



ΤΕΙ ΚΡΗΤΗΣ – ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΧΑΝΙΩΝ



**ΤΜΗΜΑ ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ & ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
ΤΟΜΕΑΣ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΩΝ ΠΗΓΩΝ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΩΝ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΩΝ**

***ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΚΑΙ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ
ΙΣΧΥΟΣ***



ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΧΡΗΣΤΑΚΗ ΧΡΙΣΤΙΝΑ

ΧΑΝΙΑ 2009



ΤΕΙ ΚΡΗΤΗΣ – ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΧΑΝΙΩΝ



**ΤΜΗΜΑ ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ & ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
ΤΟΜΕΑΣ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΩΝ ΠΗΓΩΝ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΩΝ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΩΝ**

**ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΚΑΙ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ
ΙΣΧΥΟΣ**

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Χρηστάκη Χριστίνα

Επιβλέπων:

**Δρ. Καραπιδάκης Εμμανουήλ
Επίκουρος Καθηγητής**

Επιτροπή Αξιολόγησης:

**Καραπιδάκης Εμμανουήλ
Κατσίγιαννης Ιωάννης
Σαριδάκης Γεώργιος**

Ευχαριστίες

Μέσα από αυτό το σημείωμα θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον καθηγητή μου κύριο Μανώλη Καραπιδάκη για την βοήθεια που μου προσέφερε στο διάστημα της επιμέλειας της πτυχιακής μου εργασίας, για την επιλογή του θέματος και επίσης για την υπομονή, και την κατανόηση που μου έδειξε όλους αυτούς τους μήνες. Επίσης ευχαριστώ την εξεταστική επιτροπή για τον χρόνο που μου διέθεσε. Τέλος θέλω να ευχαριστήσω τους γονείς μου για την υπομονή που έδειξαν όλα αυτά τα χρόνια, χωρίς αυτούς δεν θα ήμουν εδώ σήμερα.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....2

ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....3

ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ ΚΑΙ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ4

ΤΕΧΝΙΚΑ ΚΑΙ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΤΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ
ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ.....5

ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΙΣΧΥΟΣ7

ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΚΑΙ ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΩΝ ΤΕΧΝΙΚΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ
ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ.....18

ΓΕΝΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΩΝ ΣΥΚΡΙΣΕΩΝ ΤΩΝ ΤΕΧΝΙΚΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ
ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ.....28

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ30

ΕΠΙΛΟΓΟΣ.....32

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....33

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Αυτό που περιγράφεται στην εργασία αυτή είναι η ανάγκη για νέες τεχνολογίες αποθήκευσης ενέργειας προκειμένου να ενισχυθούν τα δίκτυα ισχύος και να διατηρηθούν τα επίπεδα φορτίων. Υπάρχουν διάφοροι τύποι μεθόδων αποθήκευσης μερικοί από τους οποίους είναι ήδη σε λειτουργία, ενώ άλλοι είναι ακόμα στην ανάπτυξη.

Παρακάτω περιγράφονται τα κύρια χαρακτηριστικά των διαφορετικών τεχνολογιών αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας και του τομέα εφαρμογής τους (μόνιμος ή φορητός, βραχυπρόθεσμη ή μη αποθήκευση, η μέγιστη ισχύς που απαιτείται κ.τ.λ.).

Τα χαρακτηριστικά αυτά θα χρησιμεύσουν για τις συγκρίσεις προκειμένου να καθοριστεί η πιο κατάλληλη τεχνική για κάθε τύπο εφαρμογής.

ABSTRACT

What this paper describes is the need to find new energy storage technologies in order to maintain better the levels of the electricity charges inside the power networks. There are various types of storage methods some of them are already in function and the others are still in development.

Bellow are described the mains characteristics of the different energy storage technologies and their fields of applications (storage of portable, short-thermed or not, the maximum needed power, etc).

Those characteristics will be used for the comparisons so that it could be define the most proper technique for each type application.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η ηλεκτρική ενέργεια είναι ένα άορατο εμπόρευμα που βρίσκεται οπουδήποτε και είναι εύκολα διαθέσιμο στο χαμηλότερο πιθανό κόστος τις περισσότερες φορές και για πολύ καιρό θεωρείτο σαν ένα κοινό αγαθό κατανάλωσης:

Σήμερα, αποτελεί το 12% της συνολικής ενέργειας που υποβάλλεται σε επεξεργασία από την ανθρωπότητα, μια αναλογία που αναμένεται να αυξηθεί μέσα στα επόμενα χρόνια (34% που προβλέπεται για το 2025) σε ένα πλαίσιο της μείωσης των βλαβερών καυσίμων, της αυξανόμενης χρήσης της ανανεώσιμης ενέργειας, και του μεγαλύτερου σεβασμού προς το περιβάλλον.

Στις μέρες μας, η παραγωγή του ηλεκτρισμού συγκεντρώνεται και συχνά σε μεγάλες αποστάσεις από τους τελικούς χρήστες του ηλεκτρισμού. Το επίπεδο της φόρτωσης βασίζεται αρχικά στην πρόβλεψη των καθημερινών και εποχιακών αναγκών, αλλά ακόμα και όταν η παραγωγή δεν είναι επαρκής βασίζεται στην συνεισφορά των δευτερευόντων τύπων όπως είναι υδροηλεκτρικές και θερμικές εγκαταστάσεις. Στην πραγματικότητα αυτές οι εγκαταστάσεις χρησιμοποιούν αποθηκευμένη ενέργεια: νερό για τις αντλητικές εγκαταστάσεις αποθήκευσης και ορυκτά καύσιμα για τις θερμικές εγκαταστάσεις.

Η ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από ανανεώσιμες πηγές (ηλιακή ενέργεια, ανεμογεννήτριες, κ.λπ.), έχει παρουσιάσει αξιοπρόσεκτη αύξηση παγκοσμίως στις απαιτήσεις και αυτό γιατί οι πηγές αυτές δεν παραδίδουν ένα κανονικό ανεφοδιασμό εύκολα διευθετήσιμο στις ανάγκες της κατανάλωσης. Κατά συνέπεια η αύξηση αυτής της αποκεντρωμένης παραγωγής σημαίνει πως θα υπάρξουν μεγαλύτερα προβλήματα σταθερότητας των δικτύων με αποτέλεσμα να απαιτείται η ενεργειακή αποθήκευση, με πιθανότερη λύση τις μπαταρίες μολύβδου.

Δυστυχώς, οι μπαταρίες μολύβδου δεν μπορούν να συγκριθούν με τα υψηλά ποσοστά ανακύκλωσης, ούτε μπορούν να αποθηκεύσουν μεγάλες ποσότητες ενέργειας. Γι' αυτό το λόγο έχουν αρχίσει να εφαρμόζονται άλλες τεχνικές αποθήκευσης και άλλες βρίσκονται ακόμα στα στάδια της ανάπτυξης. Το στοίχημα λοιπόν των ημερών μας είναι η ανάπτυξη τεχνολογιών αποθήκευσης ενέργειας και ηλεκτρονικών ισχύων, γιατί θα έχουν μεγάλη στρατηγική αξία για την αξιόπιστη κάλυψη των αναγκών μας στο μέλλον.

Είναι χρήσιμο να έχουμε υπόψη μας ότι η παραγωγή συγκεντρωμένου ηλεκτρισμού έχει οδηγήσει στην ανάπτυξη ενός πολύπλοκου συστήματος παραγωγής – μεταβίβασης ενέργειας, κάνοντας λίγη χρήση του αποθέματος (σήμερα, η ικανότητα αποθέματος ισχύος παγκοσμίως είναι ίση με 90 GW περίπου της ολικής παραγωγής 3400 GW, ή κατά προσέγγιση 2.6%). Στα αποθέματα ενέργειας πριν το 1980 οι μέθοδοι μετατροπής για την «αποθήκευση του εναλλακτικού ρεύματος» ήταν εξαιρετικά δαπανηρές, αναξιόπιστες, ή απλά δεν χρησιμοποιούνταν για τους λόγους αυτούς. Αυτό μαζί με το γεγονός ότι ο ηλεκτρισμός παράγεται μαζικά, διαβιβάζεται και χρησιμοποιείται στο εναλλασσόμενο ρεύμα, έχει οδηγήσει στην πεποίθηση ότι η ηλεκτρική ενέργεια δεν μπορεί να αποθηκευτεί.

Παρόλα αυτά η υψηλή απόδοση, η οικονομική ηλεκτρονική ισχύς που μπορεί να χειρίζεται υψηλά επίπεδα ισχύος, έχουν αλλάξει όλα τα παραπάνω. Τώρα μπορεί να αποθηκευτεί ακόμα και αν πρόκειται για έμμεση αποθήκευση. Απαιτείται όμως η επένδυση και το κόστος λειτουργίας να διατηρούνται σε αποδεκτά επίπεδα και να λαμβάνονται υπόψη τα περιβαλλοντικά ζητήματα.

1. ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ ΚΑΙ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ

Η εξέλιξη και η χρήση της ανανεώσιμης ενέργειας έχουν δοκιμάσει την ταχεία ανάπτυξη τα τελευταία χρόνια. Στα επόμενα 20 – 30 έτη όλα τα βιώσιμα ενεργειακά συστήματα θα πρέπει να βασιστούν στην ορθολογική χρήση των φυσικών παραδοσιακών πόρων και στη μεγαλύτερη χρήση της ανανεώσιμης ενέργειας.

Η αποκεντρωμένη ηλεκτρική παραγωγή από τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας παράγει έναν πιο σίγουρο ανεφοδιασμό για τους καταναλωτές με λιγότερους περιβαλλοντικούς κινδύνους. Ωστόσο, ο απρόβλεπτος χαρακτήρας αυτών των πηγών απαιτεί την παροχή του δικτύου και χρήσιμους ελέγχους που θα γίνονται για την λειτουργία.

Οι ανανεώσιμοι πόροι έχουν όμως σημαντικό μειονέκτημα: κυμαίνονται ανεξάρτητα από την ζήτηση. Επίσης μέχρι τα τελευταία χρόνια τα συστήματα μετατροπής ήταν αρκετά δαπανηρά, πράγμα που τον τελευταίο καιρό έχει αλλάξει.

Η αιολική ενέργεια είναι ο σύγχρονος πρωταγωνιστής στον τομέα της ανανεώσιμης ενέργειας για την ηλεκτρική παραγωγή. Ακόμα, η ισχύς που παράγεται από τις ανεμογεννήτριες είναι χαρακτηριστικά με την πάροδο του χρόνου άνιση, εξαιτίας της απρόβλεπτης φύσης της αρχικής τους ισχύς. Αυτό το μόνο που κάνει είναι να αυξάνει έμφυτα προβλήματα στην ολοκλήρωση ενός ικανού αριθμού ισχύος από ανεμογεννήτριες μέσα σε δίκτυα κάνοντας τη συνεισφορά τους ακόμα πιο δύσκολο να κατορθωθεί (ρυθμιζόμενο δυναμικό ρεύματος και συχνότητας λειτουργίας, κλπ). Ακόμα, η σταθερότητα ενός δικτύου στηρίζεται στην ισορροπία μεταξύ της προσφοράς και της ζήτησης. Η αύξηση του ποσοστού ολοκλήρωσης ανεμογεννητριών συνεπώς θα είναι μια λειτουργία της δυνατότητας να ρυθμιστεί ο ανεφοδιασμός, τον οποίο τα ηλεκτρικά συστήματα ενεργειακής αποθήκευσης πρέπει να λύσουν.

2. ΤΕΧΝΙΚΑ ΚΑΙ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΤΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ.

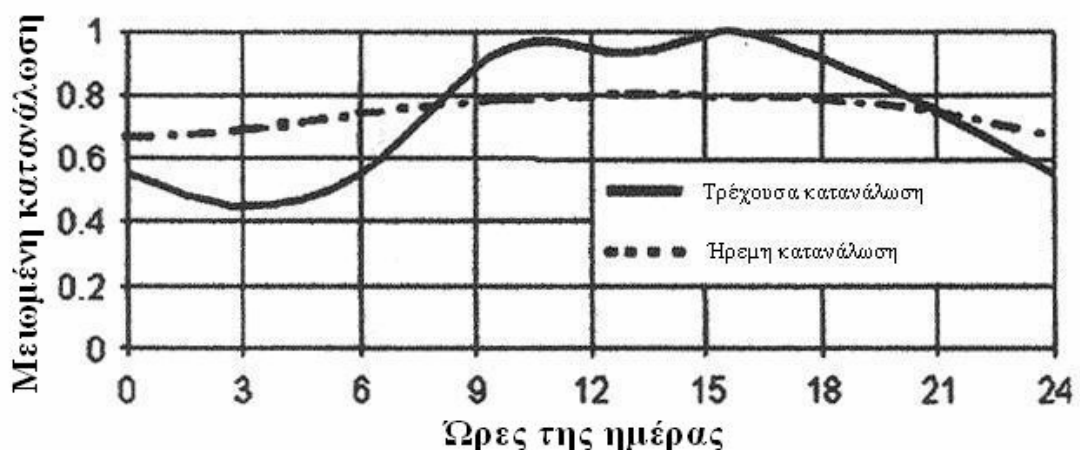
Η ενδιάμεση ενέργεια που λαμβάνεται από την ηλεκτρική ενέργεια, μέσω του μετασχηματισμού μιας πηγής αρχικής ενέργειας χαμηλού κόστους που χρησιμοποιείται στις κανονικές εγκαταστάσεις παραγωγής ενέργειας, θα αποθηκευτεί και θα χρησιμοποιηθεί σε μια κατάλληλη χρονική στιγμή ως υποκατάστατο ή της ακριβής αρχικής ισχύς που χρησιμοποιείται στους σταθμούς μέγιστης ισχύος ή της «εικονικής ενέργειας» που αντιπροσωπεύεται από τα πρόστιμα που μπορούν να επιβληθούν ως συνέπεια διακοπής ανεφοδιασμού. Υπάρχουν δύο τρόποι ενεργειακής παραγωγής για τους οποίους η αποθήκευση είναι σαφώς σημαντική:

1. Συμβατική ενεργειακή παραγωγή: Η αποθήκευση της οποίας θα μπορούσε να αντισταθμίσει μια προσωρινή απώλεια παραγωγής μιας παραγωγικής μονάδας και να εκπληρώσει μια εμπορική υποχρέωση του προ - πωλημένου ενεργειακού ανεφοδιασμού, ώστε να αποφεύγουν τα πρόστιμα. Το επίπεδο ισχύος είναι συγκρίσιμο με αυτό που ορίζεται και η ποσότητα αποθηκευμένης ενέργειας πρέπει να είναι ένας συμβιβασμός μεταξύ της επιθυμητής διάρκειας της εφεδρικής ισχύος και των πιθανών ποινικών ρητρών.

2. Ανανεώσιμη ενεργειακή παραγωγή: Η αποθήκευση της οποίας προσθέτει αξία στο παρεχόμενο ρεύμα κάνοντας αυτόν τον τύπο ενέργειας προβλέψιμο (π.χ., η παράδοση της ηλεκτρικής ισχύος κατά τη διάρκεια των ωρών αιχμής). Εντούτοις, το κόστος προφύλαξης θα πρέπει να ληφθεί υπόψη. Η αποθηκευμένη ισχύς θα μπορούσε μόνο να ικανοποιήσει μια μερίδα της ονομαστικής παραγωγικής χωρητικότητας, ενώ η ενέργεια θα πρέπει να είναι διαθέσιμη σαν αποτέλεσμα ενός συμβατικού συμβιβασμού.

Σχηματικά, τα δίκτυα ενέργειας αποτελούνται από πολλές ενεργειακές μονάδες, ποικίλα επίπεδα μετασχηματισμού και γραμμές διανομής και συνδεδεμένους σταθμούς και υποσταθμούς και με πάρα πολλούς καταναλωτές με μεγάλες ενεργειακές απαιτήσεις.

Η κατανάλωση ισχύος από τους χρήστες, κατά τη διάρκεια της ημέρας, χαρακτηρίζεται από τη διαφορά και τη διακύμανση, που σημαίνει ότι η ελάχιστη κατανάλωση είναι σχεδόν η μισή από μια μέγιστη αιχμή (Σχήμα 1).



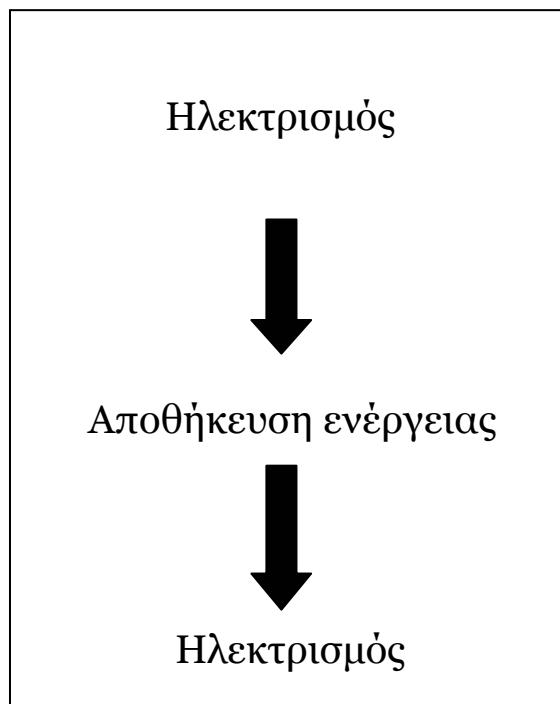
Σχήμα 1: Μέση ημερήσια κατανάλωση ισχύος στη Γαλλία.

Η απαίτηση τελικών χρηστών, από άποψη αναλογίας μεταξύ του μέγιστου και του μέσου επιπέδου ισχύος, φθάνει συχνά σε μια αξία του 10. Αυτό οδηγεί στην υπερδιάσταση της παραγωγής και του εξοπλισμού μεταβίβασης τα οποία έχουν σχεδιαστεί σαν μια λειτουργία που απαιτείται συνήθως σε ώρες αιχμής παρά σαν ένας μέσος όρος καθημερινής κατανάλωσης.

Ωστόσο, η ισοπέδωση φορτίων βοηθά στη μείωση των διακυμάνσεων στο ελάχιστο, καθιστώντας τον ανεφοδιασμό πιο προβλέψιμο. Συνεπώς, αυτό θα το καθιστούσε πιθανό την χρήση των εγκαταστάσεων μετάδοσης και διανομής που ήδη υπάρχουν, για πάρα πολλά χρόνια.

Επιπλέον, το επίπεδο κατανάλωσης και το τελικό επίπεδο διανομής θα μπορούσαν να βοηθήσουν στη μείωση της εγκατεστημένης ισχύος ώστε να πάρουν όσο περισσότερο μπορούν από το υπάρχον δίκτυο. Αλλά είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι, παρόλα τα στατιστικά επίπεδα, η απαίτηση ισχύος ποικίλει αξιοσημείωτα σαν μια λειτουργία κατά την διάρκεια της μέρας ή από εποχή σε εποχή. Εδώ γίνεται σημαντική η έννοια της αποθήκευσης: ο τοπικός ανεφοδιασμός που αντισταθμίζει τις παραλλαγές φορτίων θα καθιστούσε δυνατή τη λειτουργία μεταβίβασης, υπομεταβίβασης και διανομής δικτύων με πιο απλούς σχεδιασμούς.

Η ευελιξία των μελλοντικών συστημάτων αποθήκευσης και ανάκτησης μπορεί να βοηθήσει στην παροχή στιγμιαίας αντίδρασης στη ζήτηση και σαν συνέπεια η πρόσθετη ευελιξία στο δίκτυο όσον αφορά τα επίπεδα φόρτωσης. Η δυσαναλογία δικτύων μπορεί να προκληθεί από ένα προσωρινό έλλειμμα παραγωγής, το οποίο θα μπορούσε ενδεχομένως να προβλεφθεί. Η ανάγκη, θα μπορούσε επίσης να είναι το αποτέλεσμα των αποτυχιών παραγωγής. Γι' αυτό τα προκύπτοντα κέρδη λόγω των συστημάτων αποθήκευσης πρέπει να εξασφαλίσουν μια επιστροφή στις δαπάνες της ακόλουθης αλυσίδας διπλής μετατροπής:



3. ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΙΣΧΥΟΣ

Η αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας μπορεί να επιτευχθεί αποτελεσματικά μετατρέποντάς την αρχικά σε μια άλλη μορφή αποθηκευμένης ενέργειας και όταν κριθεί απαραίτητο να μετασχηματιστεί.

Οι τεχνολογίες που αναπτύσσονται αναφέρονται σε απ' ευθείας αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας (υπερ-πυκνωτές, υπεραγωγίμη μαγνητική ενέργεια) και σε έμμεση αποθήκευση (θερμική, μηχανική, ηλεκτροχημική και θερμοχημική ενέργεια). Επειδή ακόμα οι περισσότερες τεχνικές αποθήκευσης βρίσκονται είτε σε στάδια έρευνας είτε σε ανάπτυξη ακόμα, σήμερα αυτές που είναι πλέον ώριμες με αξιόλογες εφαρμογές στα ηλεκτρικά δίκτυα και με βέβαιο κόστος είναι τα αντλητικά υδροηλεκτρικά (μηχανική) και οι συσσωρευτές μολύβδου (ηλεκτροχημική).

Οι τεχνικές αποθήκευσης μπορούν να διαιρεθούν σε τέσσερις κατηγορίες, σύμφωνα με τις αιτήσεις τους:

- a) Χαμηλής ισχύος εφαρμογή στις απομονωμένες περιοχές, ουσιαστικά για να «ταΐσουν» (ή προμηθεύσουν) τους μετατροπείς και τα τερματικά έκτακτης ανάγκης.
- b) Μέσης ισχύος εφαρμογή στις απομονωμένες περιοχές (μεμονωμένα ηλεκτρικά συστήματα, ανεφοδιασμός πόλεως).
- c) Εφαρμογή σύνδεσης δικτύων στο μέγιστο επίπεδο.
- d) Εφαρμογές ελέγχου ποιότητας ισχύος.

Οι πρώτες δύο κατηγορίες είναι για τα μικρής κλίμακας συστήματα όπου η ενέργεια μπορεί να αποθηκευτεί ως κινητική ενέργεια (σφόνδυλος), χημική ενέργεια, συμπιεσμένος αέρας, υδρογόνο (κυψέλες καυσίμων), ή υπερ-πυκνωτές ή υπερ-αγωγούς θερμότητας.

Οι κατηγορίες τρία και τέσσερα είναι μεγάλης κλίμακας συστήματα όπου η ενέργεια μπορεί να αποθηκευτεί ως ενέργεια βαρύτητας (υδροηλεκτρικά συστήματα), θερμική ενέργεια (λογικός, λανθάνων), χημική ενέργεια (συσσωρευτές, μπαταρίες ροής), ή συμπιεσμένος αέρας (ή συνδεδεμένος με την υγρή ή φυσική αποθήκευση αερίου).

Τα συστήματα αποθήκευσης καλύπτουν ανάγκες στα σύγχρονα ηλεκτρικά δίκτυα σε ευρεία περιοχή όπως:

- ❖ Κάλυψη αιχμών
- ❖ Εξομάλυνση της καμπύλης ζήτησης
- ❖ Παροχή βοηθητικών υπηρεσιών στο δίκτυο
- ❖ Βελτίωση της απόδοσης του συστήματος μεταφοράς και διανομής
- ❖ Μείωση των αναγκών ενίσχυσης του δικτύου μεταφοράς και διανομής
- ❖ Μετατόπιση στο μέλλον νέων επενδύσεων επαύξησης ικανότητας δικτύου
- ❖ Για την μείωση τιμολογίων
- ❖ Υψηλή αξιοπιστία και ποιότητα παροχής
- ❖ Συνδυασμός με εκμετάλλευση ΑΠΕ

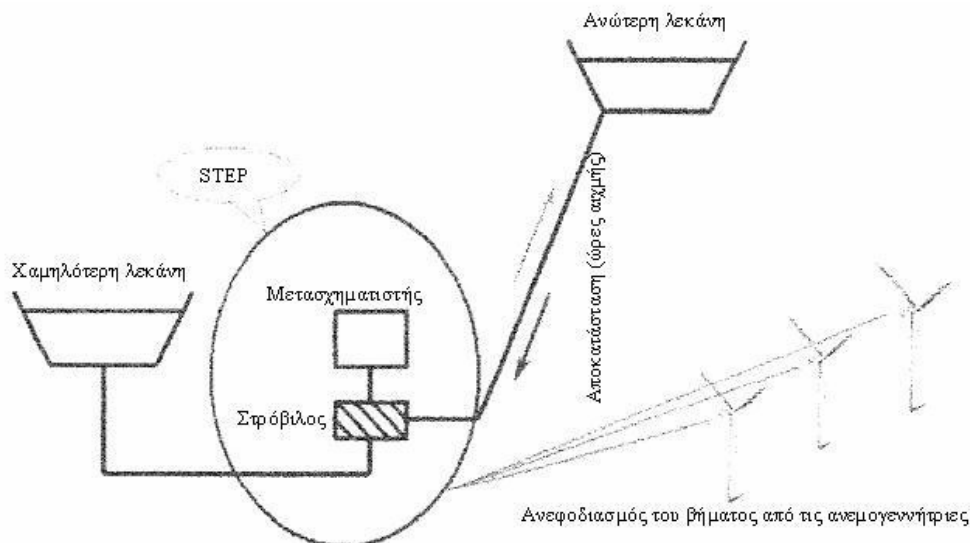
Παρακάτω ακολουθεί συνοπτικά περιγραφή των τεχνικών:

3.1. Αντλητική Υδροηλεκτρική αποθήκευση (PHS)

Το κύριο πλεονέκτημα αυτής της τεχνολογίας είναι ότι είναι εύκολα διαθέσιμη και αυτό γιατί χρησιμοποιεί την δύναμη του νερού, μια ιδιαίτερα συγκεντρωμένη ανανεώσιμη πηγή ενέργειας. Αυτή η τεχνολογία είναι στις μέρες μας η πιο χρησιμοποιημένη για τις εφαρμογές υψηλής ισχύος (μερικές δεκάδες GWh ή 100 του MW).

Οι αντλητικοί σταθμοί υπό μετάδοσης θα είναι ουσιαστικά για την αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας. Η ιδέα είναι γνωστή: Την περίοδο που η ζήτηση είναι χαμηλή, οι σταθμοί αυτοί χρησιμοποιούν την ηλεκτρική ενέργεια για να αντλήσουν το νερό από τη δεξαμενή που βρίσκεται κάτω στην δεξαμενή που βρίσκεται πάνω. Αυτό γίνεται γιατί όταν η

ζήτηση είναι υψηλή, το νερό που θα ρέει από την ανώτερη δεξαμενή θα ενεργοποιεί τους στροβίλους ώστε να παράγεται αρκετή ηλεκτρική ενέργεια για τις ώρες αιχμής (Σχήμα 2).

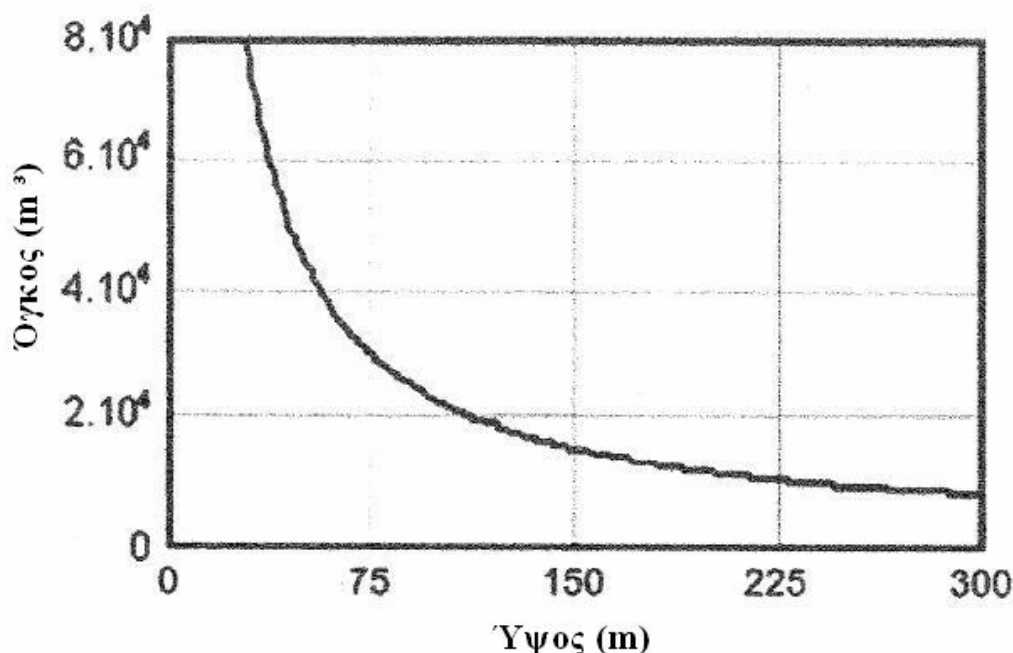


Σχήμα 2: Απεικόνιση της υδροαντλητικής αποθήκευσης με την αντλούμενη ενέργεια που παρέχεται από τις ανεμογεννήτριες.

Ο βαθμός απόδοσης των συστημάτων αυτών κυμαίνεται από 65% έως 80% ανάλογα με τα χαρακτηριστικά του εξοπλισμού που χρησιμοποιείται.

Η χωρητικότητα αποθήκευσης εξαρτάται από δύο παραμέτρους: το ύψος του καταρράκτη και τον όγκο του νερού (Σχήμα 3).

Για παράδειγμα μια μάζα ενός τόνου νερού που πέφτει από 100m παράγει 0,272KWh. Μειονέκτημα αυτής της τεχνολογίας είναι η ανάγκη μιας περιοχής με διαφορετικές ανυψωτικές ύδατος.



Σχήμα 3: Όγκος ύδατος που απαιτείται σε ένα δεδομένο ύψος για την αποθήκευση 6 MWh.

3.2. Αποθήκευση θερμικής ενέργειας (TES)

Υπάρχουν δύο τύποι συστημάτων TES, οι οποίοι εξαρτώνται από το αν χρησιμοποιούν λογική ή λανθάνουσα θερμότητα.

Η δεύτερη περίπτωση συστημάτων TES κάνει χρήση της μετάβασης ενός υλικού από υγρή σε στερεή φάση σε σταθερή θερμοκρασία. Κατά τη διάρκεια της συσσώρευσης, ο όγκος του υλικού θα μετατοπιστεί από την στερεά κατάσταση σε υγρή και κατά τη διάρκεια της ανάκτησης θα μετατοπιστεί ξανά στη στερεή κατάσταση. Η θερμότητα που μεταφέρεται μεταξύ του θερμικού συσσωρευτή και του εξωτερικού περιβάλλοντος γίνεται διαμέσου ενός υγρού μεταφοράς θερμότητας.

Η ενέργεια αποθηκεύεται σε μια δεδομένη θερμοκρασία, όσο υψηλή είναι η θερμότητα, τόσο υψηλή είναι και η συγκέντρωση υλικού.

Ένα καλό ρευστό αποθήκευσης, παρά τη διαβρωτική του φύση, είναι το υδροξείδιο του νατρίου, και αυτό γιατί έχει μια υψηλή θερμοκρασία τήξης, έναν επαρκή συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας, μια υψηλής θερμοκρασίας σταθερότητα και μια πολύ χαμηλή πίεση ατμού (μεταξύ των 120°C – 360°C η χωρητικότητα αποθήκευσης σε μάζα είναι 744MJ/t και σε όγκο 1332MJ/m³).

Έτσι καθιερώνοντας αυτά τα συστήματα αποθήκευσης και το υδροξείδιο του νατρίου σε ηλεκτρικούς λέβητες θα μπορούσε να βοηθήσει στις βιομηχανικές διαδικασίες να μειωθεί η ζήτηση για ηλεκτρική ισχύ γιατί οι ανάγκες δεν είναι σταθερές και ποικίλουν ανάλογα την εποχή.

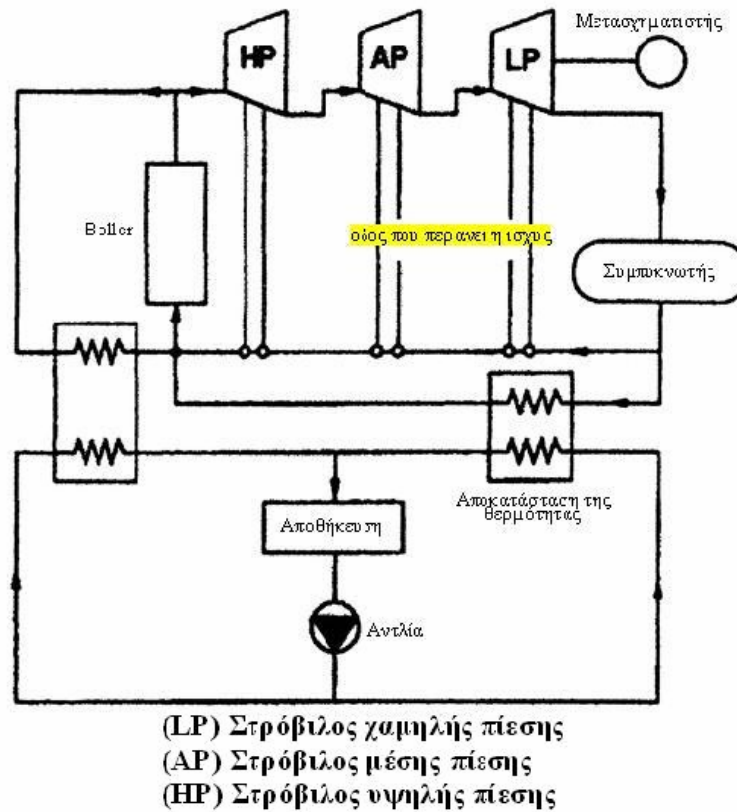
Η αποθήκευση με τα συστήματα της πρώτης κατηγορίας TES επιτυγχάνεται με τη θέρμανση ενός ογκώδους υλικού (π.χ. νάτριο, νερό σταθερής ατμοσφαιρικής πίεσης κ.λπ.). Εδώ η θερμότητα ανακτάται έπειτα για να παραχθεί ο υδρατμός, ο οποίος οδηγεί τα συστήματα στροβίλου – μετασχηματιστή.

Η χρήση του νερού σαν υγρό αποθήκευσης απαιτεί υψηλές θερμοκρασίες της τάξης των 200°C, πράγμα που καθιστά αδύνατο την αποθήκευση του νερού λόγω της ανεπανόρθωτης ζημιάς που θα προκαλούσε στο έδαφος.

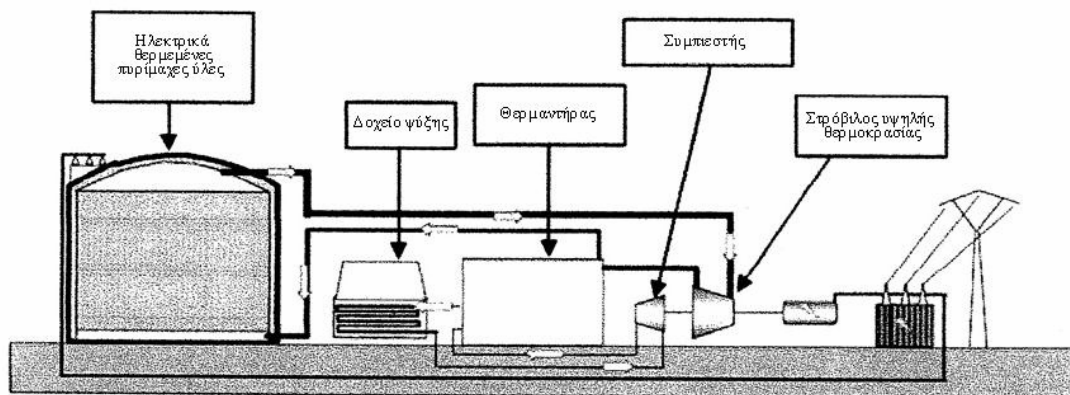
Κατά τη διάρκεια των ωρών εκτός αιχμής, το καυτό νερό μπορεί να ληφθεί από θερμικές εγκαταστάσεις υψηλού ατμού (Σχήμα 4), ώστε να αποθηκευτεί.

Η παραγωγή της πρόσθετης ηλεκτρικής ενέργειας κατά τη διάρκεια των ωρών αιχμής μπορεί να επιτευχθεί με τη θέρμανση της παροχής νερού κατά την ανάκτηση της αποθηκευμένης ενέργειας και ταυτόχρονα τη μείωση της εξόδου στροβίλων. Ένα 5% της υπερενέργειας λαμβάνεται από μια αύξηση στην παραγωγή ατμού μέσω του στροβίλου.

Μια νέα τεχνολογία που δυστυχώς δεν έχει εφαρμοστεί ακόμα είναι αποθήκευση υψηλής θερμοκρασίας, λογικής θερμότητας με τη βοήθεια στροβίλου (Σχήμα 5). Συνίσταται στη θέρμανση ενός πυρίμαχου υλικού στους 1400°C από ηλεκτρικές αντιστάσεις (υψηλή αποδοτικότητα) κατά τη διάρκεια της αποθήκευσης και κατά την διάρκεια της ανάκτησης της συσσωρευμένης ενέργειας με την έγχυση του αέρα ο οποίος θερμαίνεται από το πυρίμαχο υλικό σε έναν συνδυασμένο κύκλο στροβίλων. Ο κατ' εκτίμηση βαθμός απόδοσης ενός τέτοιου συστήματος είναι της τάξεως του 60%. Το σύστημα μπορεί να αποθηκεύσει πολύ μεγάλες ποσότητες ενέργειας χωρίς σημαντικούς κινδύνους και δεν υπόκειται στους γεωλογικούς περιορισμούς. Οι απώλειες λόγω της μεμονωμένης αποφόρτισης είναι σχετικά μικρές, ειδικά για τα πολύ μεγάλα συστήματα.



Σχήμα 4: Αποθήκευση λογικής θερμότητας της ηλεκτρικής ενέργειας σε εγκαταστάσεις παραγωγής ενέργειας.



Σχήμα 5: Υψηλής θερμοκρασίας αποθήκευση θερμότητας με το στρόβιλο.

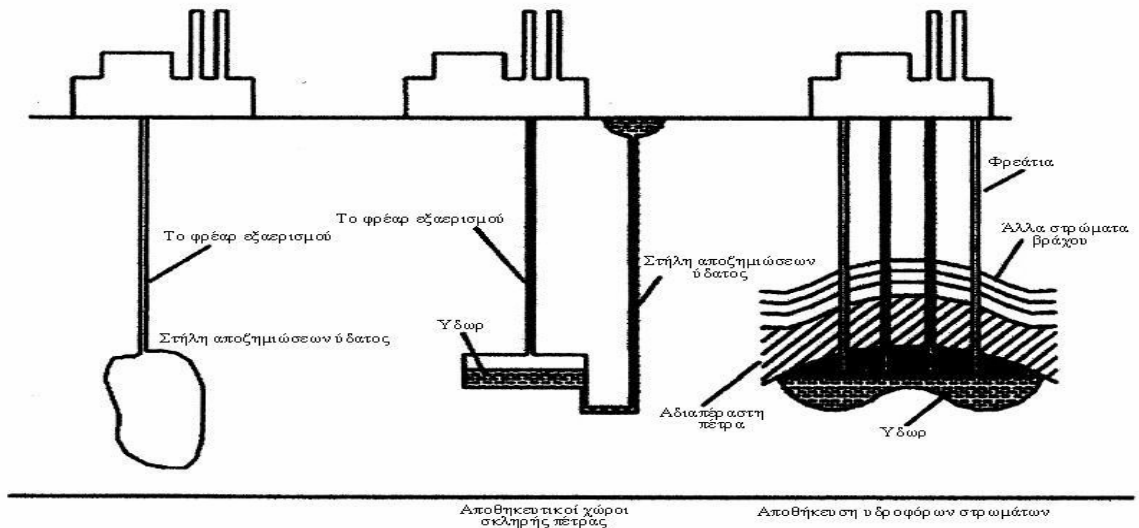
3.3. Αποθήκευση ενέργειας συμπιεσμένου αέρα (CAES)

Το σύστημα CAES στηρίζεται σε σχετικά ώριμη τεχνολογία με διάφορα προγράμματα υψηλής ισχύος.

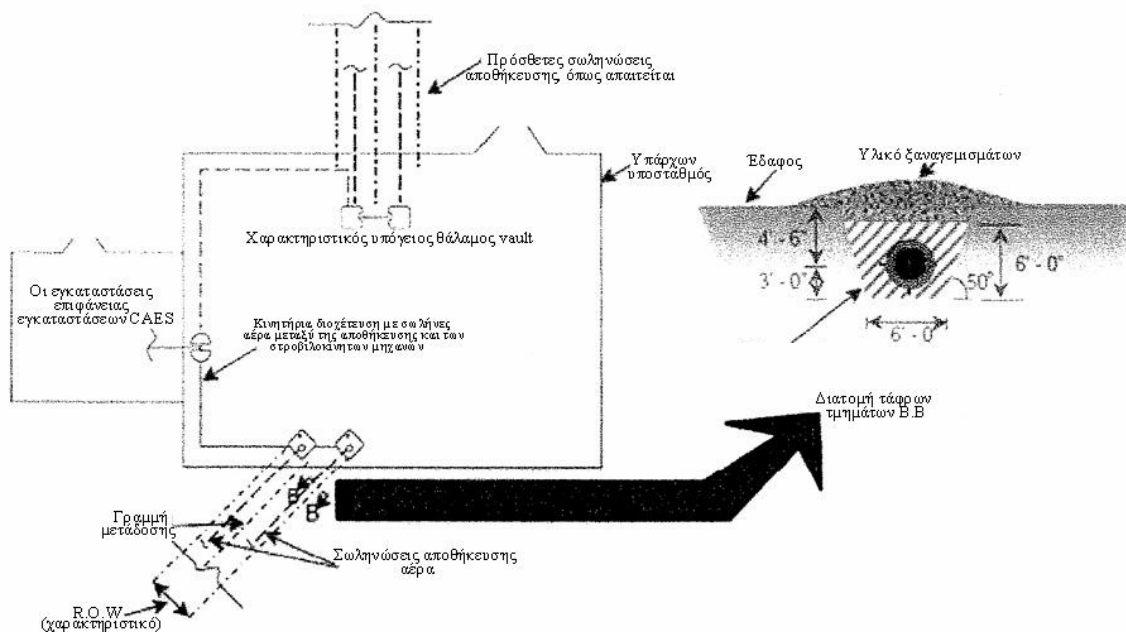
Εγκαταστάσεις παραγωγής ενέργειας με έναν τυποποιημένο στρόβιλο αερίου χρησιμοποιούν σχεδόν τα δύο τρίτα της διαθέσιμης ισχύος για να συμπιεστεί ο αέρας καύσης. Επομένως φαίνεται πιθανό, χωρίζοντας τις διαδικασίες εγκαίρως, να χρησιμοποιηθεί η ηλεκτρική ισχύς κατά τη διάρκεια των ωρών εκτός αιχμής (ώρες αποθήκευσης) προκειμένου να συμπιεστεί ο αέρας, και έπειτα να παραχθεί, κατά τη διάρκεια των ωρών αιχμής (ώρες ανάκτησης), τρεις φορές η ισχύς για την ίδια κατανάλωση καυσίμων επεκτείνοντας τον αέρα σε ένα θάλαμο καύσης πριν τροφοδοτηθεί μέσα στους στρόβιλους. Η υπόλοιπη θερμότητα από τον καπνό ανακτάται και χρησιμοποιείται για να θερμάνει τον αέρα.

Ενεργειακή αποθήκευση συμπιεσμένου αέρα επιτυγχάνεται στις υψηλές πιέσεις (40 –

70bar), στις θερμοκρασίες περιβάλλοντος. Μεγάλοι αποθηκευτικοί χώροι φτιαγμένοι από υψηλής ποιότητας πέτρα, βαθιά στο έδαφος, αρχαία ορυχεία αλατιού, ή υπόγεια φυσικά σπήλαια αποθήκευσης αερίου είναι οι καλύτερες επιλογές για συμπιεσμένο αποθηκευμένο αέρα, καθώς αυτοί ωφελούνται από την γεωστατική πίεση η οποία διευκολύνει την περιεκτικότητα της μάζας του αέρα (Σχήμα 6). Ένας μεγάλος αριθμός μελετών έχουν δείξει ότι ο αέρας θα μπορούσε να συμπιεστεί και να αποθηκευτεί σε υπόγειους σωλήνες υψηλής πίεσης (20 – 100bars). Αυτή η μέθοδος θα απέβαλλε τα γεωλογικά κριτήρια και θα καθιστούσε το σύστημα ευκολότερο να λειτουργήσει (Σχήμα 7).



Σχήμα 6: Διαφορετικοί τύποι δεξαμενών αποθήκευσης συμπιεσμένου αέρα.



Σχήμα 7: Απεικόνιση της υπόγειας αποθήκευσης συμπιεσμένου αέρα που διοχετεύεται.

Η ενεργειακή πυκνότητα για αυτόν τον τύπο συστήματος είναι της τάξεως των 12kWh/m³, ενώ ο κατ' εκτίμηση βαθμός απόδοσης είναι περίπου 70%. Ας σημειωθεί ότι για

να εξαπολυθεί 1kWh στο δίκτυο, 0.7 – 0.8 KWH της ηλεκτρικής ενέργειας χρειάζεται να απορροφηθούν κατά τη διάρκεια των ωρών εκτός αιχμής ώστε να συμπιεστεί ο αέρας, καθώς επίσης και 1.22kWh του φυσικού αερίου κατά τη διάρκεια των ωρών αιχμής (ανάκτηση). Για να βελτιώσουν τον βαθμό απόδοσης και να μειώσουν τις δαπάνες λειτουργίας, οι διαρροές αέρα (αυτόνομη αποφόρτιση) πρέπει να διατηρηθούν στο ελάχιστο δυνατό.

Ο πρώτος σταθμός αποθήκευσης που χρησιμοποιεί μια υπόγεια δεξαμενή συμπιεσμένου αέρα βρίσκεται σε λειτουργία από τον Νοέμβριο του 1978 στο Huntorf, κοντά στη Βρέμη, της Γερμανίας.

3.4. Μικρής κλίμακας ενεργειακή αποθήκευση συμπιεσμένου αέρα (SSCAES)

Η αποθήκευση συμπιεσμένου αέρα κάτω από υψηλή πίεση σε κυλίνδρους (μέχρι 300 bar με τον άνθρακα – δομές ιών) είναι καλή λύση για μικρής και μεσαίας κλίμακας εφαρμογές. Χρησιμοποιώντας έναν ηλεκτρικό συμπιεστή που μπορεί να μετατραπεί σε γεννήτρια κατά τη διάρκεια της ανάκτησης, το σύστημα έχει ένα γενικό βαθμός απόδοσης της τάξης του 50%. Είναι μια λειτουργία επαναφόρτισης και αποφόρτισης ισχύος. Ο αριθμός κύκλων είναι της τάξεως μερικών δεκάδων χιλιάδων καθώς είναι κυρίως περιορισμένος από τη μηχανική κόπωση (μετάλλων) των κυλίνδρων. Αυτός ο τύπος εγκατάστασης έχει προταθεί στις Ηνωμένες Πολιτείες ως προσωρινό δίκτυο υποστήριξης.

3.5. Ενεργειακή αποθήκευση συνδεδεμένη με την αποθήκευση φυσικού αερίου (NGS)

Η ιδέα είναι η σύνδεση υπόγειας αποθήκευσης φυσικού αερίου και η αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας. Η διαφορά πίεσης μεταξύ της αποθήκευσης υψηλής πίεσης αερίου (200 bars) στις δεξαμενές βαθιά κάτω από το έδαφος (1500 m) και το αέριο που εγχέεται στους αγωγούς με μια μέγιστη πίεση στα 60 – 80 bars οδηγεί στην κατανάλωση ενέργειας για συμπίεση, ενέργεια που θα μπορούσε να απελευθερωθεί υπό μορφή ηλεκτρικής ενέργειας κατά τη διάρκεια της αποσυμπίεσης.

Η ρευστοποίηση του φυσικού αερίου ή του συμπιεσμένου αέρα απαιτεί ενέργεια μεγάλης ποσότητας. Η υπάρχουσα ιαπωνική τεχνολογία κοιτάζει να χρησιμοποιήσει τις προκύπτουσες ανταλλαγές θερμότητας για να αποθηκεύσει την ηλεκτρική ενέργεια. Η ιδέα είναι να χρησιμοποιηθούν δύο δεξαμενές αποθήκευσης για το υγροποιημένο φυσικό αέριο και τον υγρό αέρα, οι αναπαραγωγικοί ανταλλάκτες θερμότητας, ένας συμπιεστής, και ένας στρόβιλος αερίου. Κατά τη διάρκεια του καψίματος του φυσικού αερίου ώστε να ενεργοποιηθεί ο στρόβιλος και να παραχθεί η ηλεκτρική ενέργεια, ο υγρός αέρας και το αέριο ατμοποιούνται και το κρύο που δημιουργείται με αυτό το τρόπο συντηρείται στους ανταλλάκτες. Κατά τη διάρκεια των ωρών εκτός αιχμής, ο αέρας δροσίζεται από έναν ήδη αποθηκευμένο αέρα, ο οποίος συμπιέζεται με έναν ηλεκτρικό συμπιεστή, και τελικά υγροποιείται και αποθηκεύεται.

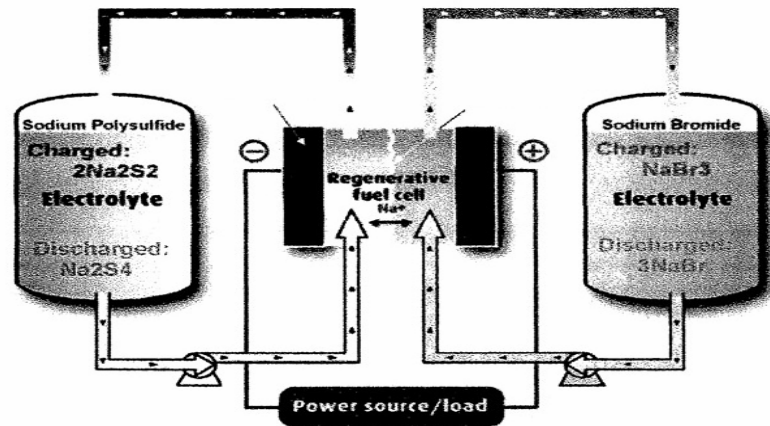
3.6. Ενεργειακή αποθήκευση χρησιμοποιώντας μπαταρίες ροής (FBES)

Οι μπαταρίες ροής είναι δύο συστήματα ηλεκτρολυτών στα οποία οι χημικές ενώσεις που χρησιμοποιούνται για την ενεργειακή αποθήκευση είναι σε υγρή κατάσταση, σε διάλυση με τον ηλεκτρολύτη.

Κατορθώνουν να ξεπεράσουν τους περιορισμούς των τυποποιημένων ηλεκτροχημικών συσσωρευτών (παραδείγματος χάριν όξινου μολύβδου ή νικελίου-καδμίου) στους οποίους οι ηλεκτροχημικές αντιδράσεις δημιουργούν τις στερεές ενώσεις που αποθηκεύονται άμεσα στα ηλεκτρόδια στα οποία διαμορφώνουν. Αυτό είναι επομένως ένα σύστημα, περιορισμένης μάζας το οποίο περιορίζει προφανώς την ικανότητα των τυποποιημένων μπαταριών.

Οι διάφοροι τύποι ηλεκτρολυτών έχουν αναπτυχθεί χρησιμοποιώντας το βρώμιο ως κεντρικό στοιχείο: με τον ψευδάργυρο (ZnBr), το νάτριο (NaBr), το βανάδιο (VBr) και, πιο πρόσφατα το πολυσουλφίδιο του νατρίου. Η ηλεκτροχημική αντίδραση μέσω μιας μεμβράνης στο κύτταρο μπορεί να αντιστραφεί (φόρτιση – αποφόρτιση). Με τη

χρησιμοποίηση των μεγάλων δεξαμεμών και την ένωση ενός μεγάλου αριθμού κυττάρων, οι μεγάλες ποσότητες ενέργειας μπορούν να αποθηκευτούν και να απελευθερωθούν έπειτα με την άντληση του ηλεκτρολύτη στις δεξαμεμές (δείτε το Σχήμα 8). Ο γενικός βαθμός απόδοσης αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας είναι περίπου 75%.



Σχήμα 8: Απεικόνιση μιας μπαταρίας ροής του τύπου PSB (μπαταρία βρωμίδων πολυσουλφιδίων).

Το καλύτερο παράδειγμα της μπαταρίας ροής αναπτύχθηκε το 2003 από την Regenesys Technologies, στην Αγγλία, με μια δυνατότητα αποθήκευσης 15 MW – 120 MWh. Έχει αναβαθμιστεί από τότε σε ένα ηλεκτροχημικό σύστημα βασισμένο εξ' ολοκλήρου στο βανάδιο.

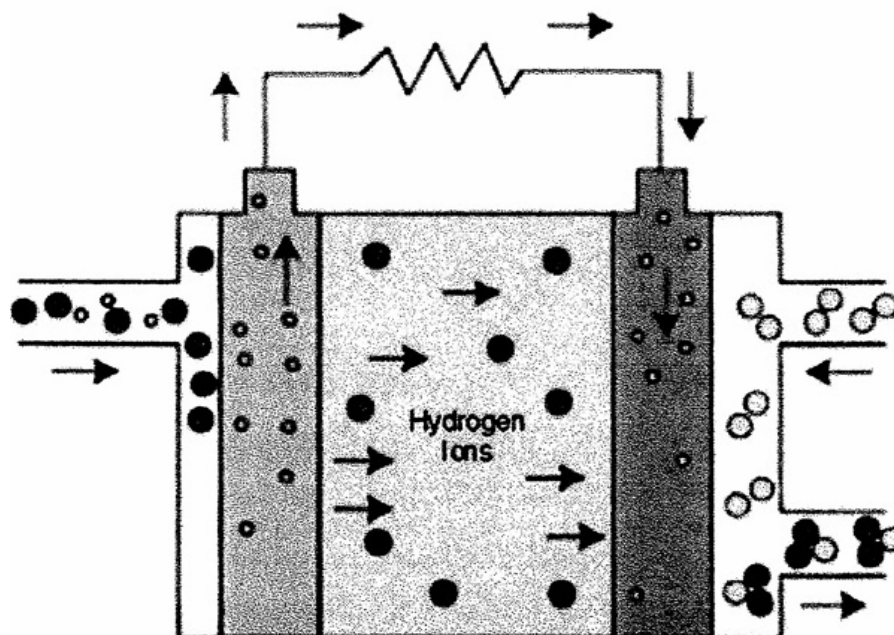
3.7. Κυψέλες καυσίμων - ενεργειακή αποθήκευση υδρογόνου (FC - HES)

Οι κυψέλες καυσίμων είναι ένας τρόπος ανάκτησης της ενέργειας που έχει σπαταληθεί για να παραγάγουν το υδρογόνο μέσω της ηλεκτρόλυσης του νερού. Το προτεινόμενο σύστημα αποθήκευσης περιλαμβάνει τρία βασικά συστατικά: η ηλεκτρόλυση που καταναλώνει ηλεκτρική ενέργεια για να παραχθεί το υδρογόνο, η κυψέλη καυσίμου που χρησιμοποιεί αυτό το υδρογόνο και το οξυγόνο από τον αέρα για να παραχθεί ηλεκτρική ενέργεια στις ώρες αιχμής, και ένας απομονωτής υδρογόνου για να εξασφαλιστούν οι επαρκείς πόροι σε περιόδους ανάγκης.

Η οξειδωση μεταξύ του υδρογόνου και του οξυγόνου είναι μια ιδιαίτερα απλή αντίδραση που εμφανίζεται μέσα σε μια δομή (στοιχειώδης ηλεκτροχημική κυψέλη) φτιαγμένη από δύο ηλεκτρόδια (άνοδος - κάθοδος) που χωρίζονται από τον ηλεκτρολύτη, και έναν μεσολαβητή για τη μεταφορά της φόρτισης ως ιόντα (Σχήμα 9).

Υπάρχουν πολλοί τύποι κυψελών καυσίμων, όπως, αλκαλικό κύτταρο καυσίμων (AFC), κυψελών καυσίμων μεμβρανών πολυμερούς ανταλλαγής (PEMFC), άμεση κυψέλη καυσίμων μεθανόλης (DMFC), κυψέλη καυσίμων φωσφορικού οξέος (PAFC), κυψέλη καυσίμων λιωμένου ανθρακικού άλατος (MCFC), κυψέλη καυσίμων στερεών οξειδίων (SOFC). Οι βασικές διαφορές μεταξύ αυτών των τύπων μπαταριών είναι ο ηλεκτρολύτης που χρησιμοποιείται, η θερμοκρασία στην οποία λειτουργούν, το σχέδιό τους, και ο τομέας εφαρμογής τους. Επιπλέον, κάθε τύπος έχει τις συγκεκριμένες απαιτήσεις καυσίμων.

Υπάρχουν διάφοροι τρόποι αποθήκευσης υδρογόνου, όπως: συμπιεσμένος, υγροποιημένος, υδρίδιο μετάλλων, κ.λπ. Για εφαρμογές σταθμού, τα πεπιεσμένα δοχεία με έναν όγκο μεταξύ 10m³ και 10000m³ είναι η πιο απλή λύση για να την εφαρμόσεις στις μέρες μας. Οι διαθέσιμοι σήμερα εμπορικοί κύλινδροι μπορούν να αντέξουν πιέσεις μέχρι 350bars.



Σχήμα 9: Απεικόνιση μιας κυψέλης καυσίμου.

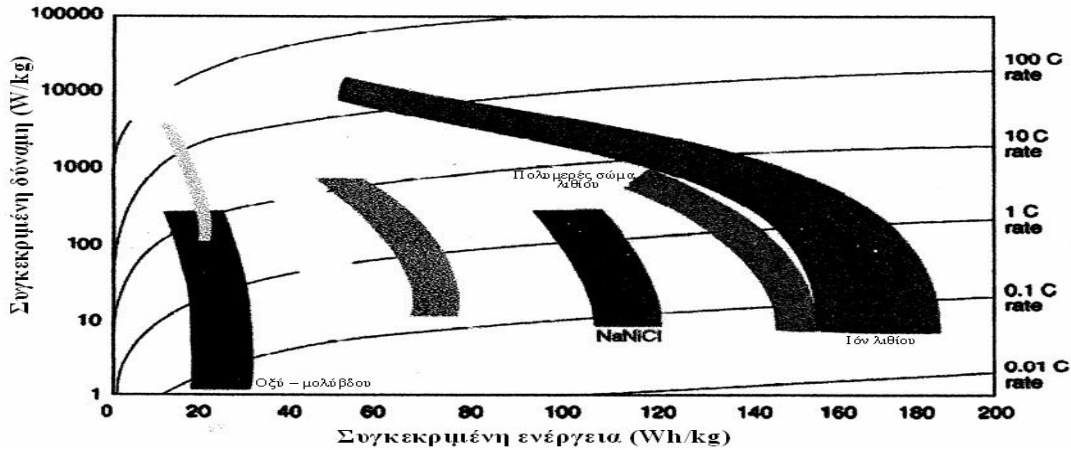
Ο συνδυασμός ενός ηλεκτρολύτη και μιας κυψέλης καυσίμων για την ηλεκτρική ενεργειακή αποθήκευση είναι μια λύση χαμηλού βαθμού απόδοσης (στην καλύτερη περίπτωση 70% για τον ηλεκτρολύτη και 50% για την κυψέλη καυσίμων, και 35% για το συνδυασμό). Επίσης, το κόστος επένδυσης είναι απαγορευτικό και ο χρόνος ζωής είναι πολύ περιορισμένος, ειδικά για τις εφαρμογές δικτύων ισχύος.

3.8. Χημική αποθήκευση

Η χημική αποθήκευση επιτυγχάνεται μέσω των συσσωρευτών. Αυτά τα συστήματα έχουν τη διπλή λειτουργία της αποθήκευσης και την απελευθέρωση της ηλεκτρικής ενέργειας εναλλάσσοντας τις φάσεις φόρτισης – εκφόρτισης. Μπορούν να μετασχηματίσουν τη χημική ενέργεια που παράγεται από τις ηλεκτροχημικές αντιδράσεις σε ηλεκτρική ενέργεια και αντίστροφα, χωρίς τις βλαβερές εκπομπές ή κάποιο θόρυβο, και να απαιτήσουν λίγη συντήρηση.

Υπάρχει ένα ευρύ φάσμα των τεχνολογιών που χρησιμοποιούνται στην επεξεργασία των συσσωρευτών (οξύ μολύβδου, νικέλιο – υδρίδιο μετάλλου, νικέλιο – σίδηρος, ψευδάργυρος – αέρας, σίδηρος – αέρας, νάτριο – θείος, κτλ) και τα κύρια προτερήματά τους είναι οι ενεργειακές πυκνότητές τους (μέχρι 150 και 2000Wh/kg για το λίθιο) και η τεχνολογική τους ωριμότητα (Σχήμα 10). Κύριο μειονέκτημα τους εντούτοις είναι η σχετικά χαμηλή διάρκειά τους για μεγάλο εύρος ανακύκλωσης. Χρησιμοποιούνται συχνά στα φορητά συστήματα, αλλά και στις μόνιμες εφαρμογές (υποστήριξη δικτύων έκτακτης ανάγκης, ανανεώσιμη ενέργεια στις απομονωμένες περιοχές, κ.λπ.).

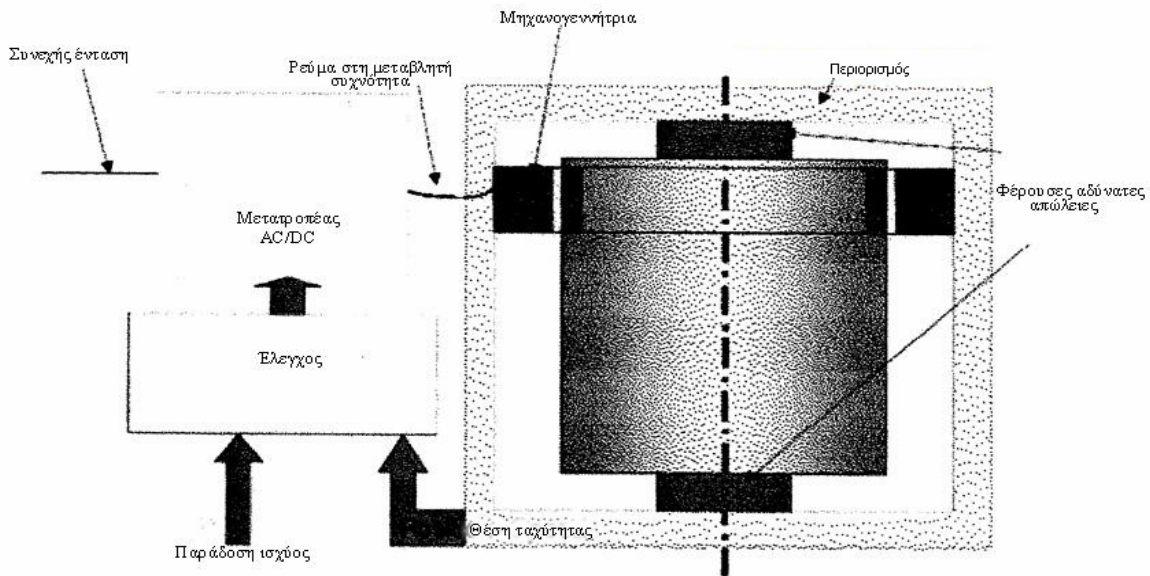
Η ελάχιστη περίοδος απαλλαγής των ηλεκτροχημικών συσσωρευτών φθάνει σπάνια κάτω από 15 λεπτά. Εντούτοις, για μερικές εφαρμογές, ισχύς μέχρι 100 W/kg, ακόμα και μερικές kW/kg, μπορεί να αποκτηθούν μέσα σε λίγα δευτερόλεπτα ή λεπτά. Ανάμεσα σε μια λειτουργία επαναφόρτισης υψηλής ισχύος σε σχεδόν μέγιστο επίπεδο φόρτισης κ το αντίθετο αυτό είναι η αποφόρτιση, η ισχύς μπορεί εύκολα να ποικίλει από την αναλογία των δυο.



Σχήμα 10: Διανομή των διαφορετικών ηλεκτροχημικών συσσωρευτών σύμφωνα με τις ενεργειακές πυκνότητές τους, η δύναμή τους.

3.9. Ενεργειακή αποθήκευση σφονδύλων (FES)

Οι ενεργειακοί συσσωρευτές σφονδύλων αποτελούνται από έναν ογκώδη ή σύνθετο σφόνδυλο που συνδέεται με μια μηχανική γεννήτρια και ειδικά υποστηρίγματα (συνήα μαγνητικά), σε συγκεκριμένη θέση και σε πολύ χαμηλή πίεση έτσι ώστε να μειωθούν οι απώλειες κατά την αποφόρτιση (Σχήμα 11).



Σχήμα 11: Ενεργειακοί συσσωρευτές σφονδύλων

Για να αποθηκεύσουν την ενέργεια σε ένα σύστημα ηλεκτρικής ισχύος, απαιτούνται μεγάλης χωρητικότητας σφόνδυλοι. Οι απώλειες τριβής ενός σφονδύλου 200 τόνων είναι κατ' εκτίμηση περίπου 200kW. Χρησιμοποιώντας αυτήν την υπόθεση και το στιγμιαίο βαθμό απόδοσης στο 85%, ο γενικός βαθμός απόδοσης θα μειωνόταν σε 78% μετά από 5h, και 45% μετά από μια ημέρα. Η μακροπρόθεσμη αποθήκευση με αυτόν τον τύπο συστημάτων δεν είναι επομένως προβλέψιμη.

Από πρακτική άποψη, οι ηλεκτρομηχανικές μπαταρίες είναι πιο χρήσιμες για την παραγωγή της ενέργειας στις απομονωμένες περιοχές. Παραδείγματος χάριν, μερικά συστήματα έχουν εγκατασταθεί για να προμηθεύουν αραιοκατοικημένες περιοχές, καθώς επίσης και τα νησιά της Σκωτίας και της Ουαλίας. Στην πρώτη περίπτωση, οι μπαταρίες χρησιμοποιούνται ουσιαστικά για να ρυθμίσουν και να αυξήσουν την ποιότητα του ρεύματος (σταθερή και συνεχή τάση). Όταν πρόκειται για την παροχή των νησιών, οι

ηλεκτρομηχανικές μπαταρίες χρησιμοποιούνται για να εξασφαλίσουν ότι ένα μέγιστο της ενέργειας που καταναλώνεται παράγεται από τα τοπικά αιολικά πάρκα, και για να βελτιώσουν την ποιότητα του ανεφοδιασμού όταν η παραγωγή της ανεμογεννήτριας είναι στο κατάφλι της ζήτησης.

Η αποθήκευση κινητικής ενέργειας θα μπορούσε επίσης να χρησιμοποιηθεί για τη διανομή της ηλεκτρικής ενέργειας στις αστικές περιοχές μέσω των μπαταριών μεγάλης περιεκτικότητας, συγκρίσιμη με τα υδραγωγεία, στοχεύοντας να μεγιστοποιήσει τον βαθμό απόδοσης των μονάδων παραγωγής. Παραδείγματος χάριν, οι μεγάλες εγκαταστάσεις που αποτελούνται από σαράντα συστήματα 25kW-25kWh είναι σε θέση να αποθηκεύσουν 1MW που μπορεί να απελευθερωθεί μέσα 1h.

3.10 Υπεραγωγικά μαγνητικά ενεργειακά μέσα αποθήκευσης (SMES)

Τα υπεραγωγικά μαγνητικά ενεργειακά μέσα αποθήκευσης επιτυγχάνονται με την πρόκληση του συνεχούς ρεύματος σε μια σπείρα φτιαγμένη από υπεραγωγικά καλώδια σχεδόν μηδενικής αντίστασης, συνήθως από ίνες (NbTi) και λειτουργούν στην πολύ χαμηλή θερμοκρασία των -270°C . Το ρεύμα αυξάνεται κατά την φόρτιση και μειώνεται κατά την αποφόρτιση και πρέπει να μετατραπεί, για τις εφαρμογές της τάσης, σε εναλλασσόμενο ρεύμα ή σε συνεχές ρεύμα.

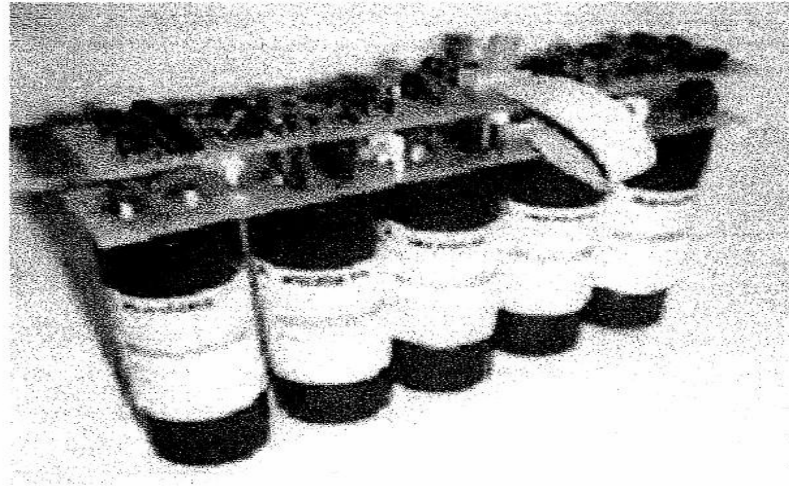
Ένα πλεονέκτημα αυτού του συστήματος αποθήκευσης είναι η μεγάλη στιγμιαία αποδοτικότητά του, κοντά στο 95% για τον ένα κύκλο φόρτισης – αποφόρτισης. Επιπλέον, αυτά τα συστήματα είναι ικανά να αποφορτίσουν σχεδόν όλη την αποθηκευμένη ενέργεια, σε αντίθεση με τις μπαταρίες. Είναι πολύ χρήσιμα για τις εφαρμογές που απαιτούν τη συνεχή λειτουργία με έναν μεγάλο αριθμό ολοκληρωμένου κύκλου φόρτισης – αποφόρτισης. Η γρήγορη απόκριση (κάτω από 100ms) αυτών των συστημάτων τα καθιστά ιδανικά για τη ρύθμιση της σταθερότητας δικτύων (επίπεδο φόρτισης). Το σημαντικό μειονέκτημά τους είναι το σύστημα ψύξης το οποίο ενώ δεν είναι πρόβλημα από μόνο του είναι αρκετά δαπανηρό και κάνει τη λειτουργία ακόμα πιο περίπλοκη.

Τα ογκώδη προγράμματα αποθήκευσης (5000-10000MWh) απαιτούν τις πολύ μεγάλες σπείρες (100m διάμετρο) που παράγουν τις τεράστιες ηλεκτρομαγνητικές δυνάμεις και πρέπει να εγκατασταθούν υπόγεια για να περιορίσουν τις δαπάνες υποδομής.

3.11 Ενεργειακή αποθήκευση σε υπερ-πυκνωτές

Αυτά τα συστατικά έχουν και τα χαρακτηριστικά των πυκνωτών και των ηλεκτροχημικών μπαταριών, εκτός από το ότι δεν υπάρχει καμία χημική αντίδραση, η οποία αυξάνει πολύ την ικανότητα ανακύκλωσης. Η ενεργειακή αποθήκευση στους υπερ-πυκνωτές γίνεται υπό μορφή ηλεκτρικού πεδίου μεταξύ δύο ηλεκτροδίων. Αυτό είναι η ίδια αρχή με τους πυκνωτές εκτός από το ότι το μονώνοντας υλικό αντικαθίσταται από τον ιοντικό αγωγό ηλεκτρολυτών στον οποίο η ιονική μετακίνηση γίνεται κατά μήκος ενός ηλεκτροδίου διεύθυνσης με μια πολύ μεγάλη συγκεκριμένη επιφάνεια.

Η ενέργεια ή ο όγκος που αποκτείται είναι μεγαλύτερα από τα αντ των πυκνωτών (5Wh/kg ή ακόμα και 15Wh/kg), με πολύ υψηλό κόστος αλλά με την καλύτερη χρονική σταθερότητα απαλλαγής λόγω της αργής μετατόπισης των ιόντων στον ηλεκτρολύτη (ισχύς 800-2000W/kg). Η άμεση συνέπεια είναι ότι η μέγιστη λειτουργική τάση περιορίζεται σε μερικά volt ανά στοιχείο (ενότητες 2.5-3V/μέχρι 1500F). Η τμηματική σύνδεση, σε αντίθεση με τους πυκνωτές, απαιτείται να φθάσει τις κανονικές τάσεις σε εφαρμογές ισχύος και να σχηματίσει ενότητες με 50-150kW της δυνατότητας αποθήκευσης (Σχήμα 12)



Σχήμα 12: Υπέρ -πυκνωτές που συγκεντρώνονται στη σειρά

Μεγάλοι πυκνωτές είναι γενικά πολύ ανθεκτικοί, δηλαδή 8-10 έτη, αποδοτικότητα 95%, και 5% ανά ημέρα μεμονωμένης αποφόρτισης, το οποίο σημαίνει ότι η αποθηκευμένη ενέργεια πρέπει να χρησιμοποιηθεί γρήγορα.

4. ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΚΑΙ ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΩΝ ΤΕΧΝΙΚΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ

4.1 Χαρακτηριστικά των τεχνικών ενεργειακής αποθήκευσης

Οι τεχνικές ενεργειακής αποθήκευσης μπορούν να ταξινομηθούν σύμφωνα με αυτά τα κριτήρια:

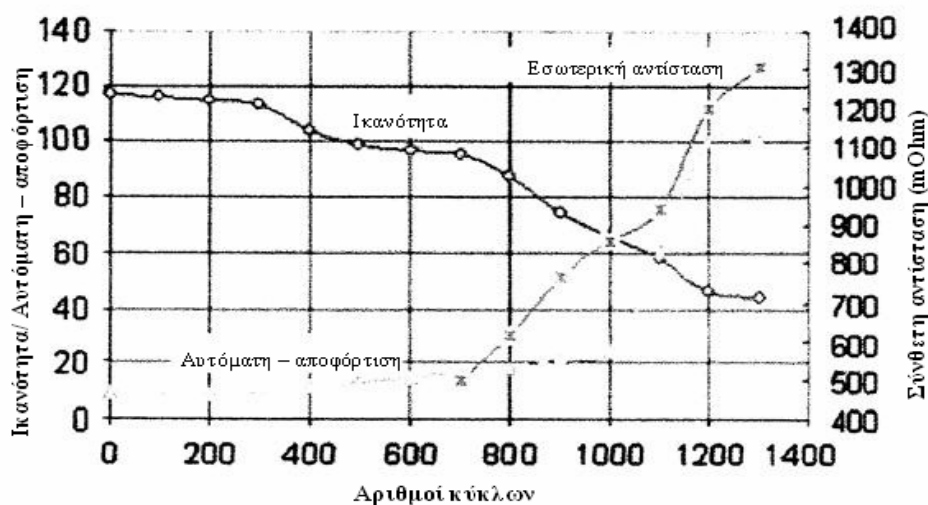
- Ο τύπος εφαρμογής: μόνιμος ή φορητός.
- Διάρκεια αποθήκευσης: βραχυπρόθεσμος ή μακροπρόθεσμος.
- Τύπος παραγωγής: που απαιτείται μέγιστη ισχύς.

Είναι επομένως απαραίτητο να αναλυθούν αυστηρά τα θεμελιώδη χαρακτηριστικά (τεχνικά και οικονομικά) των συστημάτων αποθήκευσης προκειμένου να καθιερωθούν τα κριτήρια σύγκρισης για την επιλογή της καλύτερης τεχνολογίας.

Τα κύρια χαρακτηριστικά των συστημάτων αποθήκευσης στα οποία τα κριτήρια επιλογής είναι βασισμένα είναι τα ακόλουθα.

4.1.1. Δυνατότητα αποθήκευσης

Αυτό είναι η ποσότητα της διαθέσιμης ενέργειας στο σύστημα αποθήκευσης μετά από την φόρτιση και αυτό γιατί η αποφόρτιση είναι συχνά ελλιπής. Η χρησιμοποιήσιμη ενέργεια, που περιορίζεται από το βάθος της αποφόρτισης, αντιπροσωπεύει το όριο του βάθους αποφόρτισης (κατάσταση ελάχιστης φόρτισης). Σε συνθήκες γρήγορης φόρτισης ή αποφόρτισης, η αποδοτικότητα επιδεινώνεται και η ανακτήσιμη ενέργεια μπορεί να είναι πολύ χαμηλότερη από την δυνατότητα αποθήκευσης. Από την άλλη πλευρά η αυτόνομη αποφόρτιση είναι ο μειονεκτικός παράγοντας κάτω από μια αργή κατάσταση (δείτε το Σχήμα 13).



Σχήμα 13: Παραλλαγή της ενεργειακής ικανότητας, αυτόνομη αποφόρτιση και εσωτερική αντίσταση μιας μπαταρίας υδρίδιων μετάλλων νικελίου (6V, 950mA) με τον αριθμό κύκλων

4.1.2. Η διαθέσιμη ισχύς

Αυτή η παράμετρος καθορίζει τη δομή και το μέγεθος της μηχανογεννήτριας στην αποθηκευμένη αλυσίδα της ενεργειακής μετατροπής. Εκφράζεται γενικά ως μέση τιμή, καθώς επίσης και τιμή κορυφής που χρησιμοποιείται συχνά για να αντιπροσωπεύσει τη μέγιστη ισχύ της φόρτισης ή της αποφόρτισης, $P_{\max}(W)$.¹

¹ Η μέγιστη ισχύς της φόρτισης και της αποφόρτισης είναι μερικές φορές διαφορετικές.

4.1.3. Βάθος αποφόρτισης ή βαθμός μεταβίβασης ισχύος.

Η ενεργειακή αποθήκευση είναι μια αργή διαδικασία που πρέπει στη συνέχεια να απελευθερώσει γρήγορα την απαιτούμενη ενέργεια.. Η παραγωγή ισχύος, ή η αποφόρτιση, μπορεί να είναι ένας περιοριστικός παράγοντας που ονομάζεται ποσοστό μεταβίβασης ισχύος. Αυτό το ποσοστό παράδοσης καθορίζει το χρόνο που απαιτείται για να εξαγάγει την αποθηκευμένη ενέργεια. Η ισχύς πρέπει να είναι διαθέσιμη για διανομή κατά τη διάρκεια των ωρών αιχμής, δηλαδή το ποσοστό ενέργειας που χρησιμοποιείται, εάν είναι σημαντικό, είναι αντιπροσωπευτικό ενός μη-βέλτιστου σχεδίου συστημάτων, ή ενός θεμελιώδους ορίου των συσκευών αποθήκευσης.

4.1.4. Χρόνος αποφόρτισης

Αυτό είναι η διάρκεια αποφόρτισης μέγιστης ισχύος, $\tau(s) = W_{st}/P_{max}$. Εξαρτάται από το βάθος της αποφόρτισης και τις συνθήκες λειτουργίας του συστήματος, σταθερή ισχύος ή όχι. Είναι ένα χαρακτηριστικό της επάρκειας συστημάτων για ορισμένες εφαρμογές.

Η δυσκολία στο χωρισμό της ισχύος και των ενεργειακών διαστάσεων του συστήματος το καθιστά δύσκολο να επιλέξει έναν βέλτιστο χρόνο σταθερό για τις περισσότερες τεχνολογίες αποθήκευσης.

4.1.5. Αποδοτικότητα

Είναι η αναλογία μεταξύ της απελευθερωμένης ενέργειας και της αποθηκευμένης ενέργειας, $\eta = W_{ut}/W_{st}$. Αυτός ο καθορισμός είναι συχνά υπεραπλουστευμένος επειδή είναι βασισμένος σε ένα ενιαίο σημείο λειτουργίας.

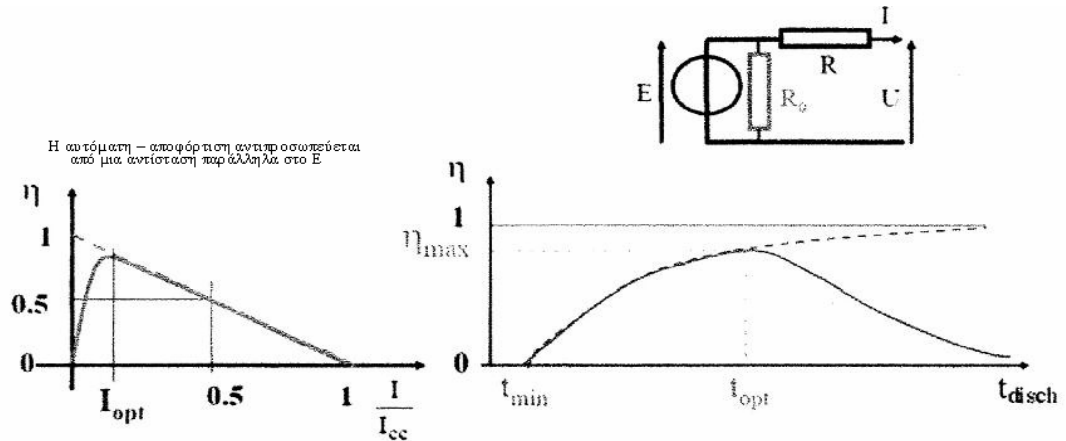
Επίσης, τα συστήματα έχουν απώλειες φόρτισης, καθόλου φόρτισης, και αυτόνομης αποφόρτισης. Ο καθορισμός της αποδοτικότητας πρέπει επομένως να βασιστεί σε έναν ή περισσότερους ρεαλιστικούς κύκλους για μια συγκεκριμένη εφαρμογή. Η στιγμιαία ισχύς είναι ένας παράγοντας καθορισμού της αποδοτικότητας. Για το σύστημα αποθήκευσης για να είναι πραγματικά ανταγωνιστικό, πρέπει να έχει καλή απόδοση. Αυτό σημαίνει ότι, για τη βέλτιστη λειτουργία, η αλυσίδα μεταφοράς ισχύος πρέπει να έχει περιορισμένες απώλειες όσο αφορά την μεταφορά ενέργειας και αυτόνομης αποφόρτισης. Αυτό το μέτρο ενεργειακής συντήρησης είναι ένα απαραίτητο στοιχείο για τις καθημερινές εφαρμογές επιπέδου φόρτισης του δικτύου (Σχήμα 14).

Το Σχήμα 13 επεξηγεί σε απλή μορφή την ύπαρξη ενός βέλτιστου χρόνου αποφόρτισης και μέγιστης αποδοτικότητας.

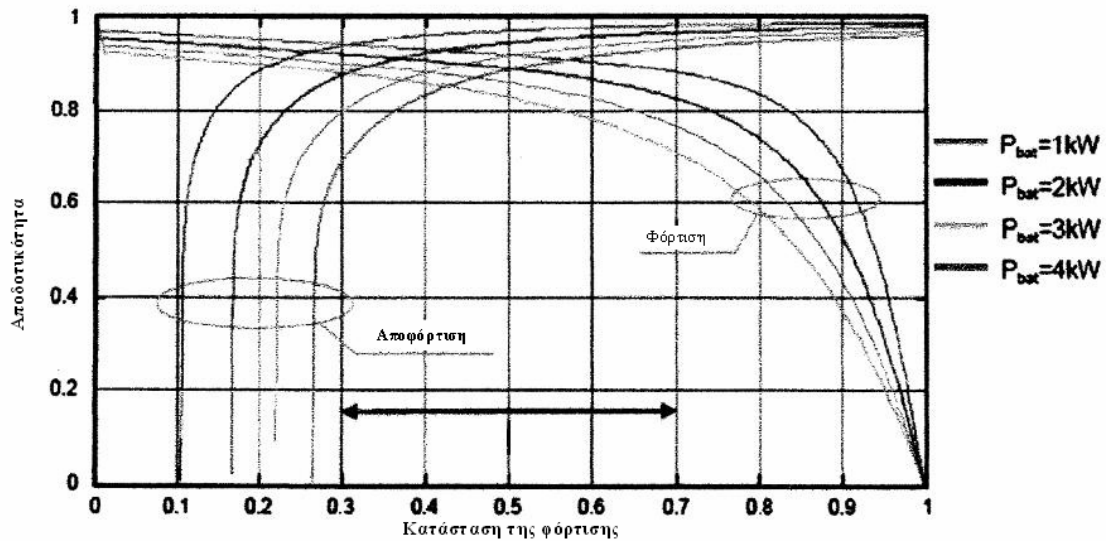
Για τα πραγματικά συστήματα αποθήκευσης, αυτά τα αποτελέσματα είναι πιο σύνθετα δεδομένου ότι τα στοιχεία της απεικόνισης ποικίλλουν με το σημείο λειτουργίας, και ειδικότερα με την κατάσταση της φόρτισης (Σχήμα 15).

4.1.6. Διάρκεια (ικανότητα ανακύκλωσης)

Αυτό αναφέρεται στο πόσες φορές η αποθηκευτική μονάδα μπορεί να απελευθερώσει το επίπεδο ενέργειας για το οποίο έχει σχεδιαστεί μετά από κάθε επαναφόρτιση, και εκφράζεται ως ο μέγιστος αριθμός κύκλων N (ένας κύκλος αντιστοιχεί σε μια φόρτιση και μια αποφόρτιση).



Σχήμα 14: Γραφικές παραστάσεις που αντιπροσωπεύουν την επίδραση της αποφόρτισης του ρεύματος ή το χρόνο αποφόρτισης, καθώς επίσης και την επίδραση της αυτόνομης αποφόρτισης στην αποδοτικότητα του ηλεκτροχημικού συσσωρευτή. Οι διαστιγμένες γραμμές αντιστοιχούν σε ένα πρότυπο χωρίς αυτόνομη αποφόρτιση την αντίσταση (I: πηγή ρεύματος, I_{cc}: ρεύμα βραχυκυκλώματος).

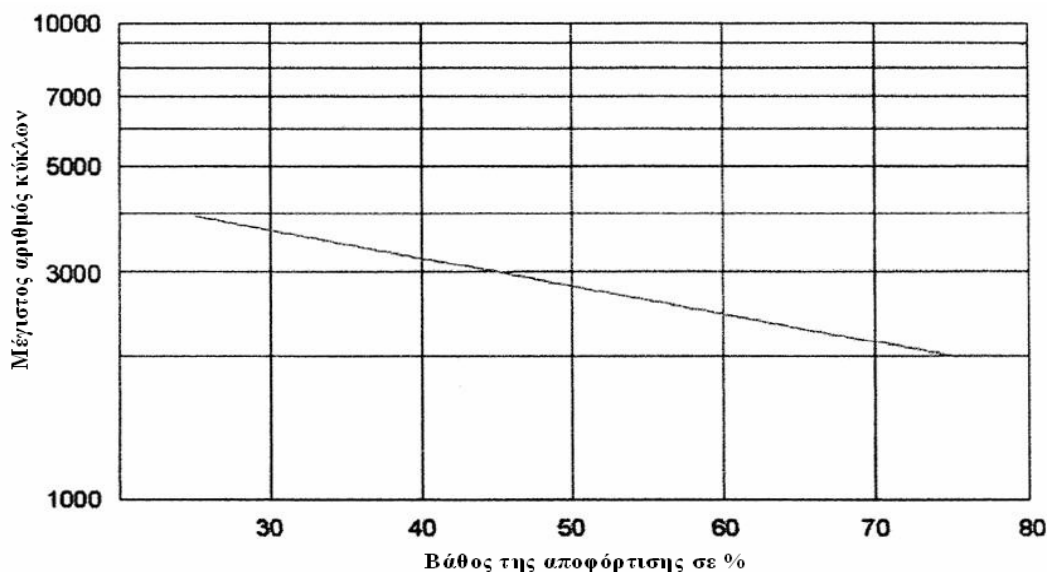


Σχήμα

15: Αποδοτικότητα ισχύος μιας (αποφόρτιση 15kWh/10h) μπαταρίας μολύβδου 48V-310Ah.

Όλα τα συστήματα αποθήκευσης υπόκεινται στην κόπωση ή στην φθορά από τη χρήση. Αυτό είναι συνήθως η κύρια αιτία της γήρανσης, μπροστά από τη θερμική υποβάθμιση. Το σχέδιο ενός συστήματος αποθήκευσης που εξετάζει την αντοχή των μονάδων σε σχέση με τους κύκλους θα πρέπει να είναι πρώτιστης σημασίας κατά την επιλογή ενός συστήματος.

Εντούτοις, οι πραγματικές διαδικασίες κούρασης είναι συχνά σύνθετες και η ικανότητα ανακύκλωσης δεν καθορίζεται πάντα σωστά. Σε όλες τις περιπτώσεις, συνδέεται δυνατά με το εύρος των κύκλων (Σχήμα 16) και τη μέση κατάσταση της φόρτισης. Επίσης, οι κύκλοι ποικίλλουν γενικά πολύ, σημαίνοντας ότι ο προσδιορισμός της ποσότητας του N είναι λεπτός και οι τιμές που δίνονται αντιπροσωπεύουν τα μεγέθη



Σχήμα 16: Εξέλιξη της ικανότητας ανακύκλωσης ως λειτουργία του βάθους της αποφόρτισης για μια μπαταρία όξινου μολύβδου.

4.1.7. Αυτονομία

Αυτό αναφέρεται στο μέγιστο χρονικό διάστημα που το σύστημα μπορεί συνεχώς να απελευθερώσει την ενέργεια. Καθορίζεται από την αναλογία μεταξύ της ενεργειακής ικανότητας (επαναποθηκευμένη ενέργεια) και τη μέγιστη ισχύ αποφόρτισης, $a = W_{ut}/P_d$. Η αυτονομία ενός συστήματος εξαρτάται από τον τύπο αποθήκευσης και τον τύπο εφαρμογής.

Για τα μικρά συστήματα (μερικά KWH) σε μια απομονωμένη περιοχή που στηρίζεται στη διαλείπουσα ανανεώσιμη ενέργεια, η αυτονομία είναι ένα κρίσιμο κριτήριο.

4.1.8. Δαπάνες

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω οι περισσότερες τεχνολογίες αποθήκευσης είναι σε εξέλιξη επομένως η ανάλυση του κόστους θα χρησιμοποιήσει στοιχεία αγοράς όπου υπάρχουν και εκτιμήσεις κόστους και αποδόσεων για τις εν εξελίξει τεχνολογίες.

Βασικός παράγοντας είναι το κόστος του κεφαλαίου επένδυσης. Το κόστος της μονάδας αποθήκευσης γενικά περιλαμβάνει το κόστος αποθήκευσης, το κόστος συστήματος μετατροπής και το κόστος συμπληρωματικών έργων και εξοπλισμού.

Βασικοί παράμετροι που χαρακτηρίζουν την μονάδα είναι η ικανότητα αποθήκευσης (MWh), η ικανότητα ισχύος (kW), ο βαθμός απόδοσης του κύκλου (AC to AC), η διάρκεια ζωής ενώ ο χρόνος εκφόρτισης είναι σημαντική παράμετρος οικονομικής βιωσιμότητας της μονάδας.

Μερικές τεχνολογίες αποθήκευσης δεν προσφέρουν όλη την αποθηκευμένη ενέργεια οπότε η ικανότητα αποθήκευσης χρειάζεται υπερδιαστασιολόγηση και το κόστος θα ανταποκρίνεται στην ενέργεια που μπορεί ασφαλώς να παρέχεται.

Οι συσσωρευτές μολύβδου έχουν διάρκεια ζωής 5 με 6 χρόνια και βαθμό απόδοσης κύκλου 0.75. Το αηγμένο ετήσιο κόστος μιας μονάδας στην περιοχή 0,5 – 2 MW και για εκφόρτιση 4 ώρες την ημέρα είναι της τάξης των 250 €/kW.yr με αυξανόμενο κόστος όσο αυξάνει ο χρόνος εκφόρτισης και μειούμενο κόστος όσο μειώνεται ο χρόνος εκφόρτισης. Η ελάχιστη τιμή πώλησης είναι της τάξης των 25 c€/kWh.

Τα αντλητικά αποτελούν πολύ αξιόπιστα συστήματα αποθήκευσης με μεγάλη διάρκεια ζωής, πάνω από 30 χρόνια, χωρίς πρακτικό κόστος αντικατάστασης μέρους ή όλου του εξοπλισμού. Έχουν χαμηλό κόστος λειτουργίας και συντήρησης και υψηλό βαθμό απόδοσης κύκλου 0.75 – 0.78 για τις μονάδες με μεταβλητές στροφές. Η ελάχιστη τιμή πώλησης είναι της τάξεως των 8 c€/kWh.

Αυτή η τεχνολογία δίδει την χαμηλότερη τιμή για αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας σε μεγάλες ποσότητες.

Στην περίπτωση που χρησιμοποιείται αιολική ενέργεια για την φόρτιση με τις ισχύουσες τιμές αγοράς σήμερα στη χώρα (7.3 €/kWh και 8.46 €/kWh) η προσαύξηση της τιμής θα είναι κατά περίπου 9.5 €/kWh στο διασυνδεδεμένο σύστημα και κατά 11 €/kWh στα νησιωτικά συστήματα. Έτσι η ελάχιστη τιμή πώλησης για συστήματα αποθήκευσης με συσσωρευτές μολύβδου είναι της τάξης των 34.5 – 35 €/kWh και για τα αντλητικά της τάξεως των 17.5 – 19 €/kWh.

4.1.9. Μάζα και πυκνότητες όγκου της ενέργειας

Αυτοί αντιπροσωπεύουν τα μέγιστα ποσά ενέργειας που συσσωρεύονται ανά τη μονάδα της μάζας ή όγκο της μονάδας αποθήκευσης, και καταδεικνύουν τη σημασία της μάζας και του όγκου για ορισμένες εφαρμογές (ειδικά για τη μαζική πυκνότητα της ενέργειας στις φορητές εφαρμογές, αλλά λιγότερο έτσι για τις μόνιμες εφαρμογές).

Επίσης ένας άλλος παράγοντας είναι η μερίδα της ενέργειας που αποθηκεύτηκε αρχικά και που έχει διαλυθεί κατά τη διάρκεια ενός δεδομένου μη χρόνου χρήσης.

4.1.10. Εξοπλισμός παρακολούθησης και ελέγχου

Αυτός ο εξοπλισμός, και στην ποιότητα και στην ασφάλεια των επιπέδων αποθήκευσης, έχει τον αντίκτυπο στη δυνατότητα πρόσβασης και τη διαθεσιμότητα της αποθηκευμένης ενέργειας.

4.1.11. Λειτουργικοί περιορισμοί

Ειδικά σχετικοί με την ασφάλεια (εκρήξεις, απόβλητα, έκρηξη ενός σφονδύλου, κ.λπ.) ή άλλες συνθήκες λειτουργίας (θερμοκρασία, πίεση, κ.λπ.), μπορούν να επηρεάσουν την επιλογή μιας τεχνολογίας αποθήκευσης ως λειτουργία των ενεργειακών αναγκών.

4.1.12. Αξιοπιστία και Περιβάλλον

Η αξιοπιστία συστημάτων αποθήκευσης είναι πάντα ένας σημαντικός παράγοντας επειδή είναι μια εγγύηση της κατόπιν παραγγελίας υπηρεσίας.

Ενώ αυτή η δεύτερη παράμετρος δεν είναι ένα κριτήριο της ικανότητας συστημάτων αποθήκευσης, η περιβαλλοντική άποψη για το προϊόν (ανακυκλώσιμα υλικά) είναι ένας δυνατός τρόπος πωλήσεων. Παραδείγματος χάριν, στις Σκανδιναβικές χώρες (Σουηδία, Νορβηγία), ένα καθορισμένο περιθώριο του πληθυσμού προτιμά να πληρώσει περισσότερο για την ενέργεια από το να συνεχίσει να μολύνει τη χώρα. Αυτό, είναι μια διάσταση που δεν πρέπει, να αγνοηθεί.

4.1.13. Άλλα χαρακτηριστικά και Αναγκαία θεσμικά μέτρα

Η ευκολία της συντήρησης, του απλού σχεδίου, της λειτουργικής ευελιξίας (αυτό είναι ένα σημαντικό χαρακτηριστικό για τη χρησιμότητα), του γρήγορου χρόνου απόκρισης για την απελευθέρωση της αποθηκευμένης ενέργειας, κ.λπ.

Τέλος, είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι αυτά τα χαρακτηριστικά ισχύουν για το γενικό σύστημα αποθήκευσης: μονάδες αποθήκευσης καθώς και μετατροπείς ισχύος.

- ❖ Η διερεύνηση και η χωροθέτηση των πιθανών ταμειυτήρων για τέτοια έργα αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας πρέπει να αρχίσει γιατί ήδη αυτές οι λύσεις προσφέρονται από οικονομική άποψη ενώ φαίνονται ήδη αναγκαίες και από τεχνική άποψη.
- ❖ Το ρυθμιστικό πλαίσιο θα πρέπει να ανταποκρίνεται στις προκλήσεις των νέων τεχνολογιών αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας.

- ❖ Ο διαχειριστής του δικτύου έχει να ωφεληθεί από τέτοιες εφαρμογές βελτιώνοντας την αξιοπιστία του συστήματος και επιτυγχάνοντας καλύτερη διαχείριση ενώ για τους επενδυτές παρουσιάζεται μια πιο ελκυστική εφαρμογή πέραν των αιολικών πάρκων.

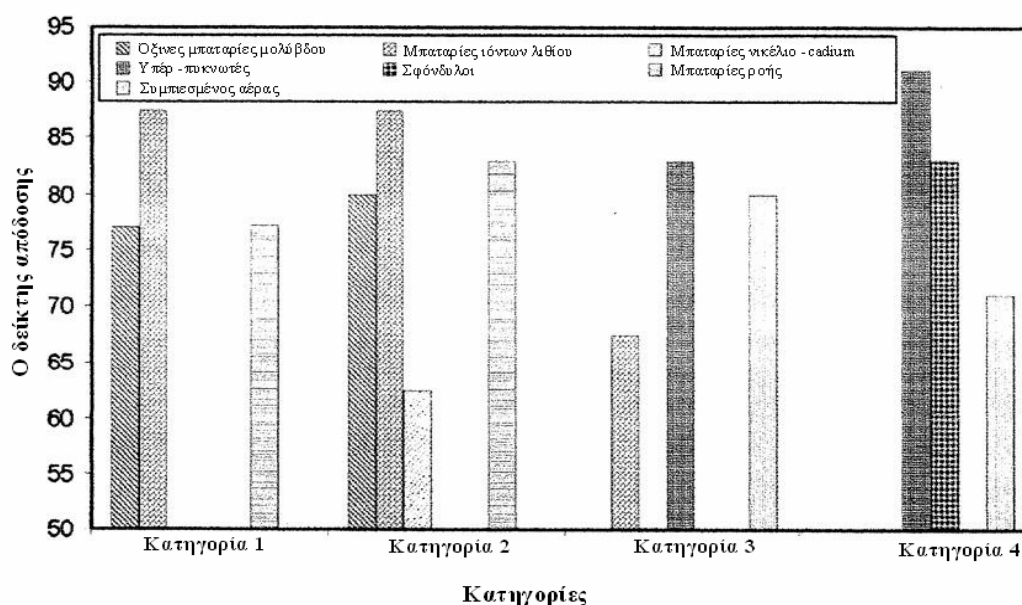
4.2 Σύγκριση των διαφορετικών τεχνικών αποθήκευσης

Για να είμαστε σε θέση να συγκρίνουμε την απόδοση των διαφορετικών τεχνικών αποθήκευσης στις επιλεγμένες κατηγορίες, ένας κατάλογος κριτηρίων αναλύθηκε προηγουμένως, όπως οι δαπάνες, η πυκνότητα της ενέργειας, η συγκεκριμένη ισχύς, η ανακυκλωσιμότητα, η διάρκεια, η ενεργειακή αποδοτικότητα, κ.λπ. Αυτά τα κριτήρια επιτρέπουν μαζί να καθορίσουν έναν «δείκτη απόδοσης» για τις τέσσερις κατηγορίες εφαρμογής:

1. Χαμηλής ισχύος εφαρμογή στις απομονωμένες περιοχές, ουσιαστικά για να «ταΐσουν» τους μετατροπείς και τα τερματικά έκτακτης ανάγκης.
2. Μέσης ισχύος εφαρμογή στις απομονωμένες περιοχές (μεμονωμένα ηλεκτρικά συστήματα, ανεφοδιασμός πόλεως).
3. Εφαρμογή σύνδεσης δικτύων μέγιστου επιπέδου.
4. Εφαρμογές ελέγχου ποιότητας ισχύος.

Για να συγκρίνουμε τα συστήματα αποθήκευσης, χρησιμοποιείται το διάγραμμα του Ragone γενικά για να αντιπροσωπεύσει την απόδοση σχετικά με την αναλογία της μάζας στην ενέργεια και την ισχύ. Αυτός ο τύπος σύγκρισης είναι ιδιαίτερα ενδιαφέρον για τις φορητές μονάδες, για τις οποίες η μάζα είναι μια κρίσιμη πτυχή, αλλά για τις μόνιμες μονάδες, σε ένα πλαίσιο της επεξεργασίας ηλεκτρικής ενέργειας, η υπολογιζόμενη διάρκεια ζωής και οι συνολικές δαπάνες (επένδυση, ενεργειακές απώλειες, και κούραση ανακύκλωσης) είναι τα σημαντικότερα κριτήρια.

Οι παράμετροι απόδοσης των συστημάτων αποθήκευσης εκφράζονται συχνά για μια ευρεία ποικιλία των τύπων και των εφαρμογών. Τα διαγράμματα που ακολουθούν παρουσιάζουν κατανοητή σύγκριση των διαφορετικών τεχνικών αποθήκευσης. Η σύγκριση είναι βασισμένη στο «δείκτη απόδοσης» που ορίζεται ως η δυνατότητα εφαρμογής της τεχνικής αποθήκευσης στη διευκρινισμένη εφαρμογή λαμβάνοντας υπόψη τα χαρακτηριστικά που παρουσιάζονται στην παράγραφο 5. Τα δεδομένα αντιπροσωπεύουν τα τυπικά συστήματα σε κάθε κατηγορία, αλλά μπορεί να μην καλύψουν όλα τα διαθέσιμα προϊόντα (δείτε το Σχήμα 17).



Σχήμα 17: Δείκτης απόδοσης για τις κατηγορίες εφαρμογής (εκτός από υδραυλική και θερμική) για τις τέσσερις κατηγορίες εφαρμογής.

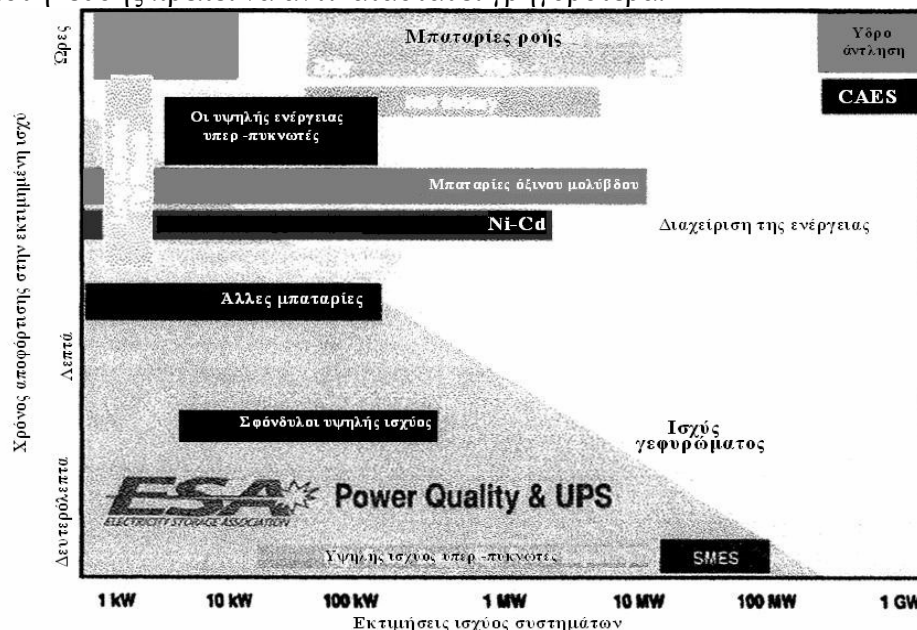
4.2.1. Σύγκριση ισχύος ως λειτουργία του τομέα εφαρμογής

Οι μεγάλης κλίμακας, μόνιμες εφαρμογές ενεργειακής αποθήκευσης μπορούν να ταξινομηθούν σε τρεις κύριες λειτουργικές κατηγορίες (Σχήμα 18):

- Απαιτούμενη ποιότητα ισχύος: Η αποθηκευμένη ενέργεια, σε αυτές τις εφαρμογές, χρησιμοποιείται μόνο για μερικά δευτερόλεπτα ή λιγότερο για να εξασφαλίσει την ποιότητα της παραδοθείσας ισχύος.
- Απομονωτές και έκτακτη αποθήκευση: η αποθηκευμένη ενέργεια σε αυτές τις εφαρμογές, χρησιμοποιείται από λίγα δευτερόλεπτα έως μερικά λεπτά για να διασφαλίσουν την συνέχεια της υπηρεσίας όταν κλείνουν από μια πηγή ενέργειας σε άλλη.
- Διαχείριση δικτύων: Τα συστήματα αποθήκευσης, σε αυτές τις εφαρμογές, χρησιμοποιούνται για να αποσυνδέσουν το συγχρονισμό μεταξύ της ηλεκτρικής παραγωγής και της κατανάλωσης. Μια χαρακτηριστική εφαρμογή είναι το επίπεδο φόρτισης, το οποίο υπονοεί την αποθήκευση ενέργειας κατά τη διάρκεια των εκτός ωρών αιχμής (χαμηλό ενεργειακό κόστος) και τη χρήση της αποθηκευμένης ενέργειας κατά τη διάρκεια των ωρών αιχμής (υψηλής ενέργειας κόστος).

4.2.2. Σύγκριση της ενεργειακής αποδοτικότητας (ανά κύκλο) των συστημάτων αποθήκευσης

Η ενεργειακή αποδοτικότητα και η υπολογιζόμενη διάρκεια ζωής (μέγιστος αριθμός κύκλων) είναι δύο σημαντικές παράμετροι για να εξεταστούν, μεταξύ άλλων, πριν επιλεγεί η τεχνολογία αποθήκευσης, δεδομένου ότι αυτές επηρεάζουν τις γενικές δαπάνες αποθήκευσης. Η χαμηλή αποδοτικότητα αυξάνει τις αποτελεσματικές ενεργειακές δαπάνες δεδομένου ότι μόνο ένα μέρος της αποθηκευμένης ενέργειας μπορεί να χρησιμοποιηθεί. Μια σύντομη διάρκεια ζωής αυξάνει επίσης τις μακροπρόθεσμες δαπάνες δεδομένου ότι η μονάδα αποθήκευσης πρέπει να αντικατασταθεί γρηγορότερα.



Σχήμα 18: Διανομή των τεχνικών αποθήκευσης ως λειτουργία του τομέα εφαρμογής τους.

Οι τρέχουσες δαπάνες πρέπει να περιλάβουν τις οικονομικά αμοιβές και τα έξοδα λειτουργίας προκειμένου να αναπτυχθεί μια καλύτερη ιδέα όλων των οικονομικών χαρακτηριστικών μιας τεχνικής αποθήκευσης. Στο Σχήμα 19 βλέπουμε τα χαρακτηριστικά των διαφορετικών τεχνικών αποθήκευσης όσον αφορά την αποδοτικότητα και τη διάρκεια ζωής.

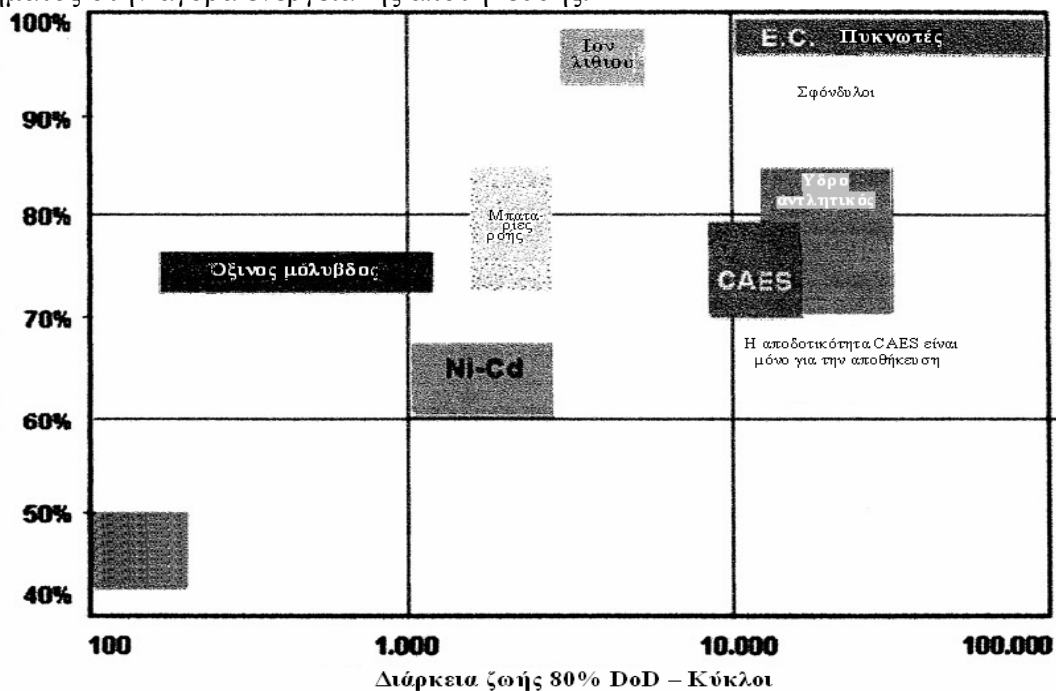
4.2.3. Σύγκριση του κόστους επένδυσης

Το κόστος επένδυσης που συνδέεται σε έναν τύπο αποθήκευσης είναι μια σημαντική οικονομική παράμετρος και έχει επιπτώσεις στο συνολικό κόστος ενεργειακής παραγωγής. Κατά συνέπεια, μερικοί τύποι συστημάτων αποθήκευσης μπορούν μόνο να γίνουν κερδοφόροι εάν ένα συγκεκριμένο ελάχιστο της ενέργειας παρέχεται. Το γενικό κόστος του συστήματος πρέπει έπειτα να θεωρηθεί (συμπεριλαμβανομένης της διάρκειας εξοπλισμού και του κόστους της έρευνας) προκειμένου να επιτευχθεί μια πλήρης ανάλυση δαπανών.

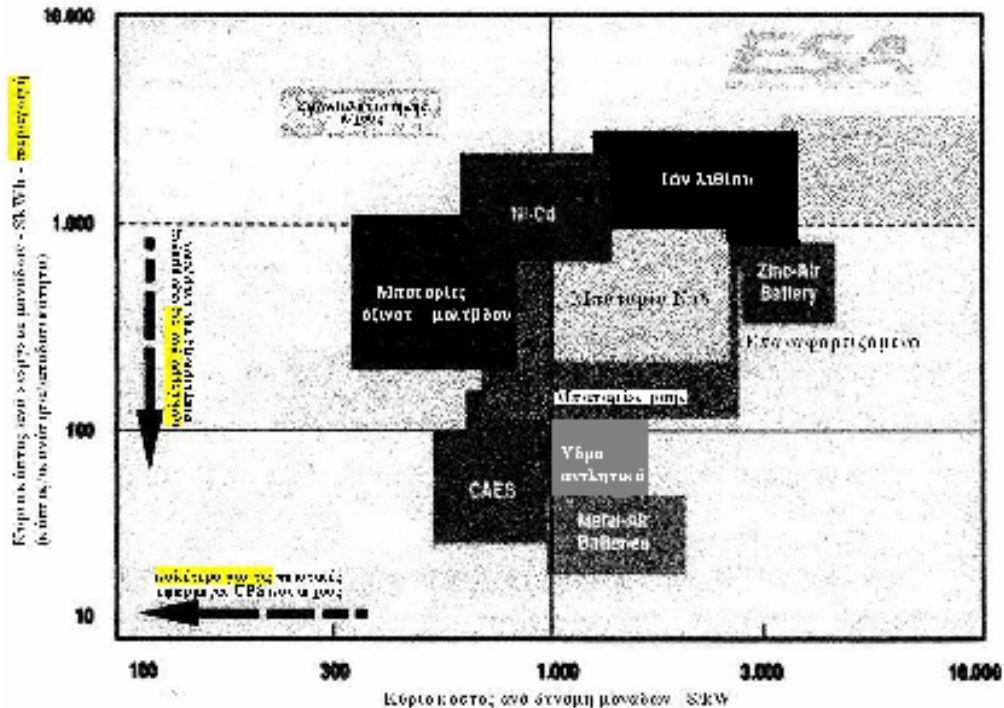
Παραδείγματος χάριν, παρά το γεγονός ότι οι μπαταρίες όξινου μολύβδου είναι σχετικά ανέξοδες, δεν είναι απαραίτητως η λιγότερη ακριβή επιλογή για τη διαχείριση της ενέργειας, λόγω της σχετικά χαμηλής διάρκειάς τους.

Το κόστος των μπαταριών στο Σχήμα 20 ρυθμίστηκαν για να αποκλείσουν τη φόρτιση της μετατροπής ηλεκτρονικής ισχύος. Το κόστος της ενέργειας διαιρέθηκε επίσης με την αποδοτικότητα αποθήκευσης για να λάβει το κόστος ανά μονάδα της χρήσιμης ενέργειας. Οι δαπάνες εγκατάστασης ποικίλλουν επίσης σύμφωνα με τον τύπο και το μέγεθος του συστήματος.

Τέλος, φαίνεται προφανές ότι οι διάφορες λειτουργίες που απαιτούνται για να σχεδιαστεί ένα σύστημα ενεργειακής αποθήκευσης πρέπει να ενσωματωθούν σε ένα συνεπές σύνολο, που προσαρμόζεται στις προδιαγραφές, για να μειώσει τις δαπάνες ολοκλήρωσης. Αυτό το κριτήριο είναι το κύριο ζήτημα σχετικά με τη διείσδυση του συστήματος στην αγορά ενεργειακής αποθήκευσης.



Σχήμα 19: Διανομή των τεχνικών αποθήκευσης ως λειτουργία της ενεργειακής αποδοτικότητας και της υπολογιζόμενης διάρκειας ζωής



Σχήμα 20: Διανομή των τεχνικών αποθήκευσης ως λειτουργία των δαπανών επένδυσης ανά τη μονάδα της δύναμης ή μονάδα της ενέργειας

4.2.4. Σύγκριση του κόστους επένδυσης ανά κύκλο φόρτισης – αποφόρτισης

Το κόστος ανά κύκλο θα μπορούσε να είναι ο καλύτερος τρόπος να αξιολογηθεί το κόστος ενός συστήματος ενεργειακής αποθήκευσης που σχεδιάστηκε για τις συχνές εφαρμογές φόρτισης – αποφόρτισης.

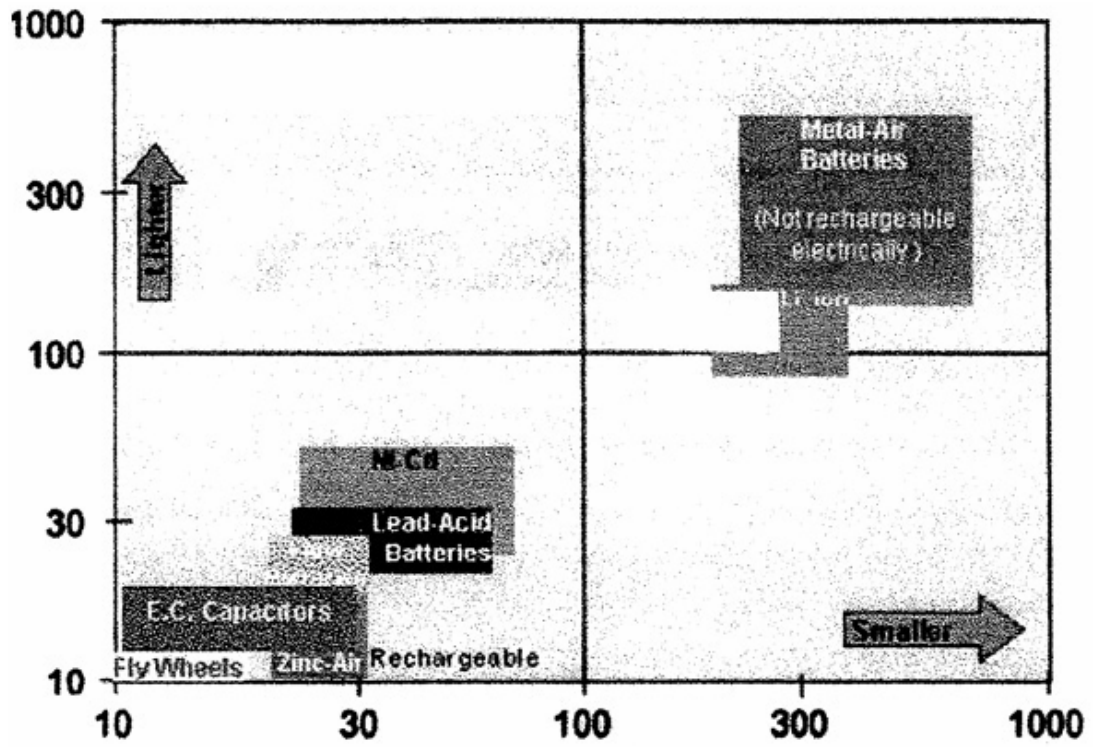
Για ένα κόστος ανά κύκλο, πρέπει να εξεταστούν οι ερευνητικές δαπάνες καθώς επίσης και η αντικατάσταση και άλλες δαπάνες, που παραμένουν άγνωστες για τις νέες τεχνολογίες.

4.2.5. Σύγκριση βασισμένη στη μάζα ή την πυκνότητα όγκου

Οι διαφορετικές τεχνικές αποθήκευσης μπορούν να ταξινομηθούν ως λειτουργία της διαθεσιμότητας της ενέργειας και της μέγιστης ισχύος ανά λίτρο (πυκνότητα όγκου) ή ανά χιλιόγραμμο (μαζική πυκνότητα). Αυτή η σύγκριση είναι ιδιαίτερα σημαντική για τη βιομηχανία μετάδοσης, τις φορητές εφαρμογές, και τις απομονωμένες περιοχές (Σχήμα 21).

Η μάζα είναι μια σημαντική παράμετρος για τις μόνιμες υλικές δαπάνες εφαρμογών σχετικά με το κόστος των υλικών. Κάποιος θα μπορούσε επομένως να επιλέξει, για μια ηλεκτρική εγκατάσταση, ένα υλικό με τη συγκεκριμένη ενέργεια, αλλά με διαφορά το μέγιστο διαθέσιμο (σημαίνοντας ότι περισσότερο υλικό θα απαιτηθεί), στο κόστος μιας μονάδας η οποία μειώνει το ολικό κόστος του συστήματος αποθήκευσης. Σε αυτήν την περίπτωση, είναι η τιμή ανά KWH που είναι σημαντικό, και όχι τα kg ανά KWH.

Ο όγκος ενός συστήματος αποθήκευσης μπορεί να είναι σημαντικός, καταρχήν εάν πρέπει να εγκατασταθεί σε ένα περιορισμένο ή δαπανηρό διάστημα, παραδείγματος χάριν στις αστικές περιοχές. Μια άλλη πτυχή του όγκου είναι η επίπτωσή της στα μέσα και τις δαπάνες π.χ. σφόνδυλοι) και στα συστήματα ψύξης και θερμικής μόνωσης. Με την αύξηση του όγκου, απαιτείται περισσότερο υλικό και μια μεγαλύτερη περιοχή κατασκευής, αυξάνοντας κατά συνέπεια το γενικό κόστος του συστήματος.



Σχήμα 21: Διανομή των τεχνικών αποθήκευσης ως λειτουργία της μάζας και των πυκνοτήτων όγκου αποθηκευμένης ενέργειας για τις μικρές κλίμακας εφαρμογές

5. ΓΕΝΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΩΝ ΣΥΓΚΡΙΣΕΩΝ ΤΩΝ ΤΕΧΝΙΚΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ

Όσον αφορά στις χαμηλής ισχύος μόνιμες εφαρμογές, το βασικό στοιχείο είναι η χαμηλότερη πιθανή αυτόνομη αποφόρτιση. Με βάση τα τεχνικά κριτήρια μόνο, η λίθιο-ιονική μονάδα είναι ο καλύτερος υποψήφιος.

Όσον αφορά τα μικρά συστήματα (μερικά KWH) στις απομονωμένες περιοχές που στηρίζονται στη διαλείπουσα ανανεώσιμη ενέργεια, το βασικό στοιχείο είναι η αυτονομία: η μπαταρία μολύβδου παραμένει ο καλύτερος συμβιβασμός μεταξύ της απόδοσης και του κόστους. Το ιόν λιθίου έχει την καλύτερη απόδοση αλλά είναι ακόμα πιο ακριβό.

Για τα μεγαλύτερα συστήματα (μερικά 100 KWH), ο μολύβδος προτιμάται ακόμα, περισσότερο από το λίθιο, και οι εναλλακτικές λύσεις είναι είτε λιγότερο αποδοτικές είτε πάρα πολύ ακριβές: συμπιεσμένος αέρας (προβλήματα αυτόνομης αποφόρτισης), κυψέλες καυσίμων (ακριβή και χαμηλή ενεργειακή απόδοση), και μπαταρίες ροής (υψηλές δαπάνες συντήρησης).

Στην τρίτη κατηγορία, σχετικά με το επίπεδο φόρτισης ωρών αιχμής απαιτώντας την υψηλής ενέργειας αποθήκευση (πολύς MWh), ο συμπιεσμένος αέρας και οι μπαταρίες ροής είναι οι καλύτερες επιλογές, με ένα πλεονέκτημα δαπανών για την πρώτη περίπτωση. Αλλά αυτές οι τεχνολογίες δεν έχουν εξεταστεί ακόμα στον τομέα αυτό.

Για την τέταρτη κατηγορία, σχετικά με την ποιότητα ισχύος, τα βασικά κριτήρια είναι η ικανότητα ενεργειακής απελευθέρωσης και η ικανότητα ανακύκλωσης. Εδώ, οι σφόνδυλοι και οι υπερ-πυκνωτές προσαρμόζονται καλύτερα στα κριτήρια αυτά από τις λίθιο-ιονικές μπαταρίες.

Μεταξύ των επιλογών, οι μπαταρίες μολύβδου ικανοποιούν τα τεχνικά κριτήρια όλων των κατηγοριών, αλλά έχουν περιορίσει τη διάρκεια και είναι αναξιόπιστες. Οι μπαταρίες που βασίζονται στο νικέλιο δεν πληρούν κανένα από τα κριτήρια που έχουν επιλεγεί (χαμηλή απόδοση, υψηλό κόστος) και οι κυψέλες καυσίμων από την πλευρά τους, είναι μια νέα τεχνολογία. Τέλος, ορισμένες τεχνολογίες είναι σε θέση να εκπληρώσουν τις ανάγκες της αποθήκευσης για τα διαλείποντα αποθέματα ενέργειας: υδραυλική και θερμική αποθήκευση για μεγάλης κλίμακας εφαρμογές, και υπεραγωγικά μαγνητικά ενεργειακά μέσα αποθήκευσης (SMES) για τις μικρής κλίμακας εφαρμογές.

Προς απάντηση στις μελλοντικές ανάγκες παραγωγής, η αποθήκευση ενέργειας θα πρέπει να βελτιωθεί τεχνολογικά βραχυπρόθεσμα και μακροπρόθεσμα. Οι λίθιο-ιονικές μπαταρίες είναι πολύ κατάλληλες, αλλά είναι πολύ ακριβές για την εφαρμογή στα συστήματα στις απομακρυσμένες περιοχές. Οι μπαταρίες μολύβδου είναι ακόμα ο καλύτερος συμβιβασμός μεταξύ του κόστους και της απόδοσης, αλλά είναι ο αδύναμος κρίκος σε ένα απομονωμένο σύστημα και η υπολογιζόμενη διάρκεια ζωής τους πρέπει να βελτιωθεί εάν πρόκειται να απαντήσουν καλύτερα στις ανάγκες.

Για τις εφαρμογές δικτύων, οι ενδιάμεσες ανάγκες είναι συνεχώς αναπτυσσόμενες: οι πιο κατάλληλες τεχνολογίες (μπαταρίες ροής, συμπιεσμένος αέρας, υπερ-πυκνωτές, και σφόνδυλοι) είναι περισσότερο ή λιγότερο ώριμες τεχνολογίες και θα μπορούσαν να γίνουν οικονομικώς πιο αποδοτικές και πιο αξιόπιστες.

6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Το βασικό στοιχείο αυτής της ανάλυσης είναι ότι αναθεωρεί τις διαθέσιμες τεχνικές ενεργειακής αποθήκευσης που είναι εφαρμόσιμες στα συστήματα ηλεκτρικής ισχύος.

Η αποθήκευση είναι ένα σημαντικό ζήτημα με την αύξηση των ανανεώσιμων αλλά αποκεντρωμένων πηγών ενέργειας που διαπερνούν τα δίκτυα ισχύος. Όχι μόνο είναι αυτό μια τεχνική λύση για τη διαχείριση δικτύων, διασφάλιση πραγματικού χρόνου επιπέδου φόρτισης, αλλά είναι ακόμα ένας καλύτερος τρόπος χρήσης ανανεώσιμων πηγών αποφεύγοντας το “χάσιμο” του φορτίου στις περιόδους της υπερπαραγωγής. Συνδεδεμένη με την τοπική παραγωγή ανανεώσιμης ενέργειας, η αποκεντρωμένη αποθήκευση θα μπορούσε επίσης να βελτιώσει την δύναμη των δικτύων ισχύος μέσω ενός δικτύου των ενεργειακών αγροκτημάτων που παρέχουν μια συγκεκριμένη ζώνη απαίτησης.

Πολλές λύσεις είναι διαθέσιμες στην ασφάλεια συστημάτων αύξησης, αλλά είναι τόσο διαφορετικές από άποψη προδιαγραφών που είναι δύσκολο να συγκριθούν.

Εκτός από την ερευνητική εργασία για το σχέδιο και τη βελτίωση των συστημάτων αποθήκευσης που προσαρμόζονται καλά στις ανάγκες, είναι επίσης απαραίτητο να βελτιωθεί η απόδοση ζωής των μοντέλων εκτίμησης σχετικά με την δυνατότητα ανακύκλωσης και μερικές φορές των μοντέλων απόδοσης όπως στην περίπτωση των ηλεκτροχημικών συσσωρευτών

Με βάση το περιεχόμενο αυτής της μελέτης και προσεκτικής μέτρησης αυτών που συμβαίνουν, διαπιστώνουμε ότι:

1. Η ανάπτυξη των τεχνικών αποθήκευσης απαιτεί τη βελτίωση και τη βελτιστοποίηση της ηλεκτρονικής ισχύος, που χρησιμοποιούνται συχνά στο μετασχηματισμό της ηλεκτρικής ενέργειας στην αποθηκευμένη ενέργεια, και αντίστροφα.
2. Το ποσοστό διείσδυσης της ανανεώσιμης ενέργειας θα απαιτήσει μελέτες πάνω στην επιρροή των διαφορετικών επιλογών αποθήκευσης, ειδικά των αποκεντρωμένων, στη δύναμη δικτύων και της συνολικής φόρτισης υποδομής και παραγωγής ενέργειας.
3. Η μελέτη των πλήρων συστημάτων (αποθήκευση, σχετικός μετασχηματισμός της ηλεκτρικής ενέργειας, ηλεκτρονική ισχύς, συστήματα ελέγχου, κ.λπ.) θα οδηγήσει στη βελτιστοποίηση των τεχνικών σχετικά με το κόστος, την αποδοτικότητα, την αξιοπιστία, την συντήρηση, τις κοινωνικές και περιβαλλοντικές επιδράσεις, κ.λ.π.
4. Η επένδυση στην έρευνα και στην ανάπτυξη της δυνατότητας του συνδυασμού πολλών μεθόδων αποθήκευσης με μια ανανεώσιμη πηγή ενέργειας θα οδηγήσει στη βελτιστοποίηση της γενικής αποδοτικότητας του συστήματος και της μείωσης των αερίων του θερμοκηπίου που δημιουργούνται από το συμβατικό αέριο - καίγοντας εγκαταστάσεις παραγωγής ενέργειας.
5. Η αξιολόγηση του ενδιαφέροντος για τα υψηλής θερμοκρασίας θερμικά συστήματα αποθήκευσης, που έχουν ένα τεράστιο πλεονέκτημα σχετικά με τη διανομή ισχύος, θα οδηγήσει στη δυνατότητα της ασφαλούς ίδρυσης τους κοντά στις περιοχές κατανάλωσης ισχύος.
6. Η ανάπτυξη των υπερ -πυκνωτών θα οδηγήσει στην ένταξή τους στους διαφορετικούς τύπους χρήσεων.
7. Η ανάπτυξη των χαμηλού κόστους, μακράς διάρκειας συστημάτων αποθήκευσης σφονδύλων θα οδηγήσει στην αυξανόμενη δυνατότητα, ιδιαίτερα για τις αποκεντρωμένες εφαρμογές.

Τέλος, παρά το γεγονός ότι δεν έχουν περιγραφθεί λεπτομερώς όλα τα χαρακτηριστικά των διαφορετικών τεχνικών αποθήκευσης, αποδεικνύεται ότι η δυνατότητα αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας υπάρχει, όποτε και οπουδήποτε απαιτείται, και σε οποιαδήποτε ποσότητα. Η αποθήκευση είναι η πιο αδύνατη σύνδεση της ενεργειακής περιοχής, αλλά είναι ένα βασικό στοιχείο για την αύξηση των ανανεώσιμων μορφών ενέργειας. Όταν η πηγή

ενέργειας είναι διαλείπουσα και τοποθετημένη σε μια απομονωμένη περιοχή που δεν μπορεί να συνδεθεί με το δίκτυο διανομής, η αποθήκευση γίνεται κρίσιμη. Αυτή η ανάγκη δεν είναι τόσο προφανής όταν συνδέεται η πηγή ενέργειας με το δίκτυο (όπως συμβαίνει για τις ανεμογεννήτριες και για τα φωτοβολταϊκά συστήματα στις βιομηχανικές χώρες) αλλά η αποθήκευση θα μπορούσε να γίνει αναπόφευκτη στο μέλλον.. Πράγματι, με το άνοιγμα της αγοράς της ενέργειας, πολλές μη τοπικές πηγές, συνήθως διαλείπουσες ανανεώσιμες πηγές, θα συνδεθούν με το δίκτυο, το οποίο θα μπορούσε να οδηγήσει στην αποσταθεροποίηση. Για να καταπολεμηθεί αυτό το πρόβλημα, η αποθήκευση και η υγιής διαχείριση αυτών των πόρων είναι οι καλύτερες λύσεις.

7. ΕΠΙΛΟΓΟΣ

Όπως είναι γνωστό οι ανάγκες για ηλεκτρική ενέργεια όλο και αυξάνονται με το πέρασμα των χρόνων με αποτέλεσμα την μόλυνση του περιβάλλοντος ιδιαίτερα όταν η παραγωγή γίνεται με συμβατικά καύσιμα. Έτσι θα έπρεπε σεβόμενοι την αειφορία να στραφούμε σε άλλες πηγές ενέργειας.

Οι ανανεώσιμοι πόροι (ο αέρας, ο ήλιος, το νερό) μπορούν να μας παρέχουν για όλο το χρόνο την απαραίτητη ενέργεια, με την προϋπόθεση ότι θα γίνεται αποθήκευση της σε περιόδους υπερπαραγωγής. Δηλαδή την περίοδο του καλοκαιριού όσον αφορά τον ήλιο και την περίοδο βροχοπτώσεων καθώς και των ανέμων για το νερό και τον αέρα αντίστοιχα. Είναι βέβαιο ότι με την σωστή τεχνολογία αποθήκευσης ενέργειας θα μπορέσουμε να εξασφαλίσουμε την απαραίτητη ενέργεια για να καλύψουμε τις ανάγκες μας.

Η εργασία αυτή είχε ως σκοπό να περιγράψει λεπτομερώς τους τρόπους αποθήκευσης της ενέργειας και να αναδείξει τα βασικά κριτήρια επιλογής στην τεχνολογία αποθήκευσης τα οποία θα πρέπει να είναι:

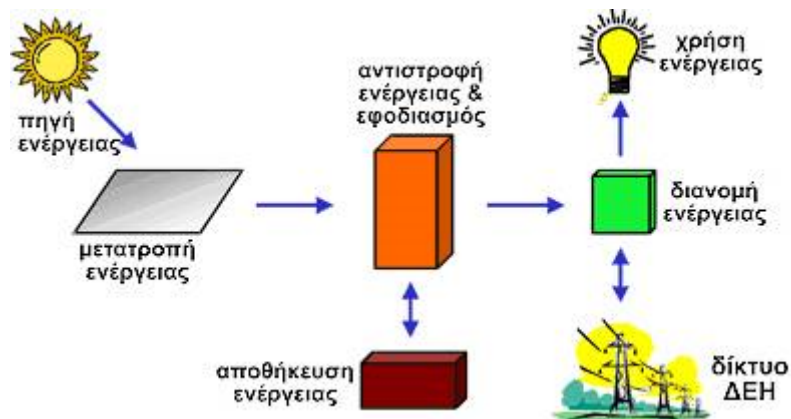
1. Ανάγκες
2. Βαθμός Απόδοσης
3. Διάρκεια ζωής
4. Δαπάνες-Εξοπλισμός
5. Φιλικό προς το περιβάλλον

Εν κατακλείδι θα πρέπει να τονιστεί ότι είναι απαραίτητο να συνειδητοποιήσουμε την αναγκαιότητα της στροφής μας στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας καθώς και στην αποθήκευση της παραγόμενης ενέργειας έτσι ώστε να καλυφθούν οι συνεχώς αυξανόμενες ανάγκες μας χωρίς να επιβαρυνθούν παράλληλα οι ανανεώσιμοι πόροι καθώς και το περιβάλλον.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Energy storage systems – Characteristics and comparisons, H. Ibrahim, A. Pinca, J. Perron, University of Quebec Canada, 2007
2. Αιολική ενέργεια και αποθήκευση, Γ. Χατζηβασιλειάδης, 2007

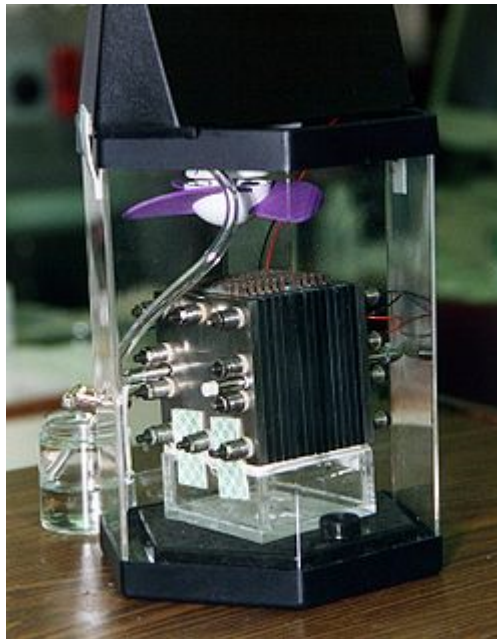
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ



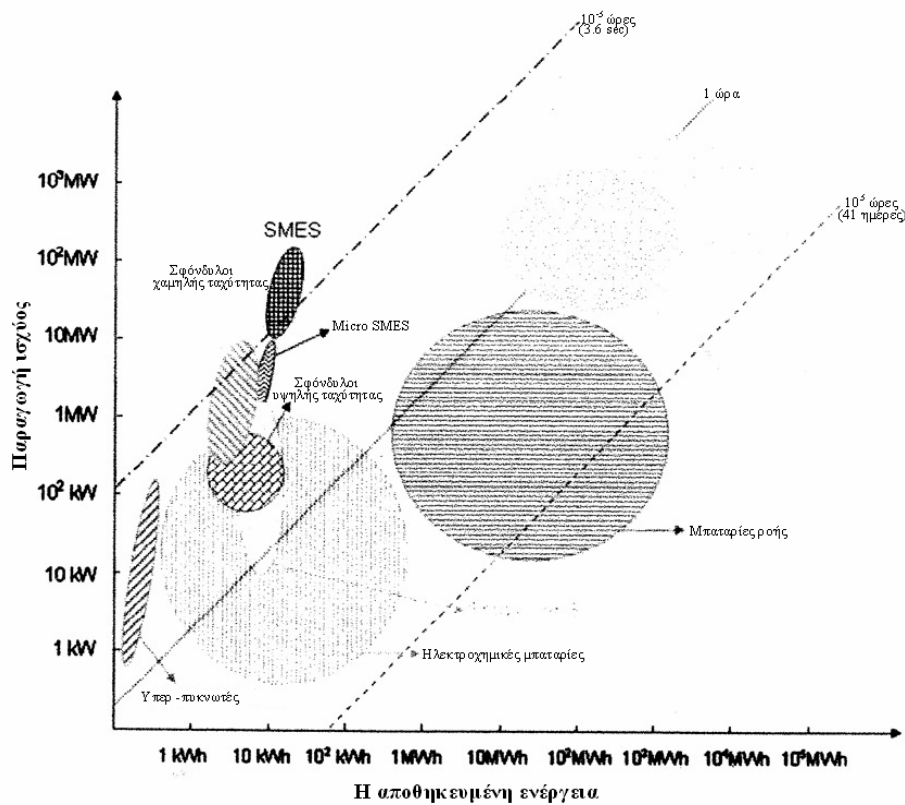
Διάγραμμα φωτοβολταϊκού συστήματος συνδεδεμένο με το δίκτυο της ΔΕΗ



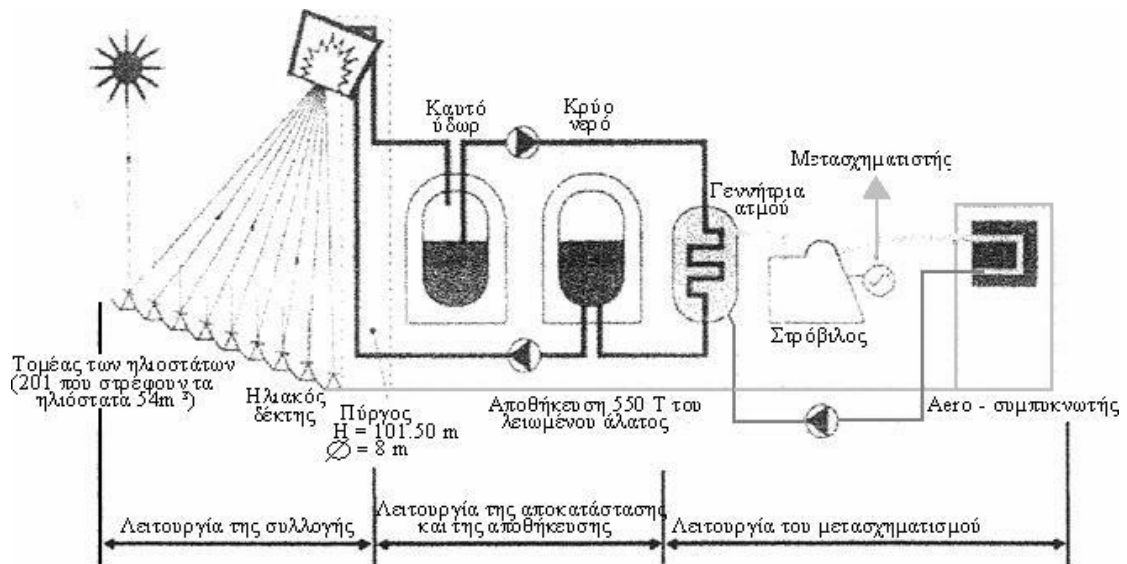
Κύλινδροι αποθήκευσης υδρογόνου στην τρόπιδα του μελλοντικού υποβρυχίου ΜΑΤΡΩΖΟΣ (S122) του ΠΝ, στο Κτίριο Υποβρυγίων των Ελληνικών Ναυπηγείων ΑΕ



Κυψέλη Καυσίμου. Ο πραγματικός αριθμός κυττάρων καυσίμων είναι η βαλμένη σε στρώσεις κυβική δομή στο κέντρο της εικόνας



Τομείς της εφαρμογής των διαφορετικών τεχνικών αποθήκευσης σύμφωνα με την ενέργεια που αποθηκεύονται και την παραγωγή δύναμης



Απεικόνιση του σταθμού Themis στη Γαλλία θερμικής ενέργειας με χρήση λειωμένου άλατος

