II
24	50.6	255	II
25	49.4	238	II
26	56.3	256	II
27	58.8	236	II
28	61.6	253	II
29	63.4	240	II
30	65.4	251	II
31	68.0	242	II
32	69.5	170	II
33	73.9	268	II
34	75.9	269	II

Πίνακας 2.4: Θερμικές ιδιότητες των παραφινών

Ομάδα I: πιο υποσχόμενα, Ομάδα II: υποσχόμενα, Ομάδα III: λιγότερο υποσχόμενα, -: ανεπαρκή στοιχεία

Λιπαρά Οξέα

Τα λιπαρά οξέα είναι καρβοξυλικά οξέα με μακρά ανθρακική αλυσίδα κορεσμένη ή ακόρεστη. Έχουν σημεία τήξης και λανθάνουσα θερμότητα παρόμοια με των παραφινών. Οι δυο επικρατέστεροι τύποι των υλικών αυτών για κτιριακές εφαρμογές είναι το καπρικό οξύ με σημείο τήξης 31,5°C και το Καπρλικό Οξύ με σημείο τήξης 16.5 °C.

Τα λιπαρά οξέα σε θερμοκρασία δωματίου υπόκεινται σε μια χημική αντίδραση, την αυτοοξειδωση. Σπάνε δηλαδή σε υδατάνθρακες, κετόνες, αλδεΐδες και μικρότερες ποσότητες αλκοολών και εποξικών. Ένα ακόμη μειονέκτημα τους είναι η κακοσμία η οποία περιορίζει τη χρησιμότητά τους σε χώρους. Ωστόσο αυτό το μειονέκτημα μπορεί να ξεπεραστεί με χρήση ειδικής συσκευασίας

Material	Formula	Melting point (°C)	Latent heat (kJ/kg)	Group ^a
Acetic acid	CH ₃ COOH	16.7	184	I
Polyethylene glycol 600	H(OC ₂ H ₄) _n OH	20-25	146	I
Capric acid	CH ₃ (CH ₂) ₈ COOH	36	152	-
Eladic acid	C ₈ H ₁₇ C ₈ H ₁₆ COOH	47	218	I
Lauric acid	CH ₃ (CH ₂) ₁₀ COOH	49	178	II
Pentadecanoic acid	CH ₃ (CH ₂) ₁₃ COOH	52.5	178	-
Tristearin	(C ₁₇ H ₃₅ COO) ₃ C ₃ H ₅	56	191	I
Myristic acid	CH ₃ (CH ₂) ₁₂ COOH	58	199	I
Palmitic acid	CH ₃ (CH ₂) ₁₄ COOH	55	163	I
Stearic acid	CH ₃ (CH ₂) ₁₆ COOH	69.4	199	I
Acetamide	CH ₃ CONH ₂	81	241	I
Methyl fumarate	(CHCO ₂ NH ₃) ₂	102	242	I

Πίνακας 2.5: Θερμικές ιδιότητες των λιπαρών οξέων

Ομάδα I: πιο υποσχόμενα, Ομάδα II: υποσχόμενα, Ομάδα III: λιγότερο υποσχόμενα, -: ανεπαρκή στοιχεία

2.3.2.1.2.2 Ανόργανα PCM

Τα ένυδρα άλατα είναι ο κύριος εκπρόσωπος των ανόργανων υλικών αλλαγής φάσης. Έχουν αρκετά καλές ιδιότητες (λανθάνουσα θερμότητα 250 kJ/kg και αγωγιμότητα 0.6 W/mK), μέτριο κόστος παραγωγής σε σχέση με τις παραφίνες αλλά υψηλό κόστος πώλησης λόγω της επιβεβλημένης ενσωμάτωσής τους σε προστατευτικό κάλυμμα και χρήση προσθέτων ουσιών σταθεροποίησης των ιδιοτήτων τους.

Έχουν μεγάλο εύρος σημείων τήξης από 0 έως 120°C και έτσι είναι κατάλληλα για θερμικές εφαρμογές και πέρα από τις κτιριακές. Ο χημικός τους τύπος είναι M_nH_2O με M μια ανόργανη ουσία ενυδατωμένη με n μόρια νερού.

Η αρχή λειτουργίας των ένυδρων αλάτων βασίζεται στην αποβολή του κρυσταλλικού νερού, το οποίο αποβάλλεται όταν προσδοθεί θερμότητα στο άλας σε συγκεκριμένη θερμοκρασία. Έτσι αποθηκεύεται θερμότητα στο υλικό η οποία αποβάλλεται με επανακρυστάλλωση του νερού του άλατος. Βασικά μειονεκτήματα των ανόργανων υλικών αλλαγής φάσης είναι η ασυμβατότητα με τα υλικά συσκευασίας γεγονός που οδηγεί σε φαινόμενα διάβρωσης στο δοχείο.

Τα ένυδρα άλατα εμφανίζουν κι άλλα προβλήματα όπως για παράδειγμα η αφυδάτωση του ένυδρου άλατος λόγω συνεχούς και μακράς χρήσης κατά την οποία οι φάσεις διαχωρίζονται πλήρως λόγω της τάσης ατμών του νερού. Αυτό το φαινόμενο αντιμετωπίζεται με τη χρήση αεροστεγών δοχείων αποθήκευσης. Το φαινόμενο της αποσύνθεσης τους ή αλλιώς του διαχωρισμού των φάσεων είναι σοβαρό και συμβαίνει λόγω της ανομοιομορφίας στην τήξη του υλικού, διαδικασία η οποία είναι μη αντιστρεπτή.

Το άλας του Glauber ($Na_2SO_4 \cdot 10H_2O$) με τυπική κατά βάρος σύσταση 44% Na_2SO_4 και 56% H_2O είναι ένα από τα μελετημένα υλικά με θερμοκρασία τήξης 32.4 °C και λανθάνουσα θερμότητα 254 kJ/kg. Αν και είναι φτηνό υλικό και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για αποθήκευση θερμότητας, τα προβλήματα διαχωρισμού των φάσεων, ο σχηματισμός ιζήματος και το φαινόμενο υπόψυξης περιορίζουν το εύρος εφαρμογών του.

Ερευνητές προτείνουν την προσθήκη επιπλέον ύδατος για την αποφυγή δημιουργίας ιζήματος, το οποίο όμως θα μείωνε την αποθηκευτική του ικανότητα. Αντί αυτού χρησιμοποιούνται πολλά υλικά για τη σταθεροποίησή του και παράλληλα για την αύξηση της αποθηκευτικής του ικανότητας.

Τα κυριότερα προβλήματα τα οποία σχετίζονται με τη χρήση των ένυδρων αλάτων ως υλικά αλλαγής φάσης είναι η ανεπάρκεια της σταθερότητας της χημικής σύνθεσης του υλικού και του φαινομένου διάβρωσης μεταξύ του υλικού και της συσκευασίας του. Το βασικότερο πλεονέκτημα τους έναντι των παραφινών σε σχέση με τις κτιριακές εφαρμογές είναι η μη αναφλεξιμότητά τους.

Ο ρόλος της πυκνότητας των υλικών είναι σημαντικός ειδικά σε εγκαταστάσεις κτιρίων ή εφαρμογές που απαιτούν από τη φύση τους οικονομία χώρου. Γενικά τα ένυδρα άλατα είναι πυκνότερα από τα υπόλοιπα PCMs και παρουσιάζουν ιδιαίτερα αυξημένες τιμές αποθήκευσης ενέργειας ανά μονάδα όγκου υλικού.

Material	Melting point (°C)	Latent heat (kJ/kg)	Group ^a
K ₂ HPO ₄ ·6H ₂ O	14.0	109	II
FeBr ₃ ·6H ₂ O	21.0	105	II
Mn(NO ₃) ₂ ·6H ₂ O	25.5	148	II
FeBr ₃ ·6H ₂ O	27.0	105	II
CaCl ₂ ·12H ₂ O	29.8	174	I
LiNO ₃ ·2H ₂ O	30.0	296	I
LiNO ₃ ·3H ₂ O	30	189	I
Na ₂ CO ₃ ·10H ₂ O	32.0	267	II
Na ₂ SO ₄ ·10H ₂ O	32.4	241	II
KFe(SO ₄) ₂ ·12H ₂ O	33	173	I
CaBr ₂ ·6H ₂ O	34	138	II
LiBr ₂ ·2H ₂ O	34	124	I
Zn(NO ₃) ₂ ·6H ₂ O	36.1	134	III
FeCl ₃ ·6H ₂ O	37.0	223	I
Mn(NO ₃) ₂ ·4H ₂ O	37.1	115	II
Na ₂ HPO ₄ ·12H ₂ O	40.0	279	II
CoSO ₄ ·7H ₂ O	40.7	170	I
KF·2H ₂ O	42	162	III
MgI ₂ ·8H ₂ O	42	133	III
CaI ₂ ·6H ₂ O	42	162	III
K ₂ HPO ₄ ·7H ₂ O	45.0	145	II
Zn(NO ₃) ₂ ·4H ₂ O	45	110	III
Mg(NO ₃) ₂ ·4H ₂ O	47.0	142	II

Πίνακας 2.6α: Θερμικές Ιδιότητες των ένυδρων αλάτων

Ομάδα I:πιο υποσχόμενα, Ομάδα II: υποσχόμενα, Ομάδα III: λιγότερο υποσχόμενα, -: ανεπαρκή στοιχεία

Material	Melting point (°C)	Latent heat (kJ/kg)	Group ^a
Ca(NO ₃) ₂ ·4H ₂ O	47.0	153	I
Fe(NO ₃) ₃ ·9H ₂ O	47	155	I
Na ₂ SiO ₃ ·4H ₂ O	48	168	II
K ₂ HPO ₄ ·3H ₂ O	48	99	II
Na ₂ S ₂ O ₃ ·5H ₂ O	48.5	210	II
MgSO ₄ ·7H ₂ O	48.5	202	II
Ca(NO ₃) ₂ ·3H ₂ O	51	104	I
Zn(NO ₃) ₂ ·2H ₂ O	55	68	III
FeCl ₃ ·2H ₂ O	56	90	I
Ni(NO ₃) ₂ ·6H ₂ O	57.0	169	II
MnCl ₂ ·4H ₂ O	58.0	151	II
MgCl ₂ ·4H ₂ O	58.0	178	II
CH ₃ COONa·3H ₂ O	58.0	265	II
Fe(NO ₃) ₂ ·6H ₂ O	60.5	126	-
NaAl(SO ₄) ₂ ·10H ₂ O	61.0	181	I
NaOH·H ₂ O	64.3	273	I
Na ₃ PO ₄ ·12H ₂ O	65.0	190	-
LiCH ₃ COO·2H ₂ O	70	150	II
Al(NO ₃) ₂ ·9H ₂ O	72	155	I
Ba(OH) ₂ ·8H ₂ O	78	265	II
Mg(NO ₃) ₂ ·6H ₂ O	89.9	167	II
KAl(SO ₄) ₂ ·12H ₂ O	91	184	II
MgCl ₂ ·6H ₂ O	117	167	I

Πίνακας 2.6β: Ιδιότητες των ένυδρων αλάτων

Ομάδα I:πιο υποσχόμενα, Ομάδα II: υποσχόμενα, Ομάδα III: λιγότερο υποσχόμενα, -: ανεπαρκή στοιχεία

2.3.2.1.2.3 Εύτηκτα μείγματα

Εύτηκτα ονομάζονται τα μείγματα υλικών αλλαγής φάσης, τα οποία μπορεί να είναι είτε οργανικά είτε ανόργανα ή ακόμα και μείγμα ανόργανων με οργανικά υλικά. Τα μείγματα αυτά αναπτύχθηκαν για να παρέχουν δυνατότητες για επιθυμητά σημεία τήξης για την εκάστοτε εφαρμογή.

Θεωρείται ότι δεν συμπεριφέρονται και αντιμετωπίζονται σαν ένυδρα άλατα. Βασικό τους πλεονέκτημα είναι ότι συγκεντρώνουν τα πλεονεκτήματα και των δυο ομάδων ενώ δεν έχουν την τάση αυτή όσον αφορά τα μειονεκτηματά τους. Ωστόσο, έχουν αυξημένο κόστος παραγωγής το οποίο είναι διπλάσιο έως και τριπλάσιο από αυτό των οργανικών και των ανόργανων υλικών.

Συγκρίνοντας τις δυο μεγάλες κατηγορίες των υλικών αλλαγής φάσης προκύπτει ο παρακάτω πίνακας συγκεντρωτικός πίνακας των πλεονεκτημάτων και μειονεκτημάτων τους.

Material	Composition (wt.%)	Melting point (°C)	Latent heat (kJ/kg)	Group ^a
CaCl ₂ ·6H ₂ O + CaBr ₂ ·6H ₂ O	45 + 55	14.7	140	-
Triethyllolethane + water + urea	38.5 + 31.5 + 30	13.4	160	I
C ₁₂ H ₂₀ O ₂ + C ₁₀ H ₁₈ O ₂	34 + 66	24	147.7	-
CaCl ₂ + MgCl ₂ ·6H ₂ O	50 + 50	25	95	II
CH ₃ CONH ₂ + NH ₂ CONH ₂	50 + 50	27	163	II
Triethyllolethane + urea	62.5 + 37.5	29.8	218	I
Ca(NO ₃) ₂ ·4H ₂ O + Mg(NO ₃) ₂ ·6H ₂ O	47 + 53	30	136	-
CH ₃ COONa·3H ₂ O + NH ₂ CONH ₂	40 + 60	30	200.5	I
NH ₂ CONH ₂ + NH ₄ NO ₃	53 + 47	46	95	II
Mg(NO ₃) ₂ ·6H ₂ O + NH ₄ NO ₃	61.5 + 38.5	52	125.5	I
Mg(NO ₃) ₂ ·6H ₂ O + MgCl ₂ ·6H ₂ O	58.7 + 41.3	59	132.2	I
Mg(NO ₃) ₂ ·6H ₂ O + MgCl ₂ ·6H ₂ O	50 + 50	59.1	144	-
Mg(NO ₃) ₂ ·6H ₂ O + Al(NO ₃) ₂ ·9H ₂ O	53 + 47	61	148	-
CH ₃ CONH ₂ + C ₁₇ H ₃₅ COOH	50 + 50	65	218	-
Mg(NO ₃) ₂ ·6H ₂ O + MgBr ₂ ·6H ₂ O	59 + 41	66	168	I
Naphtulene + benzoic acid	67.1 + 32.9	67	123.4	-
NH ₂ CONH ₂ + NH ₄ Br	66.6 + 33.4	76	151	II
LiNO ₃ + NH ₄ NO ₃ + NaNO ₃	25 + 65 + 10	80.5	113	-
LiNO ₃ + NH ₄ NO ₃ + KNO ₃	26.4 + 58.7 + 14.9	81.5	116	-
LiNO ₃ + NH ₄ NO ₃ + NH ₄ Cl	27 + 68 + 5	81.6	108	-

Πίνακας 2.7: Θερμικές Ιδιότητες των εύτηκτων μιγμάτων

Ομάδα I: πιο υποσχόμενα, Ομάδα II: υποσχόμενα, Ομάδα III: λιγότερο υποσχόμενα, -: ανεπαρκή στοιχεία

Στον Πίνακα 8 που ακολουθεί, συνοψίζονται τα κυριότερα μειονεκτήματα και πλεονεκτήματα των υλικών αλλαγής φάσης για συγκριτική ανάλυση μεταξύ των οργανικών υλικών και των ανόργανων υλικών αλλαγής φάσης.

Οργανικά υλικά	Ανόργανα Υλικά
Πλεονεκτήματα	
Μη διαβρωτικά	Μεγαλύτερη Ενθαλπία – μεγαλύτερη αποθηκευτική ικανότητα – υψηλότερη θερμική αγωγιμότητα
Ελάχιστη ή καθόλου υπόψυξη	
Χημική και θερμική σταθερότητα	
Χαμηλό κόστος	
Μειονεκτήματα	
Χαμηλότερη Ενθαλπία – αποθηκευτική ικανότητα	Εμφάνιση υπόψυξης
Χαμηλή θερμική αγωγιμότητα	Διαχωρισμός φάσεων
Αναφλεξιμότητα	Έλλειψη θερμικής σταθερότητας
	Υψηλότερο κόστος

Πίνακας 2.8: Συγκεντρωτικός πίνακας μειονεκτημάτων και πλεονεκτημάτων των PCM

2.3.2.1.3 Συστήματα Αποθήκευσης με PCM

Μία εγκατάσταση αποθήκευσης με υλικά αλλαγής φάσης αποτελείται από το σύστημα που περιέχει το PCM και από το μέσο μεταφοράς της θερμότητας. Στην περίπτωση που το ίδιο το υλικό δεν αποτελεί δομικό στοιχείου του κτιρίου τότε απαιτείται χρήση εναλλάκτη θερμότητας.

Τα συστήματα αποθήκευσης με υλικά αλλαγής φάσης για κτιριακές εφαρμογές είναι:

- Αποθήκευση σε δεξαμενές με εναλλάκτες θερμότητας
- Τοποθέτηση σε μακροκάψουλες
- Τοποθέτηση σε μικροκάψουλες
- Τοποθέτηση σε τοιχοποιία

Η επιλογή του καταλληλότερου συστήματος εξαρτάται από την εκάστοτε εφαρμογή, την ύπαρξη κατάλληλου PCM, τη μέθοδο και τις απαιτήσεις για μεταφορά θερμότητας, το κόστος και άλλους παράγοντες.

Η πιο σημαντική ιδιότητα είναι η συμβατότητα του υλικού κατασκευής με το PCM. Ως υλικά κατασκευής για τα συστήματα που περιέχουν PCM χρησιμοποιούνται μέταλλα, πλαστικά, και λιγότερο συχνά το τσιμέντο ή το γυαλί.

Σε γενικές γραμμές τα ένυδρα άλατα είναι συμβατά με τα πλαστικά ενώ τα οργανικά υλικά με τα μέταλλα. Εκτός από τις παραπάνω ιδιότητες είναι απαραίτητο το σύστημα να αντέχει στις συνήθειες για όλα τα δοχεία τάσεις κατά την αποστολή, τη μεταφορά, το χειρισμό ή τις επιδράσεις του περιβάλλοντος. Σημαντική δυσκολία των συστημάτων που περιέχουν PCM δεν είναι ο τύπος της τάσης αλλά η διάρκειά της γιατί τα PCM πρέπει να παραμένουν στα δοχεία για όλη τη διάρκεια ζωής του συστήματος.

Αποθήκευση σε δεξαμενές

Αυτή η μέθοδος επιλέγεται συνήθως όταν το μέσο μεταφοράς θερμότητας είναι υγρό.

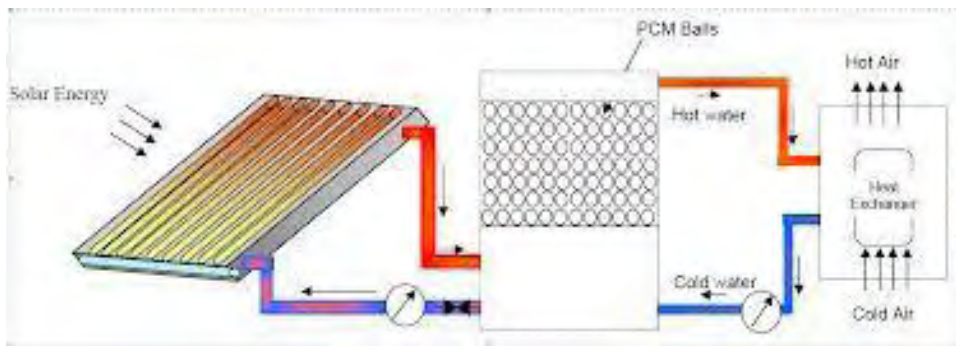
Στο σύστημα αυτό το PCM περιέχεται σε μία δεξαμενή της οποίας ο ρόλος είναι να συγκρατεί και να προστατεύει το PCM ενώ υπάρχει και μία επιφάνεια η οποία διαχωρίζει το μέσο μεταφοράς θερμότητας και το PCM διαμέσου της οποίας γίνεται η συναλλαγή θερμότητας.

Το κλειδί για τις δεξαμενές είναι η ανάγκη για πιο μεγάλη επιφάνεια συναλλαγής ή για βελτίωση των ιδιοτήτων μεταφοράς θερμότητας γιατί κατά τη διεργασία τήξης-πήξης η επιφάνεια εναλλαγής θερμότητας τείνει να καλυφθεί με ένα στρώμα στερεοποιημένου PCM του οποίου το πάχος μεγαλώνει καθώς ο βρασμός εκφόρτισης αυξάνει. Το στερεό αυτό στρώμα συνεχώς μειώνει το ρυθμό μεταφοράς θερμότητας. Επίσης, ενώ τα PCM λόγω της μεγαλύτερης θερμοχωρητικότητάς τους απαιτούν μικρότερο όγκο συστήματος για την αποθήκευση ενός συγκεκριμένου ποσού θερμότητας, ο ρυθμός μεταφοράς θερμότητας, ο οποίος είναι ο ίδιος με τα άλλα συστήματα αποθήκευσης θερμότητας, επιβάλλει την ύπαρξη μίας μεγάλης επιφάνειας εναλλαγής.

Για την φόρτιση και την εκφόρτιση ενός τέτοιου συστήματος απαιτείται ένας κατάλληλος εναλλάκτης θερμότητας με μεγάλη επιφάνεια συναλλαγής. Ο εναλλάκτης θα πρέπει να εξασφαλίζει έναν υψηλό ρυθμό μεταφοράς θερμότητας έτσι ώστε να είναι δυνατή η ραγδαία φόρτιση και εκφόρτιση του συστήματος. Λόγω της μικρής αγωγιμότητας των PCM αυτό μπορεί να επιτευχθεί με την ενσωμάτωση μεταλλικών ελασμάτων, με φυσική ή εξαναγκασμένη κυκλοφορία του PCM ή ακόμη και με την προσθήκη πτερυγίων στους σωλήνες του εναλλάκτη. Ακόμα, ο εναλλάκτης πρέπει να επιτρέπει μόνο μικρές αλλαγές θερμοκρασίας για τη φόρτιση και την εκφόρτιση και να

εξασφαλίζει υψηλή θερμική διαχυτότητα.

Οι εναλλάκτες σε αυτά τα συστήματα χωρίζονται σε δύο τύπους, τους παθητικούς και τους ενεργητικούς. Οι παθητικοί δεν διαθέτουν κινούμενα μέρη και περιλαμβάνουν σωλήνες μικρής διατομής μέσα στους οποίους βρίσκεται το PCM. Ενδέχεται να έχουν μικρά πτερύγια για αύξηση της επιφάνειας συναλλαγής θερμότητας. Οι ενεργητικοί εναλλάκτες περιλαμβάνουν συστήματα για ανάδευση του υλικού αλλαγής φάσης για την παρεμπόδιση του διαχωρισμού φάσεων και την καλύτερη εναλλαγή θερμότητας.



Εικόνα 2.11: Σχηματική απεικόνιση συστήματος θέρμανσης με χρήση δεξαμενής θερμικής αποθήκευσης με PCM

Τα συστήματα αυτά βρίσκουν εφαρμογή σε:

- σε εγκαταστάσεις αντλιών θερμότητας με κλειστή κυκλοφορία νερού για θέρμανση και ψύξη κτιρίων
- για άλλες οικιακές χρήσεις, όπως το μαγείρεμα
- σε βιομηχανικά συστήματα ανάκτησης θερμότητας
- σε συστήματα αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας σε εκτός αιχμής περιόδους
- σε μονάδες λήψης ηλιακής ακτινοβολίας για διαστημικές εφαρμογές

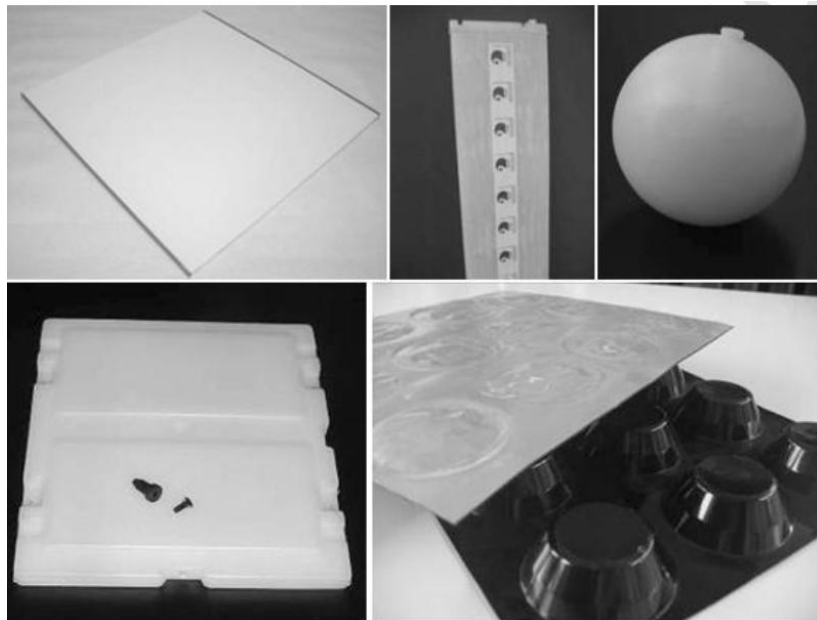
Για τη θέρμανση και την ψύξη των κτιρίων που το μέσο μεταφοράς είναι αέρας είναι καλύτερο τα PCM να περιέχονται σε μακρό ή μικροκάψουλες. Στη συνέχεια περιγράφονται αυτά τα συστήματα συσκευασίας των υλικών.

Τοποθέτηση σε μακροκάψουλες και μικροκάψουλες

Η χρήση των ΥΑΦ τις περισσότερες φορές απαιτεί την προστασία του υλικού σε κάποιο από τα είδη διαθέσιμης συσκευασίας (τοποθέτηση σε κάψουλες ή σακούλες, ενσωμάτωση στο πορώδες υλικό άλλων υλικών, εναλλάκτες θερμότητας ενισχυμένοι με ΥΑΦ) ώστε να προφυλαχθεί το υλικό από την επίδραση των συνθηκών του περιβάλλοντος ή και να διευκολύνει τη μετάδοση της αποθηκευμένης λανθάνουσας θερμότητας.

Τα κύρια πλεονεκτήματα της ενσωμάτωσης των ΥΑΦ σε μακροκάψουλες ή μικροκάψουλες (σφαιρίδια διαμέτρου μικρότερης του 1mm) είναι ότι εξασφαλίζεται μεγάλη επιφάνεια συναλλαγής θερμότητας, ελαχιστοποιείται η αλληλεπίδραση του περιβάλλοντος με το ίδιο το ΥΑΦ, και η αλληλεπίδραση του ΥΑΦ με το υλικό του δοχείου, αφού γίνεται εκτεταμένος έλεγχος μεταβολής όγκου κατά την αλλαγή φάσης. Το υλικό που συνήθως χρησιμοποιείται για την αποθήκευση των ΥΑΦ σε προστατευτικό κέλυφος είναι πλαστικό ή συνθετικές ρητίνες. Η τοποθέτηση σε μακροκάψουλες, επιφέρει την επιθυμητή μεγάλη επιφάνεια συναλλαγής που βελτιώνει

τις συνθήκες μεταφοράς θερμότητας. Επίσης, οι μακροκάψουλες βελτιώνουν τη θερμική συμπεριφορά του συστήματος με τα ΥΑΦ, καθώς εμποδίζει την ανάπτυξη του στέρεου τοιχώματος στην εσωτερική επιφάνεια μεταφοράς, φαινόμενο το οποίο είναι υπεύθυνο για την ανεπιθύμητη μείωση του συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας.



Εικόνα 2.12: Υλικά αλλαγής φάσης σε συσκευασίες μακροκάψουλών (μακροενθλάκωση)

Τα ΥΑΦ που χρησιμοποιούνται ενσωματωμένα σε μακροκάψουλες, πρέπει να είναι συμβατά με το υλικό της κάψουλας, το οποίο μπορεί να είναι πλαστικό για χαμηλές θερμοκρασίες και μέταλλο ή ειδική μεμβράνη για υψηλές θερμοκρασίες. Η παρουσία του υλικού της μακροκάψουλας μέσα στο χώρο αποθήκευσης θερμότητας, δεν μειώνει πρακτικά την πυκνότητα της αποθηκευμένης ενέργειας, καθώς έχουμε μικρή αναλογία ποσότητας υλικού κάψουλας ανά μάζα ΥΑΦ.

Η τοποθέτηση σε μικροκάψουλες, επιφέρει την επιθυμητή προστασία του ΥΑΦ από τις περιβαλλοντικές δυσμενείς για το ΥΑΦ συνθήκες (π.χ. υγρασία). Η μεγάλη όμως αναλογία μάζας υλικού κάψουλας προς τη μάζα του ΥΑΦ, μειώνει σημαντικά την πυκνότητα της αποθηκευμένης ενέργειας, γεγονός που αποτελεί μειονέκτημα κατά τη χρήση σε μικροκάψουλες, σε συνδυασμό με το αυξημένο κόστος της εφαρμογής. Η χρήση σε μικροκάψουλες σε εφαρμογές των ΥΑΦ, χρησιμοποιείται μόνο όταν οι μικροκάψουλες αποτελέσουν αναγκαία παράμετρο για την ασφαλή λειτουργία του συστήματος.

Στην περίπτωση των οργανικών ΥΑΦ, θέλουμε κυρίως να επιτύχουμε την αύξηση του συντελεστή αγωγιμότητας καθώς βρίσκεται στην περιοχή του $0,2 \text{ W/mK}$. Στην περίπτωση των ανόργανων ΥΑΦ, το ενδιαφέρον της συσκευασίας στρέφεται στην προστασία των υλικών που συνεργάζονται με το ΥΑΦ, καθώς αν έρθουν σε επαφή τα υλικά αυτά θα διαβρωθούν και θα αλληλεπιδράσουν αρνητικά για τη συνολική εγκατάσταση.

Για να επιτύχουμε αύξηση του συντελεστή αγωγιμότητας, ενσωματώνουμε τα ΥΑΦ σε μακροκάψουλες ή μικροκάψουλες (συνήθως από πλαστικό ή ρητίνες) για να εξασφαλίσουμε μεγάλη επιφάνεια συναλλαγής θερμότητας. Ένα ακόμα πλεονέκτημα

της τοποθέτησης των ΥΑΦ σε κάψουλες, είναι η ελαχιστοποίηση της αλληλεπίδρασης του περιβάλλοντος αλλά και των υλικών των δοχείων αποθήκευσης. Το μεγάλο πλεονέκτημα της συσκευασίας σε μακροκάψουλες, είναι ο πλήρης έλεγχος της αλλαγής όγκου κατά την αλλαγή φάσης. Επίσης, θα πρέπει για να έχουμε επιτυχή ενσωμάτωση να έχουμε περιορισμένη έως και μηδενική «μετανάστευση» του ΥΑΦ από το πορώδες του υλικού, όταν το ΥΑΦ βρίσκεται στην υγρή κατάσταση. Η χρήση σφαιριδίων ενισχυμένων με ΥΑΦ, είναι ευρέως διαδεδομένη, καθώς αποφεύγεται ο σχηματισμός κοιλοτήτων εντός του υλικού ή ακόμα και η μερική αποκόλληση το υλικού από την επιφάνεια συναλλαγής κατά την αλλαγή φάσης (αύξηση ή μείωση του όγκου περίπου στο 10%), γεγονός που θα έριχνε σημαντικά την τιμή του συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας.

Η ενσωμάτωση του υλικού στο πορώδες άλλου υλικού αποτελεί τη βάση του σύνθετου τελικού προϊόντος. Σε αυτήν την περίπτωση σημαντικό κριτήριο για την επιτυχημένη ενσωμάτωση είναι η μη αλληλεπίδραση του ΥΑΦ με το υλικό και η περιορισμένη έως μηδενική απώλειά του από το πορώδες όταν το ΥΑΦ βρίσκεται στην υγρή φάση.

Τοποθέτηση σε τοιχοποιία

Το θερμικό κέλυφος των κτιρίων μέσω της θερμοχωρητικότητάς του μειώνει το εύρος των θερμοκρασιακών μεταβολών μέσα στο εσωτερικό των κτιρίων. Οι μεταβολές αυτές προκαλούνται είτε από τις αλλαγές της θερμοκρασίας στο εξωτερικό περιβάλλον, είτε από την ασυνεχή λειτουργία των συστημάτων ψύξης-θέρμανσης. Κτίρια με μεγάλες εξωτερικές επιφάνειες από γυαλί, όπως σύγχρονα κτίρια γραφείων ή κτίρια με παθητικά συστήματα θέρμανσης, συχνά παρουσιάζουν προβλήματα θερμικής άνεσης κατά τη διάρκεια της χειμερινής περιόδου, όταν η ηλιακή ακτινοβολία χρησιμοποιείται για την κάλυψη των αναγκών σε θέρμανση αλλά και για φυσικό φωτισμό. αλλά και σε κτίρια ελαφριάς κατασκευής, κατά την άνοιξη και το καλοκαίρι, όπου τα ηλιακά θερμικά κέρδη είναι πολύ μεγαλύτερα από τις ανάγκες σε θέρμανση και η τοιχοποιία αρκετά ελαφριά για να απορροφήσει αυτήν την πλεονάζουσα ηλιακή θερμική ενέργεια.

Επομένως, η χρήση των PCM σε δομικά ή σαν δομικά στοιχεία αυτών των κτιρίων, καθίσταται αποτελεσματική, αφού οδηγεί στην αύξηση της ικανότητας αποθήκευσης της θερμικής ενέργειας από το κτιριακό κέλυφος, χωρίς τις μεγάλες μεταβολές θερμοκρασίας και της μεγάλης δομικής μάζας που απαιτεί η θερμική αποθήκευση μέσω της αισθητής θερμότητας.

Τα PCM μπορούν να τοποθετηθούν:

- με τη μορφή ενός συμπαγούς στρώματος, είτε ενιαίου, είτε με τη μορφή μιας μήτρας από μικροκάψουλες, πάνω σε μια υπάρχουσα τοιχοποιία του κτιρίου
- σε γύψινα πλαίσια, που έχουν εμποτιστεί με κάποιο PCM (σε αναλογία κατά μάζα περίπου 25%) και αυτά θα επικαλύψουν την τοιχοποιία
- σε πλαίσια από γύψο, τα οποία περιλαμβάνουν στο εσωτερικό τους σωλήνες που περιέχουν το PCM
- σε γυάλινα πλαίσια, διαμπερή και από τις δύο πλευρές, για την αντικατάσταση παραθύρων από γυαλί, οπότε χρησιμοποιούνται και για να παρέχουν φωτισμό
- με τη μορφή στρώματος, για την αντικατάσταση του θερμομονωτή σε συστήματα ενδοδαπέδιας θέρμανσης.
- με τη μορφή στρώματος μόνωσης, ανάμεσα σε δύο επιφάνειες εξωτερικού και εσωτερικού τοίχου (στον όρο τοιχοποιία συμπεριλαμβάνονται και οι οροφές των

κτιρίων)

Όλα τα πιθανά συστήματα αποθήκευσης λανθάνουσας θερμότητας με χρήση PCM ουσιαστικά παρέχουν στα κτίρια ένα καλό θερμοκρασιακό έλεγχο και μια ρύθμιση της θερμικής άνεσης στο εσωτερικό του κτιρίου. Μπορούν να εφαρμοστούν ως παθητικά συστήματα θέρμανσης, παθητικά συστήματα ψύξης αλλά έχουν εφαρμογή και στα ενεργητικά συστήματα ψύξης και θέρμανσης όπως σε εφαρμογές ενδοδαπέδιας θέρμανσης και σε συστήματα ψύξης οροφής. Η αποτελεσματικότητα των συστημάτων αυτών σχετίζεται με τον κατάλληλο σχεδιασμό, την σωστή επιλογή του υλικού και την άριστη γνώση της συμπεριφοράς του κτιρίου και της κλιματικής ζώνης στην οποία ανήκει.

Σε ότι αφορά το κόστος των εμπορικών PCM, αυτό κυμαίνεται μεταξύ 0.5-10 €/kg και αυτό το μεγάλο εύρος τιμής επηρεάζει την εφαρμογή σε σχέση με την οικονομική της βιωσιμότητα. Οι τιμές των ενυδρών αλάτων είναι συνήθως χαμηλές, περίπου 1-3€/kg εκτός αν αγοραστούν σε καθαρή μορφή. Με μια εκτίμηση, η ενεργειακή τιμή τους είναι περίπου στο 0.5 €/kWh. Λαμβάνοντας μια μέση πυκνότητα αποθήκευσης των PCM 180kJ/kg, απαιτούνται περίπου 20 kg υλικού αλλαγής φάσης για να αποθηκεύσουν 3600 kJ ενέργειας, ποσό θερμότητας το οποίο αξίζει 0.€. Τα 30 kg υλικού κοστίζουν τουλάχιστον 10 € (0.5€/kg). Για να αποθηκευτεί θερμότητα αξίας ίσης με το κόστος της εγκατάστασης των PCM απαιτούνται 200 κύκλοι φόρτισης – εκφόρτισης (10€/0.5€) Το επιπλέον κόστος για τη συσκευασία του υλικού και του εναλλάκτη θερμότητας αλλά και το κόστος της αποθηκευμένης ενέργειας δεν έχουν ληφθεί υπόψη. Η εποχιακή αποθήκευση με PCM είναι συνεπώς ακόμη μη συμφέρουσα με τις παρούσες τιμές σε σχέση με τα ορυκτά καύσιμα. Για να μπορούν τα συστήματα αυτά να είναι ανταγωνιστικά, θα πρέπει να επιτυγχάνουν κύκλους φόρτισης ημερησίως και ίσως και σε πιο σύντομο χρονικό διάστημα.

2.3.2.2 Συστήματα Αποθήκευσης Πάγου

Ο πάγος αποτελεί μια κρυσταλλική στερεή μορφή του νερού διάφανη ή με ένα ιώδες χρώμα ανάλογα με την περιεκτικότητα του σε ακαθαρσίες και εγκλωβισμένο αέρα. Η συνήθης αλλαγή φάσης του νερού σε πάγο γίνεται στους 0°C σε κανονικές πιέσεις ατμόσφαιρας. Σαν φυσικά υπάρχον κρυσταλλικό στερεό, ο πάγος κατατάσσεται στις ανόργανες ουσίες.

Ένα ασύνηθες φαινόμενο που χαρακτηρίζει το νερό υπό μορφή πάγου σε πίεση μίας ατμόσφαιρας είναι ότι το στερεό είναι περίπου 8% λιγότερο πυκνό από την υγρή μορφή. Το νερό είναι η μόνη μη μεταλλική ουσία που διαστέλλεται όταν στερεοποιείται, έχει πυκνότητα 0.917 g/cm³ στους 0 °C, τη στιγμή που το νερό έχει πυκνότητα 0.9998 g/cm³ στην ίδια θερμοκρασία. Η υγρή μορφή φτάνει το μέγιστο της πυκνότητάς της, το 1.00 g/cm³, στους 4°C και διαστέλλεται, καθώς τα μόρια του υγρού συγκεντρώνονται για να δημιουργήσουν την εξαγωνική μορφή των κρυστάλλων του πάγου, καθώς η θερμοκρασία πέφτει στους 0 °C. Η πυκνότητα του πάγου αυξάνει λίγο σε πολύ χαμηλές θερμοκρασίες (στους -180 °C είναι 0.9340 g/cm³).

Όταν το νερό παγώνει απορροφά τόση ενέργεια όση θα απορροφούσε για να θερμανθεί στους 80 °C από τους 0 °C. Είναι επίσης θεωρητικά δυνατόν να υπερθερμανθεί το νερό σε θερμοκρασίες μεγαλύτερες από το σημείο βρασμού, χωρίς να έχουμε τη μετάβαση στην αέρια φάση. Έρευνες όπου ακτίνες λέιζερ ενεργούσαν πάνω σε κομμάτι πάγου, απέδειξαν ότι ο πάγος μπορεί να θερμανθεί έως και σε θερμοκρασία δωματίου για πολύ

σύντομη περίοδο (250 ps) χωρίς να λιώσει. Επίσης είναι πιθανό ο πυρήνας ενός κρυστάλλου πάγου να έχει σημείο τήξεως πάνω από τους 0 °C και το κανονικό σημείο των 0 °C να είναι απλά ένα επιφανειακό φαινόμενο.

Η αποθήκευση θερμότητας με τη βοήθεια πάγου, είναι σήμερα ένας τεχνητός και βιομηχανικός τρόπος αποθήκευσης ψυκτικής ισχύος σε μορφή πάγου στο σημείο τήξης του νερού. Για την παραγωγή αυτής της ενέργειας τα ψυκτικά μηχανήματα πρέπει να λειτουργούν σε χαμηλότερες θερμοκρασίες από τις συνήθειες, ώστε να είναι διαθέσιμο ψυκτικό υγρό στους -6 έως -3°C, ανάλογα με τη διάρκεια του κύκλου.

Στην αποθήκευση θερμότητας με πάγο γίνεται αξιοποίηση της λανθάνουσας θερμότητας του νερού. Οι ψυκτικές εγκαταστάσεις που λαμβάνουν μέρος στη διαδικασία είναι υποχρεωτικό να λειτουργούν σε θερμοκρασίες κατά πολύ χαμηλότερες από αυτές που λαμβάνουν χώρα σε μία εφαρμογή κλιματισμού. Ανάλογα με την τεχνολογία της μονάδας, μπορεί να χρησιμοποιούνται είτε ειδικά μηχανήματα παραγωγής πάγου ή συνηθισμένοι ψύκτες διαμορφωμένοι κατάλληλα για χαμηλές θερμοκρασίες.

Τα βασικά πλεονεκτήματα αυτής της μεθόδου παραγωγής ψύξης είναι η ελάττωση του ηλεκτρικού φορτίου αιχμής που απαιτείται και/ή ελάττωση της χωρητικότητας του απαραίτητου εγκατεστημένου ψύκτη. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με συνδυασμό αποθήκευσης και κρύου νερού και πάγου. Κανονικά τα συστήματα αποθήκευσης πάγου έχουν αρχικό κόστος κατά 15-20% ακριβότερο από τα συστήματα αποθήκευσης κρύου νερού. Παρόλα αυτά ενώ το σύστημα πάγου απαιτεί 4-6 φορές μικρότερο όγκο αποθήκευσης, σε σχέση με το αντίστοιχο σύστημα νερού και μπορεί να αποδειχτεί ιδανική λύση για εφαρμογές όπου οι περιορισμοί του χώρου είναι ιδιαίτερος αυστηροί. Τα συστήματα αποθήκευσης πάγου μπορούν επίσης να εμφανίσουν πλεονεκτήματα όταν η διαφορά στην τιμή της ηλεκτρικής μονάδας μεταξύ ημέρας και νύχτας είναι σημαντική και συνεπώς να υπάρχει ένα επιπλέον κριτήριο για να αναλάβει το σύστημα πάγου μεγαλύτερο κομμάτι της ψυκτικής παραγωγής στο ενδιάμεσο περιόδων αιχμής και μη-αιχμής.

Κυρίως λόγω της μεγαλύτερης ψυκτικής ικανότητας ανά μονάδα επιφανείας σε σχέση με τα συστήματα αποθήκευσης ψυχρού νερού, τα συστήματα πάγου μπορούν να προτιμηθούν παρόλο το βάρος της αρχικής επένδυσης.

Πίνακας 9: Θερμικές ιδιότητες του πάγου

Πυκνότητα Θερμική

αγωγιμότητα

Ειδική θερμότητα Λανθάνουσα

θερμότητα

910 (kg/m³) 2,25 (W/mK) 2,108 (kJ/kgK) 335 (kJ/kg)

2.3.2.2.1 Συστήματα Αποθήκευσης Πάγου

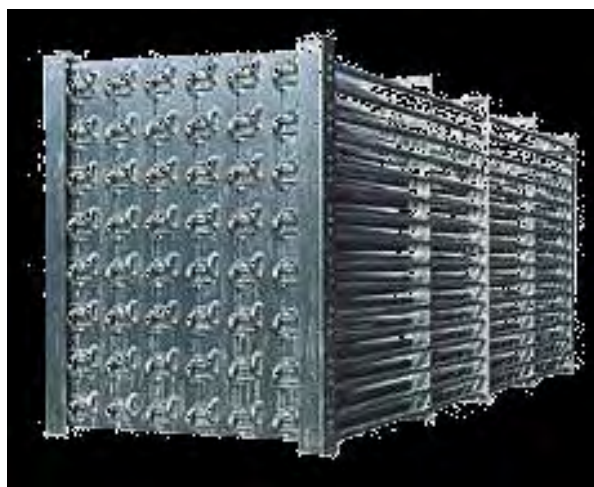
Υπάρχουν διάφορες τεχνολογίες συστημάτων αποθήκευσης πάγου, μερικές από τις οποίες παρουσιάζονται παρακάτω [23,24]:

- Σύστημα Τήξης σε σερπαντίνα (Ice-on-coil)
- Σύστημα Θρυμματοποίησης πάγου (Ice slurry)
- Πάγος σε μικροκάψουλες (Encapsulated ice)
- Παγοπολτός – Διφασικό μίγμα

2.3.2.2.1.1 Σύστημα Τήξης σε σερπαντίνα

Υπάρχουν δύο βασικές εφαρμογές της τεχνολογίας αυτής, η εξωτερική ή επιφανειακή και η εσωτερική τήξη. Και οι δύο εναλλακτικές χρησιμοποιούν την τεχνική κατά την οποία ο πάγος σχηματίζεται στην εξωτερική επιφάνεια σωλήνων ή σερπαντίνων, οι οποίες είναι βυθισμένες σε δεξαμενή νερού. Κατά την περίοδο φόρτισης το ψυκτικό μέσο (τυπικό για αυτές τις εφαρμογές: 25% προπυλογλυκόλη και 75% νερό) περνάει μέσα από τους σωλήνες και δημιουργεί στην εξωτερική τους επιφάνεια ένα στρώμα πάγου.

Για την εφαρμογή εξωτερικής τήξης το σύστημα αποθήκευσης πάγου χρειάζεται ψύκτη ικανό να παράγει θερμοκρασίες φόρτισης από -7 έως -3οC για το σχηματισμό 40 mm πάγου. Για σύστημα σχηματισμού 65 mm πάγου, οι αντίστοιχες θερμοκρασίες θα πρέπει να είναι -12 έως -9οC. Το σύστημα χρησιμοποιεί συνήθεις ψύκτες, οι οποίοι εμφανίζουν θερμοκρασίες φόρτισης από -6 ως -3οC.



Εικόνα 2.13: Απεικόνιση των σερπαντίνων (coils) στα συστήματα αποθήκευσης ice – on coil

Εξωτερική τήξη

Κατά την αποφόρτιση του συστήματος εξωτερικής τήξης το ζεστό νερό που επιστρέφει από το σύστημα επανακυκλοφορεί στη δεξαμενή, αυξάνοντας τη μέση θερμοκρασία του νερού με αποτέλεσμα να λιώσει ο πάγος από έξω προς τα μέσα, και ως άμεση συνέπεια, το νερό ψύχεται και πάλι. Αέρας οδηγείται μέσα στη δεξαμενή και απελευθερώνεται μέσα σε αυτήν κατά την εκκίνηση του κύκλου φόρτισης και κατά τη διάρκεια της αποφόρτισης, ώστε να ευνοηθεί η ομοιόμορφη δημιουργία του στρώματος πάγου και η εξομάλυνση των τοπικών διαφορών θερμοκρασίας στη δεξαμενή. Ο πάγος διαμορφώνεται γύρω από τους σωλήνες κατά τη φάση της θερμικής φόρτισης σε πάχος έως και 65 mm. Συστήματα ελέγχου χρησιμοποιούνται για να περιοριστεί το πάχος αυτού του στρώματος πάγου και να αποφευχθεί το φαινόμενο της "γεφύρωσης" του στρώματος μεταξύ δύο διαδοχικών σωλήνων, γεγονός το οποίο εμποδίζει την ελεύθερη κυκλοφορία του νερού στη δεξαμενή και ελαττώνει το βαθμό απόδοσης, καθώς η θερμοκρασία εξόδου του νερού είναι υψηλότερη λόγω της μικρότερης επιφάνειας συναλλαγής θερμότητας.

Οι δεξαμενές για τα συστήματα εξωτερικής τήξης είναι ανοιχτές άρα ατμοσφαιρικής πίεσης, πράγμα το οποίο απαιτεί κάποιο σύστημα ελέγχου και σταθεροποίησης της

στατικής πίεσης του συστήματος ώστε να αποφευχθεί το ενδεχόμενο υπερχειλίσης στην ανοιχτή δεξαμενή. Αυτός ο έλεγχος μπορεί να γίνει είτε με εναλλάκτες θερμότητας είτε βαλβίδες σταθερής πίεσης και αντλίες. Το σύστημα επεξεργασίας του νερού δεν χρειάζεται κάποια ιδιαίτερη μετατροπή. Μπορεί να χρειαστεί προστασία εναντίον της διάβρωσης σε εγκαταστάσεις εξωτερικής τήξης, όπου το νερό στη δεξαμενή αερίζεται, αφού η δεξαμενή είναι ανοιχτή. Και σε αυτή την περίπτωση όμως, αν χρησιμοποιηθούν εναλλάκτες θερμότητας για τη σταθεροποίηση της στατικής πίεσης, το σύστημα διανομής του νερού παραμένει κλειστό και έτσι δεν χρειάζεται κάποια επιπλέον φροντίδα. Το σύστημα αποθήκευσης μπορεί επίσης να συνδυαστεί με περισσότερες δεξαμενές. Πολλαπλές δεξαμενές στις περισσότερες εφαρμογές είναι συνδεδεμένες παράλληλα. Η εν σειρά σύνδεση των δεξαμενών χρησιμοποιείται μερικές φορές όταν απαιτείται μεγάλος ρυθμός αποφόρτισης από το σύστημα, όπου ζητούμενο είναι η παραμονή του νερού στη δεξαμενή για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα. Όμως, η ροή του νερού μεταξύ των εν σειρά συνδεδεμένων δεξαμενών γίνεται μόνο από την υψομετρική διαφορά στάθμης στις αντίστοιχες δεξαμενές. Μία σύνδεση με μεγάλη διατομή είναι απαραίτητη ώστε να ελαχιστοποιηθεί η πτώση πίεσης και η διαφορά στάθμης μεταξύ των δεξαμενών. Παρόλα αυτά η εν σειρά σύνδεση περισσότερων από δύο δεξαμενών γενικά δεν συνιστάται.

Συστήματα αποθήκευσης πάγου εξωτερικής τήξης είναι ιδανικά για εφαρμογές και συστήματα που απαιτούν καθαρό νερό χωρίς πρόσθετα στον ψυκτικό κύκλο ή απαιτούν παροχή νερού σε θερμοκρασία 1-2oC.

Χρησιμοποιούνται δύο διαφορετικές διατάξεις συστημάτων εξωτερικής τήξης :

- Συστήματα που χρησιμοποιούν το ψυκτικό μέσο κατευθείαν μέσα στις σωληνώσεις
- Συστήματα που δημιουργούν πάγο έμμεσα χρησιμοποιώντας ένα δευτερεύον ψυκτικό το οποίο ψύχεται από ένα ψύκτη

Το σύστημα άμεσης ψύξης δημιουργεί πάγο με τις σωληνώσεις να λειτουργούν σαν ατμοποιητής, άρα το ψυκτικό περνάει μέσα από τη μονάδα αποθήκευσης. Αυτή η εφαρμογή χρησιμοποιείται ευρύτατα στη βιομηχανία.

Το δευτερεύον ψυκτικό σύστημα είναι πολύ σύνηθες για εφαρμογές HVAC καθώς είναι περισσότερο εύκολο και απλούστερο σε σχεδιασμό, εγκατάσταση και συντήρηση και επίσης λόγω του μειωμένου όγκου του ψυκτικού μέσου. Το σύστημα άμεσης ψύξης είναι περισσότερο αποδοτικό καθώς υπάρχει συγκριτικά λιγότερη μεταφορά θερμότητας μεταξύ ψυκτικού και επιφάνειας σχηματισμού πάγου.

Η ελαχιστοποίηση του φαινομένου της γεφύρωσης των στρωμάτων πάγου καθώς και ο περιορισμός του πάχους αυτών κατά τη φάση της φόρτισης του συστήματος, είναι οι δύο βασικές έννοιες του συστήματος ελέγχου για εγκατάσταση αποθήκευσης με σωληνώσεις και εξωτερική τήξη. Για να μεγιστοποιηθεί την απόδοση και να ελαχιστοποιηθεί η κατανάλωση ενέργειας και τα κόστος γενικότερα, όλη η ποσότητα του σχηματιζόμενου πάγου πρέπει να λιώνει τουλάχιστον μία φορά την εβδομάδα. Σε περιπτώσεις όπου η εγκατάσταση λειτουργεί σε μερικό φορτίο, ο ψυκτικός κύκλος πρέπει να περιορίζεται, ώστε να αποθηκεύεται μόνο η απαραίτητη ενέργεια. Η πλήρης αποφόρτιση του συστήματος βοηθά επίσης ώστε να μην εμφανίζεται το φαινόμενο της «γεφύρωσης». Το σύστημα ελέγχου του πάχους του πάγου πρέπει να διαθέτει αισθητήρα πάχους, και να μπορεί να σταματά τη φόρτιση του συστήματος όταν επιτευχθεί το επιθυμητό πάχος. Υπάρχουν διάφοροι τρόποι τέτοιου ελέγχου, και ο πιο απλός από αυτούς βασίζεται στο γεγονός ότι ο πάγος έχει μεγαλύτερο όγκο από το

νερό, οπότε ένας αισθητήρας στάθμης του νερού στη δεξαμενή μπορεί να ελέγξει τον αποθηκευμένο πάγο. Μια άλλη μέθοδος αποτελείται από καθετήρα γεμάτο με υγρό που τοποθετείται σε συγκεκριμένη απόσταση από τους σωλήνες του συστήματος. Καθώς σχηματίζεται πάγος αγκαλιάζει τον καθετήρα προκαλώντας την πήξη του υγρού στο εσωτερικό του, τότε αυξάνεται η πίεση, η οποία μπορεί τελικά να μετρηθεί. Κάθε μονάδα παραγωγής πάγου πρέπει να έχει και ένα τέτοιο σύστημα ελέγχου του παραγόμενου πάγου.

Εσωτερική τήξη

Το σύστημα εσωτερικής τήξης αποφορτίζεται καθώς το ζεστό νερό που επιστρέφει περνά μέσα από τους σωλήνες και λιώνει τον πάγο από μέσα προς τα έξω. Πρώτα τήκεται ο πάγος στο όριο του σωλήνα δημιουργώντας ένα στρώμα νερού μεταξύ του σωλήνα και του πάγου. Καθώς η διαδικασία προχωρά, το στρώμα του νερού διογκώνεται εις βάρος του πάγου έως ότου φτάσουμε στην κατάσταση που ο πάγος φτάνει σε οριακό πάχος σπάει και τα κομμάτια ανακατεύονται με το νερό στη δεξαμενή αποθήκευσης.

Και εδώ υπάρχουν δύο συστήματα εσωτερικής τήξης όπου η αποθήκευση συνδέεται σε σειρά με τον ψύκτη με διάταξη είτε ανάντη είτε κατάντη. Για την ανάντη διάταξη ο ψύκτης προ-ψύχει το ζεστό νερό επιστροφής προτού αυτό εισέλθει στη δεξαμενή. Αποτέλεσμα είναι μια περισσότερο αποδοτική λειτουργία ψύξης λόγω της αυξημένης θερμοκρασίας λειτουργίας. Από την άλλη η χαμηλότερη θερμοκρασία εισόδου στη δεξαμενή ελαττώνει την αποθηκευτική ικανότητα. Στην κατάντη διάταξη το νερό επιστροφής εισέρχεται στον ψύκτη αφού έχει ψυχθεί στη δεξαμενή αποθήκευσης. Αυτή η διάταξη παρέχει μεγαλύτερη αποθηκευτική ικανότητα, καθώς επίσης εξασφαλίζει και μία σταθερή θερμοκρασία παροχής. Οστόσο, η απόδοση του ψύκτη είναι χαμηλότερη και ο ψύκτης λειτουργεί σε χαμηλότερη θερμοκρασία εισόδου.

Το πλέον συνηθισμένο υλικό το οποίο χρησιμοποιείται για τις σωληνώσεις στο σύστημα ice-on-coil με εσωτερική ψύξη είναι το πολυαιθυλένιο με χαμηλή θερμική αγωγιμότητα (0.31 W/m.K). Αναλύσεις συγκρίνουν το πολυαιθυλένιο με άλλα υλικά με διαφορετική αγωγιμότητα, υλικά με υψηλή αγωγιμότητα (372 W/m.K) όπως ο χαλκός καθώς και με χαμηλή αγωγιμότητα (1.73 W/m.K) όπως το νικέλιο, το μαγνήσιο, ή μίγμα τιτανίου καθώς και διάφορα πλαστικά υλικά. Το αποτέλεσμα της ανάλυσης έδειξε ότι τα μεταλλικά κράματα (πχ νικέλιο, μαγνήσιο, τιτάνιο) ή φορμαλδεΐδη πλαστικά (πχ ούριο-φορμαλδεΐδη, μελαμίνη, πλαστικά φαινόλης, πολυεστέρες), βελτιώνουν τη μεταφορά θερμότητας, ελαττώνοντας τους χρόνους φόρτισης και αποφόρτισης της δεξαμενής. Το κόστος όμως τέτοιων υλικών είναι σε γενικές γραμμές υψηλότερο από το πολυαιθυλένιο. Σκοπός της εξέλιξης είναι η δημιουργία μεταλλικών κραμάτων φτηνών και καταλλήλων για τη διαμόρφωση τέτοιων σωληνών.

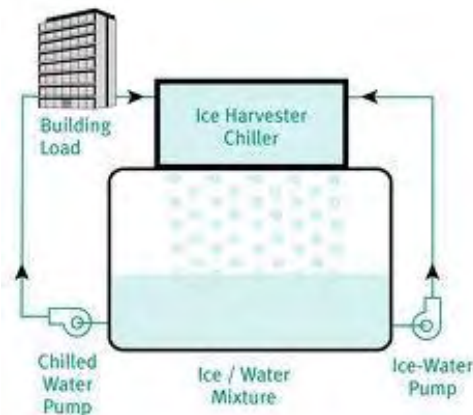
Στις εφαρμογές αποθήκευσης θερμικής ενέργειας ο ψυκτικός κύκλος της εγκατάστασης μπορεί να συνδεθεί κατευθείαν με τον ψυκτικό κύκλο ενός κτιρίου, ή να είναι συνδεδεμένοι μέσω ενός εναλλάκτη θερμότητας. Σε συστήματα ψύξης κατοικιών προτιμάται η μέθοδος του εναλλάκτη. Παρόλα αυτά σαν σύστημα εσωτερικής τήξης χρησιμοποιεί ένα διάλυμα γλυκόλης στους σωλήνες και είναι κατάλληλο σε συστήματα που χρησιμοποιούν γλυκόλη στον ψυκτικό κύκλο του κτιρίου και μπορούν να είναι περισσότερο αποδοτικά από τα συστήματα εξωτερικής τήξης. Είναι περισσότερο αποδοτικό να υπάρχουν περισσότερες μικρές δεξαμενές συνδεδεμένες, από το να

υπάρχει μία μεγάλη δεξαμενή εξ αιτίας των πολλών σε αριθμό και μεγάλων σε μήκος σωλήνων που είναι απαραίτητες σε μία μεγάλη δεξαμενή. Το μεγάλο μήκος των σωλήνων είναι επιζήμιο στη θερμική απόδοση αφού η κλίση της θερμοκρασίας μεταξύ του δευτερεύοντος ψυκτικού και της διεπιφάνειας νερού/πάγου, ελαττώνεται όσο αυξάνει το μήκος του σωλήνα. Αύξηση του αριθμού των σωλήνων προκαλεί μείωση της αντίστοιχης παροχής με αποτέλεσμα την μειωμένη μεταφορά θερμότητας του δευτερεύοντος υγρού. Από την άλλη με μικρότερες δεξαμενές οι χρόνοι φόρτισης και αποφόρτισης ελαττώνονται. Η δεξαμενή του συστήματος εσωτερικής ψύξης έχει μικρό κόστος συντήρησης λόγω έλλειψης εσωτερικών κινούμενων εξαρτημάτων. Πέρα απ' αυτό, ο τρόπος σύνδεσης του συστήματος παρέχει τη δυνατότητα να προστεθεί εύκολα δεξαμενή σε παράλληλη με μικρό κόστος εγκατάστασης.

Η εξωτερική τήξη παρέχει σταθερή θερμοκρασία αποφόρτισης περίπου στον $+1^{\circ}\text{C}$, κάτι που είναι αποτέλεσμα των φυσαλίδων αέρα που οδηγείται στη δεξαμενή για να προωθήσει την ομοιόμορφη δημιουργία και τήξη του πάγου, ομοιομορφία η οποία βελτιώνει τη μεταφορά θερμότητας. Για την εσωτερική τήξη ο πάγος γύρω από το σωλήνα λιώνει δίνοντας τη θέση του σε ένα υδάτινο δαχτυλίδι, μεταξύ του σωλήνα και του πάγου το οποίο συνεχώς μεγαλώνει. Καθώς το νερό απομονώνει τους σωλήνες, πράγμα το οποίο αυξάνει την αντίσταση στη μεταφορά θερμότητας, η θερμοκρασία της γλυκόλης αυξάνει με το χρόνο.

2.3.2.2.1.2 Σύστημα Θρυματοποίησης πάγου

Το σύστημα θρυματοποίησης (sheet ice harvester) πάγου φτιάχνει πάγο πάνω σε μία μεγάλη επίπεδη επιφάνεια ενός εξατμιστή ή στο εσωτερικό ή εξωτερικό ενός κυλινδρικού εξατμιστή, ο οποίος και στις δύο περιπτώσεις βρίσκεται πάνω από μία δεξαμενή νερού/πάγου. Ο πάγος δημιουργείται από την επανακυκλοφορία νερού 0°C από τη δεξαμενή αποθήκευσης στην κορυφή των επιπέδων επιφανειών του εξατμιστή, όπου κυλά ελεύθερο σχηματίζοντας ένα λεπτό φιλμ πάνω στις επιφάνειες αυτές. Τα κομμάτια πάγου που δημιουργούνται από αυτή τη διαδικασία απελευθερώνονται, συνήθως με την κυκλοφορία ζεστού ψυκτικού αερίου στον εξατμιστή, και πέφτουν μέσα στη δεξαμενή όπου και ανακατεύεται με το ψυχρό νερό. Άλλοι τύποι συσκευών χρησιμοποιούν μηχανικές μεθόδους απελευθέρωσης του πάγου. Ο πάγος απελευθερώνεται περιοδικά όταν το πάχος του φιλμ φτάσει τα 6-10 mm. Μία αντλία επανακυκλοφορίας χρησιμοποιείται για να παρέχει ελάχιστη ροή για τη βροχή του παγοποιητή.



Σχήμα 2.14: Απεικόνιση του συστήματος αποθήκευσης θρυματοποίησης πάγου

Η επίδοση του συστήματος κατά τη φόρτισή του παραμένει σταθερή ανεξαρτήτως ποσότητας πάγου στη δεξαμενή, χαρακτηριστικό που δεν συναντάται σε άλλες εφαρμογές αποθήκευσης πάγου. Ο κύκλος φόρτισης διαρκεί από 10 έως 30 min. Ο χρόνος αποφόρτισης εξαρτάται από το σύστημα ελέγχου, την εγκατάσταση του ατμοποιητή και τις συνθήκες κάτω από τις οποίες αυτή λαμβάνει χώρα και κυμαίνεται από 20 έως 90 sec. Ο αποθηκευμένος πάγος μπορεί να λειώσει πού γρήγορα, αν είναι κατάλληλα βρεγμένος. Ο πάγος που παράγεται από 24ωρη φόρτιση της εγκατάστασης μπορεί να λειώσει σε λιγότερο από 3 λεπτά αν υπάρχει άμεση ανάγκη ψυκτικού φορτίου. Οι θερμοκρασίες αποφόρτισης από μία καλά σχεδιασμένη δεξαμενή αποθήκευσης παραμένουν περίπου μεταξύ 1 και 2°C έως ότου το 80-90% του δημιουργημένου πάγου έχει αφαιρεθεί. Σε αυτό το σημείο η επιφάνεια επαφής μεταξύ πάγου και του νερού στη δεξαμενή έχει ελαττωθεί αρκετά, οπότε η θερμοκρασία αυξάνεται. Το σύστημα θρυμματοποίησης πάγου μπορεί να λειτουργήσει σαν παραγωγός πάγου και σαν ψύκτης νερού. Η επιλογή μεταξύ των δύο λειτουργιών γίνεται αυτόματα και εξαρτάται από τη θερμοκρασία του νερού που εισέρχεται στον εξατμιστή. Αν το νερό βρίσκεται κοντά στο σημείο πήξης του, επιλέγεται η λειτουργία του παγοποιητή και ο κύκλος απόψυξης ενεργοποιείται περιοδικά ώστε να απελευθερώνεται ο πάγος. Στη λειτουργία του παγοποιητή το σύστημα παράγει θερμοκρασίες ατμοποίησης στο εύρος των -9 °C με -3°C και στη λειτουργία του ψύκτη 1°C ή και υψηλότερες. Το σύστημα θρυμματοποίησης ξεχωρίζει τις λειτουργίες παραγωγής πάγου και αποθήκευσης ενέργειας, πράγμα που κάνει την εγκατάσταση ευέλικτη ώστε να χρησιμοποιείται σε περιόδους μη-αιχμής. Αφού ο πάγος δεν αποθηκεύεται πάνω στην επιφάνεια παραγωγής, δεν είναι απαραίτητη η πλήρης τήξη του πάγου κάθε μέρα για τη διατήρηση υψηλού βαθμού απόδοσης λειτουργίας. Το σύστημα και η δεξαμενή αποθήκευσης είναι εκτεθειμένα στην ατμόσφαιρα πράγμα το οποίο σημαίνει ότι συστήματα ελέγχου ποιότητας του νερού και συστήματα προστασίας ενάντια της διάβρωσης είναι απαραίτητα, αφού το νερό στη δεξαμενή έρχεται συνεχώς σε επαφή με τον αέρα λόγω της επανακυκλοφορίας. Η δεξαμενή είναι γενικότερα απλή, χωρίς εσωτερικά εξαρτήματα σε σχέση με άλλα συστήματα αποθήκευσης. Η γεωμετρία της δεξαμενής παρόλα αυτά μπορεί να επηρεάσει την αποθηκευτική ικανότητα της μονάδας, καθώς η γωνία με την οποία τα φιλμ του πάγου πέφτουν στη δεξαμενή μπορεί να έχουν σαν συνέπεια όταν η τελευταία γεμίζει, να αφήνουν κενά στο εσωτερικό της όπου δεν υπάρχει καθόλου πάγος, πράγμα που προφανώς ελαττώνει την ποσότητα του πάγου που τελικά δέχεται η δεξαμενή. Οι δεξαμενές αυτές είναι αρκετά συχνά χτισμένες στον τόπο της εγκατάστασης, τσιμεντένιες και παραλληλεπίπεδες. Παρόλα αυτά συναρμολογίσιμο τσιμέντο (έτοιμοι τοίχοι), χάλυβας ή υαλοβάμβακας είναι υλικά τα οποία επίσης μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την κατασκευή δεξαμενής. Οι επιφάνειες του ατμοποιητή συνήθως είναι από ανοξείδωτο χάλυβα.

2.3.2.2.1.3 Πάγος σε μικροκάψουλες

Αυτή η τεχνολογία γίνεται με μικροκάψουλες γεμάτες με νερό και εμβαπτισμένες σε δεξαμενή αποθήκευσης. Το νερό στο εσωτερικό της κάψουλας παγώνει και ο πάγος λιώνει όταν το δευτερεύον ψυκτικό πχ γλυκόλη/νερό, κυκλοφορεί μέσα στη δεξαμενή. Η θερμοκρασία φόρτισης είναι από -6 έως -3°C.

Τα πλαστικά αυτά δοχεία μπορεί να είναι παραλληλεπίπεδα, σφαιρικά ή δακτυλιοειδή.

Ο αριθμός των κάψουλών που απαιτούνται για την εκάστοτε εφαρμογή εξαρτάται από την απαιτούμενη αποθηκευτική ικανότητα. Για παράδειγμα, 3.5kW αποθηκευτικής ικανότητας μπορούν να παραχθούν με περίπου 70 σφαίρες διαμέτρου 10cm. Η αποθήκευση πάγου σε κάψουλες απαιτεί περίπου 0.019 m³ με 0.023 m³ δεξαμενής ανά kWh διαθέσιμης αποθηκευτικής ικανότητας. Η δεξαμενή μπορεί να είναι ανοικτή και σε ατμοσφαιρική πίεση, ή κλειστή και υπό πίεση, κατασκευασμένη από χάλυβα, τσιμέντο, υαλοβάμβακα κλπ. Οι κάψουλες είναι κατασκευασμένες από υψηλής πυκνότητας πολυαιθυλένιο και είναι σχεδιασμένες να ακολουθούν την διαστολή του παγωμένου νερού. Σε δεξαμενές με σφαιρικές κάψουλες το δευτερεύον ψυκτικό ρέει κάθετα στη δεξαμενή, ενώ για παραλληλεπίπεδες κάψουλες ρέει οριζόντια. Το σχήμα και το μέγεθος της δεξαμενής περιορίζεται μόνο από την τελική ικανότητα της δεξαμενής να εξασφαλίζει ίδια θερμοροή μεταξύ των δοχείων (κάψουλες). Ένα τέτοιο σύστημα ενσωματωμένου πάγου μπορεί να λειτουργήσει με τον ψύκτη ανάντη ή κατάντη, αντίστοιχα. Είναι επίσης δυνατή μια σύνδεση των δεξαμενών και του ψύκτη εν παραλλήλω.

Ο πάγος σε μικροκάψουλες έχει ένα σταθερά ελαττούμενο ρυθμό αποφόρτισης, αν διατηρείται σταθερή η θερμοκρασία αποφόρτισης, ή μια σταθερά αυξανόμενη θερμοκρασία, αν διατηρείται σταθερός ο ρυθμός αποφόρτισης. Αυτό το χαρακτηριστικό είναι αποτέλεσμα της συνεχώς ελαττούμενης επιφάνειας πάγου η οποία έρχεται σε επαφή με τα τοιχώματα του δοχείου καθώς λιώνει ο πάγος.

Οι κάψουλες αυτές είναι ευαίσθητες στο φαινόμενο της υπόψυξης, πριν ξεκινήσει η παραγωγή πάγου. Η υπόψυξη, που λαμβάνει χώρα μόνο σε πλήρως αποφορτισμένες δεξαμενές όπου δεν υπάρχει καθόλου πάγος στο εσωτερικό τους, έχει σαν αποτέλεσμα ελαττωμένους ρυθμούς μεταφοράς θερμότητας στην αρχή της φόρτισης. Προσθέτοντας συμπτωκωτικούς παράγοντες η επίδραση του φαινομένου της υπέρψυξης μπορεί να εξομαλυνθεί.

2.3.2.2.1.4 Παγοπολτός

Σε ένα σύστημα παγοπολτού (ice slurry), δημιουργούνται κομμάτια πάγου από μία γεννήτρια πάγου σε διμερές υγρό μίγμα (πχ νερό και γλυκόλη) και μεταφέρονται στη δεξαμενή αποθήκευσης, όπου τα κομμάτια πάγου αποθηκεύονται μαζί με νερό. Το διφασικό μίγμα οδηγείται από τη δεξαμενή στα σημεία που απαιτείται ψυκτικό φορτίο μέσω αντλιών, όπου ο πάγος του μίγματος λιώνει. Το ζεστό νερό επιστροφής επανατροφοδοτείται είτε στην παγογεννήτρια διάταξη είτε κατ' ευθείαν στη δεξαμενή για να ψυχθεί εκ νέου. Το σύστημα αποθήκευσης μπορεί να έχει διάφορες διατάξεις, οι πιο συνηθισμένες εκ των οποίων είναι οι μέθοδοι διανεμημένης και κεντρικής αποθήκευσης.

Συστήματα διανεμημένης αποθήκευσης

Σε ένα σύστημα διανεμημένης αποθήκευσης το διφασικό μίγμα πάγου οδηγείται σε ένα αριθμό από δεξαμενές και αποθηκεύεται. Κάθε τέτοια δεξαμενή βρίσκεται εγκατεστημένη σε κάθε ξεχωριστό κτίριο του δικτύου της ψυκτικής εγκατάστασης. Το διφασικό μίγμα πάγου εισέρχεται στη δεξαμενή όπου τα κομμάτια πάγου διαχωρίζονται από το νερό λόγω διαφοράς ειδικού βάρους. Το σύστημα έτσι έχει τη δυνατότητα να χρησιμοποιεί νερό χωρίς πάγο για τις ψυκτικές του ανάγκες.

Οι δεξαμενές αποθήκευσης του διανεμημένου συστήματος παρέχουν μία ρύθμιση του

συστήματος διανομής και του επιμέρους ψυκτικού φορτίου κάθε κτιρίου.

Η απόζευξη του συστήματος ψύξης επιτρέπει στο σύστημα διανομής να παρέχει το μέσο ψυκτικό φορτίο και όχι το ψυκτικό φορτίο αιχμής. Εάν το μέσο ψυκτικό φορτίο είναι αισθητά χαμηλότερο από το φορτίο αιχμής, μπορεί να εγκατασταθεί δίκτυο σωληνώσεων διανομής μικρότερης διαμέτρου. Για να μπορέσει το σύστημα να ανταπεξέλθει στις απαιτήσεις του μέγιστου ψυκτικού φορτίου πρέπει η παραγωγή διαφασικού μίγματος νερού/πάγου να είναι συνεχής. Αυτό το μίγμα οδηγείται μέσω αντλιών στις επιμέρους δεξαμενές. Ανάλογα με την ώρα της ημέρας, αν το φορτίο του κτιρίου είναι χαμηλό, το μίγμα θα συγκεντρωθεί στη δεξαμενή. Όταν το ψυκτικό φορτίο αυξηθεί, η δεξαμενή φορτίζεται από το σύστημα διανομής και ταυτόχρονα αποφορτίζεται για να ικανοποιήσει τις αυξημένες ψυκτικές ανάγκες.

Σε περιόδους όπου το ψυκτικό φορτίο είναι γενικά χαμηλό, το νερό επιστροφής ενδέχεται να βρίσκεται σε θερμοκρασία αρκετά χαμηλότερη από το σημείο σχεδίασης, αφήνοντας έτσι αχρησιμοποίητη ψυκτική ικανότητα. Αυτό μπορεί να αποφευχθεί χρησιμοποιώντας σωλήνες για ψυκτική ικανότητα λίγο μεγαλύτερη από τη μέση υπολογισμένη, ώστε οι προαναφερθείσες απώλειες να περιορίζονται κατά το δυνατόν. Γενικά το σύστημα διανεμημένης αποθήκευσης είναι βέλτιστα οικονομικό όταν ο λόγος φορτίου αιχμής/μέσου είναι μεγαλύτερος του 2 και όταν ο λόγος λανθάνουσας / αισθητής θερμότητας μεγαλύτερος του 1.

Συστήματα κεντρικής αποθήκευσης

Στο σύστημα κεντρικής αποθήκευσης, η ψυκτική εγκατάσταση εφοδιάζεται με μία κεντρική δεξαμενή, η οποία είναι τοποθετημένη κοντά στη μονάδα παραγωγής της ψύξης. Και σε αυτή τη διάταξη υπάρχει το πλεονέκτημα της ρύθμισης μεταξύ της μονάδας παραγωγής ψύξης και της πραγματικής ψυκτικής απαίτησης. Στο σύστημα κεντρικής αποθήκευσης το σύστημα διανομής δεν είναι αποχωρισμένο από το φορτίο του επιμέρους κτιρίου και ακολουθεί την πραγματική ψυκτική απαίτηση του κάθε κτιρίου ξεχωριστά. Ως εκ τούτου η διάμετρος των σωλήνων διανομής θα είναι μεγαλύτερη σε σύγκριση με τους σωλήνες του συστήματος διανεμημένης αποθήκευσης. Τα συστήματα κεντρικής αποθήκευσης μπορούν να χρησιμοποιηθούν βάσει δύο στρατηγικών λειτουργίας. Το διαφασικό μίγμα νερού/ πάγου μπορεί να βρίσκεται αποθηκευμένο σε συγκεκριμένο σημείο, να μην κυκλοφορεί στο σύστημα και να χρησιμοποιείται για την ψύξη του θερμού νερού επιστροφής, ώστε να επιτυγχάνεται η συνεχής επανακυκλοφορία νερού στην ψυκτική εγκατάσταση σε θερμοκρασία πολύ κοντά στο σημείο στερεοποίησής του. Εναλλακτικά, το μίγμα μπορεί να αποθηκεύεται και να κυκλοφορεί στο σύστημα κατά τις ώρες ψυκτικού φορτίου αιχμής. Με οποιαδήποτε από τις δύο στρατηγικές, ο όγκος της αποθήκευσης είναι ελαττωμένος σε σχέση με ένα σύστημα κρύου νερού. Οι δε δεξαμενές αποθήκευσης για το διαφασικό μίγμα μπορούν από άποψης κόστους να ελαττωθούν κατά 60% σε σύγκριση με τις δεξαμενές μιας συμβατικής ψυκτικής διάταξης.

Προκειμένου για να αντιμετωπίσει το σύστημα το μέγιστο φορτίο σχεδίασης, το σύστημα ψύξης πρέπει να λειτουργεί συνεχώς. Σε περιόδους μικρής ψυκτικής απαίτησης το παραγόμενο διαφασικό μίγμα οδηγείται στη δεξαμενή αποθήκευσης, από όπου απάγεται είτε μίγμα είτε κρύο νερό κατά περίπτωση, για την αντιμετώπιση αυτών των χαμηλών απαιτήσεων. Άρα για φορτία μικρότερα από το μέσο φορτίο λειτουργίας, η δεξαμενή φορτίζεται. Αντίστοιχα σε περιόδους υψηλού ψυκτικού φορτίου, η

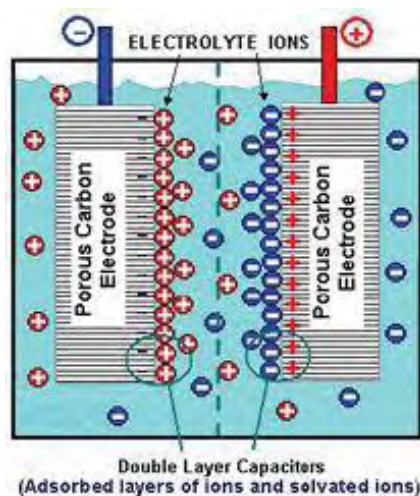
δεξαμενή αδειάζει για να ικανοποιηθεί το φορτίο αυτό, οπότε γίνεται και η αποφόρτισή της.

2.4 Άλλες Μορφές Αποθήκευσης Ενέργειας

2.4.1 Υπερπυκνωτές

Ο υπερπυκνωτής είναι ένας ηλεκτροχημικός πυκνωτής (EC capacitor ή Ultra capacitor ή Super Capacitor) και σχετίζεται τόσο με μια μπαταρία όσο και με έναν πυκνωτή. Έτσι, η τάση ενός στοιχείου περιορίζεται σε μερικά Volt. Αποτελεί μια τεχνολογία που αξιοποιείται για την εξυπηρέτηση των γρήγορων και απότομων μεταβολών των φορτίων. Ως τεχνολογία αποθήκευσης ενέργειας βρίσκονται στα πρώτα στάδια της ανάπτυξής τους.

Ένας υπερπυκνωτής αποτελείται από δυο αντίθετα φορτισμένα ηλεκτρόδια, έναν διαχωριστή, τον ηλεκτρολύτη και συλλέκτες ρεύματος. Ο υπερπυκνωτής χρησιμοποιεί ένα μοριακά λεπτό στρώμα ηλεκτρολύτη σαν διηλεκτρικό για το διαχωρισμό της φόρτισης. Η εμφάνιση του διηλεκτρικού γίνεται κάθε φορά που ασκείται τάση στους ακροδέκτες του. Με τον τρόπο αυτό, το φορτίο αποθηκεύεται ηλεκτροστατικά (δεν λαμβάνει χώρα χημική αντίδραση) μέσα στα πολωμένα στρώματα υγρού που βρίσκεται ανάμεσα στον ηλεκτρολύτη και το ηλεκτρόδιο.



Σχήμα 2.15: Σχηματική απεικόνιση της αρχής λειτουργίας των υπερπυκνωτών

2.4.1.1 Είδη Υπερπυκνωτών - Χαρακτηριστικά

Ανάλογα με την τεχνολογία των υλικών που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή των ηλεκτροδίων, οι υπερπυκνωτές μπορούν να ταξινομηθούν σε ηλεκτροχημικούς πυκνωτές διπλού στρώματος (electrochemical double layer capacitors, ECDL) και σε ψευδοπυκνωτές (pseudo capacitors). Οι υβριδικοί πυκνωτές (hybrid capacitors) είναι επίσης μια νέα κατηγορία υπερπυκνωτών. Δεδομένου ότι οι ECDL υπερπυκνωτές είναι συνήθως οι λιγότερο δαπανηροί στην κατασκευή τους και οι πιο διαδεδομένοι τύποι υπερπυκνωτών δίνεται έμφαση σε αυτούς στη συνέχεια.

Οι ECDL υπερπυκνωτές έχουν μια κατασκευή διπλού στρώματος που αποτελείται από ηλεκτρόδια, εμβαπτισμένα σε υγρό ηλεκτρολύτη (που περιέχει επίσης τον διαχωριστή). Ως υλικό ηλεκτροδίου χρησιμοποιείται συνήθως πορώδης ενεργός άνθρακας. Οι

πρόσφατες τεχνολογικές πρόοδοι έχουν επιτρέψει να χρησιμοποιηθούν επίσης ως υλικό ηλεκτροδίου αεροτζέλ άνθρακα και νανοσωλήνες άνθρακα. Ο ηλεκτρολύτης είναι είτε οργανικός είτε υδατώδης. Οι οργανικοί ηλεκτρολύτες χρησιμοποιούν συνήθως ακετονιτρίλιο και επιτρέπουν ονομαστική τάση μέχρι 3 Volt. Οι υδατώδεις ηλεκτρολύτες χρησιμοποιούν είτε οξέα είτε βάσεις (H_2SO_4 , KOH), αλλά η ονομαστική τάση περιορίζεται σε 1 Volt.

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

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

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

Το κόστος του υπερπυκνωτή είναι ένα σημαντικό ζήτημα για την περαιτέρω εμπορική χρήση του σε βιομηχανικές εφαρμογές. Συγκριτικά με τα κόστη των καθιερωμένων τεχνολογιών ενεργειακής αποθήκευσης, όπως οι μπαταρίες μολύβδου-οξέος, ο υπερπυκνωτής εμφανίζει σημαντικά υψηλότερο κόστος. Επομένως, είναι απαραίτητη η δραστική μείωση του κόστους του ιδιαίτερα στους τομείς του άνθρακα, του ηλεκτρολύτη και του διαχωριστή. Σήμερα, η υψηλή ικανότητα αποθήκευσης ισχύος των υπερπυκνωτών σε συνδυασμό με τους πολύ σύντομους κύκλους εκφόρτισης,

καθιστά ιδανική την εφαρμογή τους στην παροχή συμπληρωματικής φόρτισης για την ικανοποίηση ξαφνικών ενεργειακών αναγκών.

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

Οι ψευδοπυκνωτές (pseudo capacitors) και οι υβριδικοί πυκνωτές (hybrid capacitors) είναι επίσης υποσχόμενες τεχνολογίες, επειδή μπορούν να επιτύχουν βελτιωμένες αποδόσεις σε τομείς που οι ECDL παρουσιάζουν κατώτερες δυνατότητες. Οι ψευδοπυκνωτές χρησιμοποιούν οξείδια μετάλλων ή αγώγιμα πολυμερή ως υλικό ηλεκτροδίου και μπορούν να αποθηκεύσουν 80% περισσότερη ενέργεια από τους ίδιων διαστάσεων ηλεκτροχημικούς πυκνωτές διπλού στρώματος, χάρη στη μεγαλύτερη πυκνότητα των ηλεκτροδίων τους. Οι υπερπυκνωτές μεταλλικών οξειδίων χρησιμοποιούν υδατώδεις ηλεκτρολύτες και μεταλλικά οξείδια, όπως το οξείδιο του ρουθηνίου, το οξείδιο του ιριδίου και το οξείδιο του νικελίου. Παρόλα αυτά, οι υπερπυκνωτές μεταλλικών οξειδίων είναι πολύ ακριβοί και μπορεί να «πάσχουν» από χαμηλότερες αποδόσεις και χαμηλότερη τάση, εξαιτίας της ανάγκης για υδατώδεις ηλεκτρολύτες. Οι υβριδικοί υπερπυκνωτές μπορούν να επιτύχουν ακόμα υψηλότερες πυκνότητες ενέργειας και ισχύος από τους άλλους υπερπυκνωτές, είναι όμως ακόμα μια νέα τεχνολογία, που απαιτεί περισσότερη έρευνα για πληρέστερη κατανόηση.

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

2.4.2 Υπεραγώγιμα υλικά

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

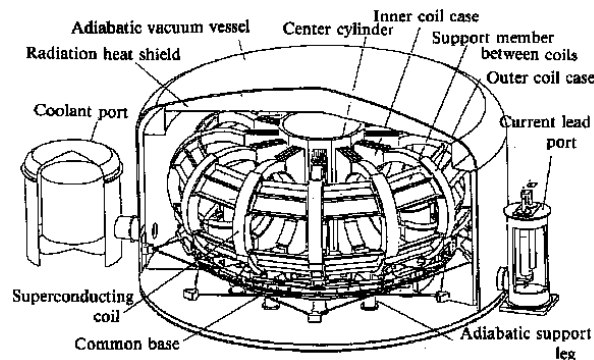
Η τεχνολογία εκμεταλλεύεται τις εξελίξεις των υπεραγώγιμων υλικών και την μείωση κόστους των ηλεκτρονικών ισχύος. Η αποθήκευση γίνεται στο μαγνητικό πεδίο που δημιουργείται από τη ροή συνεχούς ρεύματος σε ένα πηνίο από υπεραγώγιμο υλικό. Συγκεκριμένα, ένα σύστημα SMES επιτυγχάνεται την αποθήκευση με την είσοδο συνεχούς ρεύματος σε ένα πηνίο από υπεραγώγιμα καλώδια σχεδόν μηδενικής αντίστασης από συνήθως ίνες NbTi σε πολύ χαμηλές θερμοκρασίες (-270°C). Το ρεύμα αυξάνει κατά τη φόρτιση και μειώνεται κατά την εκφόρτιση και απαιτεί τη μετατροπή σε εναλλασσόμενο ρεύμα.

Προκειμένου να διατηρηθεί το πηνίο στην υπεραγώγιμη κατάστασή του, βυθίζεται σε υγρό ήλιο που περιέχεται σε έναν μονωμένο υπό κενό κρυοστάτη. Τα χαρακτηριστικά της διάταξης του υπεραγώγιμου πηνίου είναι τέτοια ώστε να εμφανίζουν σχεδόν μηδενική αντίσταση στις πολύ χαμηλές θερμοκρασίες και να οδηγούν τον ηλεκτρισμό, σχεδόν χωρίς απώλειες, σε συστήματα ειδικά σχεδιασμένα για να “εγκλωβίζουν” αποτελεσματικά την ηλεκτρική ενέργεια μέσα σε ένα μαγνητικό πεδίο. Σύμφωνα με πρόσφατες έρευνες, το ενδιαφέρον επικεντρώνεται σε διατάξεις της τάξης των 1 - 10 MW. Οι διατάξεις μικροσυστημάτων διατίθενται για εφαρμογές ποιότητας ισχύος. Τέλος, νέες παρουσιάσεις εφαρμογών διανομής ενέργειας στις ΗΠΑ και στην Ευρώπη καθιστούν φανερό ότι και τα συστήματα υπεραγώγιμης ενεργειακής μαγνητικής αποθήκευσης θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για να συμπληρώσουν τις ανανεώσιμες πηγές, ειδικά όπου υπάρχει ήδη κατάλληλη υποδομή ψύξης. Τελευταία εμφανίστηκαν υψηλής θερμοκρασίας υπεραγωγοί (High Temperature Superconductors), οι οποίοι μπορούν να λειτουργήσουν σε θερμοκρασίες σύμφωνες με τη βιομηχανικά τυποποιημένη ψύξη υγρού αζώτου, που είναι περισσότερο συμφέρουσα από την κρυογόνο ψύξη. Λόγω αυτού του γεγονότος, αρκετές αμερικανικές επιχειρήσεις έχουν καταφέρει να κυκλοφορήσουν στο εμπόριο υπεραγώγιμα καλώδια και ταινίες.

2.4.2.1 Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα

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

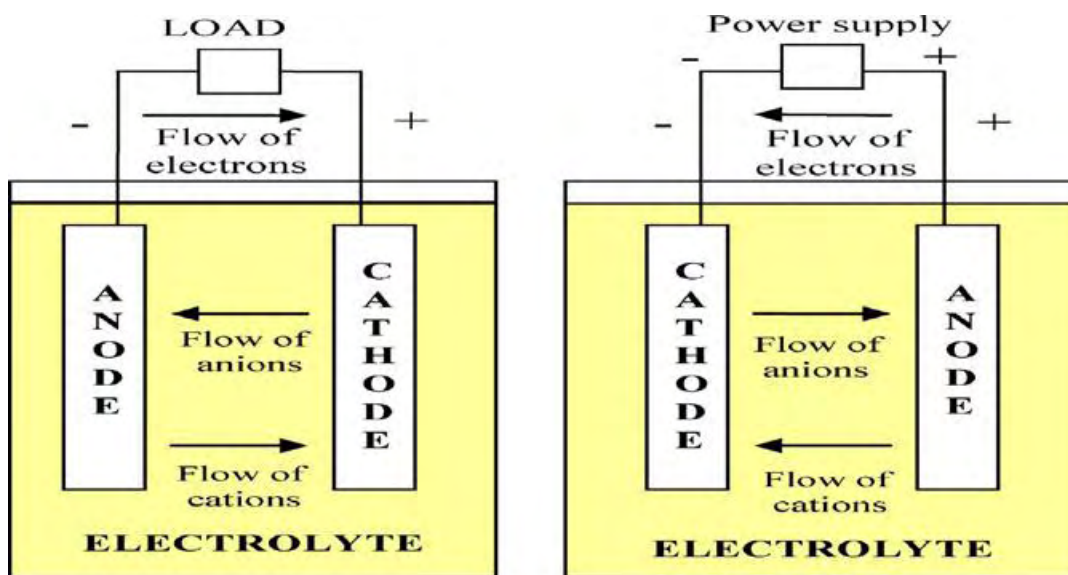
Στα μειονεκτήματα των συστημάτων SMES συγκαταλέγονται η χαμηλή ενεργειακή πυκνότητα, αλλά και η αστάθεια που εμφανίζουν κυρίως τα μεγάλα συστήματα αυτού του είδους, η οποία προκαλείται από το δημιουργούμενο ισχυρό μαγνητικό πεδίο. Επίσης, μειονέκτημα αποτελεί η απαίτηση του συστήματος ψύξης γιατί καθιστά το σύστημα πολύπλοκο και αυξάνει το κόστος της εγκατάστασης και της λειτουργίας. Επιπρόσθετα, στην περίπτωση των μεγάλων συστημάτων υπεραγώγιμης μαγνητικής ενεργειακής αποθήκευσης, το προκύπτον μαγνητικό πεδίο μπορεί να έχει και περιβαλλοντικές επιπτώσεις.



Σχήμα 2.16: Σχηματική απεικόνιση συστήματος υπεραγώγιμης μαγνητικής αποθήκευσης

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3ο - ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΜΕ ΜΠΑΤΑΡΙΑ

Τελευταία, η εξέλιξη της τεχνολογίας αποθήκευσης της ηλεκτρικής ενέργειας επικεντρώνεται κυρίως στις διατάξεις αποθήκευσης μπαταριών. Μια μπαταρία (ή αλλιώς συσσωρευτής) είναι μια χημική πηγή ρεύματος, ικανή να αποθηκεύει ηλεκτρική ενέργεια, αφού τη μετατρέψει σε χημική, και όταν χρειαστεί να την αποδώσει σε εξωτερικό κύκλωμα. Σχηματίζεται από ένα ή περισσότερα ηλεκτρικά στοιχεία συνδεδεμένα σε σειρά ή παράλληλα ή και τα δύο, ανάλογα με την επιθυμητή παραγόμενη τάση. Το ηλεκτρικό στοιχείο αποτελείται από δύο πλάκες, φτιαγμένες από διαφορετικά μέταλλα και βυθισμένες σε ένα δοχείο με υγρό. Οι πλάκες, οι οποίες πρέπει να είναι αγωγικές, ονομάζονται ηλεκτρόδια, ενώ το υγρό είναι και αυτό αγωγικό και καλείται ηλεκτρολύτης. Τα ηλεκτρόδια αντιδρούν χημικά με τον ηλεκτρολύτη και η αντίδραση περιλαμβάνει τη μεταφορά ηλεκτρονίων από το ένα ηλεκτρόδιο στο άλλο μέσω ενός εξωτερικού ηλεκτρικού κυκλώματος/φορτίου. Δηλαδή, η σύνδεση των ηλεκτροδίων σε εξωτερικό ηλεκτρικό κύκλωμα προκαλεί σε αυτό διέλευση ρεύματος (εκφόρτιση της ηλεκτρικής μπαταρίας). Η εκφορτισμένη ηλεκτρική μπαταρία φορτίζεται όταν περάσει από αυτήν συνεχές ρεύμα από άλλη πηγή, ενώ ταυτόχρονα αντίστροφες χημικές διεργασίες μετατρέπουν την ηλεκτρική ενέργεια σε χημική. Στην Εικόνα 3.1 που ακολουθεί, παρατίθεται σχηματικά η δομή κάθε ηλεκτρικού στοιχείου. Το αρνητικό ηλεκτρόδιο ή αλλιώς άνοδος, παρέχει ηλεκτρόνια στο εξωτερικό ηλεκτρικό κύκλωμα/φορτίο και οξειδώνεται κατά τη διάρκεια της ηλεκτροχημικής αντίδρασης. Ακολούθως, το θετικό ηλεκτρόδιο, ή αλλιώς κάθοδος, δέχεται τα ηλεκτρόνια και κατά συνέπεια μειώνεται το θετικό του φορτίο κατά τη διάρκεια της αντίδρασης. Ο ηλεκτρολύτης παρέχει το μέσο για την μεταφορά των ηλεκτρονίων μεταξύ ανόδου και καθόδου. Τέλος, για ηλεκτρική μόνωση χρησιμοποιούνται διαχωριστές ανάμεσα στα θετικά και τα αρνητικά ηλεκτρόδια.



Εικόνα 3.1 Διάγραμμα μπαταρίας

Σήμερα χρησιμοποιούνται ή τελούν υπό ανάπτυξη μια πληθώρα τεχνολογιών ενεργειακής αποθήκευσης μπαταρίας. Προς το παρόν εμπορικά διαθέσιμες είναι οι μπαταρίες εμβάπτισης μολύβδου – οξέος και οι VRLA (ρυθμιζόμενες με βαλβίδα μολύβδου – οξέος), καθώς επίσης και μερικές αλκαλικές μπαταρίες (NiCd, NiMH). Ορισμένες εξελιγμένες μπαταρίες που βρίσκονται

στο στάδιο της ανάπτυξης, είναι οι μπαταρίες ψευδαργύρου/βρωμιδίου, οι λιθίου, οι νατρίου-θείου (NaS) και οι μέταλλο-αέρα. Στις υποενοότητες που ακολουθούν, θα εξετάσουμε ξεχωριστά κάθε τεχνολογία ενεργειακής αποθήκευσης μπαταρίας, παρουσιάζοντας παράλληλα τις ιδιαίτερες δυνατότητες και αδυναμίες καθεμίας από αυτές.

3.1 Μπαταρίες μολύβδου – οξέος (Lead – Acid Batteries)

Οι μπαταρίες εμβάπτισης μολύβδου – οξέος είναι ο παλαιότερος τύπος επαναφορτιζόμενων μπαταριών. Βασίζονται σε χημικές αντιδράσεις, οι οποίες περιλαμβάνουν διοξειδίο του μολύβδου (PbO₂) για το σχηματισμό του ηλεκτροδίου καθόδου, μόλυβδο (Pb) για το σχηματισμό του ηλεκτροδίου ανόδου και θειικό οξύ (H₂SO₄) που ενεργεί ως ηλεκτρολύτης. Η τάση ενός ηλεκτρικού στοιχείου μολύβδου – οξέος εκτιμάται στα 2 Volt και η τυπική ενεργειακή πυκνότητα είναι περίπου 30 Wh/kg, με πυκνότητα ισχύος γύρω στα 180 W/kg. Επιπρόσθετα, οι μπαταρίες εμβάπτισης μολύβδου σε οξύ παρουσιάζουν ικανοποιητικές ενεργειακές αποδόσεις, οι οποίες κυμαίνονται μεταξύ 60 και 95%, εγκαθίστανται εύκολα, απαιτούν χαμηλού επιπέδου συντήρηση και παρουσιάζουν χαμηλό κόστος επένδυσης. Ακόμα, τα ποσοστά αυτό-εκφόρτισης για αυτό το είδος μπαταριών είναι πολύ χαμηλά (γύρω στο 2-5% ανά μήνα), καθιστώντας τις μπαταρίες μολύβδου – οξέος ιδανικές για εφαρμογές μακροπρόθεσμης αποθήκευσης ενέργειας. Εντούτοις, οι περιοριστικοί παράγοντες για αυτό το είδος μπαταριών είναι ο σχετικά χαμηλός αριθμός κύκλων φόρτισης/εκφόρτισης και η λειτουργική διάρκεια ζωής τους. Η τυπική διάρκεια ζωής των μπαταριών κυμαίνεται μεταξύ 300 και 1500 κύκλων φόρτισης/εκφόρτισης. Ο αριθμός των κύκλων φόρτισης/εκφόρτισης επηρεάζεται αρνητικά από το βάθος εκφόρτισης και τη θερμοκρασία. Οι προσπάθειες για πλήρη εκφόρτιση της μπαταρίας μπορούν να είναι ιδιαίτερα καταστρεπτικές για τα ηλεκτρόδια, μειώνοντας έτσι τη διάρκεια ζωής. Όσον αφορά στα επίπεδα θερμοκρασιών, οι υψηλές θερμοκρασίες (μέχρι 45 ο C, που είναι το ανώτερο όριο για τη λειτουργία των μπαταριών) δύνανται να βελτιώσουν την απόδοση των μπαταριών από την άποψη της υψηλότερης χωρητικότητας, καθώς επίσης και την ενεργειακή τους απόδοση. Οι τεχνολογίες αποθήκευσης ενέργειας μπαταρίας μολύβδου – οξέος, λόγω του χαμηλού τους κόστους, έχουν κυριαρχήσει στην αγορά. Συγκεκριμένα, είναι οι συνηθέστερα χρησιμοποιούμενες μπαταρίες για εφαρμογές φωτοβολταϊκών συστημάτων. Για μεγάλης κλίμακας εφαρμογές της αιολικής ενέργειας, έχει προταθεί η αποθήκευση ισχύος της τάξης των 100 MW ή περισσότερο σε τέτοιου είδους μπαταρίες. Τέλος, αξίζει να αναφέρουμε ότι η τεχνολογία μπαταριών εμβάπτισης μολύβδου σε οξύ βελτιώνεται σταδιακά και με ποικίλους τρόπους. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελούν οι μπαταρίες VRLA, που χρησιμοποιούν την ίδια βασική ηλεκτροχημική τεχνολογία με τις μπαταρίες μολύβδου – οξέος, με τη διαφορά αυτές φράσσονται με μια βαλβίδα ρύθμισης της πίεσης. Επιπλέον, ο όξινος ηλεκτρολύτης είναι ακινητοποιημένος. Αυτό εξαλείφει την ανάγκη προσθήκης νερού στις κυψέλες για να διατηρείται η κατάλληλη λειτουργία του ηλεκτρολύτη, ή ανάμειξης του ηλεκτρολύτη για να αποτρέπεται η διαστρωμάτωση. Η ανακύκλωση του οξυγόνου και οι βαλβίδες των VRLA αποτρέπουν τον εξαερισμό των αερίων υδρογόνου και οξυγόνου, καθώς και την είσοδο αέρα στις. Το υποσύστημα των μπαταριών αυτών μπορεί να χρειάζεται να αντικαθίσταται συχνότερα από ότι με τις μπαταρίες μολύβδου – οξέος, αυξάνοντας το σταθμισμένο κόστος του συστήματος. Οι μπαταρίες VRLA παρουσιάζουν δύο βασικά πλεονεκτήματα έναντι των μπαταριών εμβάπτισης σε οξύ:

- Μειώνεται δραματικά η απαραίτητη συντήρηση για να διατηρείται η μπαταρία σε λειτουργία.

- Οι κυψέλες των μπαταριών μπορούν να συσσωματώνονται πιο στενά λόγω της ερμητικά κλειστής κατασκευής και του ακινητοποιημένου ηλεκτρολύτη, οπότε έτσι μειώνεται το ίχνος και το βάρος της μπαταρίας.

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

3.2 Αλκαλικές μπαταρίες

Οι αλκαλικές μπαταρίες είναι κυρίως οι μπαταρίες νικελίου – καδμίου (NiCd), νικελίου – υδριδίου μετάλλου (NiMH) και οι νικελίου – ψευδαργύρου (NiZn). Και οι τρεις αυτοί τύποι χρησιμοποιούν το ίδιο υλικό για το θετικό ηλεκτρόδιο και τον ηλεκτρολύτη, το οποίο είναι υδροξείδιο του νικελίου και υδατικό διάλυμα υδροξειδίου του καλίου με υδροξείδιο του λιθίου αντίστοιχα. Όσον αφορά στο αρνητικό ηλεκτρόδιο, η μπαταρία νικελίου – καδμίου (NiCd) χρησιμοποιεί υδροξείδιο του καδμίου ως αρνητικό ηλεκτρόδιο, η νικελίου – υδριδίου μετάλλου (NiMH) ένα κράμα μετάλλων και η νικελίου – ψευδαργύρου (NiZn) υδροξείδιο του ψευδαργύρου. Η τάση για τις αλκαλικές μπαταρίες εκτιμάται γύρω στα 1,2 Volt (1,65 Volt για τον τύπο NiZn), ενώ οι τυπικές μέγιστες ενεργειακές πυκνότητες είναι υψηλότερες από τις μπαταρίες μολύβδου – οξέος. Συγκεκριμένα, η μπαταρία NiCd παρουσιάζει ενεργειακή πυκνότητα 50 Wh/kg, η NiMH 80 Wh/kg και η NiZn 60 Wh/kg. Η τυπική διάρκεια ζωής λειτουργίας και ο αριθμός κύκλων φόρτισης/εκφόρτισης των μπαταριών NiCd και NiMH οξέος (1000 - 2000 κύκλοι) είναι επίσης υψηλότεροι των μπαταριών μολύβδου - οξέος, ενώ η μπαταρία NiZn εμφανίζει παρόμοια ή μικρότερη διάρκεια ζωής από τις μπαταρίες μολύβδου – οξέος. Τέλος, και τα τρία αυτά είδη μπαταριών νικελίου μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε χαμηλές θερμοκρασίες (έως και τους -50 ο C), ενώ παράλληλα μπορούν να επαναφορτιστούν ταχέως. Παρά τα ανωτέρω πλεονεκτήματα των μπαταριών νικελίου (κυρίως των NiCd και NiMH) έναντι των μπαταριών μολύβδου – οξέος, και τα τρία αυτά είδη μπαταριών νικελίου παρουσιάζουν ορισμένα μειονεκτήματα συγκριτικά με τις μπαταρίες μολύβδου – οξέος από την άποψη της βιομηχανικής χρήσης, καθώς και της εφαρμογής για την ενίσχυση ηλεκτρικών συστημάτων παραγωγής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές:

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

Όσον αφορά στις εφαρμογές των μπαταριών νικελίου, οι μπαταρίες Ni-Cd χρησιμοποιούνται ευρέως στις επικοινωνίες και τον ιατρικό εξοπλισμό, ενώ έχουν εφαρμοστεί επιτυχώς και σε υπό ανάπτυξη ηλεκτρικά οχήματα. Ωστόσο, υπάρχουν ορισμένα παραδείγματα εφαρμογής τους και στα ηλεκτρικά συστήματα παραγωγής ενέργειας. Ένα τέτοιο παράδειγμα αποτελεί το μεγάλης κλίμακας σύστημα ενεργειακής αποθήκευσης μπαταριών Ni-Cd που εγκαταστάθηκε στην Αλάσκα για να παρέχει ηλεκτρική ισχύ 27 MW για το ελάχιστο χρονικό διάστημα των 15 λεπτών, προκειμένου να σταθεροποιεί το τοπικό ηλεκτρικό δίκτυο σε περίπτωση ξαφνικής απώλειας της παραγωγής. Τα στοιχεία Ni-Cd τοποθετήθηκαν σε τέσσερις παράλληλες σειρές. Η ονομαστική τάση του συστήματος ανέρχεται στα 4.000 Volt. Αξίζει να αναφέρουμε ότι πρόκειται για το «ισχυρότερο» παγκοσμίως σύστημα ενεργειακής αποθήκευσης μπαταριών Ni-Cd, με απόδοση ισχύος 45 MW ισχύος για μόνο 5 λεπτά υποστήριξης και για το λόγο αυτό του απενεμήθη το «Παγκόσμιο Ρεκόρ Γκίνες». Τέλος, οι μπαταρίες NiMH χρησιμοποιούνται προς το παρόν στους υπολογιστές, τον ιατρικό εξοπλισμό και σε άλλες εφαρμογές. Οι μπαταρίες NiZn είναι υπό ανάπτυξη και συνεπώς δεν είναι διαθέσιμες εμπορικά.

3.3 Προηγμένες μπαταρίες

3.3.1 Μπαταρίες λιθίου (Lithium Batteries)

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

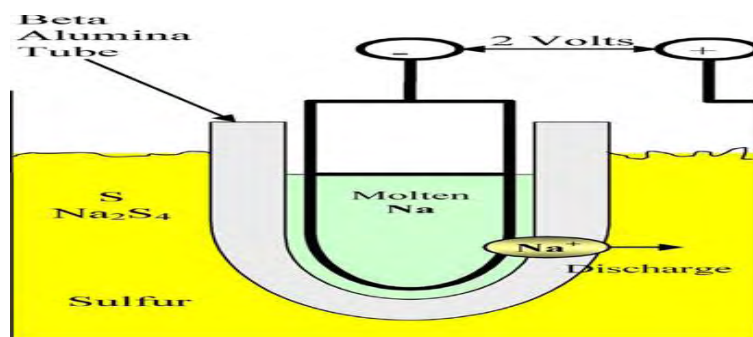


Εικόνα 3.2 Σύστημα ενεργειακής αποθήκευσης μπαταρίας ιόντος λιθίου των 100 kW

Στις μπαταρίες ιόντος – λιθίου, το ποσοστό αυτό-εκφόρτισης είναι πολύ χαμηλό (μέχρι 5% το μήνα) και η διάρκεια ζωής τους μπορεί να ξεπεράσει τους 1500 κύκλους. Ωστόσο, η διάρκεια ζωής μιας μπαταρίας ιόντος – λιθίου μειώνεται σε υψηλές θερμοκρασίες λειτουργίας και σε πλήρεις εκφορτίσεις. Αυτός άλλωστε είναι και ο λόγος που οι μπαταρίες ιόντος – λιθίου είναι ακατάλληλες για εφαρμογές “back-up”, όπου μπορούν να εκφορτιστούν πλήρως. Επιπρόσθετα, οι μπαταρίες ιόντος λιθίου είναι εύθραυστες και απαιτούν ένα κύκλωμα προστασίας για να διατηρηθούν σε ασφαλή λειτουργία. Τοποθετημένο σε κάθε συστοιχία ηλεκτρικών στοιχείων, το κύκλωμα ασφαλείας περιορίζει την τάση αιχμής κάθε στοιχείου κατά τη διάρκεια της φόρτισης και αποτρέπει την υπερβολική μείωση της τάσης στην εκφόρτιση. Ακόμα, η θερμοκρασία του στοιχείου ελέγχεται ώστε η θερμοκρασία να μην λαμβάνει ακραίες τιμές. Το ρεύμα μέγιστης φόρτισης και εκφόρτισης ελέγχεται περιορίζεται επίσης στις περισσότερες συστοιχίες. Αυτές οι προφυλάξεις είναι απαραίτητες προκειμένου να εξαλειφθεί κάθε δυνατότητα μεταλλικής επιμετάλλωσης του λιθίου, η οποία προκαλείται λόγω υπερφόρτισης. Όσον αφορά στις μπαταρίες πολυμερούς λιθίου, η διάρκεια ζωής τους μπορεί να φθάσει τους 600 περίπου κύκλους. Το ποσοστό αυτό-εκφόρτισης εξαρτάται σε πολύ μεγάλο βαθμό από τη θερμοκρασία και εκτιμάται γύρω στο 5% ανά μήνα. Συγκριτικά με τη μπαταρία ιόντος λιθίου, οι λειτουργικές προδιαγραφές των μπαταριών πολυμερούς λιθίου υπαγορεύουν ένα πολύ μικρότερο εύρος θερμοκρασιών, αποφεύγοντας τις χαμηλότερες θερμοκρασίες. Εντούτοις, οι μπαταρίες πολυμερούς λιθίου είναι ελαφρύτερες και ασφαλέστερες, με ελάχιστο ποσοστό αυτό-ανάφλεξης. Ένα σημαντικό μειονέκτημα των μπαταριών λιθίου είναι το υψηλό κόστος τους, το οποίο υπερβαίνει τα 420 €/kWh. Το υψηλό αυτό κόστος οφείλεται στα εσωτερικά κυκλώματα προστασίας. Πρόσφατα οι έρευνες επικεντρώνονται στη μείωση του κόστους αυτού του είδους των μπαταριών με χρήση φθηνότερων υλικών, καθώς και στην αύξηση της διάρκειας ζωής τους και τη μείωση της αναφλεξιμότητάς τους. Η αυτοκινητοβιομηχανία εργάζεται κυρίως προς αυτή την. Τέλος, αξίζει να αναφέρουμε ότι οι μπαταρίες λιθίου έχουν περιορισμένη περιβαλλοντική επίδραση δεδομένου ότι τα οξείδια και τα άλατα του λιθίου μπορούν να ανακυκλωθούν.

3.3.2 Μπαταρίες νατρίου – θείου (Sodium Sulphur Batteries, NaS)

Η μπαταρία νατρίου – θείου (NaS) είναι ο πιο εξελιγμένος τύπος υψηλής θερμοκρασίας μπαταρίας. Χρησιμοποιεί υγρό (λιωμένο) θείο ως υλικό για το θετικό ηλεκτρόδιο και υγρό λιωμένο νάτριο για το αρνητικό ηλεκτρόδιο. Τα δύο ηλεκτρόδια διαχωρίζονται από ένα στερεό ηλεκτρολύτη από αλουμίνιο, όπως φαίνεται στην Εικόνα 3.3. Ο ηλεκτρολύτης επιτρέπει μόνο στα θετικά ιόντα νατρίου να περάσουν διαμέσου του και να αντιδράσουν με το θείο σχηματίζοντας τα πολυσουλφίδια νατρίου.

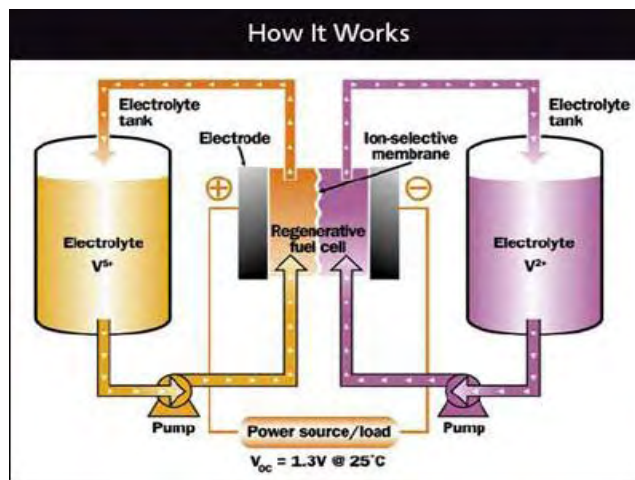


Εικόνα 3.3 Δομή ηλεκτρικού στοιχείου NaS

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

3.3.3 Μπαταρίες ροής (Flow Batteries)

Όπως αναφέραμε σε προηγούμενο κεφάλαιο, σε μεγάλα συστήματα εφαρμογής των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας η παραγωγή ενέργειας (προσφορά) πρέπει να βρίσκεται σε διαρκή ισορροπία με την κατανάλωση ενέργειας (ζήτηση). Για την πλήρη όμως αντιστοιχία προσφοράς-ζήτησης, απαιτείται η μεγάλης κλίμακας και μακράς διάρκειας αποθήκευση ενέργειας. Μια πολλά υποσχόμενη λύση αποτελούν οι μπαταρίες ροής. Οι μπαταρίες ροής είναι κατάλληλες για αποθηκεύουν υψηλές ποσότητες ισχύος, κυμαινόμενες από 5 – 500 MW, για περιόδους διάρκειας από 1 δευτερόλεπτο μέχρι 12 ώρες. Οι μπαταρίες αυτού του είδους αποθηκεύουν και αποδεδμεύουν την ενέργεια μέσω μιας αντίστροφης ηλεκτροχημικής αντίδρασης μεταξύ δύο ηλεκτρολυτών. Ο ηλεκτρολύτης αποθηκεύεται σε χωριστές δεξαμενές, από τις οποίες ρέει μέσα σε σωλήνες, συγκρατώντας τη συναρμολόγηση των ηλεκτροδίων της μπαταρίας (Εικόνα 3.4). Αυτή η διάταξη διευκολύνει σε μεγάλο βαθμό τους ογκομετρικούς περιορισμούς που τίθενται σχετικά με την ποσότητα του ηλεκτρολύτη που μπορεί να συνδεθεί με ένα δεδομένο σύστημα, και ως εκ τούτου αυξάνει και την ποσότητα της ισχύος που μπορεί να αποθηκευτεί.



Εικόνα 3.4 Διάγραμμα μπαταρίας ροής

Η ηλεκτροχημική απελευθέρωση της ενέργειας εμφανίζεται όταν οι δύο διαφορετικές ενώσεις άλατος (ηλεκτρολύτες) φέρνονται κοντά η μία στην άλλη μέσα στην κυψέλη, χωριζόμενες από μία μεμβράνη διεξαγωγής ιόντων. Η ροή ρεύματος μέσω της μεμβράνης δημιουργεί διαφορά δυναμικού στα ηλεκτρόδια και κατά συνέπεια ενέργεια σε ένα εξωτερικό κύκλωμα. Αυτή ή ροή ρεύματος συνοδεύεται από χημικές μεταβολές και στους δύο ηλεκτρολύτες. Αυτές οι μεταβολές αναιρούνται αν κατά τη διάρκεια του κύκλου επαναφόρτισης εφαρμοστεί εξωτερικά στα ηλεκτρόδια ένα αντίστροφο δυναμικό. Με αυτό τον τρόπο οι συνδεδεμένοι ηλεκτρολύτες επιστρέφουν στην αρχική ηλεκτροχημική τους κατάσταση. Αυτή την περίοδο, τρεις μπαταρίες ροής που βρίσκονται στο τελευταίο στάδιο της ανάπτυξης είναι οι ψευδαργύρου/βρωμιδίου (zinc – bromine flow battery), οι οξειδοαναγωγής βαναδίου (vanadium redox batteries, VRB) και οι πολυσουλφιδίου βρωμιδίου (polysulphide bromide batteries, PSB). Από τα τρία αυτά είδη μπαταριών ροής, θα εστιάσουμε στη συνέχεια στις μπαταρίες ψευδαργύρου/βρωμιδίου. Στο σύστημα ψευδαργύρου/βρωμιδίου χρησιμοποιείται ένας ρέοντας υδάτινος ηλεκτρολύτης βρωμιδίου του ψευδαργύρου. Ο μεταλλικός ψευδάργυρος αποτίθεται στο αρνητικό ηλεκτρόδιο, ενώ το βρωμίδιο που παράγεται στο θετικό αποθηκεύεται σε εξωτερικές δεξαμενές. Η τεχνολογία των μπαταριών ψευδαργύρου/βρωμιδίου εμφανίζει πολλαπλά πλεονεκτήματα, όπως είναι το χαμηλό κόστος, η πολύ-συναρτησιακότητα, η ευκολία μεταφοράς, το χαμηλό βάρος και η ευέλικτη λειτουργία. Λόγω της χημικής φύσης των αντιδραστηρίων και των συνθηκών λειτουργίας σε θερμοκρασία δωματίου, το περίβλημα και οι συνιστώσες μπορούν να κατασκευάζονται από χαμηλού κόστους και ελαφρά υλικά διαμορφώσιμου πλαστικού και άνθρακα. Τα κύρια μειονεκτήματα των μπαταριών ψευδαργύρου/βρωμιδίου επικεντρώνονται γύρω από τις απαιτήσεις συντήρησης, συμπεριλαμβανομένης της συντήρησης των αντλιών που απαιτούνται για την κυκλοφορία του ηλεκτρολύτη, και την κάπως χαμηλότερη ηλεκτρική απόδοση. Επίσης, ο ψευδάργυρος που επικάθεται κατά τη διαδικασία της φόρτισης πρέπει να αφαιρείται εντελώς περιοδικά. Το πρώτο σύστημα βασιζόμενο στην τεχνολογία των μπαταριών ροής και συγκεκριμένα στις μπαταρίες πολυσουλφιδίου βρωμιδίου άρχισε να κατασκευάζεται στο Little Barford της Αγγλίας, μαζί με μια εγκατάσταση συνδυασμένου κύκλου, με στόχο την εξομάλυνση των φορτίων. Είχε προβλεφτεί να λειτουργήσει το 2003, αλλά λόγω ορισμένων καθυστερήσεων δεν λειτούργησε τελικά και το 2004 οι Regenesys σταμάτησαν την ανάπτυξη των μπαταριών τύπου πολυσουλφιδίου βρωμιδίου. Το σύστημα αυτό είχε δύο δεξαμενές 1800 m³ που περιείχαν υγρούς ηλεκτρολύτες πολυσουλφιδίων νατρίου και βρωμιδίων νατρίου. Είχε επίσης προγραμματιστεί χωρητικότητα των 120 MWh, με ισχύ αιχμής των 15 MW, διάρκεια ζωής 15 έτη και ενεργειακή απόδοση 60-65% με χρόνο εκφόρτισης λιγότερο από 100 ms. Επρόκειτο δηλαδή για τη μεγαλύτερη μπαταρία παγκοσμίως.

3.3.4 Μπαταρίες μετάλλου - αέρα (Metal – Air Batteries)

Οι μπαταρίες μετάλλου – αέρα είναι υπό συνεχή έρευνα και τεχνολογική ανάπτυξη ώστε να γίνουν εμπορικά διαθέσιμες. Σε αυτές τις μπαταρίες, ως αρνητικό ηλεκτρόδιο (άνοδος) χρησιμοποιούνται συνήθως κατάλληλα μέταλλα, όπως είναι το αλουμίνιο, ο ψευδάργυρος, ο μόλυβδος ή ακόμη και σίδηρος, τα οποία τοποθετούνται σε ρευστό ή πολυμερή ενσωματωμένο ηλεκτρολύτη π.χ. από κάλιο, και απελευθερώνουν ηλεκτρόνια κατά τη μετέπειτα αντίδραση οξειδωσης. Τα ηλεκτρόνια καθώς έλκονται από την κάθοδο καταλύτη και άνθρακα και καθώς ρέουν σε ένα εξωτερικό κύκλωμα, δημιουργούν διαφορά δυναμικού στα άκρα της μπαταρίας. Οι ενεργειακές πυκνότητες των μπαταριών μετάλλου αέρα είναι υψηλές (συγκριτικά με τις μπαταρίες μολύβδου οξέος) και κυμαίνονται μεταξύ 110-420 Wh/kg. Ακόμα, είναι από τις πιο

φθηνές μπαταρίες και παρουσιάζουν περιβαλλοντική «συμβατότητα», αφού κανένα τοξικό υλικό δεν περιλαμβάνεται στην κατασκευή τους. Σημαντικό όμως μειονέκτημά τους είναι η δυσκολία τους να επαναφορτιστούν, με αποτέλεσμα να παρουσιάζουν χαμηλή ενεργειακή απόδοση της τάξης του 50%, καθώς και το ότι το εύρος των θερμοκρασιών λειτουργίας τους είναι περιορισμένο.

3.4 Σύγκριση των διαφόρων τύπων μπαταριών

Μετά την ανάλυση των διαφόρων διατάξεων αποθήκευσης μπαταριών, θα προσπαθήσουμε να προβούμε σε μία σύγκριση μεταξύ των διατάξεων αυτών με βάση τα τεχνικά και οικονομικά χαρακτηριστικά τους. Για το σκοπό αυτό, στον Πίνακα 3.1 παρουσιάζουμε τα χαρακτηριστικά λειτουργίας τους. Εξάγουμε τα ακόλουθα συμπεράσματα: Οι μπαταρίες μολύβδου-οξέος είναι ο πιο διαδεδομένος τύπος μπαταριών, επειδή είναι φθηνές και ευρέως διαθέσιμες. Είναι οι συνηθέστερα χρησιμοποιούμενες μπαταρίες σε εφαρμογές φωτοβολταϊκών συστημάτων. Από την άλλη, οι μπαταρίες νικελίου-καδμίου χρησιμοποιούνται σε ψυχρά κλίμακα, όπως είναι οι πολικές περιοχές, λόγω της δυνατότητας λειτουργίας τους και σε πολύ χαμηλές θερμοκρασίες. Εφαρμόζονται εξίσου καλά με τις μπαταρίες μολύβδου-οξέος σε εφαρμογές ΑΠΕ, καθώς λειτουργούν σε ένα μεγάλο εύρος θερμοκρασιών και μπορούν να αποφορτίζονται έως και κάτω από το 10% της ονομαστικής τους χωρητικότητας, είναι όμως πιο ακριβές και έτσι χρησιμοποιούνται μόνο όταν αναμένεται υψηλή αξιοπιστία ή αντίξοες κλιματικές συνθήκες. Η διάδοση των μπαταριών νικελίου, όπως και των υπόλοιπων τύπων μπαταριών (λιθίου, ψευδαργύρου/βρωμιδίου, θείου-νατρίου, μετάλλου-αέρα) είναι περιορισμένη, καθώς οι περισσότερες από αυτές βρίσκονται ακόμα στο στάδιο της ανάπτυξης. Οι μπαταρίες λιθίου παρουσιάζουν τις υψηλότερες ενεργειακές αποδόσεις (90- 100%) από τους υπόλοιπους τύπους μπαταριών. Είναι ο μοναδικός τύπος μπαταριών που μπορεί να εκφορτιστεί πλήρως και για αυτό το λόγο είναι οι πιο κατάλληλες μπαταρίες για εφαρμογές “back-up”. Ακολουθούν κατά σειρά, οι μπαταρίες μολύβδου- οξέος με ενεργειακές αποδόσεις 60-95%, οι νικελίου με 60-91%, οι νατρίου-θείου με 90% και οι ψευδαργύρου/βρωμιδίου με 75%. Τη μικρότερη ενεργειακή απόδοση παρουσιάζουν οι μπαταρίες μετάλλου-αέρα (~50%), εξαιτίας της δυσκολίας επαναφόρτισής τους. Όσον αφορά στις ενεργειακές πυκνότητες, οι μπαταρίες μετάλλου αέρα παρουσιάζουν τις υψηλότερες ενεργειακές πυκνότητες, οι οποίες κυμαίνονται από 110-420 Wh/kg. Ακολουθούν οι νατρίου-θείου με 150-240 Wh/kg, οι λιθίου με 80-150 Wh/kg, οι νικελίου με 20-120 Wh/kg και τέλος οι μολύβδου-οξέος και οι ψευδαργύρου/βρωμιδίου με 25-45 Wh/kg και 37 Wh/kg αντίστοιχα. Συγκριτικά με τα άλλα είδη μπαταριών, οι μπαταρίες ροής έχουν τη δυνατότητα να αποθηκεύουν υψηλότερες ποσότητες ισχύος, οι οποίες κυμαίνονται από 5 – 500 MW για περιόδους διάρκειας από 1 δευτερόλεπτο μέχρι 12 ώρες. Η διάταξη αυτού του είδους μπαταριών διευκολύνει σε μεγάλο βαθμό τους ογκομετρικούς περιορισμούς που τίθενται σχετικά με την ποσότητα του ηλεκτρολύτη που μπορεί να συνδεθεί με ένα δεδομένο σύστημα, αυξάνοντας έτσι την ποσότητα της ισχύος που μπορεί να αποθηκευτεί. Οι μπαταρίες νατρίου-θείου έχουν επίσης τη δυνατότητα να τροφοδοτούν το σύστημα με υψηλό ποσοστό ισχύος σε σύντομο χρονικό διάστημα ή με μεγάλο ποσό ενέργειας για μεγαλύτερη χρονική περίοδο, ενώ παράλληλα είναι κατάλληλες για την αποθήκευση μεγάλου ποσού αιολικής ενέργειας. Αντίθετα, η ισχύς των συστημάτων π.χ. με μπαταρίες λιθίου – ιόντος κυμαίνεται συνήθως από 1 ως 100kW, με μπαταρίες νικελίου – καδμίου από 1kW ως 5MW και με μπαταρίες μολύβδου - οξέος από 1kW ως 10MW. Τόσο οι μπαταρίες ιόντος λιθίου όσο και οι μπαταρίες μολύβδου-οξέος και νικελίου-καδμίου απαιτούν αρκετά λεπτά για να εκφορτιστούν. Υπό κανονικές συνθήκες λειτουργίας, η διάρκεια ζωής κάθε τύπου μπαταριών είναι ισάξια. Εντούτοις, σε

δυσμενείς συνθήκες λειτουργίες μια κυψέλη νικελίου-καδμίου διαρκεί περισσότερο αφενός γιατί δεν διαβρώνονται εύκολα οι πλάκες της και αφετέρου γιατί δεν αντιμετωπίζει το φαινόμενο της θείωσης και της διαστρωμάτωσης. Όσον αφορά όμως στον αριθμό των κύκλων επαναφόρτισης, οι μπαταρίες νατρίου-θείου εμφανίζουν τον μεγαλύτερο αριθμό κύκλων επαναφόρτισης, οποίος κυμαίνεται από 2.500 - 4.500 κύκλους. Ακολουθούν οι μπαταρίες νικελίου και μολύβδου οξέος με αριθμό κύκλων επαναφόρτισης 1.000 – 2.000 κύκλους και 300 – 1.500 κύκλους αντίστοιχα. Μικρό αριθμό κύκλων επαναφόρτισης παρουσιάζουν οι μπαταρίες ψευδαργύρου/βρωμιδίου, που είναι περίπου 500 κύκλοι. Με κριτήριο το κόστος ανά μονάδα ενέργειας, οι μπαταρίες μολύβδου-οξέος παρουσιάζουν το χαμηλότερο κόστος, που ανέρχεται σε 50-150 €/kWh. Από την άλλη, οι μπαταρίες νικελίου είναι οι αρκετά δαπανηρές, με κυμαινόμενο κόστος από 200 έως και 750 €/kWh. Υψηλό κόστος της τάξης των 150-250 €/kWh, παρουσιάζουν όμως και οι μπαταρίες λιθίου, λόγω των εσωτερικών κυκλωμάτων προστασίας που απαιτούν. Τέλος, όσον αφορά στις περιβαλλοντικές επιπτώσεις, οι μπαταρίες μετάλλου αέρα είναι περισσότερο περιβαλλοντικά «συμβατές» από τα υπόλοιπα είδη μπαταριών, αφού κανένα τοξικό υλικό δεν περιλαμβάνεται στην κατασκευή τους. Αντίθετα, στα υπόλοιπα είδη μπαταριών τα υλικά κατασκευή τους απαιτούν ανακύκλωση, ενώ χαρακτηριστικά αναφέρουμε ότι η μπαταρία νικελίου-καδμίου περιέχει το υπερβολικά τοξικό κάδμιο.

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

✓✓✓ κατάλληλο

✓✓ μερικώς κατάλληλο

✓ περιορισμένα κατάλληλο

Πίνακας 3.1 Διατάξεις αποθήκευσης μπαταριών και τα χαρακτηριστικά λειτουργίας τους

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4ο – ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Οι Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ) (ή ήπιες μορφές ενέργειας, ή νέες πηγές ενέργειας, ή πράσινη ενέργεια) είναι μορφές εκμεταλλεύσιμης ενέργειας που προέρχονται από διάφορες φυσικές διαδικασίες, όπως ο άνεμος, η γεωθερμία, η κυκλοφορία του νερού και άλλες. Ο όρος «ήπιες» αναφέρεται σε δυο βασικά χαρακτηριστικά τους. Καταρχάς, για την εκμεταλλευτή τους δεν απαιτείται κάποια ενεργητική παρέμβαση, όπως εξόρυξη, άντληση ή καύση, όπως με τις μέχρι τώρα χρησιμοποιούμενες πηγές ενέργειας, αλλά απλώς η εκμετάλλευση της ήδη υπάρχουσας ροής ενέργειας στη φύση. Δεύτερον, πρόκειται για «καθαρές» μορφές ενέργειας, πολύ «φιλικές» στο περιβάλλον, που δεν αποδεσμεύουν υδρογονάνθρακες, διοξείδιο του άνθρακα ή τοξικά και ραδιενεργά απόβλητα, όπως οι υπόλοιπες πηγές ενέργειας που χρησιμοποιούνται σε μμεγάλη κλίμακα. Έτσι οι ΑΠΕ θεωρούνται από πολλούς μία αφετηρία για την επίλυση των οικολογικών προβλημάτων που αντιμετωπίζει η Γη.

Ως «ανανεώσιμες πηγές» θεωρούνται γενικά οι εναλλακτικές των παραδοσιακών πηγών ενέργειας (π.χ. του πετρελαίου ή του άνθρακα), όπως η ηλιακή και η αιολική. Ο χαρακτηρισμός «ανανεώσιμες» είναι κάπως καταχρηστικός, μιας και ορισμένες από αυτές τις πηγές, όπως η γεωθερμική ενέργεια δεν ανανεώνονται σε κλίμακα χιλιετιών. Σε κάθε περίπτωση οι ΑΠΕ έχουν μελετηθεί ως λύση στο πρόβλημα της αναμενόμενης εξάντλησης των (μη ανανεώσιμων) αποθεμάτων ορυκτών καυσίμων. Τελευταία από την Ευρωπαϊκή Ένωση, αλλά και από πολλά μεμονωμένα κράτη, υιοθετούνται νέες πολιτικές για τη χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, που προάγουν τέτοιες εσωτερικές πολιτικές και για τα κράτη μέλη. Οι ΑΠΕ αποτελούν τη βάση του μμοντέλου οικονομικής ανάπτυξης της πράσινης οικονομίας και κεντρικό σημείο εστίασης της σχολής των οικολογικών οικονομικών, η οποία έχει κάποια επιρροή στο οικολογικό κίνημα.

Οι Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ) αναπληρώνονται μέσω των φυσικών κύκλων και θεωρούνται πρακτικά ανεξάντλητες. Ο ήλιος, ο άνεμος, η γεωθερμία, τα ποτάμια, οι οργανικές ύλες, όπως το ξύλο και ακόμη τα απορρίμματα οικιακής και γεωργικής προέλευσης, είναι πηγές ενέργειας, που η προσφορά τους δεν εξαντλείται ποτέ. Εξάλλου, η αξιοποίησή τους για την παραγωγή ενέργειας δεν επιβαρύνει το περιβάλλον. Η Ελλάδα διαθέτει αξιόλογο δυναμικό ΑΠΕ, οι οποίες μπορούν να προσφέρουν μια πραγματική εναλλακτική λύση για την κάλυψη μέρους των ενεργειακών μας αναγκών, συνεισφέροντας στη μείωση της εξάρτησης από συμβατικά καύσιμα, στην ελάττωση του φαινομένου του Θερμοκηπίου, στη δημιουργία νέων θέσεων εργασίας και στην ανάπτυξη αποκεντρωμένων περιοχών. Οι μορφές των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας είναι:

Οι ήπιες μορφές ενέργειας βασίζονται κατ' ουσία στην ηλιακή ακτινοβολία, με εξαίρεση τη γεωθερμική ενέργεια, η οποία είναι ροή ενέργειας από το εσωτερικό του φλοιού της γης, και την ενέργεια απ' τις παλίρροιες που εκμεταλλεύεται τη βαρύτητα. Οι βασιζόμενες στην ηλιακή ακτινοβολία ήπιες πηγές ενέργειας είναι ανανεώσιμες, μιας και δεν πρόκειται να εξαντληθούν όσο υπάρχει ο ήλιος, δηλαδή για μερικά ακόμα δεσεκατομμύρια χρόνια. Ουσιαστικά είναι ηλιακή ενέργεια “συσκευασμένη” κατά τον ένα ή τον άλλο τρόπο: η βιομάζα είναι ηλιακή ενέργεια δεσμευμένη στους ιστούς των φυτών μέσω της φωτοσύνθεσης, η αιολική εκμεταλλεύεται τους ανέμους που προκαλούνται απ' τη θέρμανση του αέρα ενώ αυτές που βασίζονται στο νερό εκμεταλλεύονται τον κύκλο εξάτμισης-συμπύκνωσης του νερού και την κυκλοφορία του. Η γεωθερμική ενέργεια δεν είναι ανανεώσιμη, καθώς τα γεωθερμικά πεδία κάποια στιγμή εξαντλούνται.

Χρησιμοποιούνται είτε άμεσα (κυρίως για θέρμανση) είτε μετατρέπομενες σε άλλες μορφές ενέργειας (κυρίως ηλεκτρισμό ή μηχανική ενέργεια). Υπολογίζεται ότι το τεχνικά εκμεταλλεύσιμο ενεργειακό δυναμικό απ' τις ήπιες μορφές ενέργειας είναι πολλαπλάσιο της παγκόσμιας συνολικής κατανάλωσης ενέργειας. Η υψηλή όμως μέχρι πρόσφατα τιμή των νέων ενεργειακών εφαρμογών, τα τεχνικά προβλήματα εφαρμογής καθώς και πολιτικές και οικονομικές σκοπιμότητες που έχουν να κάνουν με τη διατήρηση του παρόντος στάτους κβο στον ενεργειακό τομέα εμπόδισαν την εκμετάλλευση έστω και μέρους αυτού του δυναμικού. Ειδικά στην Ελλάδα, που έχει μορφολογία και κλίμα κατάλληλο για νέες ενεργειακές εφαρμογές, η εκμετάλλευση αυτού του ενεργειακού δυναμικού θα βοηθούσε σημαντικά στην ενεργειακή αυτονομία της χώρας.

Το ενδιαφέρον για τις ήπιες μορφές ενέργειας ανακινήθηκε τη δεκαετία του 1970, ως αποτέλεσμα κυρίως των απαντών πετρελαϊκών κρίσεων της εποχής, αλλά και της αλλοίωσης του περιβάλλοντος και της ποιότητας ζωής από τη χρήση κλασικών πηγών ενέργειας. Ιδιαίτερα ακριβές στην αρχή, ξεκίνησαν σαν πειραματικές εφαρμογές. Σήμερα όμως λαμβάνονται υπόψη στους επίσημους σχεδιασμούς των ανεπτυγμένων κρατών για την ενέργεια και, αν και αποτελούν πολύ μικρό ποσοστό της ενεργειακής παραγωγής, ετοιμάζονται βήματα για παραπέρα αξιοποίησή τους. Το κόστος δε των εφαρμογών ήπιων μορφών ενέργειας πέφτει συνέχεια τα τελευταία είκοσι χρόνια και ειδικά η αιολική και υδροηλεκτρική ενέργεια, αλλά και η βιομάζα, μπορούν πλέον να ανταγωνίζονται στα ίσα παραδοσιακές πηγές ενέργειας όπως ο άνθρακας και η πυρηνική ενέργεια. Ενδεικτικά, στις Η.Π.Α. ένα 6% της ενέργειας προέρχεται από ανανεώσιμες πηγές, ενώ στην Ευρωπαϊκή Ένωση το 2010 το 25% της ενέργειας θα προέρχεται από ανανεώσιμες πηγές (κυρίως υδροηλεκτρικά και βιομάζα).

4.1 Αιολική ενέργεια

Αιολική ενέργεια ονομάζεται η ενέργεια που παράγεται από την εκμετάλλευση του πνέοντος ανέμου. Η εκμετάλλευση της ενέργειας του ανέμου υπήρξε από την αρχαιότητα μια λύση για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών του ανθρώπου: ιστιοφόρα, ανεμόμυλοι κ.λπ. Για την αξιοποίηση της αιολικής ενέργειας χρησιμοποιούμε σήμερα τις ανεμογεννήτριες, οι οποίες μετατρέπουν την κινητική ενέργεια του ανέμου σε ηλεκτρική. Οι νησιωτικές περιοχές της Ελλάδας είναι από τις ευνοϊκότερες γεωγραφικές θέσεις παγκοσμίως για την εκμετάλλευση της αιολικής ενέργειας. Η αιολική ενέργεια αποτελεί σήμερα μια ελκυστική λύση στο πρόβλημα της ηλεκτροπαραγωγής.



Εικόνα 4.1 Αιολικό Πάρκο

4.1.1 Τεχνολογία αξιοποίησης αιολικής ενέργειας

Παρ' ότι μια αιολική μηχανή μοιάζει απλή, στην πραγματικότητα ενσωματώνει τις τελευταίες τεχνολογικές εξελίξεις στους τομείς των υλικών, της αεροδυναμικής, των ηλεκτρονικών ισχύος και του ψηφιακού ελέγχου.

Μια τυπική αιολική μηχανή έχει οριζόντιο άξονα περιστροφής και τρία πτερύγια, τοποθετημένα στην κορυφή πύργου. Μέσα σε αυτό το γενικό πλαίσιο, έχουν γίνει πολλές βελτιώσεις τα τελευταία δέκα χρόνια που αφορούν τη δυνατότητα των μηχανών να μετατρέπουν όσο το δυνατόν μεγαλύτερη ενέργεια από τον άνεμο σε ηλεκτρική. Τέτοιες είναι: Ισχυρότεροι ρότορες, μεγαλύτερα σε μήκος, λεπτότερα και πιο ανθεκτικά πτερύγια, βελτιωμένα ηλεκτρονικά ισχύος και ελέγχου καθώς τα ελαφρύτερα, σύνθετα υλικά.

Η εγκατάσταση κάθε ανεμογεννήτριας διαρκεί 1-3 μέρες. Αρχικά ανυψώνεται ο πύργος και τοποθετείται τμηματικά πάνω στα θεμέλια. Μετά ανυψώνεται η άτρακτος στην κορυφή του πύργου. Στη βάση του πύργου συναρμολογείται ο ρότορας ή δρομέας (οριζοντίου άξονα, πάνω στον οποίο είναι προσαρτημένα τα πτερύγια), ο οποίος αποτελεί το κινητό μέρος της ανεμογεννήτριας. Η άτρακτος περιλαμβάνει το σύστημα μετατροπής της μηχανικής ενέργειας σε ηλεκτρική. Στη συνέχεια ο ρότορας ανυψώνεται και συνδέεται στην άτρακτο. Τέλος, γίνονται οι απαραίτητες ηλεκτρικές συνδέσεις.

4.1.2 Περιβαλλοντικά οφέλη και επιπτώσεις των αιολικών πάρκων

Τα περιβαλλοντικά οφέλη από την αξιοποίηση της αιολικής ενέργειας είναι πολλά καθώς:

- 1 MW αιολικής ενέργειας καλύπτει τις ανάγκες περίπου 350 οικιακών καταναλωτών ή 1000 ατόμων και εξοικονομεί περίπου 300 τόνους ισοδύναμου πετρελαίου.
- Μια γιγαβάτώρα αιολικής ενέργειας εξοικονομεί 600 τόνους διοξειδίου του άνθρακα (CO₂).
- Η ποσότητα CO₂ που ελκύεται κατά την κατασκευή και εγκατάσταση μιας ανεμογεννήτριας με χρόνο ζωής τα 20 έτη «αποσβένεται» μέσα στους πρώτους 3 με 6 μήνες λειτουργίας της.
- Οι σύγχρονες αιολικές μηχανές είναι «αθόρυβες». Σε απόσταση 40 μέτρων από μία ανεμογεννήτρια η στάθμη θορύβου είναι 50-60 dB(A). Σε απόσταση 200 μέτρων, μειώνεται στα 44 dB(A). Συγκριτικά, ο θόρυβος στο εσωτερικό αυτοκινήτου είναι περίπου 80 dB(A), στο εσωτερικό οικίας 50 dB(A) και σε υπνοδωμάτιο 30 dB(A).
- Ως προς τις ηλεκτρομαγνητικές παρεμβολές, αυτοί που σχεδιάζουν τα αιολικά πάρκα πρέπει να συμβουλευόνται τους αρμόδιους φορείς για να αποφύγουν πιθανά προβλήματα ηλεκτρομαγνητικής παρεμβολής. Για ακόμη μια φορά, ο σωστός σχεδιασμός εξαλείφει τα τυχόν προβλήματα. Σύμφωνα πάντως με το Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας, σπανίως εμφανίζονται προβλήματα, ηλεκτρομαγνητικών παρεμβολών, αφού η νομοθεσία προβλέπει ότι τα αιολικά πάρκα πρέπει να κατασκευάζονται σε αρκετά μεγάλη απόσταση από οικισμούς).

Ωστόσο, οι ανεμογεννήτριες μπορεί να προκαλέσουν τραυματισμούς ή θανατώσεις πουλιών από πρόσκρουση στις ανεμογεννήτριες αλλά και εναέρια καλώδια και άλλες εγκαταστάσεις που πλαισιώνουν τα αιολικά πάρκα. Επίσης, στα προβλήματα αναφέρονται η υποβάθμιση των ενδιατημάτων και η ενόχληση των πουλιών από την κατασκευή και λειτουργία των αιολικών πάρκων.

Το θέμα της προστασίας των πουλιών πρέπει να λαμβάνεται σοβαρά υπόψη κατά το σχεδιασμό αιολικών πάρκων. Έτσι, πρέπει να αποφεύγεται η εγκατάσταση ανεμογεννητριών σε περιοχές προστασίας πουλιών, περιοχές RAMSAR ή περιοχές ευαίσθητες οικολογικά.

Οι προσκρούσεις ποικίλουν με τον τύπο, την ταχύτητα περιστροφής των πτερυγίων και πολλούς άλλους παράγοντες που συνδέονται με τα κατασκευαστικά χαρακτηριστικά των ανεμογεννητριών. Ο ρόλος του σχεδιασμού της εγκατάστασης είναι πολύ σημαντικός. Στο πλαίσιο του σχεδιασμού είναι δυνατόν να ελεγχθούν επιπτώσεις από παράγοντες όπως η απόσταση μεταξύ των ανεμογεννητριών, οι επιπτώσεις του δρόμου πρόσβασης στα ενδιαίτηματα των πουλιών, οι επιπτώσεις των εναέριων καλωδίων κ.ά.

Μελέτες που έγιναν στην Δανία δείχνουν ότι τα πουλιά τείνουν να αλλάζουν την τροχιά πτήσης τους 100-200 μέτρα πριν από τις ανεμογεννήτριες και να πετάνε σε ασφαλή απόσταση από αυτές.

Είδη που ενδημούν στην ευρύτερη περιοχή του αιολικού πάρκου συχνά συνηθίζουν την ύπαρξη του και πλησιάζουν πολύ κοντά στις ανεμογεννήτριες. Ορισμένα είδη πουλιών εξοικειώνονται τόσο με το αιολικό πάρκο που πετούν πολύ κοντά στις ανεμογεννήτριες, ιδιαίτερα κατά την τροφοληψία (ειδικά κατά το κυνήγι της λείας τους σε σχέση με τα αρπακτικά πουλιά). Ορισμένα αρπακτικά ελκύονται από το αιολικό πάρκο όταν η περιοχή όπου βρίσκεται έχει άφθονη λεία.

Είναι σαφές επίσης ότι η όποια ενόχληση στην ορνιθοπανίδα είναι μεγαλύτερη κατά τη φάση κατασκευής – εγκατάστασης του αιολικού πάρκου απ' ό,τι κατά την φάση λειτουργίας του έργου. Η προσεκτική εγκατάσταση αιολικών πάρκων καθώς και ο σχεδιασμός των σύγχρονων ανεμογεννητριών συμβάλλουν σε μεγάλο βαθμό στην αποφυγή ενόχλησης των πουλιών. Από την μέχρι σήμερα γνωστή έρευνα σχετικά με τις επιπτώσεις από την εγκατάσταση και λειτουργία αιολικών πάρκων στα πουλιά, έχουν προταθεί αντισταθμιστικά μέτρα που μειώνουν αισθητά τόσο τον κίνδυνο των προσκρούσεων πουλιών στις ανεμογεννήτριες όσο και τις άλλες επιπτώσεις στην ορνιθοπανίδα. Για παράδειγμα:

- Υπάρχει πλέον ομοφωνία μεταξύ ερευνητών ότι οι ανεμογεννήτριες που χρησιμοποιούν πύργους σωληνωτού τύπου επιφέρουν μικρότερες επιπτώσεις από προσκρούσεις στην ορνιθοπανίδα συγκριτικά με τις ανεμογεννήτριες που χρησιμοποιούν πύργους δικτυωτού τύπου. Γι αυτό το λόγο, όλες οι νέες ανεμογεννήτριες κατασκευάζονται πλέον με πύργους σωληνωτού τύπου.
- Οι περισσότερες προσκρούσεις έχουν σημειωθεί σε αιολικά πάρκα παλαιού τύπου (πολλές μικρές ανεμογεννήτριες με πύργους δικτυωτού τύπου, με μεγάλη ταχύτητα περιστροφής και πυκνή διάταξη των μονάδων). Στα σύγχρονα αιολικά πάρκα οι πολλές μικρές μονάδες ανεμογεννητριών αντικαθίστανται από λιγότερες και μεγαλύτερες μονάδες, με μεγαλύτερους έλικες και μικρότερη ταχύτητα περιστροφής, τοποθετημένες σε μεγαλύτερες αποστάσεις η μία από την άλλη.

Στη διεθνή βιβλιογραφία υπάρχει και αντίλογος που προβάλλει τις ευεργετικές επιπτώσεις στην ορνιθοπανίδα από τη δημιουργία αιολικών πάρκων. Δεδομένου ότι το 99% της έκτασης του αιολικού πάρκου παραμένει ανέπαφο, η παρουσία της εγκατάστασης αποτρέπει άλλες, πιο καταστροφικές για το περιβάλλον, χρήσεις στην ίδια περιοχή. Επίσης, η παρουσία φύλακα στο πάρκο μπορεί να αποτρέψει π.χ. τη λαθροθηρία στην περιοχή, προστατεύοντας τα πουλιά. Υπολογίζεται ότι 100 φορές περισσότερα πουλιά πεθαίνουν από σύγκρουση με οχήματα παρά με ανεμογεννήτριες. Εκτιμάται ότι μόνο η πετρελαϊκή ρύπανση ευθύνεται για 150.000 – 450.000 νεκρά θαλασσοπούλια το χρόνο στη Βόρεια θάλασσα και στον Β. Ατλαντικό.

4.1.3 Πλωτά και υβριδικά αιολικά πάρκα

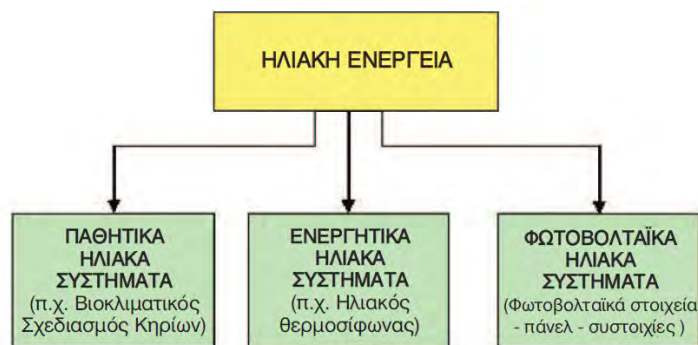
Σε χώρες της βόρειας Ευρώπης, όπως η Δανία και η Γερμανία, έχουν ήδη δημιουργηθεί πλωτά αιολικά πάρκα σε ανοικτή θάλασσα. Η Ευρωπαϊκή Ένωση σχεδιάζει να δημιουργήσει συνολικά 12 τέτοιες εγκαταστάσεις μέχρι το 2017, ώστε να καταστούν οικονομικά βιώσιμες μέχρι το 2022. Εννέα εγκαταστάσεις αιολικής ενέργειας θα υλοποιηθούν στη Βόρεια Θάλασσα και στη Βαλτική Θάλασσα, οι οποίες θα χρηματοδοτηθούν με 562 εκατομμύρια ευρώ. Η προοπτική αυτή αναμένεται να δώσει ελαχιστοποιήσει τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις των επίγειων αιολικών πάρκων.

Ακόμη πιο συμφέρουσα είναι η περίπτωση των υβριδικών αιολικών – υδροηλεκτρικών πάρκων, που βασίζονται σε μια πολύ απλή ιδέα: Επειδή ο αέρας φυσά συχνά κατά τρόπο μη προβλέψιμο, στις περιπτώσεις όπου η παραγόμενη ενέργεια δεν απορροφάται, μπορεί να χρησιμοποιείται για την άντληση νερού από ένα ταμιευτήρα γλυκού ή αλμυρού νερού προς ένα υψηλότερο σημείο, όπου θα αποθηκεύεται και θα παρέχει υδροηλεκτρική ενέργεια όταν υπάρχει ζήτηση. Τέτοια έργα ήδη υπάρχουν στην Κρήτη.

4.2 Ηλιακή ενέργεια

Ηλιακή ενέργεια χαρακτηρίζεται το σύνολο των διαφόρων μορφών ενέργειας που προέρχονται από τον ήλιο. Τέτοιες είναι το φως ή φωτεινή ενέργεια, η θερμότητα ή θερμική ενέργεια καθώς και διάφορες ακτινοβολίες ή ενέργεια ακτινοβολίας. Η ηλιακή ενέργεια στο σύνολό της είναι πρακτικά ανεξάντλητη, αφού προέρχεται από τον ήλιο, και ως εκ τούτου δεν υπάρχουν περιορισμοί χώρου και χρόνου για την εκμετάλλευσή της.

Όσον αφορά την εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας, θα μπορούσαμε να πούμε ότι χωρίζεται σε τρεις κατηγορίες εφαρμογών, όπως φαίνεται στην εικόνα 4.2: τα παθητικά ηλιακά συστήματα, τα ενεργητικά ηλιακά συστήματα, και τα φωτοβολταϊκά συστήματα. Τα παθητικά και τα ενεργητικά ηλιακά συστήματα εκμεταλλεύονται τη θερμότητα που εκπέμπεται μέσω της ηλιακής ακτινοβολίας, ενώ τα φωτοβολταϊκά συστήματα στηρίζονται στη μετατροπή της ηλιακής ακτινοβολίας σε ηλεκτρικό ρεύμα μέσω του φωτοβολταϊκού φαινομένου.



Εικόνα 4.2 Διαγραμματική απεικόνιση της εκμετάλλευσης της ηλιακής ενέργειας

Η ηλιακή ενέργεια χρησιμοποιείται περισσότερο για θερμικές εφαρμογές (ηλιακοί θερμοσίφωνες και φούρνοι) ενώ η χρήση της για την παραγωγή ηλεκτρισμού έχει αρχίσει να κερδίζει έδαφος, με την βοήθεια της πολιτικής προώθησης των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας από την Ευρωπαϊκή Ένωση. Η Ηλιακή Ενέργεια, η οποία αξιοποιείται με τα: 1) Παθητικά Ηλιακά Συστήματα, 2) Ενεργητικά Ηλιακά συστήματα και 3) τα Φωτοβολταϊκά Συστήματα.

Τα παθητικά ηλιακά συστήματα είναι δομικά στοιχεία του κτιρίου, που, αξιοποιώντας τους νόμους μεταφοράς θερμότητας, συλλέγουν την ηλιακή ενέργεια, την αποθηκεύουν σε μορφή θερμότητας και τη διανέμουν στο χώρο. Η συλλογή της ηλιακής ενέργειας βασίζεται στο φαινόμενο του θερμοκηπίου και ειδικότερα, στην είσοδο της ηλιακής ακτινοβολίας μέσω του γυαλιού ή άλλου διαφανούς υλικού και τον εγκλωβισμό της θερμότητας στο εσωτερικό του χώρου. Τα παθητικά ηλιακά συστήματα συνδυάζονται και με τεχνικές φυσικού φωτισμού καθώς και παθητικά συστήματα και τεχνικές για το φυσικό δροσισμό των κτιρίων το καλοκαίρι. Μπορούν δε να εφαρμοστούν τόσο σε καινούργια, όσο και σε ήδη υπάρχοντα κτίρια.

Τα ενεργητικά (ή θερμικά) ηλιακά συστήματα αποτελούν μηχανολογικά συστήματα που συλλέγουν, την ηλιακή ενέργεια, τη μετατρέπουν σε θερμότητα, την αποθηκεύουν και τη διανέμουν, χρησιμοποιώντας είτε κάποιο υγρό είτε αέρα ως ρευστό μεταφοράς της θερμότητας. Χρησιμοποιούνται για θέρμανση νερού οικιακής χρήσης, για τη θέρμανση και ψύξη χώρων, για βιομηχανικές διεργασίες, για αφαλάτωση, για διάφορες αγροτικές εφαρμογές, για θέρμανση του νερού σε πισίνες κ.λ.π. Η πιο απλή και διαδεδομένη μορφή των θερμικών ηλιακών συστημάτων είναι οι γνωστοί σε όλους μας ηλιακοί θερμοσίφωνες.

Με τη χρήση των ενεργητικών ηλιακών συστημάτων μπορούμε να πετύχουμε παραγωγή ζεστού νερού:

- Σε βιομηχανίες που απαιτούν ζεστό νερό κατά τη διάρκεια της παραγωγικής τους διαδικασίας, όπως σαπωνοποιεία, βυρσοδεψεία, παραγωγή γαλακτοκομικών προϊόντων, βαφεία, ζυθοποιεία κ.λ.π.
- Σε θερμοκήπια για θέρμανση χώρου και εδάφους.
- Σε μεγάλα κτίρια ιδιωτικά και δημόσια, όπως νοσοκομεία, πολυκατοικίες, κ.λ.π.

Τα φωτοβολταϊκά συστήματα (Φ/Β) μετατρέπουν την ηλιακή ενέργεια σε ηλεκτρική, λύνοντας έτσι το πρόβλημα της ηλεκτροδότησης περιοχών που είναι δύσκολο να πάρουν ρεύμα από το ηλεκτρικό δίκτυο (απομονωμένα σπίτια, φάρoi, κ.α). Μικροί υπολογιστές και ρολόγια χρησιμοποιούν τα Φ/Β για την λειτουργία τους. Στην Ελλάδα υπάρχουν προϋποθέσεις για ανάπτυξη και εφαρμογή των Φ/Β συστημάτων, λόγω του ιδιαίτερα υψηλού δυναμικού ηλιακής ενέργειας. Παρ' όλα αυτά στη χώρα μας υπάρχει ένας μικρός αριθμός εγκατεστημένων Φ/Β συστημάτων, συνολικής εγκατεστημένης ισχύος της τάξης των 1000 kWp. Οι κυριότερες εφαρμογές Φ/Β στη χώρα μας, συνολικής εγκατεστημένης ισχύος της τάξης των 1000 kWp, αφορούν μικρά αυτόνομα συστήματα για την ηλεκτροδότηση απομονωμένων περιοχών. Η δυνατότητα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας τόσο σε απομακρυσμένες όσο και σε κατοικημένες περιοχές, χωρίς επιπτώσεις στο περιβάλλον, κάνει ελκυστική τη χρήση φωτοβολταϊκών συστημάτων στη χώρα μας.



Εικόνα 4.3 Απομακρυσμένη εγκατάσταση παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας

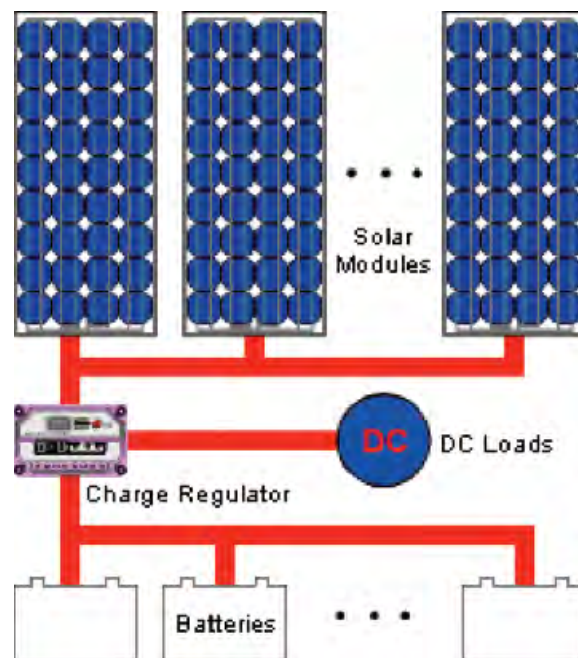
Ένα τυπικό Φ/Β σύστημα αποτελείται από:

- το Φ/Β πλαίσιο (είδος ηλιακού συλλέκτη).
- το σύστημα αποθήκευσης της ενέργειας (μπαταρίες).
- Τα ηλεκτρονικά συστήματα που ελέγχουν την ηλεκτρική ενέργεια που παράγει η Φ/Β συστοιχία.

Μία τυπική συστοιχία αποτελείται από ένα ή περισσότερα Φ/Β πλαίσια ηλεκτρικά συνδεδεμένα μεταξύ τους. Όταν τα Φ/Β πλαίσια εκτεθούν στην ηλιακή ακτινοβολία τότε αυτά μετατρέπουν ένα 10% περίπου της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική. Επιπλέον, η μετατροπή της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική γίνεται αθόρυβα, αξιόπιστα και δίχως καμιά επιβάρυνση για το περιβάλλον. Τα Φ/Β πλαίσια αποτελούνται από κατάλληλα επεξεργασμένους δίσκους πυριτίου (ηλιακά στοιχεία = solar cells) που βρίσκονται ερμητικά σφραγισμένοι μέσα σε πλαστική ύλη για να προστατεύονται από τις καιρικές συνθήκες (π.χ. υγρασία). Η μπροστινή όψη του πλαισίου προστατεύεται από ανθεκτικό γυαλί. Η κατασκευή αυτή, που δεν ξεπερνά σε πάχος τα 4 με 5 χιλιοστά του μέτρου, τοποθετείται συνήθως σε πλαίσιο αλουμινίου, όπως στους υαλοπίνακες των κτιρίων. Τα εσωτερικά είναι διασυνδεδεμένα εν σειρά και παράλληλα ανάλογα με την εφαρμογή.

Η ενσωμάτωση των Φ/Β πλαισίων στα κτίρια μπορεί να έχει πολλαπλά οφέλη. Εκτός από την παραγωγή ηλεκτρισμού τα Φ/Β πλαίσια μπορούν να χρησιμοποιηθούν και ως δομικά στοιχεία για την κάλυψη της οροφής, για την επένδυση της πρόσοψης ή και ως σκίαστρα. Το νέο αυτό στοιχείο στην αρχιτεκτονική, θα μπορούσε να οδηγήσει σε πρωτότυπες λύσεις για την εμφάνιση των κτιρίων.

Για την κατάλληλη τοποθέτηση ενός ηλιακού συστήματος, υπολογίζεται πρώτα το μέγεθος της γεννήτριας ρεύματος, ανάλογα με την υφιστάμενη ανάγκη για ενέργεια σε κάθε περίπτωση. Το ηλιακό σύστημα θα πρέπει να προμηθεύει ενέργεια σε επαρκή ποσότητα, ώστε να καλύπτει το ρεύμα που καταναλώνουν στη διάρκεια της ημέρας λάμπες, συσκευές, καθώς επίσης και την ενέργεια που καταναλώνει η ίδια η εγκατάσταση.



Εικόνα 4.4 Σχηματική απεικόνιση της εγκατάστασης παραγωγής ενέργειας με φωτοβολταϊκά τόξα

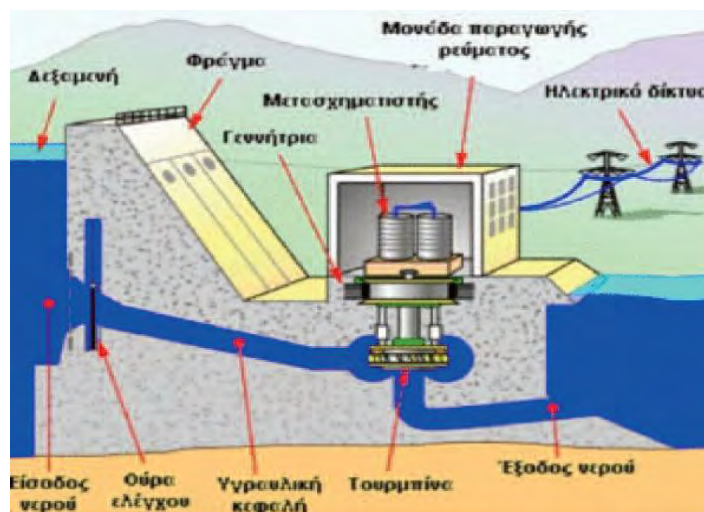
4.3 Υδροδυναμική Ενέργεια / Υδατοπτώσεις

Υδροδυναμική ενέργεια ονομάζεται η ενέργεια που παρέχεται στον άνθρωπο από τη δύναμη του νερού στη φύση. Ο πιο διαδεδομένος τρόπος χρήσης της, είναι μέσω των υδατοπτώσεων αλλά και των φραγμάτων. Μεγάλη προσπάθεια γίνεται τα τελευταία χρόνια για επενδύσεις σε συστήματα που θα εκμεταλλεύονται την ενέργεια των κυμάτων της θάλασσας, αλλά και των παλιρροιών. Η υδροδυναμική ενέργεια είναι μια καθαρή, ανεξάντλητη και ανανεώσιμη πηγή ενέργειας, που δεν μολύνει το περιβάλλον και παρέχεται από τη φύση με περίσσεια.

Οι υδατοπτώσεις προκαλούνται από τη βαρύτητα με τη μεταφορά του ύδατος από ένα σημείο με μεγαλύτερο υψόμετρο σε ένα με χαμηλότερο. Αυτό το φαινόμενο είναι μέρος του κύκλου του νερού του οποίου η κινητήριος δύναμη προέρχεται από τον ήλιο. Η αύξηση της θερμοκρασίας σε θάλασσες και λίμνες, αναγκάζει το νερό να εξατμιστεί στην ατμόσφαιρα και να μεταφερθεί μέσω των ανέμων σε περιοχές με μεγαλύτερο υψόμετρο. Σε αυτές τις περιοχές μέσω της συμπύκνωσης πέφτουν βροχές και χιόνια τα οποία δημιουργούν τους ποταμούς. Τα ποτάμια είναι η μετατροπή της δυναμικής ενέργειας του νερού σε κινητική και είναι αυτή η ενέργεια που χρησιμοποίησε ο άνθρωπος από τα αρχαία χρόνια για να καλύψει τις ανάγκες του. Η νεροτριβή χρησιμοποιείται ακόμα και τώρα σε ορεινές περιοχές για το πλύσιμο μεγάλων υφασμάτων, οι υδραυλικοί τροχοί με απόδοση που μπορεί να φτάσει και το 90% έδωσαν κίνηση σε νερόμυλους για το άλεσμα του σιταριού, αλλά και για τη κίνηση διάφορων υδροκίνητων μηχανών όπως πχ. των μπαρουτόμυλων, μηχανών κλωστοϋφαντουργίας, νεροπρίονων κ.ά.

Η μετατροπή της ενέργειας των υδατοπτώσεων με τη χρήση υδροηλεκτρικών έργων (υδατοταμιευτήρας, φράγμα, κλειστός αγωγός πτώσεως, υδροστρόβιλος, ηλεκτρογεννήτρια, διώρυγα φυγής) παράγει την υδροηλεκτρική ενέργεια.

Τα γνωστά σε όλους υδροηλεκτρικά εργοστάσια βασίζονται στην αρχή των υδραυλικών τροχών, αλλά με τη διαφορά ότι τη θέση του τροχού καταλαμβάνει ο υδροστρόβιλος που μεταφέρει τη κινητική του ενέργεια στην ηλεκτρογεννήτρια. Ο συγκεκριμένος τρόπος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας είναι εκτός από πολύ αποδοτικός, αλλά και καθαρός, διότι έχει μηδενικές εκπομπές ρύπων αφού δεν εξαρτάται από ορυκτά καύσιμα. Είναι μια αξιόπιστη τεχνολογία με χαμηλά κόστη συν-τήρησης, μεγάλη διάρκεια ζωής και ποιοτική παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Η ανάγκη της αδιάλειπτης τροφοδοσίας των υδροηλεκτρικών εγκαταστάσεων με νερό, μας ανάγκασε στη δημιουργία των φραγμάτων. Τα φράγματα είναι ο φυσικός ταμιευτήρας νερού, κατασκευάζεται σε σημεία που υπάρχουν ποταμοί και η μορφολογία του εδάφους το επιτρέπει.



Εικόνα 4.5 Αξιοποίηση της κίνησης του νερού για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας

Τα υδροηλεκτρικά έργα ταξινομούνται σε μεγάλης και μικρής κλίμακας. Τα μικρής κλίμακας υδροηλεκτρικά έργα διαφέρουν σημαντικά από της μεγάλης κλίμακας σε ότι αφορά τις επιπτώσεις τους στο περιβάλλον. Οι μεγάλης κλίμακας υδροηλεκτρικές μονάδες απαιτούν τη δημιουργία φραγμάτων και τεράστιων δεξαμενών με σημαντικές επιπτώσεις στο περιβάλλον. Η κατασκευή φραγμάτων περιορίζει τη μετακίνηση των ψαριών, της άγριας ζωής και επηρεάζει ολόκληρο το οικοσύστημα καθώς μεταβάλλει ριζικά τη μορφολογία της περιοχής. Αντίθετα, τα μικρής κλίμακας υδροηλεκτρικά εγκαθίστανται δίπλα σε ποτάμια ή κανάλια και η λειτουργία τους παρουσιάζει πολύ μικρότερη περιβαλλοντική όχληση. Για το λόγο αυτό, οι υδροηλεκτρικές μονάδες μικρότερης δυναμικότητας των 30 MW χαρακτηρίζονται ως μικρής κλίμακας υδροηλεκτρικά έργα και συμπεριλαμβάνονται μεταξύ των εγκαταστάσεων παραγωγής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές. Κατά τη λειτουργία τους, μέρος της ροής ενός ποταμού οδηγείται σε στρόβιλο για την παραγωγή μηχανικής ενέργειας και συνακόλουθα ηλεκτρικής μέσω της γεννήτριας. Η χρησιμοποιούμενη ποσότητα νερού κατόπιν επιστρέφει στο φυσικό ταμιευτήρα ακολουθώντας τη φυσική της ροή.

Τα κύρια πλεονεκτήματα της υδροηλεκτρικής ενέργειας που προέρχεται από μονάδες μικρής και μεγάλης κλίμακας είναι:

- Οι υδροηλεκτρικοί σταθμοί είναι δυνατό να τεθούν σε λειτουργία αμέσως μόλις απαιτηθεί, σε αντίθεση με τους θερμικούς σταθμούς που απαιτούν σημαντικό χρόνο προετοιμασίας.
- Είναι μία “καθαρή” και ανανεώσιμη πηγή ενέργειας, με τα προαναφερθέντα συνακόλουθα οφέλη (εξοικονόμηση συναλλάγματος, φυσικών πόρων, προστασία περιβάλλοντος).
- Μέσω των υδατοταμιευτήρων δίνεται η δυνατότητα να ικανοποιηθούν και άλλες ανάγκες, όπως ύδρευση, άρδευση, ανάσχεση χειμάρρων, δημιουργία υγροτόπων, περιοχών αναψυχής και αθλητισμού.

Ως μειονεκτήματα αναφέρονται μόνο αποτελέσματα που σχετίζονται με τη δημιουργία έργων μεγάλης κλίμακας, όπως:

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

Για τους λόγους αυτούς, η διεθνής πρακτική σήμερα προσανατολίζεται στην κατασκευή έργων μικρότερης κλίμακας, όπως η δημιουργία μικρότερων φραγμάτων, οι συστοιχίες μικρών υδροηλεκτρικών έργων και οι μονάδες μικρής κλίμακας.

4.4 Βιομάζα

Με τον όρο βιομάζα ονομάζουμε οποιοδήποτε υλικό παράγεται από ζωντανούς οργανισμούς (όπως είναι το ξύλο και άλλα προϊόντα του δάσους, υπολείμματα καλλιεργειών, κτηνοτροφικά απόβλητα, απόβλητα βιομηχανιών τροφίμων κ.λπ.) και μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως καύσιμο για παραγωγή ενέργειας. Η ενέργεια που είναι δεσμευμένη στις φυτικές ουσίες προέρχεται από

τον ήλιο. Με τη διαδικασία της φωτοσύνθεσης, τα φυτά μετασχηματίζουν την ηλιακή ενέργεια σε βιομάζα. Οι ζωικοί οργανισμοί αυτή την ενέργεια την προσλαμβάνουν με την τροφή τους και αποθηκεύουν ένα μέρος της. Αυτή την ενέργεια αποδίδει τελικά η βιομάζα, μετά την επεξεργασία και τη χρήση της. Είναι μια ανανεώσιμη πηγή ενέργειας γιατί στην πραγματικότητα είναι αποθηκευμένη ηλιακή ενέργεια που δεσμεύτηκε από τα φυτά κατά τη φωτοσύνθεση.

Η βιομάζα είναι η πιο παλιά και διαδεδομένη ανανεώσιμη πηγή ενέργειας. Ο πρωτόγονος άνθρωπος, για να ζεσταθεί και να μαγειρέψει, χρησιμοποίησε την ενέργεια (θερμότητα) που προερχόταν από την καύση των ξύλων, που είναι ένα είδος βιομάζας. Αλλά και μέχρι σήμερα, κυρίως οι αγροτικοί πληθυσμοί, τόσο της Αφρικής, της Ινδίας και της Λατινικής Αμερικής, όσο και της Ευρώπης, για να ζεσταθούν, να μαγειρέψουν και να φωτιστούν χρησιμοποιούν ξύλα, φυτικά υπολείμματα (άχυρα, πριονίδια, άχρηστους καρπούς ή κουκούτσια κ.ά.) και ζωικά απόβλητα (κοπριά, λίπος ζώων, άχρηστα αλιεύματα κ.ά.).

Όλα τα παραπάνω υλικά, που άμεσα ή έμμεσα προέρχονται από το φυτικό κόσμο, αλλά και τα υγρά απόβλητα και το μεγαλύτερο μέρος από τα αστικά απορρίμματα (υπολείμματα τροφών, χαρτί κ.ά.) των πόλεων και των βιομηχανιών, μπορούμε να τα μετατρέψουμε σε ενέργεια. Η ενέργεια της βιομάζας (βιοενέργεια ή πράσινη ενέργεια) είναι δευτερογενής ηλιακή ενέργεια. Η ηλιακή ενέργεια μετασχηματίζεται από τα φυτά μέσω της φωτοσύνθεσης. Οι βασικές πρώτες ύλες που χρησιμοποιούνται, είναι το νερό και ο άνθρακας, που είναι άφθονα στη φύση. Η μόνη φυσικά ευρισκόμενη πηγή ενέργειας με άνθρακα που τα αποθέματά της είναι ικανά ώστε να μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως υποκατάστατο των ορυκτών καυσίμων, είναι η βιομάζα. Αντίθετα από αυτά, η βιομάζα είναι ανανεώσιμη καθώς απαιτείται μόνο μια σύντομη χρονική περίοδος για να αναπληρωθεί ότι χρησιμοποιείται ως πηγή ενέργειας. Εν γένει, για τις διάφορες τελικές χρήσεις υιοθετούνται διαφορετικοί όροι. Έτσι, ο όρος «βιοϊσχύς» περιγράφει τα συστήματα που χρησιμοποιούν πρώτες ύλες βιομάζας αντί των συνήθων ορυκτών καυσίμων (φυσικό αέριο, άνθρακα) για ηλεκτροπαραγωγή, ενώ ως «βιοκαύσιμα» αναφέρονται κυρίως τα υγρά καύσιμα μεταφορών που υποκαθιστούν πετρελαϊκά προϊόντα, π.χ. βενζίνη ή ντίζελ.

Βασικό πλεονέκτημα της βιομάζας είναι ότι είναι ανανεώσιμη πηγή ενέργειας και ότι παρέχει ενέργεια αποθηκευμένη με χημική μορφή. Η αξιοποίηση της μπορεί να γίνει με μετατροπή της σε μεγάλη ποικιλία προϊόντων, με διάφορες μεθόδους και τη χρήση σχετικά απλής τεχνολογίας. Σαν πλεονέκτημά της καταγράφεται και το ότι κατά την παραγωγή και την μετατροπή της δεν δημιουργούνται οικολογικά και περιβαλλοντολογικά προβλήματα. Από την άλλη, σαν μορφή ενέργειας η βιομάζα χαρακτηρίζεται από πολυμορφία, χαμηλό ενεργειακό περιεχόμενο, σε σύγκριση με τα ορυκτά καύσιμα, λόγω χαμηλής πυκνότητας και/ή υψηλής περιεκτικότητας σε νερό, εποχικότητα, μεγάλη διασπορά, κλπ. Τα χαρακτηριστικά αυτά συνεπάγονται πρόσθετες, σε σχέση με τα ορυκτά καύσιμα, δυσκολίες στη συλλογή, μεταφορά και αποθήκευσή της. Σαν συνέπεια το κόστος μετατροπής της σε πιο εύχρηστες μορφές ενέργειας παραμένει υψηλό. Εντούτοις θεωρείται μια πηγή ενέργειας με πολλές δυνατότητες και εφαρμογές που θα χρησιμοποιηθεί πλατιά στο μέλλον.

- Οι κυριότερες χρήσεις της βιομάζας είναι:
- Θέρμανση θερμοκηπίων
- Θέρμανση κτιρίων με καύση βιομάζας σε ατομικούς/κεντρικούς λέβητες
- Παραγωγή ενέργειας σε γεωργικές βιομηχανίες
- Παραγωγή ενέργειας σε βιομηχανίες ξύλου
- Τηλεθέρμανση : είναι η προμήθεια θέρμανσης χώρων καθώς και θερμού νερού χρήσης σε ένα σύνολο κτιρίων, έναν οικισμό, ένα χωριό ή μια πόλη, από έναν κεντρικό σταθμό

παραγωγής θερμότητας. Η θερμότητα μεταφέρεται με προμονωμένο δίκτυο αγωγών από το σταθμό προς τα θερμαινόμενα κτίρια.

- Παραγωγή ενέργειας σε μονάδες βιολογικού καθαρισμού και Χώρους Υγει-ονομικής Ταφής Απορριμμάτων (ΧΥΤΑ)

4.4.1 Πλεονεκτήματα

- Η καύση της βιομάζας έχει μηδενικό ισοζύγιο διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) δεν συνεισφέρει στο φαινόμενο του θερμοκηπίου επειδή οι ποσότητες του διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) που απελευθερώνονται κατά την καύση της βιομάζας δεσμεύονται πάλι από τα φυτά για τη δημιουργία της βιομάζας.
- Η μηδαμινή ύπαρξη του θείου στη βιομάζα συμβάλλει σημαντικά στον περιορισμό των εκπομπών του διοξειδίου του θείου (SO₂) που είναι υπεύθυνο για την όξινη βροχή.
- Εφόσον η βιομάζα είναι εγχώρια πηγή ενέργειας, η αξιοποίησή της σε ενέργεια συμβάλλει σημαντικά στη μείωση της εξάρτησης από εισαγόμενα καύσιμα και βελτίωση του εμπορικού ισοζυγίου, στην εξασφάλιση του ενεργειακού εφοδιασμού και στην εξοικονόμηση του συναλλάγματος.
- Η ενεργειακή αξιοποίηση της βιομάζας σε μια περιοχή, αυξάνει την απασχόληση στις αγροτικές περιοχές με τη χρήση εναλλακτικών καλλιεργειών (διάφορα είδη ελαιοκράμβης, σόργο, καλάμι, κενάφ) τη δημιουργία εναλλακτικών αγορών για τις παραδοσιακές καλλιέργειες (ηλίανθος κ.ά.), και τη συγκράτηση του πληθυσμού στις εστίες τους, συμβάλλοντας έτσι στη κοινωνικο-οικονομική ανάπτυξη της περιοχής. Μελέτες έχουν δείξει ότι η παραγωγή υγρών βιοκαυσίμων έχει θετικά αποτελέσματα στον τομέα της απασχόλησης τόσο στον αγροτικό όσο και στο βιομηχανικό χώρο.

4.4.2 Μειονεκτήματα

- Ο αυξημένος όγκος και η μεγάλη περιεκτικότητα σε υγρασία, σε σχέση με τα ορυκτά καύσιμα δυσχεραίνουν την ενεργειακή αξιοποίηση της βιομάζας.
- Η μεγάλη διασπορά και η εποχιακή παραγωγή της βιομάζας δυσκολεύουν την συνεχή τροφοδοσία με πρώτη ύλη των μονάδων ενεργειακής αξιοποίησης της βιομάζας.
- Βάση των παραπάνω παρουσιάζονται δυσκολίες κατά τη συλλογή, μεταφορά, και αποθήκευση της βιομάζας που αυξάνουν το κόστος της ενεργειακής αξιοποίησης.
- Οι σύγχρονες και βελτιωμένες τεχνολογίες μετατροπής της βιομάζας απαιτούν υψηλό κόστος εξοπλισμού, συγκρινόμενες με αυτό των συμβατικών καυσίμων.

4.5 Βιοκαύσιμα

Βιοκαύσιμα (biofuels) ονομάζονται τα καύσιμα εκείνα, στερεά, υγρά ή αέρια, τα οποία προέρχονται από τη βιομάζα, το βιοδιασπώμενο δηλαδή κλάσμα προϊόντων ή αποβλήτων διαφόρων ανθρώπινων δραστηριοτήτων.

Ιστορικά τα πρώτα καύσιμα που χρησιμοποιήθηκαν από τον άνθρωπο ανήκαν στην κατηγορία των βιοκαυσίμων. Έτσι το ξύλο, το λίπος, τα φυτικά λάδια αλλά και τα αποστάγματα ώντας οργανικής προέλευσης εμπίπτουν στην κατηγορία των βιοκαυσίμων. Η μεγάλη ανάγκη σε φθηνά καύσιμα μεγάλου ενεργειακού περιεχομένου μετά την βιομηχανική επανάσταση, η οποία συνεχίζει αυξανόμενη έως σήμερα, ενίσχυσε σημαντικά τη χρήση ορυκτών καυσίμων, άνθρακα αρχικά και πετρελαϊκών παραγώγων αργότερα, σε βάρος των παραδοσιακών βιοκαυσίμων. Τα προβλήματα υπερθέρμανσης του πλανήτη, τα οποία σχετίζονται άμεσα με το περιεχόμενο των καυσίμων σε άνθρακα και το εκπεμπόμενο κατά την καύση διοξείδιο του άνθρακα (CO₂) έχουν

δημιουργήσει κατά τα τελευταία χρόνια ένα κλίμα στροφής προς βιοκαύσιμα τα οποία καλούνται να υποκαταστήσουν σταδιακά τα συμβατικά καύσιμα.

Τα βιοκαύσιμα προερχόμενα από οργανικά προϊόντα και θεωρούνται ανανεώσιμα καύσιμα. Ως ανανεώσιμα καύσιμα έχουν το χαρακτηριστικό των χαμηλότερων εκπομπών CO₂ στο συνολικό κύκλο ζωής τους σε σχέση με τα συμβατικά ορυκτά καύσιμα, στοιχείο που εξαρτάται άμεσα από την προέλευση τους, τη χρήση τους αλλά και τον τρόπο παραγωγής και διανομής τους. Κατά την καύση τους τα καύσιμα αυτά εκπέμπουν περίπου ίσες ποσότητες CO₂ με τα αντίστοιχα πετρελαϊκής προέλευσης. Επειδή όμως είναι οργανικής προέλευσης ο άνθρακας τον οποίο περιέχουν έχει δεσμευτεί κατά την ανάπτυξη της οργανικής ύλης από την ατμόσφαιρα στην οποία επανέρχεται μετά την καύση κι έτσι το ισοζύγιο εκπομπών σε όλο τον κύκλο ζωής του βιοκαυσίμου είναι θεωρητικά μηδενικό. Στην πράξη επειδή κατά την παραγωγή και διακίνηση της πρώτης ύλης αλλά και των ίδιων των βιοκαυσίμων υπεισέρχονται και άλλες δραστηριότητες κατά τις οποίες παράγονται εκπομπές CO₂ το τελικό όφελος από τα καύσιμα αυτά μπορεί να είναι από πολύ μεγάλο έως μηδαμινό. Για να αποφανθεί κανείς ασφαλώς για τα περιβαλλοντικά οφέλη κάποιου βιοκαυσίμου πρέπει να πραγματοποιήσει εξειδικευμένη ανάλυση κύκλου ζωής.

4.6 Γεωθερμική ενέργεια

Η Γεωθερμία είναι μία ήπια και ανανεώσιμη ενεργειακή πηγή που μπορεί με τις σημερινές τεχνολογικές δυνατότητες να καλύψει ενεργειακές ανάγκες θέρμανσης, αλλά και να παραγάγει ηλεκτρική ενέργεια σε ορισμένες περιπτώσεις. Η θερμοκρασία του γεωθερμικού ρευστού ή ατμού ποικίλει από περιοχή σε περιοχή και μπορεί να έχει τιμές από 25 °C μέχρι 350 °C. Στις περιπτώσεις που τα γεωθερμικά ρευστά έχουν υψηλή θερμοκρασία (πάνω από 150 °C) η γεωθερμική ενέργεια χρησιμοποιείται κυρίως για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Όταν η θερμοκρασία είναι χαμηλότερη, η γεωθερμική ενέργεια αξιοποιείται για τη θέρμανση κατοικιών, θερμοκηπίων, κτηνοτροφικών μονάδων, ιχθυοκαλλιεργειών κ.λπ.

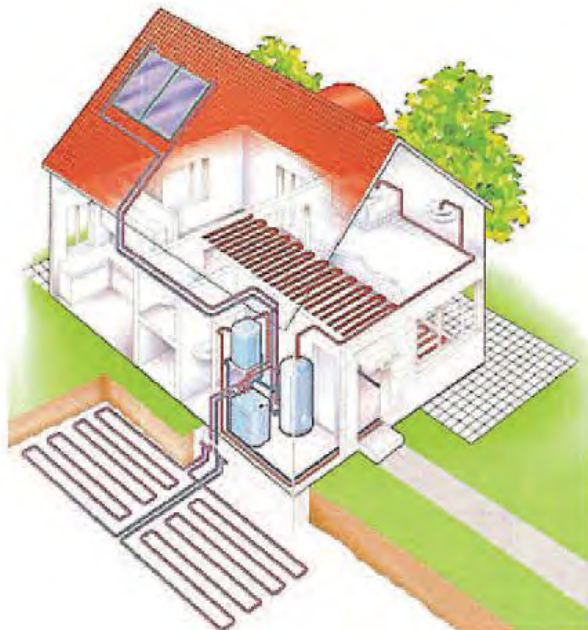
Προέρχεται από τη θερμότητα που παράγεται απ' τη ραδιενεργό αποσύνθεση των πετρωμάτων της γης. Είναι εκμεταλλεύσιμη εκεί όπου η θερμότητα αυτή ανεβαίνει με φυσικό τρόπο στην επιφάνεια, π.χ. στους θερμοπίδακες ή στις πηγές ζεστού νερού. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί είτε απευθείας για θερμικές εφαρμογές είτε για την παραγωγή ηλεκτρισμού. Η Ισλανδία καλύπτει το 80-90% των ενεργειακών της αναγκών, όσον αφορά τη θέρμανση, και το 20%, όσον αφορά τον ηλεκτρισμό, με γεωθερμική ενέργεια.

Η αρχή του γεωθερμικού κλιματισμού είναι εξαιρετικά απλή. Βασίζεται στο γεγονός ότι λίγα μέτρα κάτω από την επιφάνεια της γης η θερμοκρασία του εδάφους είναι σταθερή στους 18-20 βαθμούς Κελσίου. Συνεπώς η εκμετάλλευση της διαφοράς θερμοκρασίας μεταξύ υπεδάφους και επιφάνειας, αξιοποιείται για τη θέρμανση χώρων το χειμώνα και για την ψύξη τους αντίστοιχα το καλοκαίρι. Αυτό γίνεται με τη χρήση μιας γεωθερμικής αντλίας θερμότητας, η δε θερμότητα μεταδίδεται μέσω ενός δικτύου σωληνώσεων που είτε βρίσκονται σε οριζόντια διάταξη και χαμηλό βάθος, είτε σε κατακόρυφη διάταξη.



Εικόνα 4.6 Κατακόρυφο και οριζόντιο σύστημα αξιοποίησης της γεωθερμίας για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας οικιακών αναγκών

Μια γεωθερμική αντλία θερμότητας καταναλώνει συνήθως γύρω στο 25-30% της ενέργειας που αποδίδει, συμβάλλοντας έτσι σημαντικά στην εξοικονόμηση ενέργειας. Οι γεωθερμικές αντλίες θερμότητας μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν σε υβριδικά συστήματα, από κοινού με ηλιοθερμικά.



Εικόνα 4.7 Υβριδικό σύστημα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας που αξιοποιεί ταυτόχρονα τη γεωθερμία και την ηλιακή ενέργεια

4.7 Ενέργεια από παλίρροιες

Στα περισσότερα μέρη του πλανήτη μας τα νερά των θαλασσών κάνουν δύο κινήσεις κάθε ημέρα. Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται παλίρροια και οι δύο κινήσεις άμπωτη και πλημμυρίδα. Παλίρροια καλείται η σταδιακή ανύψωση και ταπείνωση του θαλάσσιου ύδατος. Πλημμυρίδα ονομάζεται η κίνηση του νερού προς τα πάνω, ενώ η αντίθετη κίνηση του νερού προς το βυθό ονομάζεται άμπωτη.

Το φαινόμενο της παλίρροιας της θάλασσας και ιδίως των παλιρροιακών ρευμάτων των κόλπων και των πορθμών της, εξαιτίας της μυστηριώδους φύσης του, κίνησε από την αρχαιότητα το ενδιαφέρον και την περιέργεια του ανθρώπου, τόσο για πρακτικούς λόγους όσο και από φιλοσοφική σκοπιά. Αν και η Μεσόγειος δεν παρουσιάζει ευρεία παλιρροιακή κύμανση, οι αρχαίοι Έλληνες μελέτησαν επισταμένως το φαινόμενο και κατέληξαν σε επιστημονικά συμπεράσματα. Ανακάλυψαν διάφορες ιδιότητές του. Συνέδεσαν την ταυτότητα της περιόδου της κίνησης της παλίρροιας με την περίοδο της ημερήσιας κίνησης της Σελήνης. Με το πρόβλημα του Ευρίπου ασχολήθηκαν από την αρχαιότητα πολλοί συγγραφείς και φυσιοδίφες και ιδίως φιλόσοφοι, αστρονόμοι, μαθηματικοί, ναυτικοί, γεωγράφοι, περιηγητές και γενικά όσοι ασχολήθηκαν με την Ωκεανογραφία, όπως ο Αριστοτέλης, ο Στράβων, ο Pomponius Mela, ο Τίτος Λίβιος, Σουίδας, ο Πλίνιος, ο Σενέκας και βέβαια στην πάροδο των ετών και πολλοί νεώτεροι επιστήμονες και περιηγητές.

Παράγοντες που επηρεάζουν το φαινόμενο της παλίρροιας είναι α) κατά 70% οι κινήσεις της σελήνης και η θέση της ως προς τη Γη και β) κατά 30% επηρεάζεται από τις κινήσεις της Γης και τη θέση της ως προς τον Ήλιο. Οι κινήσεις περιφοράς της Σελήνης γύρω από τη Γη και της

Γης γύρω από τον Ήλιο επιδρούν έτσι ώστε η διπλή έλξη που ασκεί στον πλανήτη μας, ο δορυφόρος και ο ήλιος να αλλάζει συνεχώς θέση, προκαλώντας περιοδικώς μεταβλητές ωθήσεις στα γήινα νερά. Ο ήλιος, παρά την ασύγκριτα μεγαλύτερη μάζα του από τη μάζα της Σελήνης, ασκεί τρεις φορές μικρότερη έλξη από αυτήν του δορυφόρου μας, επειδή είναι πολύ μεγαλύτερη η απόσταση. Οι δυνάμεις που προκαλούν τις παλίρροιες είναι ανάλογες των μαζών και αντιστρόφως ανάλογες του κύβου των αποστάσεων. Γι' αυτόν τον λόγο οι μεγαλύτερες παλίρροιες συμβαίνουν κατά τη διάρκεια των συζυγιών, όταν δηλαδή ο ήλιος, η γη και η σελήνη ευθυγραμμίζονται. Αντίθετα, οι μικρότερες εμφανίζονται κατά τους τετραγωνισμούς, όταν δηλαδή η έλξη της Σελήνης είναι κάθετη προς την έλξη του ηλίου.

Το εύρος και η διάρκεια της παλίρροιας ποικίλει από τόπο σε τόπο καθώς επηρεάζεται σημαντικά από το ανάγλυφο της γης. Σε ορισμένες περιοχές του Πλανήτη, το φαινόμενο ενισχύεται λόγω της ιδιαίτερης μορφολογίας του πυθμένα.

Οι αυξομειώσεις της θαλάσσιας στάθμης κατά την παλίρροια είναι συνυφασμένες με «παλιρροιακά ρεύματα», οριζόντιες μετατοπίσεις θαλάσσιας μάζας, οι οποίες έχουν περίπου την ίδια περιοδικότητα. Τα ρεύματα είναι ισχυρά, και θεωρούνται ιδιαίτερα κατάλληλα για ενεργειακή αξιοποίηση, επειδή εμφανίζονται σε σχετικά μικρά βάθη. Σε μέγιστη παλίρροια, η ταχύτητα του παλιρροιακού ρεύματος μπορεί να ξεπεράσει τα 3 - 4 m/sec.

Πρέπει να σημειώσουμε το ρόλο των μετεωρολογικών φαινομένων στην εξέλιξη του φαινομένου. Μεταβολές της ατμοσφαιρικής πίεσης ή μόνιμοι άνεμοι μπορούν να επιτείνουν τις πλημμυρίδες και να μειώσουν τις αμπώτιδες. Από τις παλίρροιες δημιουργούνται ρεύματα κατά μήκος των ακτών, (παλιρροιακά ρεύματα), που στα στενά (διαύλους) είναι αρκετά βίαια και με επικίνδυνες δίνες. Κλασικό, διεθνώς γνωστό παράδειγμα παλιρροιακού ρεύματος σε διάυλο, είναι αυτό του πορθμού του Ευρίπου. Το ρεύμα εκεί είναι ορμητικό, με ταχύτητα έως 9 m/h και μέση ταχύτητα 4-5 m/h και διαρκεί 6 ώρες και 15 λεπτά. Ύστερα από λίγα λεπτά, το ρεύμα επαναλαμβάνεται με αντίστροφη φορά. Το φαινόμενο αυτό παρατηρείται 23- 24 ημέρες κάθε μήνα, με ένταση που εξαρτάται από τις φάσεις της Σελήνης. Κατά τις υπόλοιπες ημέρες του σεληνιακού μηνός παρατηρούνται ανωμαλίες, η ένταση του ρεύματος μπορεί να αλλάξει έως και 14 φορές μέσα στο ίδιο 24ώρο ή αντίθετα να μην συμβεί καμία αλλαγή για ολόκληρη ημέρα.

Πρακτικά, το φαινόμενο της παλίρροιας προκαλεί δύο μεγάλα κύματα, αδιόρατα για μας στο σύνολό τους, τα οποία τρέχουν το ένα πίσω από το άλλο, προς τους αντίποδες της γης, ακολουθώντας την κίνηση της σελήνης. Εξαιτίας όμως των εμποδίων που συναντούν, όπως νεοφανείς ξηρές, υποθαλάσσιες ράχες, καθώς και λόγω της αδράνειας της μάζας τους, η κορυφή των κυμάτων αυτών βρίσκεται λιγότερο ή περισσότερο καθυστερημένη σ' ένα ορισμένο τόπο, αναφορικά με το πέρασμα της Σελήνης πάνω από το συγκεκριμένο τόπο. Η καθυστέρηση αυτή ονομάζεται «ώρα λιμανιού». (Σημ. Οι γραμμές που συνδέουν πάνω σε ειδικούς ναυτικούς χάρτες, τα σημεία με την ίδια «ώρα λιμανιού» έχουν μια αξιόλογη συμβουλευτική σημασία για την ναυσιπλοΐα). Η παλίρροια, ενώ είναι λιγότερο αισθητή σε ανοιχτή θάλασσα, όπως συμβαίνει στην περίπτωση της Μεσογείου, αποκτά πολύ μεγάλες τιμές στις ακτές των ωκεανών και ιδιαίτερα στο βάθος των επιμηκών κόλπων. Έτσι, σε ανοιχτή θάλασσα, οι τιμές εύρους της παλίρροιας κυμαίνονται γύρω στο ένα μέτρο, στη Μεσόγειο θάλασσα στα 60 εκατοστά κατά μ.ο., ενώ στην Αγγλία φτάνει στα 14 μέτρα και σε ορισμένες περιπτώσεις και στα 17 μέτρα. Στην Παταγονία φτάνει τα 18 μέτρα και στην ακτή Μπίαια Φουντ σχεδόν τα 20 μέτρα. Το παλιρροϊκό ύψος επηρεάζεται και από την παροχετευτική ικανότητα των σημείων εκβολής, ενώ η ενέργεια που μπορεί να αποσπασθεί είναι ανάλογη της περιοχής του νερού που παγιδεύεται, της μάζας του και της απόστασης που αυτό διανύει από την υψηλή (πλημμυρίδα)

στη χαμηλή παλίρροια (άμπωτης). Έτσι, εκβολές μεγάλου μήκους αποδίδουν μεγαλύτερη παλιρροϊκή ενέργεια.

Τυπικό παράδειγμα αξιοποίησης της παλιρροιακής ενέργειας με φράγμα: η γαλλική Rance Το φράγμα της Rance είναι ένα παλιρροιοκίνητο εργοστάσιο που παράγει την απαιτούμενη ηλεκτρική ενέργεια για μια πόλη σαν την Rennes. Κατασκευάστηκε από το 1961 έως το 1966. Ταυτόχρονα αποτελεί το υπόβαθρο ενός δρόμου με τέσσερις λωρίδες κυκλοφορίας υψηλής κυκλοφορίας. Εκμεταλλεύόμενο παλίρροιας που συγκαταλέγονται μεταξύ των σημαντικότερων του κόσμου, που φτάνουν δηλαδή έως και τα 14 μέτρα, παράγει περίπου 600.000.000 kWh το χρόνο τεχνητού εμποδίου, αλλά τα περισσότερα παραμένουν στην πλευρά της θάλασσας, καθώς το πέρασμα προς τη μεριά του.



Εικόνα 4.8 Το παλιρροιακό φράγμα της Rance

4.8 Ενέργεια από κύματα

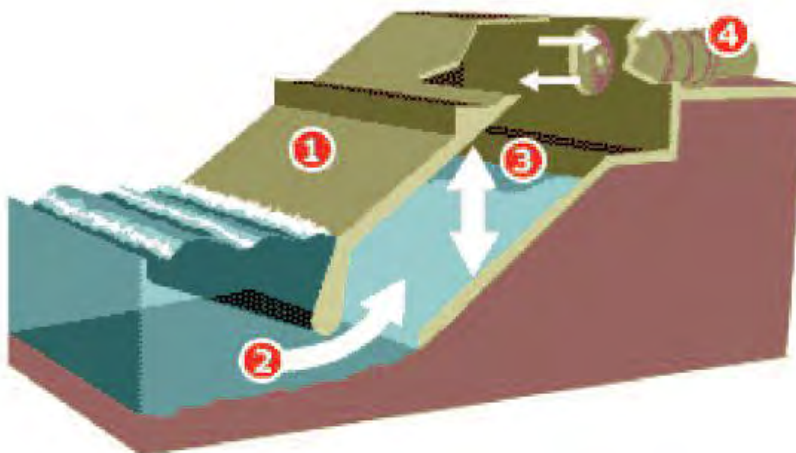
Μια ανανεώσιμη πηγή ενέργειας, η οποία μέχρι σήμερα ελάχιστα έχει αξιοποιηθεί είναι η ενέργεια της θάλασσας. Η ενέργεια του θαλάσσιου κυματισμού είναι, όπως όλες οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, ανεξάντλητη. Η ιδέα της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από τα θαλάσσια κύματα πηγάζει από την εξής, διατυπωμένη εδώ απλά, ιδέα: «Τα κύματα της θάλασσας, που είναι απέραντη, δημιουργούνται και θα υπάρχουν πάντοτε». Η πιο «άγρια», άρα και πιο παραγωγική μορφή της θάλασσας εμφανίζεται στη διάρκεια του χειμώνα, ακριβώς δηλαδή τότε που υπάρχει και η μεγαλύτερη ανάγκη για ενέργεια. Θα μπορούσαμε άρα να πάρουμε ενέργεια

χωρίς την καύση στερεών καυσίμων ή πετρελαίου, χωρίς την διάσπαση ουρανίου, χωρίς το φόβο να «μείνουμε» κάποτε από καύσιμα.

Η ενέργεια των κυμάτων χαρακτηρίζεται όπως και όλες οι ΑΠΕ από περιοδικότητα και σχετικά μικρή πυκνότητα. Οι θαλάσσιες μάζες καλύπτουν το 75% της επιφάνειας του πλανήτη και μπορούν να θεωρηθούν ένα παγκόσμιο ενεργειακό ρεζερβουάρ. Η θαλάσσια επιφάνεια απορροφά τεράστιες ποσότητες ηλιακής και αιολικής ενέργειας, η οποία εμφανίζεται στη θάλασσα σε διάφορες μορφές, όπως κύματα ή ρεύματα. Η ενέργεια των θαλάσσιων κυμάτων είναι έμμεση και συμπυκνωμένη μορφή ηλιακής ενέργειας. Μεταξύ των διαφόρων μορφών κυματισμού, ο ανεμογενής κυματισμός παρουσιάζει το μεγαλύτερο ενδιαφέρον για ενεργειακή εκμετάλλευση. Ως γνωστόν, ο άνεμος ο οποίος διέρχεται ακριβώς πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας μεταφέρει μέρος της ενέργειας του σ' αυτήν δημιουργώντας τα κύματα. Τα ανεμογενή κύματα δημιουργούνται από την αλληλεπίδραση του ανέμου με την θαλάσσια επιφάνεια. Εφόσον δημιουργηθεί ανεμογενής κυματισμός μπορεί να μεταφερθεί κατά χιλιάδες χιλιόμετρα με ελάχιστες απώλειες.

Επιπλέον, η παραγωγή ενέργειας από τα κύματα συγκεντρώνει τα περισσότερα πλεονεκτήματα των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας: μηδαμινή ρύπανση, αποκέντρωση παραγωγής, απεξάρτηση από εισαγωγές, ανάπτυξη απομακρυσμένων περιοχών, δημιουργία θέσεων εργασίας κλπ. Επιπλέον, σε αντίθεση με άλλες ανανεώσιμες, οι εγκαταστάσεις κυματικής ενέργειας δεν δεσμεύουν γη, ενώ η οπτική και ακουστική όχληση είναι μηδαμινή, ειδικά όταν πρόκειται για υπεράκτιες ή υποβρύχιες εγκαταστάσεις.

Για πολλές δεκαετίες οι επιστήμονες προσπαθούν να χρησιμοποιήσουν την ισχύ των κυμάτων ως ανανεώσιμη πηγή ενέργειας, για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Η οικονομικά αποδοτική απόσπαση ενέργειας από τη θάλασσα, όμως, αποτελεί μια αρκετά δύσκολη τεχνολογικά δοκιμασία γι' αυτό πολλές χώρες δίνουν ήδη από καιρό μεγάλη έμφαση στη σχετική έρευνα και ανάπτυξη (R&D).



Εικόνα 4.9 Σχηματική διάταξη του τρόπου λειτουργίας του συστήματος

Αν και η συστηματική έρευνα στην εκμετάλλευση της κυματικής ενέργειας έχει ξεκινήσει από δεκαετίες, οι σχετικές τεχνολογίες δεν έχουν περιέλθει ακόμη στο στάδιο της εμπορικής εκμετάλλευσης. Ο κύριος λόγος είναι το αντίξοο περιβάλλον, το οποίο συντελεί ανασταλτικά και έχει επιβραδύνει την ανάπτυξη στον τομέα αυτό. Ωστόσο, οι προσπάθειες των προηγούμενων ετών έχουν αρχίσει να αποδίδουν καρπούς. Οι σχετικές τεχνολογίες έχουν

σήμερα φτάσει σε τέτοιο βαθμό τεχνικής «ωρίμανσης», ώστε βραχυπρόθεσμα να είναι εφικτή η μαζική τους εγκατάσταση για ηλεκτροδότηση παράκτιων και νησιωτικών περιοχών.

Η γκάμα των συστημάτων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από θαλάσσια κύματα είναι πολύ μεγάλη και εκτείνεται από τους πλωτούς σημαντήρες της ναυσιπλοΐας (μια λάμπα 60 Watt που ανάβει από την κίνηση των κυμάτων) μέχρι τον πλωτό στόλο ενός πλήρους σταθμού παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.

Ένα σύστημα κυματικής ενέργειας μπορεί να τοποθετηθεί σε οποιοδήποτε σημείο στον ωκεανό και να παράγει ενέργεια, μπορεί να είναι αγκυρωμένο στο πυθμένα ή πλωτό ανοιχτά της θάλασσας, ή σύστημα εγκαταστημένο στα παράλια ή στα ρηχά νερά. Ένα τέτοιο σύστημα μπορεί επίσης να είναι ολικά βυθισμένο στο νερό ή να είναι τοποθετημένο πάνω από την θαλάσσια επιφάνεια σε μία πλωτή πλατφόρμα. Τα περισσότερα πρωτότυπα αυτών έχουν εγκατασταθεί στις ακτές. Η αισθητική επίδραση ενός συστήματος στο περιβάλλον εξαρτάται από τον τύπο που θα υιοθετηθεί, έτσι ένα σύστημα μερικώς βυθισμένο ή τοποθετημένο λίγα χιλιόμετρα μακριά δεν επηρεάζει την εναρμόνιση του συστήματος στο φυσικό περιβάλλον. Αντίθετα, συστήματα κυματικής ενέργειας τοποθετημένα στις ακτές μπορεί να επιδράσουν αρνητικά στην όλη αισθητική και να μετατρέψουν ένα φυσικό περιβάλλον σε άκρως βιομηχανικό. Προσοχή απαιτείται τόσο στην μορφή του συστήματος που πρόκειται να υιοθετηθεί καθώς και πως αυτό θα εναρμονιστεί με την υπάρχουσα αρχιτεκτονική τοπίου και το φυσικό ανάγλυφο της περιοχής. Η συνεργασία του μελετητή αρχιτέκτονα και μηχανολόγου μηχανικού κρίνεται απαραίτητη και επιτακτική για αρμονικό σχεδιασμό.

Οι μηχανισμοί μετατροπής κυματικής ενέργειας εντάσσονται σε δύο κύριες κατηγορίες: στους σταθερούς και στους πλωτούς.



Εικόνα 4.10α Παράκτιος σταθμός παραγωγής



Εικόνα 4.10β Πλωτός σταθμός παραγωγής

4.9 Ενέργεια από τους ωκεανούς

Οι ωκεανοί, που καλύπτουν το μεγαλύτερο τμήμα του πλανήτη, είναι μια τεράστια αποθήκη ενέργειας. Εκτός από τη μηχανική ενέργεια των ανεμογενών κυμάτων, των παλιρροιακών κυμάτων και των θαλάσσιων ρευμάτων, υπάρχει επίσης τεράστιο απόθεμα θερμικής ενέργειας, με τη μορφή θερμότητας. Οι ωκεανοί της γης δέχονται ηλιακή ακτινοβολία, μεγάλο μέρος της οποίας μετατρέπουν και αποθηκεύουν ως θερμική ενέργεια. Στις τροπικές περιοχές, ο ήλιος θερμαίνει το νερό στην επιφάνεια της θάλασσας, μέχρι και 25ο C που αντιστοιχεί σε μεγάλες ποσότητες θερμότητας. Από την άλλη πλευρά, ψυχρά ρεύματα, με θερμοκρασία κοντά στο σημείο πήξης, κυκλοφορούν από τις πολικές περιοχές προς τον ισημερινό σε βάθη μικρότερα από 1.000 μέτρα. Έτσι, μια κάθετη θερμοκρασιακή διαφορά της τάξης των 21 οC ή και περισσότερο υπάρχει καθ' όλη τη διάρκεια του έτους σε πολλές τροπικές και ημιτροπικές

περιοχές. Η θερμοκρασιακή διαφορά αυξομειώνεται στη διάρκεια του έτους, μεταβάλλοντας αντίστοιχα το ωκεάνιο θερμικό απόθεμα, ωστόσο η ημερήσια μεταβολή της είναι μικρή. Αυτή η θερμοκρασιακή κλίση μπορεί να αποτελέσει πηγή παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, όπως προτάθηκε για πρώτη φορά από τον d' Arsoval το 1881.

4.10 Το υδρογόνο ως φορέας ενέργειας

Το υδρογόνο μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως φορέας ενέργειας, δηλαδή ως μια μορφή ενεργειακού νομίσματος. Στις μέρες μας γίνονται σημαντικές προσπάθειες, κυρίως στα ιδιαίτερα ανεπτυγμένα κράτη, για τη μετατροπή της προσαρμοσμένης στα συμβατικά καύσιμα υποδομής σε υποδομή με βάση το υδρογόνο. Ενδεικτικά, η Ισλανδία, προβλέπει υποδομή πλήρως βασισμένη στο υδρογόνο μέχρι το 2030 - 2040, ενώ μέχρι το 2030 στόχος του Υπουργείου Οικονομίας των ΗΠΑ είναι η αντικατάσταση του 10% της ενεργειακής κατανάλωσης από ενέργεια προερχόμενη από υδρογόνο.

Χαρακτηριστικό παράδειγμα για το πώς το υδρογόνο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να παραχθεί ενέργεια είναι οι λεγόμενες κυψέλες καυσίμου (fuel cells), στοιχεία τα οποία χρησιμοποιούνται για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με βάση το υδρογόνο.

Η τάση κατανάλωσης καυσίμων όλο και μικρότερης περιεκτικότητας σε άνθρακα είναι ιστορικά εμφανής. Το υδρογόνο, απαλλαγμένο από κάθε ποσοστό άνθρακα, μπορεί να προσφέρει αρκετή ενέργεια για καθημερινές χρήσεις, όπως η ηλεκτροδότηση κτιρίων ή η κίνηση μεταφορικών μέσων.

Το ότι υπάρχει ένας σαφής προσανατολισμός προς την κατεύθυνση του υδρο- γόνου δεν είναι τυχαίο, αλλά οφείλεται στους ακόλουθους λόγους:

- Το υδρογόνο έχει το υψηλότερο ενεργειακό περιεχόμενο ανά μονάδα βάρους από οποιοδήποτε άλλο γνωστό καύσιμο, 120,7 kJ/gr και 3 φορές μεγαλύτερο από αυτό της συμβατικής βενζίνης.
- Κάνει «καθαρή» καύση. Όταν καίγεται με οξυγόνο παράγει μόνο νερό και θερμότητα. Όταν καίγεται με τον ατμοσφαιρικό αέρα, ο όγκος του οποίου αποτελείται κατά 78% από άζωτο, παράγονται επίσης μερικά οξείδια του αζώτου, σε αμελητέο ωστόσο βαθμό. Συνεπώς, δεν συμβάλλει στη μόλυνση του περιβάλλοντος. Το ποσό του νερού που παράγεται κατά τη καύση είναι τέτοιο, ώστε να θεωρείται επίσης αμελητέο και επομένως μη ικανό να επιφέρει κάποια κλιματολογική αλλαγή δεδομένης ακόμα και μαζικής χρήσης.

Ωστόσο, υπάρχουν και μειονεκτήματα στη χρήση του υδρογόνου ως καυσίμου, τα περισσότερα από τα οποία σχετίζονται με την ελλειπή σημερινή υποδομή και αποτελούν κυρίως τεχνικά προβλήματα τα οποία αναζητούν λύση:

- Το βασικό σήμερα πρόβλημα είναι της αποθήκευσής του. Δεδομένου του ότι το υδρογόνο είναι πολύ ελαφρύ, η συμπίεση μεγάλης ποσότητας σε μικρού μεγέθους δεξαμενή είναι δύσκολη, λόγω των υψηλών πιέσεων που χρειάζονται για να επιτευχθεί η υγροποίηση. Ωστόσο, στην έκθεση της Φρανκφούρτης του 2001 παρουσιάστηκε μία υδρογονοκίνητη έκδοση του Mini Cooper, στο οποίο για την αποθήκευση του υδρογόνου χρησιμοποιήθηκε ένα νέο ρεζερβουάρ, που καταλαμβάνει τον ίδιο χώρο με ένα αντίστοιχο συμβατικό βενζινοκίνητων οχημάτων.
- Πρόβλημα επίσης αποτελεί η έλλειψη οργανωμένου δικτύου διανομής του. Μία λύση είναι η κατασκευή υπερκαλωδίων. Τα υπερκαλώδια θα μετέφεραν εξαιρετικά υψηλής έντασης ηλεκτρικά ρεύματα με σχεδόν μηδενική ηλεκτρική αντίσταση διαμέσου υπεραγώγιμων συρμάτων. Παράλληλα, μέσω των σωληνώσεων τους θα μεταφερόταν,

υπό υψηλή πίεση, και υπέρψυχρο υδρογόνο σε εργοστάσια, σταθμούς ανεφοδιασμού υδρογονοκίνητων οχημάτων και, ίσως κάποια μέρα, σε οικιακούς φούρνους και καλοριφέρ.

- Υπάρχει, επίσης, το ζήτημα της προέλευσης της ενέργειας που δαπανάται για την παραγωγή του. Αν, για παράδειγμα, χρησιμοποιηθεί ενέργεια προερχόμενη από ανθρακούχα ορυκτά, το συνολικό περιβαλλοντολογικό όφελος είναι πρακτικά αρνητικό (συνυπολογίζοντας και την ενέργεια συμπίεσης/διαχείρισης).

Εν συντομία, αναφέρονται ακολούθως μερικές από τις χρήσεις του υδρογόνου:

- Το υδρογόνο χρησιμοποιείται από τη βιομηχανία σε μεγάλο ποσοστό για την παρασκευή αμμωνίας, μεθανίου, μεθανόλης, βενζινών και μυρμηκικού οξέος (HCOOH). Αυτά χρησιμοποιούνται στη συνέχεια για την παρασκευή άλλων προϊόντων, όπως εκρηκτικά, λιπάσματα, αντιψυκτικά κτλ.
- Η τεχνολογία τροφίμων χρησιμοποιεί το υδρογόνο για την παρασκευή τεχνητών λιπών με υδρογόνωση ελαίων.
- Το υδρογόνο επίσης χρησιμοποιείται από την επιστήμη της φυσικής με εφαρμογή στη μελέτη των στοιχειωδών σωματιδίων.
- Με τη μορφή υγρού βρίσκει χρήση στη μελέτη της υπεραγωγιμότητας.

4.11 Πλεονεκτήματα και μμειονεκτήματα των ΑΠΕ

Πλεονεκτήματα:

- Είναι πολύ φιλικές προς το περιβάλλον, έχοντας ουσιαστικά μηδενικά κατάλοιπα και απόβλητα.
- Δεν πρόκειται να εξαντληθούν ποτέ, σε αντίθεση με τα ορυκτά καύσιμα.
- Μπορούν να βοηθήσουν την ενεργειακή αυτόρκεια μικρών και αναπτυσσόμενων χωρών, καθώς και να αποτελέσουν την εναλλακτική πρόταση σε σχέση με την οικονομία του πετρελαίου.
- Είναι ευέλικτες εφαρμογές που μπορούν να παράγουν ενέργεια ανάλογη με τις ανάγκες του επί τόπου πληθυσμού, καταργώντας την ανάγκη για τεράστιες μονάδες παραγωγής ενέργειας (καταρχήν για την ύπαιθρο) αλλά και για μεταφορά της ενέργειας σε μεγάλες αποστάσεις.
- Ο εξοπλισμός είναι απλός στην κατασκευή και τη συντήρηση και έχει μεγάλο χρόνο ζωής.
- Επιδοτούνται από τις περισσότερες κυβερνήσεις.
- Είναι εγχώριες πηγές ενέργειας και συνεισφέρουν στην ενίσχυση της ενεργειακής ανεξαρτητοποίησης και της ασφάλειας του ενεργειακού εφοδιασμού σε εθνικό επίπεδο.
- Είναι διάσπαρτες γεωγραφικά και οδηγούν στην αποκέντρωση του ενεργειακού συστήματος, δίνοντας τη δυνατότητα κάλυψης των ενεργειακών αναγκών σε τοπικό και περιφερειακό επίπεδο, ανακουφίζοντας έτσι τα συστήματα υποδομής και μειώνοντας τις απώλειες από τη μεταφορά ενέργειας.
- Προσφέρουν τη δυνατότητα ορθολογικής αξιοποίησης των ενεργειακών πόρων, καλύπτοντας ένα ευρύ φάσμα των ενεργειακών αναγκών των χρηστών (π.χ. ηλιακή ενέργεια για θερμότητα χαμηλών θερμοκρασιών, αιολική ενέργεια για ηλεκτροπαραγωγή).
- Έχουν συνήθως χαμηλό λειτουργικό κόστος που δεν επηρεάζεται από τις διακυμάνσεις της διεθνούς οικονομίας και ειδικότερα των τιμών των συμβατικών καυσίμων

- Οι εγκαταστάσεις εκμετάλλευσης των ΑΠΕ έχουν σχεδιαστεί για να καλύπτουν τις ανάγκες των χρηστών και σε μικρή κλίμακα εφαρμογών ή σε μεγάλη κλίμακα, αντίστοιχα, έχουν μικρή διάρκεια κατασκευής, επιτρέποντας έτσι τη γρήγορη ανταπόκριση της προσφοράς προς τη ζήτηση ενέργειας
- Οι επενδύσεις των ΑΠΕ είναι εντάσεως εργασίας, δημιουργώντας σημαντικό αριθμό νέων θέσεων εργασίας, ιδιαίτερα σε τοπικό επίπεδο
- Μπορούν να αποτελέσουν σε πολλές περιπτώσεις πυρήνα για την αναζωογόνηση οικονομικά και κοινωνικά υποβαθμισμένων περιοχών και πόλο για την τοπική ανάπτυξη, με την προώθηση ανάλογων επενδύσεων (π.χ. θερμοκηπιακές καλλιέργειες με τη χρήση γεωθερμικής ενέργειας)
- Είναι φιλικές προς το περιβάλλον και τον άνθρωπο και η αξιοποίησή τους είναι γενικά αποδεκτή από το κοινό.

Μειονεκτήματα:

- Έχουν αρκετά μικρό συντελεστή απόδοσης, της τάξης του 30% ή και χαμηλότερο. Συνεπώς απαιτείται αρκετά μεγάλο αρχικό κόστος εφαρμογής σε μεγάλη επιφάνεια γης. Γι' αυτό το λόγο μέχρι τώρα χρησιμοποιούνται σαν συμπληρωματικές πηγές ενέργειας.
- Για τον παραπάνω λόγο προς το παρόν δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την κάλυψη των αναγκών μεγάλων αστικών κέντρων.
- Η παροχή και απόδοση της αιολικής, υδροηλεκτρικής και ηλιακής ενέργειας εξαρτάται από την εποχή του έτους αλλά και από το γεωγραφικό πλάτος και το κλίμα της περιοχής στην οποία εγκαθίστανται.
- Για τις αιολικές μηχανές υπάρχει η άποψη ότι δεν είναι κομψές από αισθητική άποψη κι ότι προκαλούν θόρυβο και θανάτους πουλιών. Με την εξέλιξη όμως της τεχνολογίας τους και την προσεκτικότερη επιλογή χώρων εγκατάστασης (π.χ. σε πλατφόρμες στην ανοιχτή θάλασσα) αυτά τα προβλήματα έχουν σχεδόν λυθεί.
- Για τα υδροηλεκτρικά έργα λέγεται ότι προκαλούν έκλυση μεθανίου από την αποσύνθεση των φυτών που βρίσκονται κάτω απ' το νερό κι έτσι συντελούν στο φαινόμενο του θερμοκηπίου.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5ο – ΑΞΙΟΠΙΣΤΙΑ ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Τα Συστήματα Ηλεκτρικής Ενέργειας είναι από τα πιο σύνθετα και περίπλοκα συστήματα. Η βασική λειτουργία ενός ΣΗΕ είναι να παρέχει στους πελάτες ηλεκτρική ενέργεια όσο πιο οικονομικά και αξιόπιστα γίνεται. Τα ΣΗΕ υπόκεινται σε πολλές αλλαγές προκειμένου να εκπληρώσουν την παραπάνω λειτουργία, όπως για παράδειγμα διασύνδεση γειτονικών συστημάτων με σκοπό την ενίσχυση του συνολικού συστήματος και την υποστήριξη των περιοχών που αντιμετωπίζουν έλλειψη με την πλεονάζουσα ισχύ άλλων περιοχών. Ωστόσο, η τροποποίηση του συστήματος δε συνεπάγεται απαραίτητα 100% αξιοπιστία στην τροφοδοσία των φορτίων, γεγονός που αποδεικνύεται και από τα φαινόμενα blackout. Ωστόσο, ο εντοπισμός των αδύναμων σημείων ενός συστήματος και η ενίσχυση αυτών των περιοχών με κατάλληλο τρόπο συμβάλλουν στην αύξηση της αξιοπιστίας και στη μείωση πιθανότητας διακοπών.

Στη σημερινή εποχή, λόγω της ραγδαίας αύξησης φορτίου, η διασύνδεση γειτονικών συστημάτων ενέργειας αποτελεί μία συνηθισμένη τακτική για την αύξηση στην ευστάθειας, της αξιοπιστίας και της οικονομικής αποδοτικότητας. Ο ρόλος του συστήματος μεταφοράς, δηλαδή η μεταφορά της ενέργειας από το σταθμό στα κέντρα φορτίου, είναι ιδιαίτερα σημαντική στα διασυνδεδεμένα δίκτυα. Οι διακοπές στις γραμμές μεταφοράς μπορεί να προκαλέσουν σημαντικές ανωμαλίες στη λειτουργία του συστήματος και πιθανώς διακοπές στην τροφοδότηση των φορτίων. Σύμφωνα με στατιστικά στοιχεία, τα συστήματα μεταφοράς είναι λιγότερο επιρρεπή σε διακοπές συγκριτικά με τα συστήματα διανομής, ωστόσο, η διάρκεια των διακοπών που προκαλούν είναι μεγαλύτερη.

Λόγω του στοχαστικού χαρακτήρα ενός συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας, το σύστημα δεν μπορεί να εγγυηθεί μια συνεχόμενη τροφοδοσία στα φορτία του, δηλαδή οι διακοπές τροφοδότησης είναι πρακτικά αναπόφευκτες σε ένα δίκτυο. Όμως μέσω καλύτερων επενδύσεων κατά το στάδιο σχεδιασμού, η πιθανότητα να εμφανιστούν διακοπές μπορεί να μειωθεί. Προφανώς, υπάρχει σύγκρουση μεταξύ της αξιοπιστίας και πολλών οικονομικών περιορισμών, γεγονός που ενδέχεται να δυσκολέψει τη λήψη αποφάσεων στα θέματα διαχείρισης ενός συστήματος. Μ ελέτες γύρω από τα θέματα αξιοπιστίας παρέχουν μια αναφορά στους σχεδιαστές σχετικά με το αν ένα συγκεκριμένο τμήμα του συστήματος χρειάζεται μεγαλύτερες αρχικές επενδύσεις κατά το στάδιο του σχεδιασμού.

5.1 Η έννοια της αξιοπιστίας και η ανάλυση αξιοπιστίας

Η έννοια της αξιοπιστίας αναφέρεται, γενικά, στην ικανότητα ενός στοιχείου ή ενός συστήματος να εκτελέσει τη λειτουργία για την οποία προορίζεται. Στον τομέα των συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας, ένα δίκτυο θεωρείται αξιόπιστο όταν διανέμει ενέργεια στους καταναλωτές τη στιγμή που το επιθυμούν ή το χρειάζονται, και είναι τέτοιας ποιότητας που υποστηρίζει τις ανάγκες των πελατών. Βελτιώσεις στην αξιοπιστία μπορούν να γίνουν αντιληπτές μέσω μειώσεων στη συχνότητα και τη διάρκεια των διακοπών, μειώσεων στον αριθμό των ενοχλήσεων που οφείλονται σε ισχύ χαμηλής ποιότητας, και στην ουσιαστική εξάλειψη εκτεταμένων διακοπών ρεύματος. Η εκτίμηση της αξιοπιστίας ενός δικτύου ενέργειας χωρίζεται, λοιπόν, σε δύο τομείς: α) στην επάρκεια και β) στην ασφάλεια του συστήματος. Ο όρος

επάρκεια του συστήματος σχετίζεται με την ύπαρξη επαρκών εγκαταστάσεων μέσα σε ένα σύστημα, ώστε να ικανοποιηθεί η ζήτηση των καταναλωτών, ενώ η ασφάλεια του συστήματος αναφέρεται στην ικανότητα απόκρισης του συστήματος σε διαταραχές που μπορεί να εμφανιστούν.

Παρ' όλο που οι έννοιες αυτές δεν είναι ανεξάρτητες μεταξύ τους, η αξιοπιστία μελετάται μόνο γύρω από έναν από τους παραπάνω τομείς, είτε από άποψη επάρκειας είτε αξιοπιστίας, κυρίως όμως από άποψη επάρκειας.

Ένα ΣΗΕ χωρίζεται σε τρεις βασικές λειτουργικές περιοχές, το σύστημα παραγωγής, μεταφοράς και διανομής ηλεκτρικής ενέργειας. Η εκτίμηση της αξιοπιστίας μπορεί να εφαρμοστεί είτε σε κάθε λειτουργική ζώνη ξεχωριστά είτε σε ιεραρχικά επίπεδα που προκύπτουν από το συνδυασμό των παραπάνω περιοχών.

Η αποτίμηση της αξιοπιστίας ενός ΣΗΕ πραγματοποιείται βασιζόμενη σε ντετερμινιστικές ή πιθανολογικές τεχνικές. Οι ντετερμινιστικές μέθοδοι χρησιμοποιούνται κυρίως σε πρακτικές εφαρμογές, ενώ το βασικό τους μειονέκτημα είναι η αδυναμία απόκρισης στη στοχαστική συμπεριφορά ενός πραγματικού συστήματος, όπως ένα τυχαίο γεγονός αποτυχίας. Το γεγονός αυτό οδηγεί στην εφαρμογή στοχαστικών μεθόδων για την εκτίμηση της αξιοπιστίας, που παρέχουν μια πιο ακριβή πρόβλεψη του επιπέδου αξιοπιστίας του συστήματος.

Τα αποτελέσματα της μελέτης αξιοπιστίας εκτιμώνται μέσα από τους δείκτες αξιοπιστίας. Πρόκειται για αριθμητικές παραμέτρους που αντικατοπτρίζουν την ικανότητα ή μη του συστήματος να παρέχει στους καταναλωτές αποδεκτά επίπεδα υπηρεσιών. Δύο θεμελιώδεις μεθοδολογίες εφαρμόζονται για τον υπολογισμό αυτών των δεικτών, η αναλυτική προσέγγιση και προσέγγιση μέσω προσομοίωσης. Στην αναλυτική μέθοδο, το σύστημα αναπαρίσταται με το ισοδύναμο μαθηματικό του μοντέλο. Οι δείκτες αξιοπιστίας υπολογίζονται εφαρμόζοντας άμεση αριθμητική επίλυση του ισοδύναμου μοντέλου. Στην προσέγγιση μέσω προσομοίωσης αναλύονται τυχαίες συμπεριφορές του συστήματος, για τον υπολογισμό των δεικτών αξιοπιστίας. Παρ' όλο που τα αποτελέσματα της αναλυτικής μεθόδου δεν είναι τόσο ακριβή όσο τα αντίστοιχα από μία προσομοίωση, η εφαρμογή αυτής της μεθόδου απαιτεί πολύ μικρότερους υπολογιστικούς χρόνους, παράγοντας πολύ σημαντικός σε μία διαδικασία αποτίμησης της αξιοπιστίας.

5.2 Οφέλη από τη βελτίωση της αξιοπιστίας

Βελτιώσεις στην αξιοπιστία ενός συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας παρέχουν πολλά οφέλη:

5.2.1 Για την εταιρία διανομής

- Μείωση στο λειτουργικό κόστος λόγω χρήσης λιγότερων φορτηγών και μειωμένης κινητικότητας στα τηλεφωνικά κέντρα, καθώς και μικρότερης ζήτησης των υπηρεσιών των μηχανικών και της ανάγκης για αποκατάσταση των βλαβών.
- Μεγαλύτερη ασφάλεια του προσωπικού, αφού οι εργαζόμενοι είναι λιγότερο εκτεθειμένοι σε επικίνδυνες καταστάσεις.
- Αυξήσεις στα έσοδα, καθώς οι παροχές-πωλήσεις ηλεκτρικής ενέργειας διακόπτονται πιο σπάνια και για μικρότερη χρονική διάρκεια.
- Μεγαλύτερη ικανοποίηση των πελατών και βελτιώσεις στις σχέσεις τους με το διαχειριστή, την κοινότητα κτλ.

- Μειωμένο κόστος κεφαλαίου, καθώς απαιτείται επιδιόρθωση σε λιγότερες συσκευές. Η χρηματική αξία των παραπάνω οφελών εξαρτάται από την τρέχουσα λειτουργική κατάσταση της εταιρίας διανομής. Κάποιες εταιρίες μπορεί να διαπιστώσουν σημαντικό όφελος, ενώ άλλες που ενδεχομένως να είχαν ήδη επενδύσει σε ενίσχυση της αξιοπιστίας θα επωφεληθούν λιγότερο. Όμως όλες οι εταιρίες αναμένεται να δουν μειωμένο κόστος, γεγονός που συνεπάγεται συγκράτηση των μελλοντικών τιμών σε χαμηλά επίπεδα, προς όφελος των καταναλωτών.

5.2.2 Για τους παρόχους ηλεκτρικής ενέργειας

Καλύτερη αξιοπιστία σημαίνει μικρότερη διάρκεια αδρανούς λειτουργίας για κάποιες γεννήτριες. Όταν ένας πελάτης δεν καταναλώνει, η εταιρία διακινεί λιγότερη ενέργεια. Επιπλέον, μειωμένες παροδικές εναλλαγές στην παραγωγική διαδικασία συνεπάγονται λιγότερη φθορά στις γεννήτριες και μείωση στη χρονική διάρκεια που η μονάδα παραγωγής αναγκάζεται να τεθεί εκτός λειτουργία λόγω προβλημάτων αξιοπιστίας.

5.2.3 Για τους καταναλωτές

Οι καταναλωτές απολαμβάνουν υπηρεσίες καλύτερης ποιότητας, με υψηλότερα επίπεδα ανέσεων χάρη στις μειωμένες διακοπές και την παροχή ισχύος υψηλής ποιότητας, αποφεύγοντας ανεπιθύμητες καταστάσεις όπως επαναφορά των ηλεκτρονικών συσκευών, έλλειψη φωτισμού, διακοπή ψύξης κτλ., καθώς και μειωμένα έξοδα που θα οφείλονταν σε απώλεια εξοπλισμού που έχει υποστεί βλάβη. Γενικά, τα οφέλη για έναν οικιακό καταναλωτή που σχετίζονται με την αξιοπιστία δεν είναι μεγάλης οικονομικής σημασίας. Πολλοί καταναλωτές δεν υφίστανται ποτέ χρηματικές απώλειες εξαιτίας προβλημάτων αξιοπιστίας. Ωστόσο εκείνοι που υποφέρουν από εκτεταμένες περιόδους έλλειψης ενέργειας, βιώνοντας καταστάσεις όπως πλημμυρισμένα υπόγεια, χαλασμένο φαγητό κτλ. αντιλαμβάνονται εντονότερα τα οφέλη ενός αξιόπιστου δικτύου.

Οι εμπορικοί και βιομηχανικοί καταναλωτές, από την άλλη, αποκομίζουν σημαντικά οφέλη από τη βελτίωση της αξιοπιστίας. Ένα μεγάλο μέρος των φορτίων σε μια εμπορική ή βιομηχανική εγκατάσταση περιλαμβάνει ηλεκτρονικές διατάξεις, οι οποίες απαιτούν ένα πολύ υψηλό επίπεδο ποιότητας ισχύος για τη λειτουργία τους. Ακόμη και οι σύντομες-στιγμιαίες διακοπές μπορούν αν προκαλέσουν τεράστιες ζημιές. Οι απώλειες στην παραγωγική διαδικασία και την παραγωγικότητα, καθώς και ο αντίκτυπος στην ασφάλεια των εργαζομένων αποτελούν ζητήματα μεγίστης σημασίας. Οι δαπάνες αυτές εκφράζονται σε αυξημένες χρεώσεις στα προϊόντα και τις υπηρεσίες. Άρα μειώνοντας αυτές τις απώλειες, διατηρούνται χαμηλά οι τιμές τους.

5.2.4 Ευρύτερα κοινωνικά οφέλη

Μειώνεται το κόστος που υφίστανται οι μεγάλοι καταναλωτές εξαιτίας διακοπών. Για παράδειγμα, το ετήσιο κόστος που οφείλεται σε διαταραχές στην παροχή ισχύος στις ΗΠΑ ανέρχεται στα 100 δις δολάρια. Η ενσωμάτωση των έξυπνων δικτύων θα μειώσει δραστικά τις παραπάνω δαπάνες, βοηθώντας στη διατήρηση των τιμών των αγαθών και των υπηρεσιών χαμηλότερα, σε σύγκριση με τις αντίστοιχες που θα ίσχυαν σε ένα συμβατικό δίκτυο.

Μειώνονται τα έξοδα που προκύπτουν στους μεγάλους καταναλωτές λόγω χαμηλής ποιότητας στην ισχύ που τους παρέχεται.

Ουσιαστική εξάλειψη των blackouts, ιδιαίτερα σε ένα έξυπνο δίκτυο.

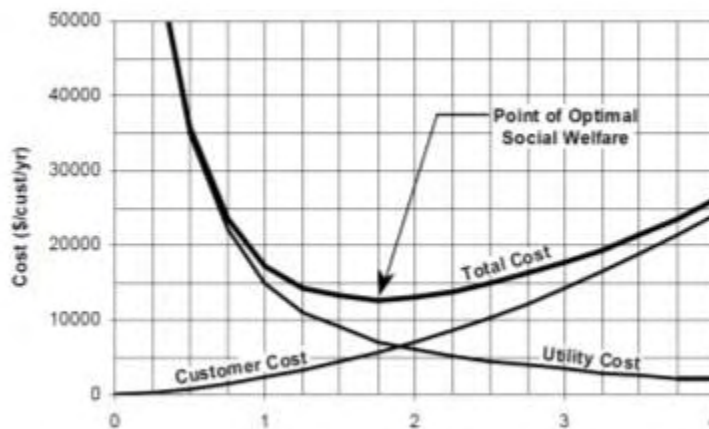
Καλύτερες συνθήκες για οικονομική ανάπτυξη, η οποία εξαρτάται από την αξιοπιστία και την ποιότητα στην παρεχόμενη ενέργεια. Ένα ισχυρό, έξυπνο δίκτυο ευνοεί ακόμη τη δημιουργία ενός περιβάλλοντος για νέες επενδύσεις, σε σύγκριση με ένα παραδοσιακό δίκτυο χαμηλών επιδόσεων.

5.3 Το κόστος αξιοπιστίας για τον πελάτη

Όταν ένας πελάτης υφίσταται μια διακοπή ρεύματος, υπάρχει ένα χρηματικό ποσό που ο ίδιος θα ήταν διατεθειμένος να πληρώσει προκειμένου να είχε αποφευχθεί η διακοπή. Το ποσό αυτό αναφέρεται ως το κόστος αξιοπιστίας για τον πελάτη.

Ενδεικτικά, στις ΗΠΑ οι διακοπές στην παροχή ηλεκτρικής ενέργειας έχουν ως αποτέλεσμα περισσότερο από 13 δις δολάρια ζημιά στην παραγωγή, χωρίς να περιλαμβάνονται στο ποσό αυτό οι καταστροφές των προϊόντων και οι βλάβες στον εξοπλισμό.

Το κόστος αξιοπιστίας του πελάτη αποκτά ιδιαίτερη σημασία όταν μία εταιρία παροχής ηλεκτρισμού επιθυμεί να εξισορροπήσει τις δικές της δαπάνες με το κόστος των πελατών. Για παράδειγμα, στην παρακάτω εικόνα φαίνονται οι καμπύλες του κόστους του πελάτη, της επιχείρησης και του συνολικού κόστους [\$/customer/year], όπως αυτές μεταβάλλονται σύμφωνα με το δείκτη [hours/year]. Οι συγκεκριμένες καμπύλες αναφέρονται σε μία εταιρία που εξυπηρετεί αποκλειστικά βιομηχανικούς πελάτες μέσου μεγέθους 500 kW.



Εικόνα 5.1 Μεταβολή του κόστους αξιοπιστίας

Όσο ο δείκτης αυξάνεται, οι βιομηχανικοί αυτοί πελάτες υφίστανται μεγαλύτερη ζημιά, λόγω απωλειών στην παραγωγή. Προκειμένου να μειωθεί ο δείκτης, η εταιρία παροχής πρέπει να επενδύσει μεγαλύτερα χρηματικά ποσά στην ενίσχυση και τη συντήρηση του συστήματος. Το άθροισμα των καμπυλών του κόστους του πελάτη και της εταιρίας ηλεκτρισμού, αποτελεί το συνολικό κόστος αξιοπιστίας, και ελαχιστοποιώντας το συνολικό αυτό κόστος, μεγιστοποιείται το κοινωνικό όφελος. Σε αυτή την περίπτωση, το βέλτιστο επίπεδο αξιοπιστίας αντιστοιχεί σε δείκτη των 105 λεπτών, για το εν λόγω παράδειγμα. Αυτό ακριβώς είναι το σημείο όπου το οριακό κόστος αξιοπιστίας του πελάτη ισούται με το

οριακό κόστος αξιοπιστίας της εταιρίας παροχής ηλεκτρισμού.

Ο σχεδιασμός και η λειτουργία ενός συστήματος διανομής ηλεκτρικής ενέργειας, με στόχο την ελαχιστοποίηση του συνολικού κοινωνικού κόστους, αναφέρεται ως “σχεδιασμός με βάση την αξία”. Αυτός είναι και ο στόχος των δημόσιων επιχειρήσεων (πχ. περιοχές κοινής ωφέλειας, δήμοι, συνεταιρισμοί) και σε ορισμένες χώρες απαιτείται από τη νομοθεσία. Πρόσφατες έρευνες εστιάζουν στην ελαχιστοποίηση του συνολικού κόστους αξιοπιστίας, ενώ η καλή γνώση του κόστους των καταναλωτών είναι εξαιρετικά σημαντική, ώστε να είναι οι μέθοδοι αποτελεσματικές.

Οι ιδιωτικές εταιρίες στοχεύουν περισσότερο στη μεγιστοποίηση των κερδών τους παρά στη μεγιστοποίηση του κοινωνικού οφέλους, το οποίο πιθανώς επιτυγχάνεται ικανοποιώντας όλες τις προσδοκίες των ρυθμιστικών αρχών, με το ελάχιστο δυνατό κόστος. Οι πληροφορίες σχετικά με το κόστος του καταναλωτή γίνονται λιγότερο σημαντικές, διότι μία χρηματική μονάδα του καταναλωτή δεν ισούται με μια χρηματική μονάδα για την εταιρία. Ανεξάρτητα από αυτό όμως, μία γενική και σωστή αντίληψη γύρω από το κόστος του πελάτη, βοηθά την εταιρία παροχής να κατανοήσει καλύτερα τους πελάτες της και να προσφέρει υπηρεσίες υψηλότερης αξιοπιστίας, που μπορούν να αυξήσουν αφενός τα κέρδη και αφετέρου την ικανοποίηση των πελατών.

5.3.1 Έρευνες γύρω από το κόστος των καταναλωτών

Η εκτίμηση του κόστους αξιοπιστίας για τους καταναλωτές βασίζεται συνήθως σε αποτελέσματα ερευνών. Οι έρευνες αυτές συγκεντρώνουν πληροφορίες σχετικά με αισθητό/απτό κόστος, το κόστος ευκαιρίας, και το μη αισθητό/μη απτό κόστος. Το αισθητό κόστος περιλαμβάνει καταστάσεις όπως καταστροφή ενός υπολογιστή, διαδικασίες που οδήγησαν σε αποτυχία, προϊόντα που καταστράφηκαν, φαγητό που χάλασε, αμοιβές για υπερωρίες, καθώς και τα έξοδα για αναγκαστικό γεύμα σε εξωτερικό χώρο λόγω διακοπής ηλεκτροδότησης. Το κόστος ευκαιρίας αναφέρεται στη χαμένη παραγωγή και στις χαμένες πωλήσεις. Το μη αισθητό-μη απτό κόστος αναφέρεται σε ελλείψεις ανέσεων, όπως βλάβες στις αντλίες νερού, δυσκολίες στην προετοιμασία για τη δουλειά, η ανάγκη για αναρρύθμιση των ψηφιακών ρολογιών και σε οποιοδήποτε αρνητικό αντίκτυπο στο ελεύθερο χρόνο των καταναλωτών.

Το κόστος που οφείλεται σε μία διακοπή διαφέρει σημαντικά από πελάτη σε πελάτη και από χώρα σε χώρα. Άλλοι σημαντικοί παράγοντες που επηρεάζουν το παραπάνω κόστος είναι η διάρκεια της διακοπής, η χρονική στιγμή μέσα στο έτος, στη βδομάδα και στη μέρα που θα συμβεί, καθώς και το αν έχει προηγηθεί κάποια ειδοποίηση σχετικά με τη διακοπή. Φυσικά οι πελάτες θα επηρεαστούν λιγότερο αν διαθέτουν εφεδρικές γεννήτριες και εξοπλισμό αδιάλειπτης παροχής ρεύματος ή τοπικού περιορισμού της διακοπής. Κατά τη διεξαγωγή μιας ικανοποιητικής έρευνας επιδιώκεται η συγκέντρωση όσο το δυνατόν περισσότερων από αυτά τα στοιχεία, ωστόσο η ποσότητα και η αλληλεπίδραση μεταξύ των παραμέτρων αυτών καθιστούν δύσκολη την υλοποίηση πλήρων μοντέλων και προτύπων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6ο – ΜΕΛΛΟΝ ΚΑΙ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

6.1 Μελλοντικό παγκόσμιο ενεργειακό τοπίο

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

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

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

Η υποκατάσταση μορφών ενέργειας βασισμένων σε ορυκτά καύσιμα με ανανεώσιμες πηγές ενέργειας αποτελεί μοναδική μακροπρόθεσμη απάντηση στην πορεία προς τη βιώσιμη διαχείριση της ενέργειας. Το ενδιαφέρον για την ευρύτερη αξιοποίηση των ΑΠΕ, καθώς και για την ανάπτυξη αξιόπιστων και οικονομικά αποδοτικών τεχνολογιών που δεσμεύουν το δυναμικό τους, παρουσιάστηκε αρχικά μετά την πρώτη πετρελαϊκή κρίση του 1979 και παγιώθηκε την επόμενη δεκαετία, μετά τη συνειδητοποίηση των παγκόσμιων περιβαλλοντικών προβλημάτων.

Αναφέρουμε επιγραμματικά ορισμένα οφέλη που προκύπτουν από την εκμετάλλευση των ΑΠΕ:

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

6.2 Η ανάγκη της ενεργειακής αποθήκευσης

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

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

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

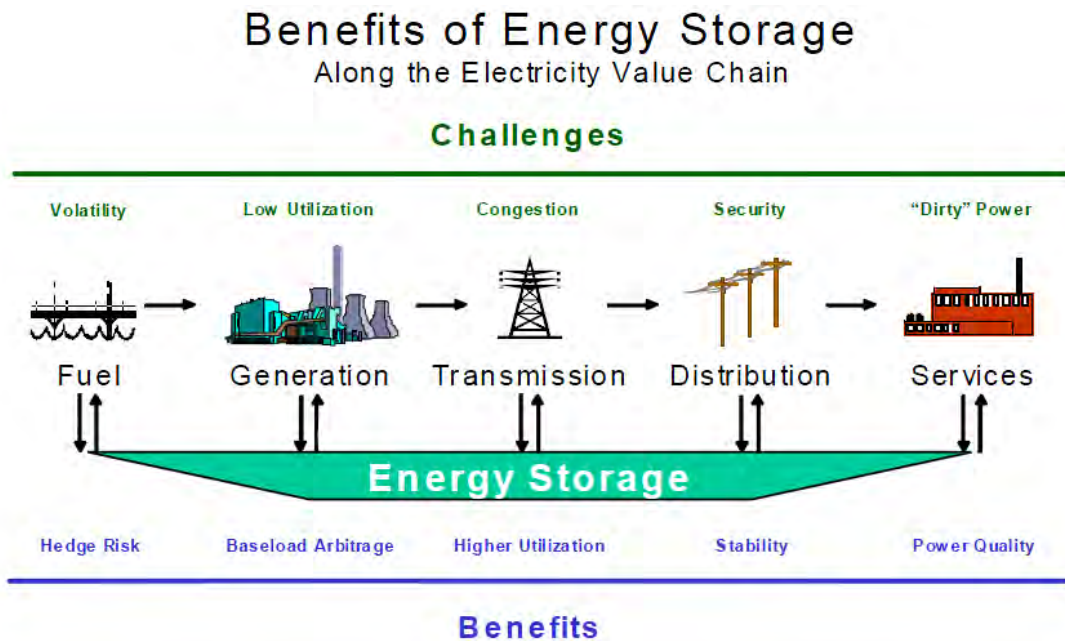
Στα διασυνδεδεμένα στο δίκτυο συστήματα, η ανάγκη για ενεργειακή αποθήκευση ανακύπτει από την ανάγκη κάλυψης των αιχμών ισχύος. Σε τέτοια συστήματα, η μονάδα αποθήκευσης προσθέτει αξία στις διακοπτόμενες ανανεώσιμες πηγές, διευκολύνοντας τον καλύτερο συσχετισμό της τροφοδοσίας με τη ζήτηση.

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

- Σε συνδυασμό με την ανανεώσιμη πηγή, η αποθήκευση της ηλεκτρικής ενέργειας μπορεί να αυξήσει την αξία του ηλεκτρισμού που παράγεται από τα φωτοβολταϊκά και τα αιολικά συστήματα, καθιστώντας ικανή την τροφοδοσία να συμπίπτει με την περίοδο της μέγιστης ζήτησης της κατανάλωσης. Παράλληλα, η αποθήκευση της ηλεκτρικής ενέργειας μπορεί να διευκολύνει την ενσωμάτωση σε μεγάλη κλίμακα των διακοπτόμενων ΑΠΕ, όπως τα αιολικά και τα ηλιακά συστήματα, στο ηλεκτρικό δίκτυο. Η εφαρμογή των διατάξεων των ανανεώσιμων πηγών παράλληλα με συστήματα ενεργειακής αποθήκευσης, παρέχει στις ανανεώσιμες πηγές ευελιξία εγκατάστασης με ελαχιστοποίηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων.
- Η ενεργειακή αποθήκευση διαδραματίζει επίσης έναν ευέλικτο και πολυπαραγοντικό ρόλο στο δίκτυο παροχής ηλεκτρισμού, όσον αφορά στην αποτελεσματικότερη διαχείριση των πόρων. Ως παραγωγική πηγή, η αποθήκευση της ηλεκτρικής ενέργειας

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

- Επιπρόσθετα, η αποθήκευση της ενέργειας μπορεί να συνεισφέρει στη μείωση της έντασης στις μεμονωμένες γραμμές μεταφοράς που είναι κοντά στη μέγιστη ονομαστική τιμή, με τη μείωση του φορτίου αιχμής του υποσταθμού. Μεταξύ των ειδικών οφελών για τη μεταφορά και διανομή είναι η ευστάθεια των γραμμών μεταφοράς για σύγχρονη λειτουργία ώστε να αποτραπεί η καθίζηση του συστήματος, η ρύθμιση της τάσης ώστε να μην ξεφεύγει από το 5% της καθορισμένης τιμής, και η αναβολή της κατασκευής ή αναβάθμισης των γραμμών μεταφοράς και διανομής, μετασχηματιστών, συστοιχιών πυκνωτών και υποσταθμών. Καθώς εξελίσσεται η αναδόμηση του συστήματος, μπορούν να ανακύψουν ευκαιρίες για τους χειριστές των ανεξάρτητων συστημάτων προκειμένου να εφαρμόσουν την αποθήκευση για να βοηθήσουν στην εξισορρόπηση των περιφερειακών φορτίων.
- Τέλος, η ενεργειακή αποθήκευση μπορεί να εξυπηρετήσει τους πελάτες ως μια επιλογή ελεγχόμενης διαχείρισης από μέρος της ζήτησης, που επίσης μπορεί να παράσχει ανταποδοτικές υπηρεσίες, περιλαμβανομένων της ποιότητας ισχύος σε βυθίσεις ή κυματισμούς που διαρκούν λιγότερο από πέντε δευτερόλεπτα, της αδιάλειπτης τροφοδοσίας με ηλεκτρικό ρεύμα σε διακοπές λειτουργίας που διαρκούν για περίπου δέκα λεπτά, και τη μείωση της ζήτησης αιχμής ώστε να μειωθούν οι λογαριασμοί του ηλεκτρισμού.



Εικόνα 6.1 Οφέλη ενεργειακής αποθήκευσης

6.3 Συμπεράσματα

Τα συμπεράσματα της ανάλυσης που πραγματοποιήθηκε στην παρούσα διπλωματική εργασία συνοψίζονται στα ακόλουθα:

- Η ενεργειακή αποθήκευση είναι σημαντική για τα ηλεκτρικά συστήματα, δεδομένου ότι επιτρέπει την αυξημένη χρησιμοποίηση του συστήματος και βελτιώνει γενικότερα την ευελιξία, την αξιοπιστία και την αποδοτικότητα του δικτύου. Παράλληλα, διευκολύνει την ενσωμάτωση σε μεγάλη κλίμακα των διακοπτόμενων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Σε απομακρυσμένα, μη διασυνδεδεμένα συστήματα, όπως είναι αυτά πολλών ελληνικών νησιών, όπου η ενέργεια παράγεται από ανανεώσιμες πηγές (π.χ. αιολική ενέργεια), η ύπαρξη συστήματος αποθήκευσης είναι απαραίτητη. Η ανάγκη αυτή δεν είναι προφανής στα διασυνδεδεμένα στο δίκτυο συστήματα, εντούτοις η ενεργειακή αποθήκευση θα είναι αναπόφευκτη στο μέλλον. Πράγματι, με το «άνοιγμα» της ενεργειακής αγοράς, πολλές διαλείπουσες ανανεώσιμες πηγές θα συνδεθούν σε ηλεκτρικά δίκτυα, με αποτέλεσμα την ασταθή λειτουργία των τελευταίων. Για την αντιμετώπιση του προβλήματος αυτού, η αποθήκευση της ενέργειας σε συνδυασμό με την ορθολογική διαχείριση των ανανεώσιμων πηγών αποτελούν τη βέλτιστη λύση.
- Από τις τεχνολογίες μακροπρόθεσμης αποθήκευσης ενέργειας, τα συστήματα αντλησιοταμίευσης και τα συστήματα ενεργειακής αποθήκευσης συμπιεσμένου αέρα είναι μεγάλες, κεντρικές εγκαταστάσεις, με ικανότητα να αποθηκεύουν πολύ μεγάλες ποσότητες ενέργειας και για μακράς διάρκειας χρονικές περιόδους. Από την άλλη, τα χαρακτηριστικά λειτουργίας τόσο των διατάξεων αποθήκευσης μπαταριών όσο και των συστημάτων κυψέλης καυσίμου υδρογόνου, καθιστούν τις τεχνολογίες αυτές ιδανικές για καταναμημένες εφαρμογές ηλεκτροπαραγωγής.
- Οι διατάξεις βραχυπρόθεσμης αποθήκευσης ενέργειας, όπως οι σφόνδυλοι, οι υπερ-πυκνωτές και τα υπεραγωγία μαγνητικά συστήματα ενεργειακής αποθήκευσης χρησιμοποιούνται επίσης σε καταναμημένες εφαρμογές ηλεκτροπαραγωγής και είναι κατάλληλες για εφαρμογές ποιότητας ισχύος. Για παράδειγμα, οι υπερ-πυκνωτές χρησιμοποιούνται κατάλληλα για την ενίσχυση των ηλεκτρικών συστημάτων μετά από μια μικρής διάρκειας διαταραχής του συστήματος. Από την άλλη, οι σφόνδυλοι, λόγω της υψηλότερης αποθηκευτικής τους ικανότητας, αποτελούν τις πιο κατάλληλες διατάξεις για να διατηρούν σταθερή την τάση, ειδικά σε συστήματα με σημαντική διείσδυση διαλείπουσας ανανεώσιμης ενέργειας, όπως η αιολική. Τέλος, τα υπεραγωγία μαγνητικά συστήματα ενεργειακής αποθήκευσης είναι οι πλέον κατάλληλες διατάξεις για εφαρμογές μεταφοράς και διανομής.
- Η ανάπτυξη των τεχνικών αποθήκευσης απαιτεί συνεχείς βελτιώσεις, καθώς και βελτιστοποίηση των συστημάτων που χρησιμοποιούνται για τη μετατροπή της ηλεκτρικής ενέργειας σε μορφή που να μπορεί εύκολα να αποθηκευτεί και αντιστροφα.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΕΙΑ

1. Τσικαλάκης Α., «Συμβολή στον προγραμματισμό λειτουργίας Δικτύων Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας με μεγάλη Διείσδυση διεσπαρμένης παραγωγής και συσκευών αποθήκευσης», Διδακτορική Διατριβή, Ιούλιος 2008
2. Αγγελίδης Χ., «Συστήματα και τεχνολογίες για αποθήκευση ενέργειας σε κτίρια», Διπλωματική Εργασία, Ιούνιος 2010
3. Δεδεδήμος Γ. «Πειραματική Εξέταση Συστήματος Αποθήκευσης Θερμικής Ενέργειας με Χρήση PCM», 2010
4. H. Ibrahim, A. Iinca, J. Perron “Energy storage systems—Characteristics and comparisons”, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Volume 12, Issue 5, June 2008, Pages 1221–1250
5. Efthimiou V., Hadjipaschalis I., Poullikkas A., “Overview of current and future energy storage technologies for electric power applications”, 2008
6. Παπαντώνης Δ., «Υδροδυναμικές Μηχανές, Αντλίες – Υδροστροβίλοι», Εκδόσεις Συμεών, 2004
7. Κάραλης Γ., «Ανάπτυξη και Ανάλυση Συστημάτων Ανεμοκινητήρων και Αντλιοσταμειωτήρων», 2007
8. Ζερβός Α., «Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας», Ε.Μ.Π., 2007
9. Raúl Rodríguez, Fco. Javier Santiago, Eutimio Sánchez, Nagore Tellado, Eneritz Barreiro, “Technical requirements for project development”, D1.4, WP1 Messib EU Project, 2009
10. Κ.Α.Π.Ε., «Οδηγός Τεχνολογιών Ηλεκτροπαραγωγής από ΑΠΕ», 2001
11. Sérgio Faias, Patrícia Santos, Jorge Sousa, Rui Castro, “An Overview on Short and Long-Term Response Energy Storage Devices for Power Systems Applications”
12. Μαθιουδάκης Κ., «Λειτουργία Αεριοστροβίλων και Ατμοστροβίλων», Ε.Μ.Π., 2007
13. Μπεργελές Γ., «Ανεμοκινητήρες», Εκδόσεις Συμεών, 2005
14. Παπαντώνης Δ., «Μικρά Υδροηλεκτρικά Έργα», Εκδόσεις Συμεών, 2007
15. Mr. Edberg Oliver, Dr. McCubbin Ian, Dr. Naish Chris, Dr., “Outlook of Energy Storage Technologies”, 2006
16. David Burke, Renewable surf energy; Wave farm to harvest electricity from sea swells, May 21, 2005
17. Βασίλης Παπαναστασούλης, Παραγωγή ηλεκτρισμού από τη θάλασσα, Ελευθεροτυπία, 21-22 Απριλίου 2006
18. Γεώργιος Λεμονής, Ενέργεια από τη θάλασσα: Ουτοπία ή πραγματικότητα;, Ειδική έκδοση της Καθημερινής και του «The Economist» με τίτλο «Ο πλανήτης ...Φλέγεται», Οκτώβριος 2006
19. Atul Sharma, V.V. Tyagi, C.R. Chen, D. Buddhi, “Review on thermal energy storage with phase change materials and applications”, 2007
20. Αποστόλου Γ. «Ενεργητικό ηλιακό σύστημα θέρμανσης χώρου με χρήση υλικών αλλαγής φάσης (PCM) σε εξωτερική δεξαμενή αποθήκευσης», Διπλωματική Εργασία, 2010
21. IEA District Heating and Cooling, “Optimization of Cool Thermal Storage and Distribution”, 2002
22. Καραγιωργας Μ., «Προώθηση της Χρήσης Συστημάτων Αποθήκευσης Ψύξης», ΚΑΠΕ, 1996

23. Behnaz Rezaie, Marc A. Rosen, “District heating and cooling: Review of technology and potential enhancements”, 2011
24. Bard Skagestad, Peter Mildenstein, “District heating and cooling connection “Handbook”, Programme of Research, Development and Demonstration on District Heating and Cooling, IEA District Heating and Cooling
25. Jason Makansi, Jeff Abboud, “Energy Storage – The missing link in the electricity value chain”, Energy Storage Council, 2002
26. Gilles Nottona, Ludmil Stoyanov, Motaz Ezzat, Vladimir Lararov, Said Diaf, Christian Cristofari, “Integration Limit of Renewable Energy Systems in Small Electrical Grid”, 2010
27. J.K. Kaldellis, D. Zafirakis, “Optimum energy storage techniques for the improvement of renewable energy sources-based electricity generation economic efficiency”, 2007
28. Chiruvolu M., Nakhamkin M., “Available Compressed Air Energy Storage (CAES) Plant Concepts”
29. Denholm P., Sioshansi R., “The value of compressed air energy storage with wind in transmission- constrained electric power systems”
30. Efthimiou V., Hadjipaschalis I., Poullikkas A., “Overview of current and future energy storage technologies for electric power applications”, 2008
31. Hirschenhofer, John H. Fuel Cell Status 1994. IEEE AES Systems Magazine Nov. (1994)
32. Ibrahima H., Ilinca A., Perron J., “Energy storage systems – characteristics and comparisons”, 2007
33. Lower Colorado River Authority, “Study of Electric Transmission in Conjunction with Energy Storage Technology”, 2003
34. Pockley S., “Compressed Air Energy Storage”, 2009
35. U.S. Department of Energy, Office of Science, “Basic Research Challenges for Hydrogen Storage: Report of the Basic Energy Sciences Working Group on Hydrogen Production, Storage and Use”, 2003