

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ Η.Μ.Ε & ΠΡΟ.ΠΕ.



ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΘΕΜΑ : “ΜΕΛΕΤΗ ΑΥΤΟΝΟΜΟΥ
ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΑ ΥΒΡΙΔΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΜΕ ΤΗ
ΣΥΜΜΕΤΟΧΗ ΑΙΟΛΙΚΟΥ ΠΑΡΚΟΥ ΚΑΙ
ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ
ΣΥΜΠΙΕΣΜΕΝΟΥ ΑΕΡΑ ΜΕ ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΑ
ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗΣ ΤΗΣ ΑΠΟΡΡΙΠΤΟΜΕΝΗΣ
ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ ΣΤΗΝ ΕΞΟΔΟ ΤΗΣ ΜΟΝΑΔΑΣ
ΣΥΜΠΙΕΣΗΣ”**

Φοιτητές : ΠΑΝΤΑΖΗΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ ΑΜ: 32609
ΚΟΥΤΣΟΥΚΗΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ ΑΜ: 29518

Επιβλέπων : ΖΑΦΕΙΡΑΚΗΣ ΔΗΜΗΤΡΗΣ

ΠΕΙΡΑΙΑΣ 2019

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ Η.Μ.Ε & ΠΡΟ.ΠΕ.



ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΘΕΜΑ : “ΜΕΛΕΤΗ ΑΥΤΟΝΟΜΟΥ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΑ
ΥΒΡΙΔΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΜΕ ΤΗ ΣΥΜΜΕΤΟΧΗ
ΑΙΟΛΙΚΟΥ ΠΑΡΚΟΥ ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ
ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΥΜΠΙΕΣΜΕΝΟΥ ΑΕΡΑ
ΜΕ ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΑ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗΣ ΤΗΣ
ΑΠΟΡΡΙΠΤΟΜΕΝΗΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ ΣΤΗΝ ΕΞΟΔΟ
ΤΗΣ ΜΟΝΑΔΑΣ ΣΥΜΠΙΕΣΗΣ”**

Φοιτητές : ΠΑΝΤΑΖΗΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ ΑΜ:
ΚΟΥΤΣΟΥΚΗΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ ΑΜ: 29518

Επιβλέπων : ΖΑΦΕΙΡΑΚΗΣ ΔΗΜΗΤΡΗΣ

ΠΕΙΡΑΙΑΣ 2019

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην προτεινόμενη πτυχιακή εργασία θα μελετηθεί σε βάθος η διαστασιολόγηση αυτόνομου ενεργειακά υβριδικού συστήματος με τη συμμετοχή αιολικών μηχανών και συστήματος αποθήκευσης ενέργειας συμπιεσμένου αέρα με δυνατότητα εκμετάλλευσης της απορριπτόμενης θερμότητας στην έξοδο των συμπιεστών. Για το σκοπό αυτό θα αναπτυχθεί αλγόριθμος προσομοίωσης για την ενεργειακή ανάλυση του υπό εξέταση συστήματος. Στα πλαίσια αυτά θα μελετηθεί η μεταβολή των κύριων μεταβλητών του προβλήματος, λαμβάνοντας επίσης υπόψη αντιπροσωπευτικά παραδείγματα εφαρμογής-μελέτες περίπτωσης που θα αντιστοιχούν σε επιλεγμένα, μη διασυνδεδεμένα νησιώτικα δίκτυα του Ελλαδικού χώρου με διαφορετικά χαρακτηριστικά ηλεκτρικής ζήτησης.

ABSTRACT

The purpose of this thesis is to examine in depth the sizing of the autonomous energy hybrid system, with the cooperation of wind turbines and the compressed air energy storage system, aiming at the recovery of waste heat produced during compression. Acknowledging the above, an integrated sizing algorithm will be developed for the energy solution of the proposed system. In this context, we will examine the alteration of the main parameters of the problem, taking into consideration representative examples of case studies that correspond to specific, remote islands communities in the general Greek area, with different electrical demands.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 : ΕΙΣΑΓΩΓΗ	6
1.1 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ ΓΙΑ ΤΗΝ ΚΑΛΥΨΗ ΤΩΝ ΘΕΩΡΗΤΙΚΩΝ ΣΤΟΧΩΝ: Η ΜΕΘΟΔΟΣ ΤΗΣ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗΣ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗΣ	7
1.2 ΘΕΩΡΗΤΙΚΟΙ ΚΑΙ ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΟΙ ΣΤΟΧΟΙ	7
1.3 ΔΙΑΤΥΠΩΣΗ ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΩΝ ΕΡΩΤΗΜΑΤΩΝ	8
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 : ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ	9
2.1 ΑΝΑΓΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ	9
2.2 ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ	11
2.2.1 ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ	13
2.2.1.1 <i>Συσσωρευτές (Batteries)</i>	13
2.2.1.2 <i>Σφόνδυλοι (FESS)</i>	13
2.2.1.3 <i>Υπερπυκνωτές (supercapacitor)</i>	14
2.2.1.4 <i>Υπεραγωγίμα μαγνητικά συστήματα ενεργειακής αποθήκευσης (SMES)</i>	15
2.2.1.5 <i>Συστήματα αντλησιοταμίευσης</i>	16
2.2.1.6 <i>Συστήματα ενεργειακής αποθήκευσης συμπιεσμένου αέρα (compressed air energy storage, CAES)</i>	17
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΣΥΣΤΗΜΑ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΣΥΜΠΙΕΣΜΕΝΟΥ ΑΕΡΑ (COMPRESSED AIR ENERGY STORAGE, CAES)	19
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΕΡΕΥΝΑΣ	21
4.1 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΕΡΕΥΝΑΣ	21
4.2 ΕΙΔΟΣ ΤΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ	21
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΙ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ	24
5.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	24
5.2 <i>Προτεινόμενη ενεργειακή λύση</i>	24
5.3 <i>Ανάπτυξη αλγορίθμου</i>	26
5.4 <i>Παρουσίαση αποτελεσμάτων που σχετίζονται με την ηλεκτρική ενέργεια</i>	30
5.5 <i>Παρουσίαση αποτελεσμάτων που σχετίζονται με την θερμική ενέργεια</i>	30
5.6 ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	31
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΣΥΖΗΤΗΣΗ	32
6.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	32
6.2 Η ΑΞΙΟΠΙΣΤΙΑ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ.....	32
6.3 ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΣΕΝΑΡΙΩΝ.....	32
6.3.1 <i>Παρουσίαση αποτελεσμάτων σχετικά με την ηλεκτρική ενέργεια</i>	33
6.3.2 <i>Παρουσίαση αποτελεσμάτων σχετικά με την θερμική ενέργεια</i>	34
6.3.3 <i>Ο ρόλος της δεξαμενής νερού Vtank</i>	35
6.4 ΤΟ ΝΟΗΜΑ ΤΩΝ ΕΥΡΗΜΑΤΩΝ	37
6.4.1 <i>Η επιρροή του όγκου του αεροθαλάμου και της ισχύος του Α/Π στην ενεργειακή αυτονομία</i>	37
6.4.2 <i>Η επιρροή του όγκου της δεξαμενής του νερού στην ενεργειακή αυτονομία</i>	38
6.4.3 <i>Σύγκριση θερμικής και ηλεκτρικής συμπεριφοράς</i>	38
6.4.4 <i>Σύνοψη βασικών ευρημάτων</i>	39
6.5 ΤΟ ΝΟΗΜΑ ΤΩΝ ΕΥΡΗΜΑΤΩΝ ΣΕ ΓΕΝΙΚΟΤΕΡΟ ΕΠΙΠΕΔΟ	39
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	40
7.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	40

7.2 ΒΑΣΙΚΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	41
7.3 ΣΥΝΕΠΕΙΑ ΣΤΟΥΣ ΣΤΟΧΟΥΣ ΠΟΥ ΕΧΟΥΜΕ ΘΕΣΕΙ	42
7.4 ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	43
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	44

Κεφάλαιο 1 : Εισαγωγή

Η σημερινή, μη βιώσιμη διαχείριση της ενέργειας σε συνδυασμό με την ανάγκη για απεξάρτηση από την ηλεκτροπαραγωγή μέσω συμβατικών μέσων, λόγω των περιβαλλοντικών τους επιπτώσεων, καθιστούν αναγκαία την προώθηση της εκμετάλλευσης των φιλικών προς το περιβάλλον, Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ). Όμως, οι ΑΠΕ βασίζονται σε μη προβλέψιμα μετεωρολογικά δεδομένα, με αποτέλεσμα να εμφανίζουν το μειονέκτημα της χρονικής αναντιστοιχίας της παραγωγής (προσφοράς) με την κατανάλωση (ζήτηση) ενέργειας. Αυτή η χρονική αναντιστοιχία παραγωγής – ζήτησης αποτέλεσε και τη βασική αιτία για τον καθορισμό του θέματος της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

Θεωρήθηκε λοιπόν ενδιαφέρον να μελετηθούν οι διάφορες διατάξεις ενεργειακής αποθήκευσης. Γενικότερα, η αποθήκευση της ενέργειας φαίνεται να είναι ευεργετική για τα ηλεκτρικά συστήματα, επιτρέποντας την αυξημένη χρησιμοποίηση του συστήματος, διευκολύνοντας τη διείσδυση των ανανεώσιμων πηγών και βελτιώνοντας γενικότερα την ευελιξία, την αξιοπιστία και την αποδοτικότητα του δικτύου.

Ωστόσο, λόγω της παρούσας τεχνολογικής εξέλιξης και του κόστους των διατάξεων της ενεργειακής αποθήκευσης, η χρησιμοποίησή τους δεν έχει επεκταθεί σε σημαντικό βαθμό. Παρόλα αυτά, αρκετές τεχνολογίες ενεργειακής αποθήκευσης υψηλών επιδόσεων, είναι διαθέσιμες σήμερα ή βρίσκονται σε προχωρημένο στάδιο ανάπτυξης, επιτρέποντας ένα νέο φάσμα εφαρμογών αποθήκευσης. Η αύξηση της ενσωμάτωσης των τεχνολογιών αποθήκευσης στα συστήματα παραγωγής των ΑΠΕ αποτελεί βασικό μοχλό της παρούσας ανάπτυξης.

Στη συγκεκριμένη πτυχιακή εργασία, εξετάζονται οι διατάξεις ενεργειακής αποθήκευσης, οι οποίες μπορούν να διακριθούν σε δύο μεγάλες κατηγορίες: τις διατάξεις βραχυπρόθεσμης αποθήκευσης ενέργειας και τις διατάξεις μακροπρόθεσμης αποθήκευσης ενέργειας. Στην πρώτη κατηγορία εντάσσονται οι σφόνδυλοι, οι υπερπυκνωτές και τα υπεραγωγία μαγνητικά πηνία, δηλαδή διατάξεις που έχουν την ικανότητα να ανταποκρίνονται στα αιτήματα σε μικρές χρονικές περιόδους (δευτερόλεπτα ή λεπτά). Η δεύτερη κατηγορία περιλαμβάνει τους συσσωρευτές, τα συστήματα αντλησιοταμίευσης και τα συστήματα ενεργειακής αποθήκευσης συμπιεσμένου αέρα, που μπορούν να αποθηκεύουν και να αποδεσμεύουν μεγάλα ποσά ενέργειας για περιόδους μακράς διάρκειας (ώρες ή ημέρες). Το ενδιαφέρον μας επικεντρώνεται κυρίως στις τεχνολογίες της δεύτερης κατηγορίας και ειδικότερα στα συστήματα ενεργειακής αποθήκευσης συμπιεσμένου αέρα, αφού πρόκειται για μεγάλες κεντρικές εγκαταστάσεις που χρησιμοποιούνται σε μεγάλης κλίμακας συστήματα και είναι κατάλληλες για εφαρμογές εξομάλυνσης φορτίων, καθώς και για αποθέματα αιολικής ενέργειας υψηλής χωρητικότητας.

1.1 Μεθοδολογική προσέγγιση για την κάλυψη των θεωρητικών στόχων: Η μέθοδος της βιβλιογραφικής ανασκόπησης

Για την κάλυψη των θεωρητικών στόχων της εργασίας χρησιμοποιείται η μέθοδος της αφηγηματικής βιβλιογραφικής ανασκόπησης (narrative bibliographic research). Αυτή η μέθοδος χρησιμοποιείται για τη συλλογή του απαραίτητου ερευνητικού υλικού με σκοπό την θεωρητική διερεύνηση του θέματος, τη διατύπωση των θεωρητικών στόχων και των ερευνητικών ερωτημάτων. Επίσης, η βιβλιογραφική ανασκόπηση συμβάλλει στη τεκμηρίωση του θέματος και στη θεωρητική διασαφήνιση των βασικών θεωρητικών εννοιών μιας εργασίας.

Βασικό υλικό της βιβλιογραφικής ανασκόπησης αποτελούν διεθνείς μελέτες, ακαδημαϊκά άρθρα, επιστημονικά βιβλία και πηγές από το διαδίκτυο που ασχολούνται με το υπό εξέταση θέμα.

Για την απάντηση των ερευνητικών ερωτημάτων χρησιμοποιείται η ποιοτική μεθοδολογία έρευνας, μέσω της μελέτης περιπτώσεων που θα αντιστοιχούν σε επιλεγμένα, μη διασυνδεδεμένα νησιώτικα δίκτυα του Ελλαδικού χώρου με διαφορετικά χαρακτηριστικά αιολικού δυναμικού. Η ποιοτική έρευνα δίνει τη δυνατότητα στον ερευνητή να μελετήσει σε βάθος ένα φαινόμενο διερευνώντας τα χαρακτηριστικά, τις εφαρμογές και τους περιορισμούς ή/και τις δυνατότητες των συστημάτων. Τέλος, το ερευνητικό μέρος της εργασίας, ολοκληρώνεται με την παρουσίαση των βέλτιστων εκείνων συνδυασμών που θα εγγυώνται ενεργειακή αυτόνομη και ταυτόχρονη βιωσιμότητα, συνεκτιμώντας τα όποια περιβαλλοντικά οφέλη προκύπτουν από την εφαρμογή του προτεινόμενου ενεργειακού σχήματος.

1.2 Θεωρητικοί και ερευνητικοί στόχοι

Οι θεωρητικοί και ερευνητικοί στόχοι της εργασίας παρουσιάζονται στον πίνακα 1.

Πίνακας 1: Στόχοι

Θεωρητικοί στόχοι	Ερευνητικοί στόχοι
Παρουσίαση της ανάγκης ύπαρξης αποθηκευμένης ενέργειας	Διερεύνηση επιλεγμένων περιπτώσεων, μη διασυνδεδεμένου νησιωτικού δικτύου του Ελλαδικού χώρου με διαφορετικά χαρακτηριστικά αιολικού δυναμικού
Προσδιορισμός συστημάτων ενεργειακής αποθήκευσης	Διερεύνηση της απορριπτόμενης θερμότητας στην έξοδο της μονάδας συμπίεσης και την δυνατότητα αποθήκευσης και εκμετάλλευσής της
Διάκριση βραχυπρόθεσμων και μακροπρόθεσμων συστημάτων	
Παρουσίαση των σημαντικότερων συστημάτων ενεργειακής αποθήκευσης	
Ανάλυση συστήματος αποθήκευσης συμπίεσμένου αέρα	

1.3 Διατύπωση ερευνητικών ερωτημάτων

Τα βασικά ερευνητικά ερωτήματα είναι τρία και παρουσιάζονται στον πίνακα 2.

Πίνακας 2: Ερευνητικά ερωτήματα

Ερευνητικό ερώτημα 1	Πως τα συστήματα αποθήκευσης ενέργειας συμβάλλουν στην ενεργειακή αποθήκευση.
Ερευνητικό ερώτημα 2	Πώς το σύστημα αποθήκευσης συμπιεσμένου αέρα επιτυγχάνει την αποθήκευση ενέργειας..
Ερευνητικό ερώτημα 3	Υπάρχουν οφέλη τόσο οικονομικά όσο και περιβαλλοντικά της χρήσης συστημάτων αποθήκευσης συμπιεσμένου αέρα.

Κεφάλαιο 2 : Αποθήκευση ενέργειας

2.1 Ανάγκη ενεργειακής αποθήκευσης

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 (Gonzalez et al., 2012).

Ωστόσο, η σημερινή διαχείριση της ενέργειας κάθε άλλο παρά βιώσιμη είναι. Τα ορυκτά καύσιμα (πετρέλαιο, γαιάνθρακες, φυσικό αέριο) δεν είναι δυνατόν να ανανεωθούν ενώ παράλληλα η καύση τους 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.

Αυτά τα μείζονα ζητήματα οδήγησαν σε μια παγκόσμια προσπάθεια για τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, δηλαδή στο πρωτόκολλο του Κιότο¹, μια συμφωνία με τελικό στόχο τη δέσμευση των χωρών για μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα. Παράλληλα, η Ευρωπαϊκή Ένωση επηρεαζόμενη από το πρωτόκολλο του Κιότο, λαμβάνει δράσεις που υποστηρίζουν σθεναρά τους στόχους του πρωτοκόλλου, σε αυτές περιλαμβάνεται η υιοθέτηση ενός νομοθετικού πλαισίου που απαιτεί τη συμβολή των ΑΠΕ σε ένα συγκεκριμένο ποσοστό στο μείγμα καυσίμων των μελών της ΕΕ. Για παράδειγμα, η ακαθάριστη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας της Ελλάδας που βασίζεται σε ΑΠΕ, ζήτησε να φθάσει το 40% της αντίστοιχης εθνικής ακαθάριστης παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας έως το 2020. Ωστόσο, το αντίστοιχο ποσοστό είναι πολύ χαμηλό, δεδομένου ότι διατηρείται μόνο στο εύρος μιας μακροπρόθεσμης 10 -13% (Σχήμα 1).

¹ Με βάση τις διαδικασίες που προβλέπονται από τη Σύμβαση, στην Τρίτη Σύνοδο των Συμβαλλομένων Μερών (Κιότο, Δεκέμβριος 1997) υιοθετήθηκε Πρωτόκολλο στη Σύμβαση, γνωστό ως Πρωτόκολλο του Κιότο. Το Πρωτόκολλο στοχεύει σε συνολική μείωση των εκπομπών τουλάχιστον κατά 5% την πενταετία 2008-2012 σε σύγκριση με τα επίπεδα του 1990. Για την επίτευξή του, τα ανεπτυγμένα Κράτη - Μέρη του Πρωτοκόλλου καλούνται να εξασφαλίσουν ότι οι εκπομπές τους, για 6 συνολικά αέρια, δεν θα υπερβούν τα όρια που τους τίθενται με το Πρωτόκολλο αυτό (Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας, Διαθέσιμο από: <http://www.ypeka.gr/Default.aspx?tabid=443&language=el-GR>).

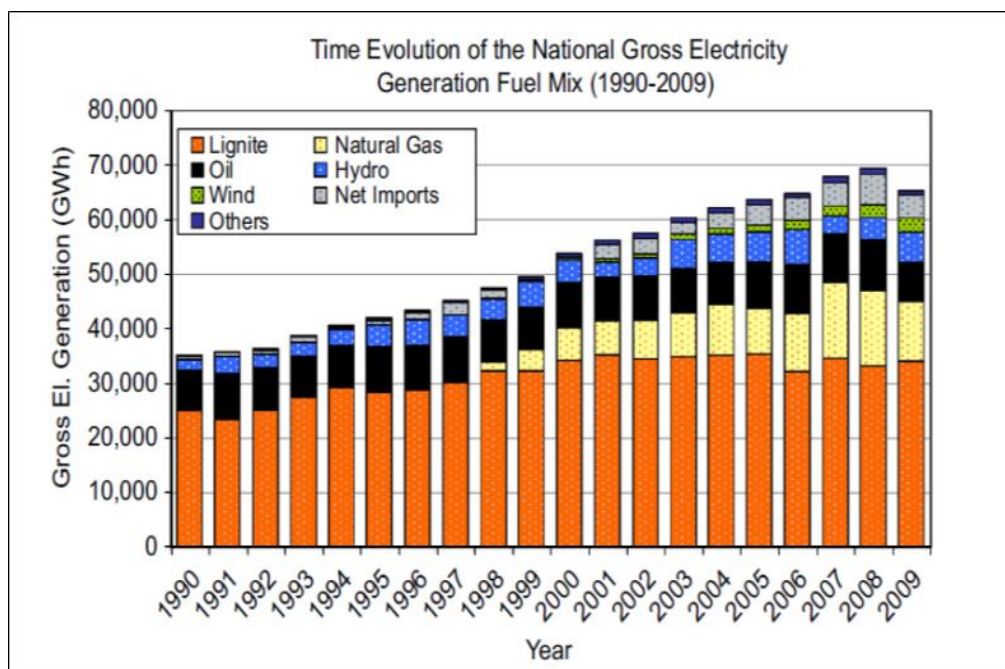


Figure 1. Χρονική εξέλιξη της χρήσης πηγών ενέργειας (Zafirakis et al. 2013)

Παρά τις τρέχουσες προθέσεις για την προώθηση των ΑΠΕ, θα πρέπει να αντιμετωπιστούν διάφορα ζητήματα προκειμένου να επιτευχθεί μεγάλη ενσωμάτωση στο μείγμα καυσίμων, κυρίως λόγω της εγγενούς διακοπτόμενης φύσης των ΑΠΕ και της αντίστοιχης δυσκολίας προσαρμογής της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας με την προσφορά. Επιπλέον, η χρήση τεχνολογιών που βασίζονται σε ΑΠΕ συνεπάγεται την ανάγκη ευέλικτων θερμικών σταθμών να λειτουργούν κάτω από συνθήκες μη βέλτιστης χρήσης, προκειμένου να αποτελέσουν στήριγμα σε περίπτωση ανεπαρκούς διαθέσιμης ισχύος που προκύπτει από τον στοχαστικό χαρακτήρα του ΑΠΕ.

Σύμφωνα με τον Safaei (2013), ένας από τους πιο ελπιδοφόρους τρόπους για τον διαχειριστή του δικτύου να αντιμετωπίσει την στοχαστικότητα των ΑΠΕ και να είναι σε θέση να παρέχει αξιόπιστη ηλεκτρική ενέργεια και έτσι να διευκολύνει την υψηλότερη διείσδυση στο δίκτυο είναι η αποθήκευση ενέργειας. Σε αυτό το πλαίσιο, πρέπει να σημειωθεί ότι τα συστήματα CAES που αποτελούν τον πυρήνα της παρούσας έρευνας πιστεύεται ότι είναι ικανά να αποθηκεύουν μεγάλα ποσά ενέργειας (Gonzalez et al., 2012).

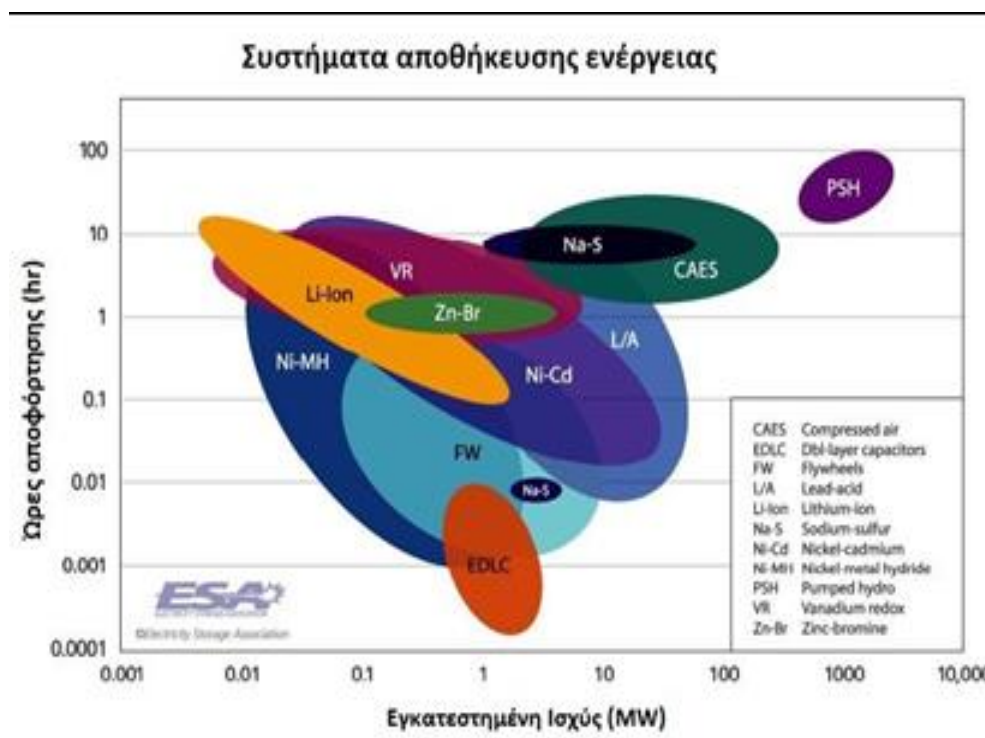
Μια άλλη πτυχή που υποδεικνύει τη σημασία της αποθήκευσης ενέργειας μαζί με το ζήτημα της αντιστοίχισης της προσφοράς και της ζήτησης είναι η ποσότητα περιορισμένων αποθεμάτων ορυκτών καυσίμων. Είναι σημαντικό, σύμφωνα με τους Chedid et al. (2007) οι παγκόσμιοι πετρελαϊκοί πόροι πρέπει να θεωρούνται επαρκείς για την κάλυψη της προβλεπόμενης αύξησης της ζήτησης μέχρι το 2030.

Συνοψίζοντας, με την μείωση της συμβατικής ενέργειας, οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας αποτιμώνται από όλο και περισσότερες χώρες σε όλο τον κόσμο. Παρόλο που η διείσδυση των ΑΠΕ στην ενεργειακή αγορά καθίσταται όλο και πιο εμφανής, η ανάπτυξη και η αξιοποίηση των ΑΠΕ αντιμετωπίζουν τεράστιες προκλήσεις λόγω της διακοπτόμενης και ασταθούς φύσης των ΑΠΕ. Επί του παρόντος, το σύστημα αποθήκευσης ενέργειας είναι μία από τις τεχνολογίες που μπορούν να λύσουν το πρόβλημα των απωλειών των ΑΠΕ (Lund & Salgi 2009), (Salgi & Lund 2008).

2.2 Διατάξεις ενεργειακής αποθήκευσης

Το ενδιαφέρον για την ενεργειακή αποθήκευση εστιάζεται στην αποθήκευση της ηλεκτρικής ενέργειας, λόγω της εύκολης μεταφοράς της σε μεγάλες αποστάσεις. Η αποθήκευση της ηλεκτρικής ενέργειας μπορεί να επιτευχθεί αποτελεσματικά. Όμως, δεν είναι εφικτή (οικονομικά) η απευθείας αποθήκευσή της, έτσι απαιτείται να μετατραπεί πρώτα σε άλλη μορφή και όταν χρειαστεί να μετατραπεί ξανά σε ηλεκτρική.

Μέχρι σήμερα έχουν αναπτυχθεί πολλές τεχνικές ενεργειακής αποθήκευσης, βασισμένες σε σχεδόν όλες τις μορφές ενέργειας (Ioannis H., et.al, 2010). Έτσι, η ηλεκτρική ενέργεια μπορεί να αποθηκευτεί στις ακόλουθες μορφές: α) Σε χημική μορφή (συσσωρευτές), β) Σε μηχανική μορφή υπό την μορφή κινητικής ενέργειας σε σφόνδυλο, γ) Υπό μορφή ηλεκτροστατικού πεδίου, λόγω διαφορετικού ηλεκτρικού φορτίου στους οπλισμούς (υπερ-πυκνωτές), δ) Υπό μορφή μαγνητικού πεδίου (υπεραγώγιμο μαγνητικό σύστημα ενεργειακής αποθήκευσης), ε) Υπό μορφή πεπιεσμένου αέρα (συστήματα αποθήκευσης ενέργειας συμπιεσμένου αέρα), στ) Σε υδραυλική μορφή (συστήματα αντλησιοταμίευσης). Οι διατάξεις ενεργειακής αποθήκευσης είναι προφανώς διαφορετικών τύπων, αφού απαντούν σε συγκεκριμένα τεχνικά και οικονομικά κριτήρια, τα οποία ποικίλουν σημαντικά ανάλογα με τις εφαρμογές και τις ανάγκες (Εικόνα 1).



Εικόνα 1 Συστήματα αποθήκευσης ενέργειας

Επομένως, μια συγκριτική μελέτη των τεχνολογιών αυτών καθίσταται δύσκολη, δεδομένου ότι, μεταξύ των άλλων, τα επίπεδα ανάπτυξής τους διαφέρουν σε μεγάλο βαθμό. Ωστόσο, οι διατάξεις αποθήκευσης ενέργειας μπορούν να διαιρεθούν σε δύο μεγάλες κατηγορίες, ανάλογα με την κλίμακα αποθήκευσης και την εφαρμογή τους (Sérgio F., et. Al, 2007):

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

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

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

Από την άλλη μεριά, οι διατάξεις μακροπρόθεσμης ενεργειακής αποθήκευσης χρησιμοποιούνται σε μεγάλης κλίμακας συστήματα και είναι κατάλληλες για εφαρμογές εξομάλυνσης φορτίων, καθώς και για αποθέματα αιολικής ενέργειας υψηλής χωρητικότητας. Οι διατάξεις αυτές μπορούν να αποθηκεύουν και να παρέχουν την ηλεκτρική ενέργεια κατά τη διάρκεια ωρών ή ημερών, και να συντελούν ειδικότερα στη διαχείριση της ενέργειας, τη ρύθμιση της συχνότητας και τη διαχείριση της συμφόρησης στο δίκτυο. Στην κατηγορία των διατάξεων μακροπρόθεσμης αποθήκευσης ενέργειας ανήκουν οι συσσωρευτές, τα συστήματα αντλησιοταμίευσης και τα συστήματα ενεργειακής αποθήκευσης συμπιεσμένου αέρα (compressed air energy storage, CAES).

2.2.1 Διατάξεις αποθήκευσης ενέργειας

2.2.1.1 Συσσωρευτές (Batteries)

Ένας συσσωρευτής (ή αλλιώς μπαταρία) είναι μια χημική πηγή ρεύματος, ικανή να αποθηκεύει ηλεκτρική ενέργεια, αφού τη μετατρέψει σε χημική, και όταν χρειαστεί να την αποδώσει σε εξωτερικό κύκλωμα.

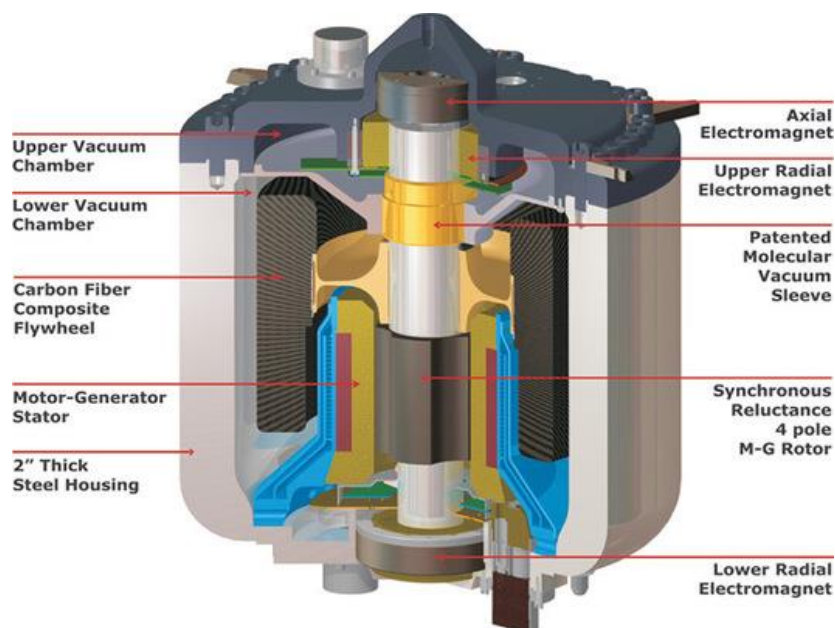
Πίνακας 1 Χαρακτηριστικά συσσωρευτών

Τύπος μπαταρίας	Ειδική ενέργεια (Wh/kg)	Πυκνότητα ενέργειας (Wh/L)	Ειδική ισχύς (W/kg)	Ονομαστική τάση κυψέλης (V)
Μολύβδου-οξέος	30	75	250	2.0
Νικελίου-καδμίου	50	80	150	1.2
Νικελίου-μεταλλικού υδριδίου	65	150	200	1.2
Λιθίου-ιόντος	90	150	300	3.6
Ψευδαργύρου-αέρα	230	270	105	1.65

Οι πιο διαδεδομένοι τύποι συσσωρευτών, καθώς και τα βασικά χαρακτηριστικά τους, περιγράφονται στον Πίνακα 1. Από αυτούς, μόνο οι μπαταρίες μολύβδου-οξέος και σε μικρό βαθμό οι νικελίουκαδμίου χρησιμοποιούνται στα Φ/Β συστήματα μέχρι σήμερα.

2.2.1.2 Σφόνδυλοι (FESS)

Ο σφόνδυλος είναι μια περιστρεφόμενη μάζα γύρω από έναν άξονα, η οποία μπορεί να αποθηκεύσει την ενέργεια μηχανικά υπό τη μορφή της κινητικής ενέργειας. Μια διάταξη αποθήκευσης σφονδύλου αποτελείται από τον σφόνδυλο και μια ενσωματωμένη ηλεκτρική συσκευή, που μπορεί να λειτουργεί είτε ως κινητήρας είτε ως γεννήτρια. Η ηλεκτρική συσκευή λειτουργεί ως κινητήρας για να περιστρέφει το σφόνδυλο και να αποθηκεύει ενέργεια. Πράγματι, μόλις ο σφόνδυλος αρχίσει να περιστρέφεται αποτελεί ουσιαστικά μια μηχανική μπαταρία η οποία εμπεριέχει ένα συγκεκριμένο ποσό ενέργειας, το οποίο μπορεί να αποθηκευτεί ανάλογα με την περιστροφική ταχύτητα και τη ροπή αδράνειας του σφονδύλου. Όσο πιο γρήγορα περιστρέφεται ο σφόνδυλος τόσο περισσότερη ενέργεια αποθηκεύει. Σήμερα, οι ταχύτητες περιστροφής των σφονδύλων ξεπερνούν πλέον τις 50000 RPM (Lund & Salgi 2009).



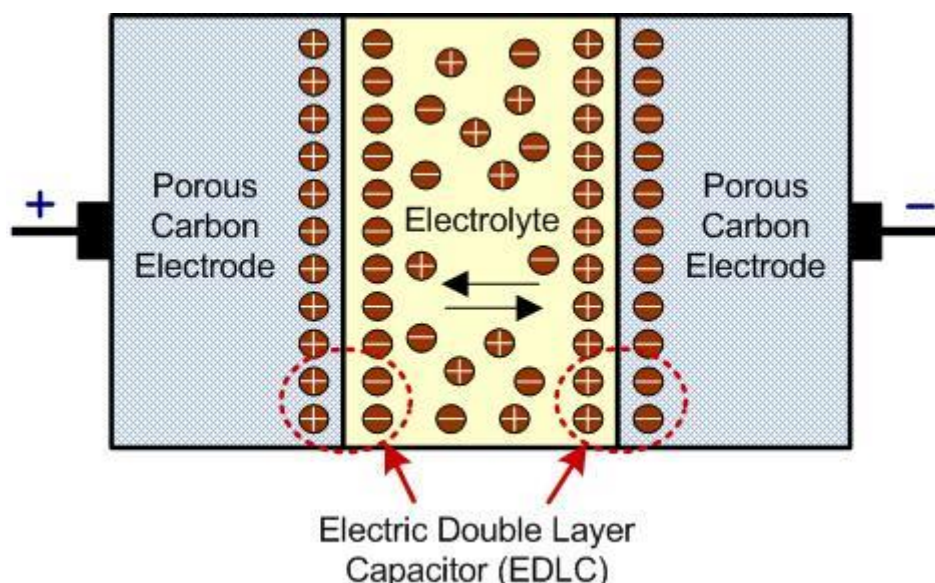
Εικόνα 2 Μονάδα σφονδύλου

Πηγή: Energy storage association, (<http://energystorage.org/energy-storage/technologies/flywheels>)

Αντίθετα από τους συσσωρευτές, τα συστήματα σφονδύλων δεν είναι ευαίσθητα στη θερμοκρασία και η απόδοσή τους μπορεί να φτάσει ως και 80-90%. Επιπλέον, παρουσιάζουν μεγάλη ενεργειακή πυκνότητα (της τάξης των 5-100 Wh/kg). Ο αναμενόμενος χρόνος ζωής τους φτάνει τα 15-20 χρόνια (για χρήση σε υψηλές συχνότητες), ενώ επιπλέον απαιτούν ελάχιστη συντήρηση και παρακολούθηση. Οι σφόνδυλοι χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές ισχύος, καθώς μπορούν να εκφορτιστούν μέσα σε λίγα δευτερόλεπτα αν είναι απαραίτητο. Έτσι προτιμώνται όλο και περισσότερο για εκτεταμένες εφαρμογές ΑΠΕ καθώς και για την ικανοποίηση της ζήτησης ενέργειας σε ώρες αιχμής όπου απαιτείται άμεση παροχή σχετικά μεγάλης ποσότητας ενέργειας.

2.2.1.3 Υπερπυκνωτές (supercapacitor)

Οι ηλεκτροχημικοί διπλής επίστρωσης πυκνωτές (EDLC), γνωστοί επίσης και ως υπερπυκνωτές (UC ή SC), αποθηκεύουν ενέργεια μέσω ενός ηλεκτροστατικού πεδίου. Η ενέργεια αποθηκεύεται με τη μεταφορά φορτίου μεταξύ των ηλεκτροδίων και του ηλεκτρολύτη. Υπέρ πυκνωτής αποτελείται από δύο ηλεκτρόδια, έναν διαχωριστή και έναν ηλεκτρολύτη. Τα ηλεκτρόδια είναι κατασκευασμένα από σωματίδια ενεργού άνθρακα υψηλής συγκέντρωσης, που σχηματίζουν μία διαχωριστική επιφάνεια υψηλής ενεργειακής πυκνότητας, που συμπεριφέρεται σαν πολυμέσα ηλεκτρόδιο (Hsu, C., Lee, W., 1993). Τα δύο ηλεκτρόδια διαχωρίζονται με μία μεμβράνη, η οποία όμως επιτρέπει τη μεταφορά μόνο φορτισμένων ιόντων, ενώ ταυτόχρονα προσφέρει ηλεκτρική μόνωση (Εικόνα 3). Το συνολικό ποσό της αποθηκευμένης ενέργειας είναι συνάρτηση της επιφάνειας των ηλεκτροδίων, το πλήθους των ιόντων και του ύψους της τάσης ρήξης του ηλεκτρολύτη.



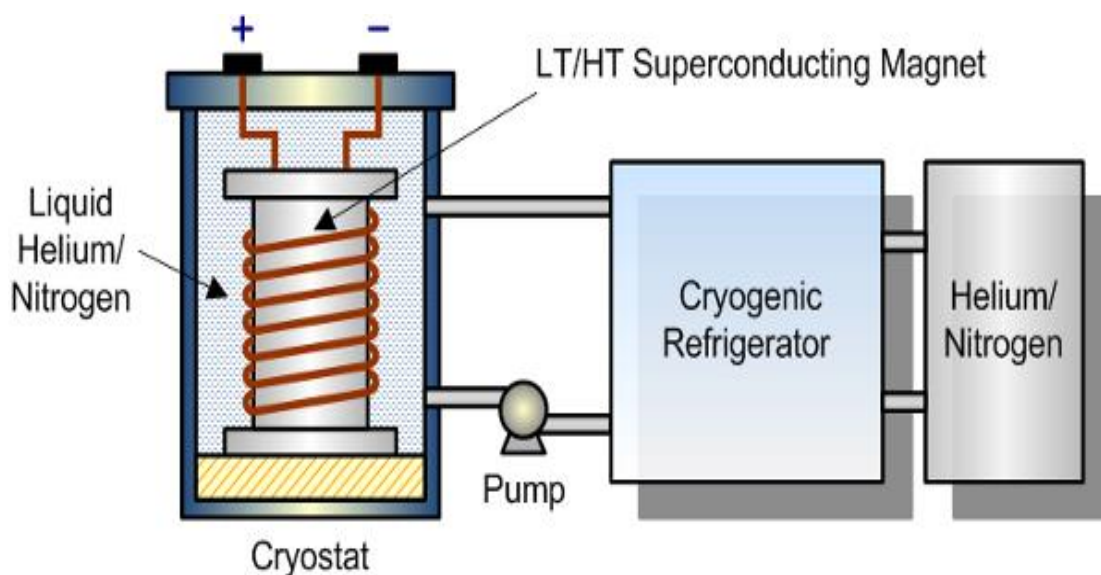
Εικόνα 3 Αρχές και σχηματική απεικόνιση μίας συσκευής Υπερπυκνωτή

Χάρη στην τεχνολογία αυτή, οι συσκευές αυτές παρουσιάζουν σχετικά μικρές πυκνότητες ενέργειας (6 Wh/kg), αλλά υψηλές πυκνότητες ισχύος (kW/kg), χρόνο εκφόρτωσης που κυμαίνεται από δέκατα του δευτερολέπτου έως λεπτά, υψηλή αποδοτικότητα που αγγίζει το 95%, υψηλότερη αντοχή σε ρεύματα φόρτισης εκφόρτωσης, μεγάλη διάρκεια ζωής (έως και 106 κύκλους λειτουργίας) και μικρές θερμικές απώλειες. Σε συνδυασμό με την μεγάλη διάρκεια ζωής, οι συσκευές αυτές παρουσιάζουν και μικρή αλλοίωση με το χρόνο, γεγονός που καθιστά τους υπέρ πυκνωτές μία φιλική προς το περιβάλλον, υψηλής ασφάλειας και με απλές διαδικασίες φόρτισης εκφόρτωσης συσκευή. Από την άλλη πλευρά όμως, τα βασικά μειονεκτήματα είναι ότι παρουσιάζουν σημαντική αυτό-αποφόρτιση, χαμηλά μέγιστα τάσης (καθώς απαιτούνται η σύνδεσή τους σε σειρά προκειμένου να επιτύχουμε υψηλότερες τάσεις στην έξοδό τους), ταχεία πτώση τάσης και κίνδυνος δημιουργίας σπινθήρα, σε περίπτωση σφάλματος. Όλα τα παραπάνω χαρακτηριστικά μας οδηγούν στο συμπέρασμα ότι οι συσκευές αυτές είναι κατάλληλες για την κάλυψη αιχμών ισχύος, αποθήκευση ενέργειας και περιορισμό της διακύμανσης της τάσης. Κατά συνέπεια, οι υπερπυκνωτές είναι μία εξαιρετικά συμφέρουσα επιλογή για αποθήκες ενέργειας (Hsu, C., Lee, W., 1993).

2.2.1.4 Υπεραγώγιμα μαγνητικά συστήματα ενεργειακής αποθήκευσης (SMES)

Τα υπεραγώγιμα μαγνητικά συστήματα ενεργειακής αποθήκευσης (SMES) αποθηκεύουν ενέργεια με τη μορφή ενός μαγνητικού πεδίου. Εφαρμόζοντας ρεύμα σε ένα πηνίο, δημιουργείται ένα μαγνητικό πεδίο, αποθηκεύοντας με τον τρόπο αυτό μαγνητική ενέργεια (Εικόνα 4). Όταν αφαιρεθεί η πηγή του ηλεκτρικού ρεύματος, η ενέργεια απελευθερώνεται. Χρησιμοποιώντας υπεραγώγιμα καλώδια επιτρέπουμε στις συσκευές αυτές να επιτύχουν πολύ υψηλές αποδοτικότητας. Τα υπεραγώγιμα υλικά κατηγοριοποιούνται από την θερμοκρασία που απαιτείται για να έρθουν σε υπεραγωγιμότητα και διακρίνονται σε χαμηλής θερμοκρασίας και υψηλής θερμοκρασίας. Τα χαμηλής θερμοκρασίας υπεραγώγιμα υλικά, τα οποία απαιτούν υψηλό κόστους ρευστό ήλιο, είναι και αυτά που χρησιμοποιούνται στις περισσότερες SMES συσκευές. Στη προκειμένη φάση οι έρευνες εστιάζουν στην ανάπτυξη SMES συσκευών που χρησιμοποιούν υψηλής θερμοκρασίας υπεραγώγιμα

καλώδια, καθώς αυτές μπορούν να χρησιμοποιήσουν ρευστό άζωτο το οποίο κοστίζει αρκετά λιγότερο από το ρευστό ήλιο και κατά συνέπεια το συνολικό κόστος της συσκευής μειώνεται κατά πολύ (Ise, T., 2005).



Εικόνα 4 Σχηματική αναπαράσταση ενός υπεραγωγίου συστήματος αποθήκευσης ενέργειας

Τα βασικά πλεονεκτήματα των υπεραγωγίων μαγνητικών συσκευών αποθήκευσης είναι η υψηλή αποδοτικότητα τους καθώς και ο πολύ μικρός χρόνος απόκρισης που παρουσιάζουν. Επιπλέον, μπορούν να αποφορτιστούν πλήρως και παρουσιάζουν μεγάλη διάρκεια ζωής. Τα βασικά μειονεκτήματά τους, από την άλλη πλευρά, είναι το υψηλό κόστος εγκατάστασης και λειτουργίας εξαιτίας κυρίως των συστημάτων ψύξης που απαιτούν. Προς το παρόν, οι SMES συσκευές έχουν χρησιμοποιηθεί σε ταχείας απόκρισης και σχετικά μικρής χωρητικότητας εφαρμογές, κυρίως για τη βελτίωση της ποιότητας ισχύος ηλεκτρικών δικτύων καθώς και σε εφαρμογές σταθεροποίησης δικτύων (Sutanto, D., 2009). Ωστόσο, τα χαρακτηριστικά τους αυτά, τις καθιστούν κατάλληλες για σιδηροδρομικά δίκτυα, ιδιαίτερα για την περίπτωση στατικών συσκευών αποθήκευσης που είναι εγκατεστημένες στους σταθμούς (Ise, T., 2005).

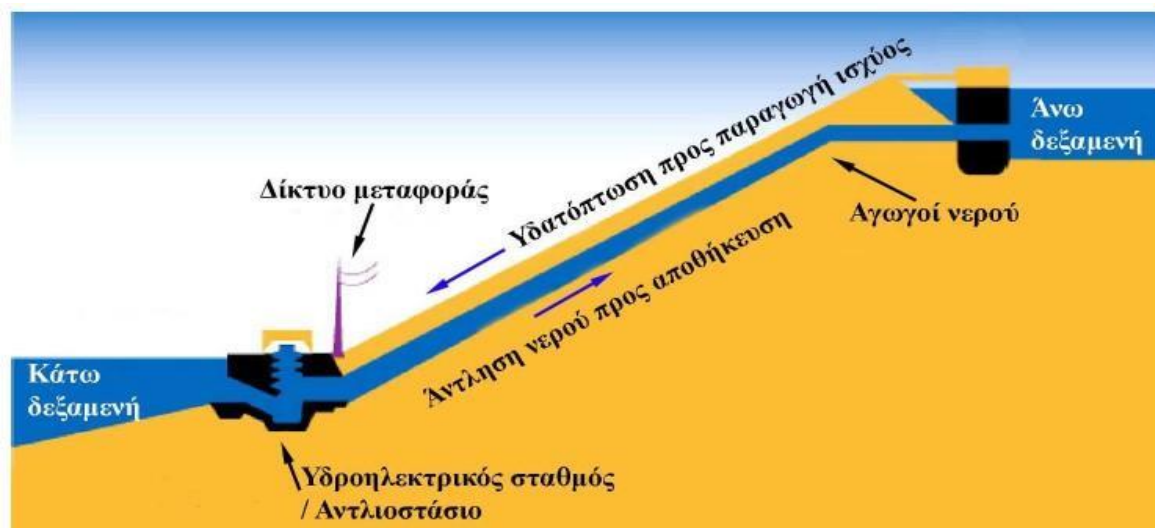
2.2.1.5 Συστήματα αντλησιοταμίευσης

Η πιο διαδεδομένη ιδέα για τη μμαζική αποθήκευση ενέργειας είναι η χρήση μμονάδων αντλησιοταμίευσης. Η γενική ιδέα της αντλησιοταμίευσης είναι η χρήση μιας δεξαμενής, η οποία έχει αποθηκευμένη μια ποσότητα νερού. Όταν ζητηθεί ισχύς το νερό μπορεί να πέσει σε μία χαμηλότερα τοποθετημένη (δεύτερη) δεξαμενή με τη βοήθεια υδροστροβίλου, ενώ όταν δεν υπάρχει πια ζήτηση ισχύος μπορεί με αντλίες να οδηγηθεί ξανά πίσω στην πρώτη (ψηλότερη) δεξαμενή (Connolly, 2010).

Ένα σύστημα αντλησιοταμίευσης αποτελείται από τα παρακάτω μέρη:

- Μια αντλία ή ένα σύστημα αντλιών.
- Έναν υδροστροβίλο ή ένα σύστημα υδροστροβίλων.
- Δύο δεξαμενές νερού, οι οποίες βρίσκονται σε ικανή υψομετρική διαφορά μεταξύ τους. Ένα σύνολο σωληνώσεων για την άντληση νερού από την κάτω δεξαμενή προς την άνω.

- Ένα σύνολο σωληνώσεων για την προσαγωγή νερού από την άνω δεξαμενή προς την κάτω μέσω του υδροστροβίλου για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.
- Μια ηλεκτρική μηχανή που λειτουργεί είτε ως κινητήρας είτε ως γεννήτρια σε κοινή άτρακτο με την αντλία και τον υδροστρόβιλο.

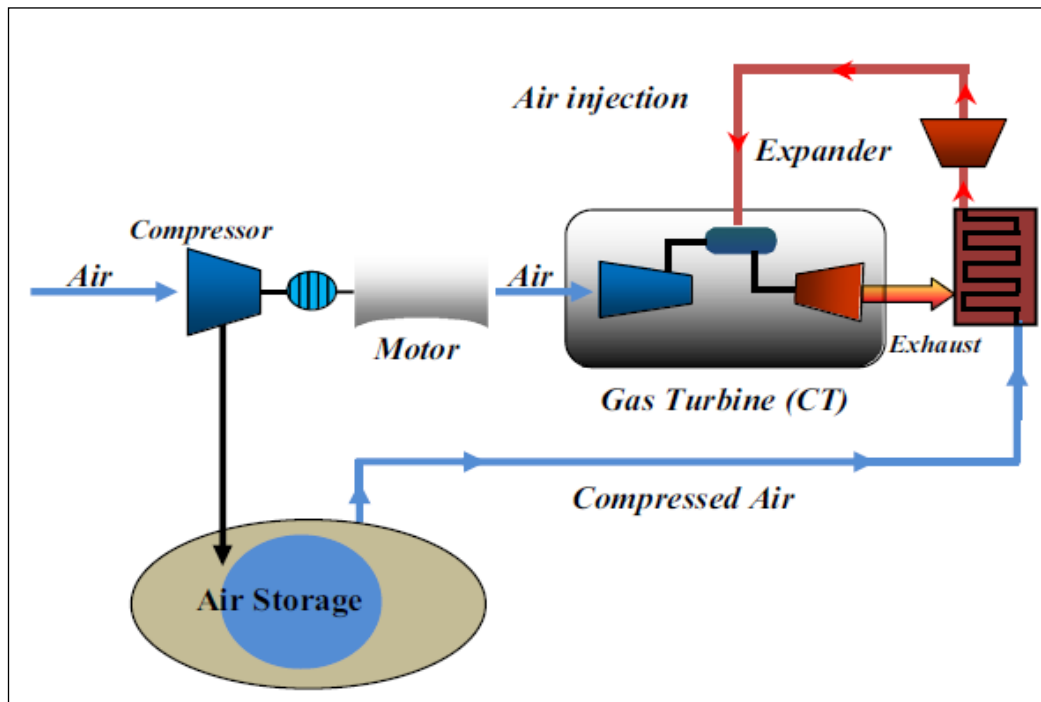


Εικόνα 5 Σύστημα αντλησιοταμίευσης

Η αντλησιοταμίευση μπορεί να δώσει υψηλή χωρητικότητα ενέργειας σε χαμηλό κόστος, παρόλα αυτά όμως δεν χρησιμοποιείται όσο θα ήταν αναμενόμενο. Ο λόγος είναι αφενός μεν η εξειδικευμένη περιοχή που χρειάζεται για να κατασκευαστεί η εγκατάσταση και αφετέρου δε ο χρόνος που χρειάζεται για να πραγματοποιηθεί η διαδικασία και να απελευθερωθεί η αποθηκευμένη ενέργεια, αφού αν η αντλία δεν λειτουργεί ήδη χρειάζεται χρόνος εκκίνησης. Για αυτό, ως επί το πλείστον χρησιμοποιείται σε εγκαταστάσεις ενέργειας μεγάλης κλίμακας (Connolly, 2010).

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

Ένας άλλος τρόπος αποθήκευσης περίσσειας παραχθείσας ενέργειας ονομάζεται CAES (Compressed Air Energy Storage), όπου αποτελεί και το σύστημα ενδιαφέροντος της παρούσας εργασίας και θα αναλυθεί εκτενώς στο επόμενο κεφάλαιο. Η αρχή λειτουργίας του συστήματος ενεργειακής αποθήκευσης συμπιεσμένου είναι απλή, κατά την οποία η επιπλέον ενέργεια χρησιμοποιείται για τη συμπίεση ατμοσφαιρικού αέρα σε υπόγειες σπηλαιώσεις σε πίεση 40-80 bar. Για να μετατραπεί σε ηλεκτρική ενέργεια και πάλι, ο αέρας αποσυμπιέζεται. Η μέθοδος έχει απόδοση έως και 70% και την ικανότητα παροχής ενέργειας της τάξης των 250-220 MWh. Εκτός αυτού, απαιτεί λίγο χρόνο για να ενσωματωθεί στο δίκτυο, ώντας ανταγωνιστική ως προς αυτή την παράμετρο με τη μέθοδο της αντλησιοταμίευσης.



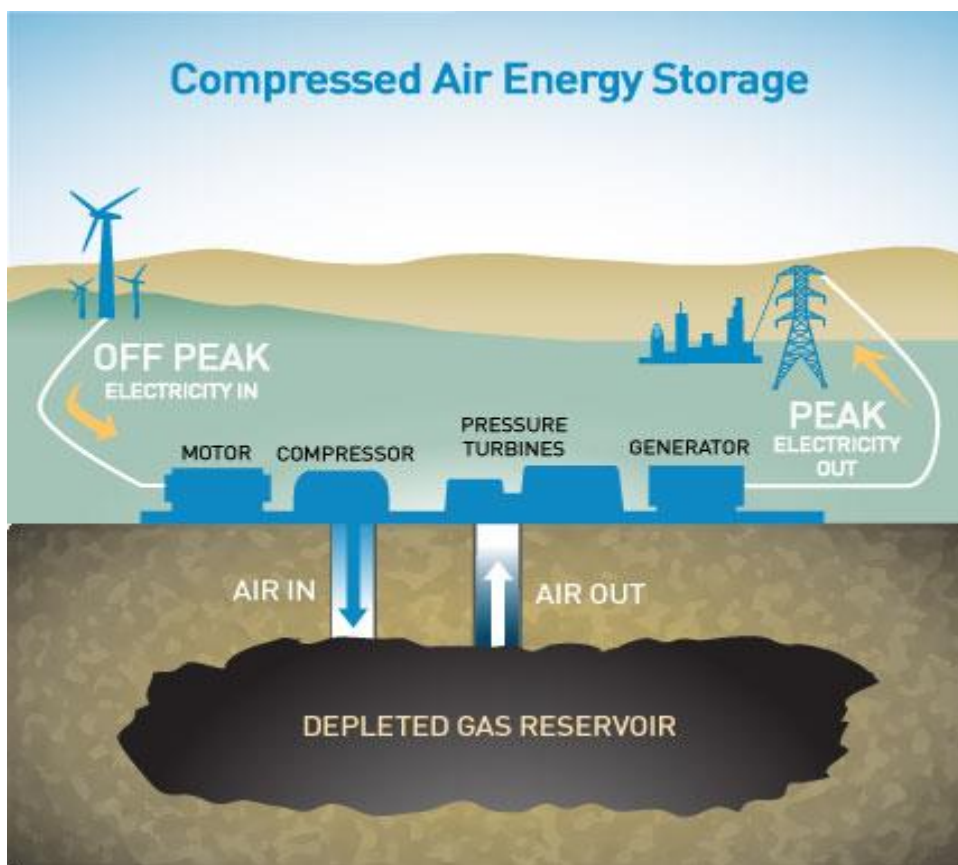
Εικόνα 6 Σύστημα CAES

Μέχρι τώρα, υπάρχουν μόνο τρεις τέτοιες μονάδες σε όλο τον κόσμο:

- Huntorf Γερμανία (1980), 290 MW X 2hrs
- Αλαμπάμα ΗΠΑ (1991), 110 MW X 26hrs
- Οχάιο ΗΠΑ (2008), 2.700 MW X 192hrs

Κεφάλαιο 3: Σύστημα ενεργειακής αποθήκευσης συμπιεσμένου αέρα (compressed air energy storage, CAES)

Τα συστήματα ενεργειακής αποθήκευσης συμπιεσμένου αέρα CAES (Compressed Air Energy Storage) βρίσκουν εφαρμογή σε μεγάλης κλίμακας αποθηκευτικά έργα. Καμία άλλη μέθοδος δεν έχει τη δυνατότητα αποθήκευσης τόσων μεγάλων ποσοτήτων ενέργειας και για μεγάλης διάρκειας χρονικές περιόδους (Connelly, 2010).. Η ισχύς ενός τέτοιου συστήματος ενεργειακής αποθήκευσης μπορεί να ξεκινά από 50 MW και αγγίζει τα 250 MW. Η φιλοσοφία λειτουργίας των συστημάτων ενεργειακής αποθήκευσης συμπιεσμένου αέρα είναι σχετικά απλή. Τα συστήματα CAES χρησιμοποιούν ενέργεια εκτός αιχμής για τη συμπίεση και την αποθήκευση ποσοτήτων αέρα σε μεγάλες πιέσεις και σε υπόγειο αεροστεγή ταμειυτήρα. Όταν θεωρηθεί απαραίτητο, για παράδειγμα σε ώρες αιχμής της ζήτησης, ποσότητες συμπιεσμένου αέρα αποδεσμεύονται από τον υπόγειο αεροστεγή ταμειυτήρα και εν συνεχεία θερμαίνονται και εκτονώνονται σε ένα στρόβιλο καύσης συνδεδεμένο με μια γεννήτρια, για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας (Tian and Zhao, 2013)



Εικόνα 7 Διάγραμμα συστήματος ενεργειακής αποθήκευσης συμπιεσμένου αέρα

Τα συστήματα αυτά παρουσιάζουν πλήθος πλεονεκτημάτων, καθιστώντας την τεχνολογία τους εξαιρετικά ανταγωνιστική για εφαρμογές σε μεγάλης κλίμακας αποθηκευτικά έργα. Η περίοδος αποθήκευσης μπορεί να είναι μεγάλης διάρκειας καθώς οι αντίστοιχες απώλειες δε θεωρούνται ιδιαίτερα σημαντικές. Μια μονάδα CAES μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την αποθήκευση ενέργειας για περισσότερο από ένα

έτος. Σημαντικό πλεονέκτημα ενός συστήματος CAES αποτελεί επίσης και η γρήγορη εκκίνηση ενώ στην περίπτωση που χρησιμοποιηθεί φυσικός ταμιευτήρας, τα οφέλη είναι πολλαπλά, καθώς το αρχικό κόστος εγκατάστασης παρουσιάζεται σημαντικά μειωμένο και η περιβαλλοντική υποβάθμιση ασήμαντη. Παράλληλα, η εκπομπή των αερίων θερμοκηπίων είναι ουσιαστικά χαμηλότερη συγκριτικά με τις κανονικές εγκαταστάσεις αερίου (Tian and Zhao, 2013)

Τα CAES διακρίνονται σε δύο κατηγορίες, τα συμβατικά και τα αδιαβατικά (AA-CAES). Μέχρι σήμερα έχουν εγκατασταθεί και λειτουργούν δύο συμβατικά CAES μεγάλου μεγέθους, ένα στο Neuen Huntorf της Γερμανίας και ένα στο McIntosh των Η.Π.Α.. Εντός του 2015 ενδεχομένως να προκύψουν οι πρώτες υλοποιήσεις αδιαβατικών CAES. Η διαφοροποίηση μεταξύ των δύο κατηγοριών έγκειται στο ότι στα συμβατικά η θερμότητα από την συμπίεση απορρίπτεται στο περιβάλλον και συμπληρώνεται κατά την εκτόνωση με την καύση κάποιου καυσίμου, ενώ στα αδιαβατικά η θερμότητα κατά την συμπίεση δεσμεύεται, αποθηκεύεται και ύστερα ανατροφοδοτείται κατά την εκτόνωση (Kousksou et al., 2014).

Κεφάλαιο 4: Μεθοδολογία έρευνας

4.1 Μεθοδολογία έρευνας

Η μεθοδολογία της έρευνας είναι ένας συστηματικός τρόπος που επιλέγεται για την επίλυση ενός προβλήματος. Είναι μια επιστήμη που βοηθά τον ερευνητή να διεξάγει την ερευνά του με συστηματικό τρόπο ακολουθώντας συγκεκριμένη στρατηγική και τεχνικές. Ουσιαστικά η ερευνητική μεθοδολογία περιλαμβάνει όλες εκείνες τις διαδικασίες με τις οποίες ο ερευνητής περιγράφει, εξηγεί και προβλέπει ένα φαινόμενο που αφορά στο ερευνητικό του πεδίο (Brown, Carducci & Kubby, 2014).

Επίσης, η ερευνητική μεθοδολογία ορίζεται ως η μελέτη των μεθόδων με τις οποίες αποκτάται η επιστημονική γνώση. Επιλέγοντας την ερευνητική μεθοδολογία ένας ερευνητής καθορίζει τη γενική ερευνητική στρατηγική, που περιγράφει τον τρόπο με τον οποίο διεξάγει την έρευνα και, μεταξύ άλλων, προσδιορίζει τις μεθόδους που θα χρησιμοποιηθούν σε αυτήν. Αυτές οι μέθοδοι, που περιγράφονται στη μεθοδολογία, καθορίζουν τα μέσα ή τους τρόπους συλλογής δεδομένων ή, μερικές φορές, τον τρόπο υπολογισμού ενός συγκεκριμένου αποτελέσματος. Η μεθοδολογία δεν καθορίζει συγκεκριμένες μεθόδους, παρόλο που δίδεται μεγάλη προσοχή στη φύση και τα είδη των διαδικασιών που πρέπει να ακολουθούνται σε μια συγκεκριμένη διαδικασία ή στην επίτευξη ενός στόχου (Brown, Carducci & Kubby, 2014).

Στο παρόν κεφάλαιο της διπλωματικής περιγράφεται η ερευνητική μεθοδολογία που ακολουθήθηκε για την απάντηση των ερευνητικών ερωτημάτων. Πιο συγκεκριμένα, αναλύεται το είδος της έρευνας, τα εργαλεία έρευνας, το δείγμα. Η παρούσα ερευνητική μεθοδολογία σχεδιάστηκε με βάση τα ερευνητικά ερωτήματα και τον ερευνητικό σκοπό της παρούσας διπλωματικής κατόπιν εξέτασης όλων των διαθέσιμων ερευνητικών μεθόδων.

4.2 Είδος της έρευνας

Η πιο σημαντική μεθοδολογική επιλογή που κάνουν οι ερευνητές βασίζεται στη διάκριση μεταξύ ποιοτικών και ποσοτικών δεδομένων. Τα ποιοτικά δεδομένα παίρνουν τη μορφή περιγραφών που βασίζονται στη γλώσσα ή τις εικόνες, ενώ τα ποσοτικά δεδομένα παίρνουν τη μορφή αριθμών (Davis & Craven, 2016).

Τα ποιοτικά στοιχεία είναι πλουσιότερα και γενικά σχετίζονται με μια υποκειμενική και ερμηνευτική προοπτική. Ωστόσο, παρόλο που αυτό συμβαίνει γενικά, δεν συμβαίνει πάντοτε. Η ποιοτική έρευνα υποστηρίζει μια εις βάθος κατανόηση της εξεταζόμενης κατάστασης. Τα ποσοτικά δεδομένα, από την άλλη πλευρά, μπορεί να είναι ευκολότερα στη συλλογή στην ανάλυση και βασίζονται σε ένα μεγάλο δείγμα συμμετεχόντων. Οι ποσοτικές μέθοδοι βασίζονται σε δεδομένα που μπορούν να μετρηθούν αντικειμενικά με αριθμούς. Τα δεδομένα αναλύονται μέσω αριθμητικών συγκρίσεων και στατιστικής ανάλυσης. Για το λόγο αυτό φαίνεται πιο «επιστημονική» και μπορεί να απευθυνθεί σε άτομα που αναζητούν σαφείς απαντήσεις σε συγκεκριμένες αιτιώδεις ερωτήσεις. Η ποσοτική ανάλυση είναι συχνά ταχύτερη ως προς διεξαγωγή καθώς περιλαμβάνει τη χρήση λογισμικού. Η επιλογή της μεθοδολογίας που χρησιμοποιεί κάθε ερευνητής εξαρτάται από τη διατύπωση των ερευνητικών ερωτημάτων.

Ο σχεδιασμός της παρούσας εργασίας στηρίχτηκε στην εφαρμογή ποιοτικών και ποσοτικών μεθόδων, καθότι όπως αναφέρουν οι Tashakkori και Teddlie (2002), στις επιστήμες δεν αρκεί η εφαρμογή μόνο ποιοτικών ή ποσοτικών μεθόδων, αλλά

είναι αναγκαία η χρήση σύνθετων ερευνητικών σχεδιασμών, για να απαντηθούν τα ερευνητικά ερωτήματα. Η ανάγκη αυτή για πιο επαρκείς και αποτελεσματικές στρατηγικές έχει οδηγήσει στην ανάπτυξη συνδυαστικών μεθοδολογικών προσεγγίσεων.

Εισαγωγή

Οι συγγραφείς διαμορφώνουν το σχέδιο της ερευνητικής διαδικασίας με σκοπό να παρουσιάσουν και να δικαιολογήσουν τις ερευνητικές διαδικασίες, όπως επίσης να «ικανοποιήσουν» τις απαιτήσεις της έρευνας που έχουν αναλάβει

Ερευνητική διαδικασία

Η αναγνώριση της καταλληλότερου τύπου μεθοδολογίας, ο τρόπος προσέγγισης, οι τεχνικές και τα εργαλεία που έχουν χρησιμοποιηθεί είναι βασικά για εμάς, ώστε όσο μπορούμε να καταλήξουμε σε αξιόπιστα και ακριβή συμπεράσματα. Διαθέσιμα δεδομένα από τους Σκιτιδη και Κοίλλιανη, (2006) θα αποτελέσουν την βάση για να καθορίσουμε την μεθοδολογία της παρούσας πτυχιακής.

Όσον αφορά την συγκεκριμένη έρευνα, θα την χαρακτηρίσαμε ως βασική. Αυτό είναι άρρηκτα συνδεδεμένο με τον απώτερο σκοπό μας, ο οποίος είναι να καταλήξουμε σε συμπεράσματα τα οποία θα μειώσουν την υπάρχουσα άγνοια, στο πως τα CAES και η θερμική αποθήκευση μπορούν να συνεργαστούν για να καλύψουν ηλεκτρικές και θερμικές ανάγκες για ένα συγκεκριμένο μικρό, απομονωμένο νησιωτικό οικισμό. Ως αποτέλεσμα, στο τέλος της πτυχιακής, νέες πληροφορίες θα είναι διαθέσιμες, με σκοπό να εξετάσουμε την βιωσιμότητα της αντικατάστασης των ήδη εγκατεστημένων μονάδων που τροφοδοτούνται από πετρέλαιο, με νέο που μοιάζει με αυτό που προτείνουμε εμείς.

Σύμφωνα με τους Σκιτιδη και Κοίλλιανη (2006), η έρευνα η οποία στηρίζεται σε παρατηρήσεις ή πειράματα, χαρακτηρίζεται ως εμπειρική. Για αυτό το λόγο, μιας και η έρευνα θα βασιστεί σε υπάρχουσες παρατηρήσεις και πειράματά μας, θα την χαρακτηρίσαμε ως εμπειρική.

Ο Σκιτιδης και ο Κοίλλιανης (2006), αναφέρουν ότι η εμπειρική έρευνα διαχωρίζεται σε παραγωγική και επαγωγική έρευνα. Το παραπάνω αναφέρεται ως μια προσπάθεια να ανακαλύψουμε, ότι το μέγεθος μια γενικής θεωρίας μπορεί να εφαρμοστεί σε μια ειδική περίπτωση. Συνεπώς, στην δική μας περίπτωση η γενική θεωρία είναι ότι η αποθήκευση ενέργειας και τα υβριδικά συστήματα μπορούν να αποτελέσουν μια αποτελεσματική λύση στη συμπεριφορά των RES και επομένως να προωθήσουν την ενσωμάτωση της «καθαρής» ενέργειας στο σύστημα μας. Η γενική θεωρία θα εφαρμοστεί στον συγκεκριμένο μικρό, απομονωμένο νησιωτικό οικισμό με συγκεκριμένα χαρακτηριστικά (ηλεκτρικά και θερμικά φορτία, αιολικό δυναμικό, κτλ). Εν τέλει, θα παρουσιαστούν συγκεκριμένα συμπεράσματα ώστε να επιβεβαιώσουμε (ή απορρίψουμε) το επιχείρημα ότι τα CAES μπορούν να διαχειριστούν την έλλειψη του αέρα και να ισοσταθμίσουν την ενεργειακή ζήτηση με την προσφορά

Η τεχνική που θα ακολουθηθεί στην έρευνα μας θα είναι μελέτη περίπτωσης (case study). Η παραπάνω θεωρία ότι τα συστήματα αποθήκευσης ενέργειας αποτελούν ένα χρήσιμο εργαλείο για να εξαλείψουμε την ανισορροπία της ενεργειακής ζήτησης και προσφοράς από συστήματα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, θα αναλυθεί λεπτομερώς για συγκεκριμένο μικρό νησιωτικό οικισμό. Αυτό θα έχει ως αποτέλεσμα, χρήσιμες πληροφορίες που θα μας δώσουν την δυνατότητα να

επιβεβαιώσουμε ή όχι την προαναφερθείσα πρόταση. Οι παρακάτω παράμετροι θα ερευνηθούν λεπτομερώς:

- Το αιολικό δυναμικό
- Οι δυνατότητες αποθήκευσης (τόσο θερμικές και πεπιεσμένου αέρα)
- Συνθήκες λειτουργίας (Πιέσεις, Θερμοκρασίες, κτλ)
- Η ασφάλεια της λειτουργίας του συστήματος
- Η διαδικασία φόρτισης και αποφόρτισης του CAES
- Η ζήτηση ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας

Καταλήγοντας ,η μελέτη περίπτωσης (case study) θεωρείται υποδειγματική ,μιας και ο σκοπός της είναι να επιβεβαιώσουμε ή όχι ,αν η προαναφερθείσα θεωρία μπορεί να εφαρμοστεί σε συγκεκριμένες περιπτώσεις

Το βασικό εργαλείο για να επιτευχθεί ο στόχος είναι η μοντελοποίηση και η προσομοίωση. Η προσομοίωση του μοντέλου δίνει την δυνατότητα στους μηχανικούς να αποφύγουν την κατασκευή διάφορων πρότυπων κτιρίων για να αναλύσουν σχέδια για υπάρχουσα ή νέα μέρη. Οπότε πριν κατασκευάσουν φυσικά πρότυπα ,μπορούν να μελετήσουν όσα ψηφιακά πρότυπα επιθυμούν.

Καταλήγοντας ,είναι σημαντικό να αναφέρουμε ότι όλη η έρευνα ,έχει ως βασικό στόχο να μας δώσει πληροφορίες ότι οι μονάδες CAES ,μπορούν να συμβάλουν στην μεγάλη ενσωμάτωση της αιολικής ενέργειας ,ειδικά σε περιοχές με μεγάλο αιολικό δυναμικό ,όπως δηλαδή συμβαίνει σε πολλά Ελληνικά νησιά .

Περίληψη

Στο τέταρτο κεφάλαιο οι συγγραφείς θα παρουσιάσουν το ερευνητικό πλάνο για την συγκεκριμένη μελέτη. Για την ακρίβεια, την αλληλουχία των ερευνητικών βημάτων όπως επίσης και τις απαντήσεις στα ερωτήματα που έχουν προκύψει.

Κεφάλαιο 5: Ανάλυση και αποτελέσματα

5.1 Εισαγωγή

Στο παρών κεφάλαιο , αποτελέσματα και ευρήματα από την παρούσα έρευνα θα αναλυθούν λεπτομερώς. Πιο συγκεκριμένα ,η προσομοίωση του συστήματος CAES ,μέσω ενός ανεπτυγμένου αλγόριθμου, μας επιτρέπει να επεξεργαστούμε επιτυχώς ενεργειακές λύσεις που είναι σχεδιασμένες να ασχοληθούν με την απορριπτόμενη αιολική ενέργεια που συναντάμε σε πολλές περιοχές

5.2 Προτεινόμενη ενεργειακή λύση

Πριν συνεχίσουμε στην περιγραφή της προτεινόμενης ενεργειακής λύσης ,είναι απαραίτητη μια σύντομη παρουσίαση της μεθοδολογίας και έτσι παρουσιάζεται παρακάτω:

-Παραμετρική ανάλυση βασισμένη στα κριτήρια της ενεργειακής αυτονομίας:
Βασικές παράμετροι (Αιολικό δυναμικό, Χωρητικότητα αποθήκευσης)

-Δεδομένα: Ωριαία απεικόνιση ταχύτητας ανέμου-θερμοκρασίας ,ηλεκτρική και θερμική ζήτηση

-Το παρών μοντέλο θα μελετηθεί για την χρονική διάρκεια ενός χρόνου

-Θερμικά και ηλεκτρικά φορτία πρέπει να καλύπτονται για κάθε μια ώρα του χρόνου για όλη τη διάρκεια της προσομοίωσής μας

-Ένας αλγόριθμος μεγέθους έχει αναπτυχθεί, με σκοπό να ερευνήσει τον ρόλο του CAES σαν βασικός τρόπος ώστε να καλυφθούν οι θερμικές και ηλεκτρικές ανάγκες μας

Παίρνοντας υπόψη την κατά τα άλλα απορριπτόμενη θερμική ενέργεια που προκύπτει από την διαδικασία της συμπίεσης του αέρα κατά τη διάρκεια της συμβατικής λειτουργίας του CAES, ο βασικός στόχος των συγγραφέων είναι να σχεδιάσουν ένα κατάλληλο σύστημα που θα μπορεί να εκμεταλλευτεί την θερμότητα που προκύπτει από τον πεπιεσμένο αέρα ,με σκοπό να ικανοποιήσει τις θερμικές μας ανάγκες. Στο πλαίσιο αυτό ,η βασική διαφορά μεταξύ του προτεινόμενου και του τυπικά διαμορφωμένου συστήματος ΑΠΕ θα είναι η προσθήκη ενός ολοκληρωμένου θερμικού ενεργειακού συστήματος. Πιο συγκεκριμένα, μέσω νερού θα γίνεται η μεταφορά θερμότητας για την επιχειρησιακή λειτουργία που θα παρουσιαστεί λεπτομερώς παρακάτω (Εικόνα 8) .

-Ένα ή περισσότερα αιολικά πάρκα με συνολική ενέργεια " N_w " ,για την παραγωγή της αρχικής ενέργειας για το σύστημά μας .

-Ένας συμπιεστής " N_{cr} " που τροφοδοτείται από ένα μοτέρ CAES " N_m " χωρητικότητας ικανής για συμπίεση ατμοσφαιρικού αέρα σε δεξαμενή αποθήκευσης για να καλύψει τις ανάγκες ζήτησης .

-Ένα σύστημα μεταφοράς θερμότητας βασισμένο στη θάλασσα ,σχεδιασμένο να απορροφήσει την θερμική ενέργεια του πεπιεσμένου αέρα και να μειώσει την υψηλή θερμοκρασία " T_2 " σε κατάλληλη για το σύστημα μας χαμηλότερη θερμοκρασία " T_3 ".

-Ένας αεροθύλακας ή μια δεξαμενή που χαρακτηρίζονται από την μέγιστη χωρητικότητα αποθήκευσης " V_{cav} " και το μέγιστο βάθος απόρριψης " DOD_L ".

-Ένα άκρως μονωμένο θερμικό ενεργειακό σύστημα αποθήκευσης με χωρητικότητα " V_{tank} " που μας επιτρέπει να εκμεταλλευτούμε την θερμότητα που περιέχεται στο νερό υψηλής θερμοκρασίας " $T_{tank-r2}$ " ,που έχει ως αποτέλεσμα την

ανταλλαγή θερμότητας μεταξύ του πεπιεσμένου αέρα και του νερού όπως περιγράψαμε στο τρίτο βήμα.

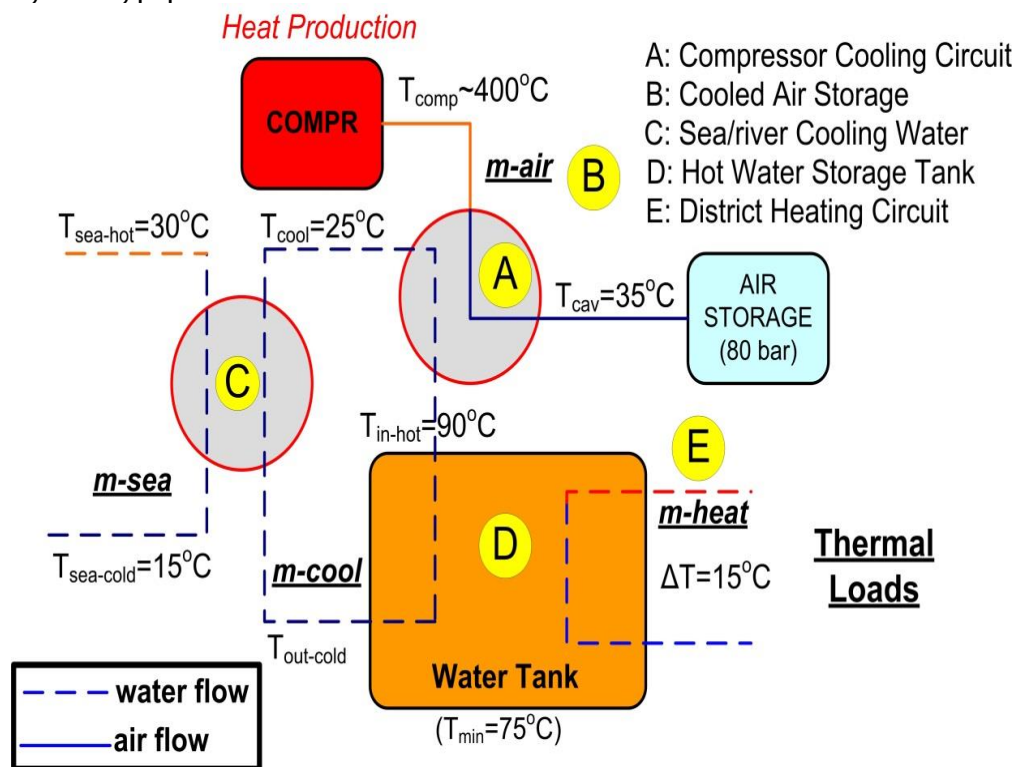
-Ένα σύστημα με σωληνώσεις που συνδέει την απόρριψη θερμότητας με το σύστημα αποθήκευσης θερμότητας, ώστε να καλυφθούν οι θερμικές ανάγκες μας (ζεστό νερό, θέρμανση), όποτε χρειάζεται.

-Τέλος για αυξήσουμε την διαφορά θερμοκρασίας ΔT κατά τη διάρκεια της συμπίεσης αέρα-μεταφορά θερμότητας μέσω νερού και να διατηρήσουμε την ζήτηση του νερού σε φυσιολογικά επίπεδα, το νερό που εξέρχεται από την δεξαμενή ψύχεται μέσω έμμεσης επαφής με τη θάλασσα ώστε να φτάσει στην επιθυμητή θερμοκρασία " T_{c-cool} ".

-Μετά τον θάλαμο καύσης, η απαιτούμενη ποσότητα πεπιεσμένου αέρα και φυσικού αερίου ανακατεύονται για την παραγωγή αερίων που θα λειτουργήσουν τον αεριοστρόβιλο κάτω από την μέγιστη επιτρεπόμενη θερμοκρασία " T_{cc} ".

-Μία δεξαμενή φυσικού αερίου, χρησιμοποιείται για την αποθήκευση καυσίμου το οποίο καθορίζεται από την αντίστοιχη θερμική αξία (CV) " H_u ".

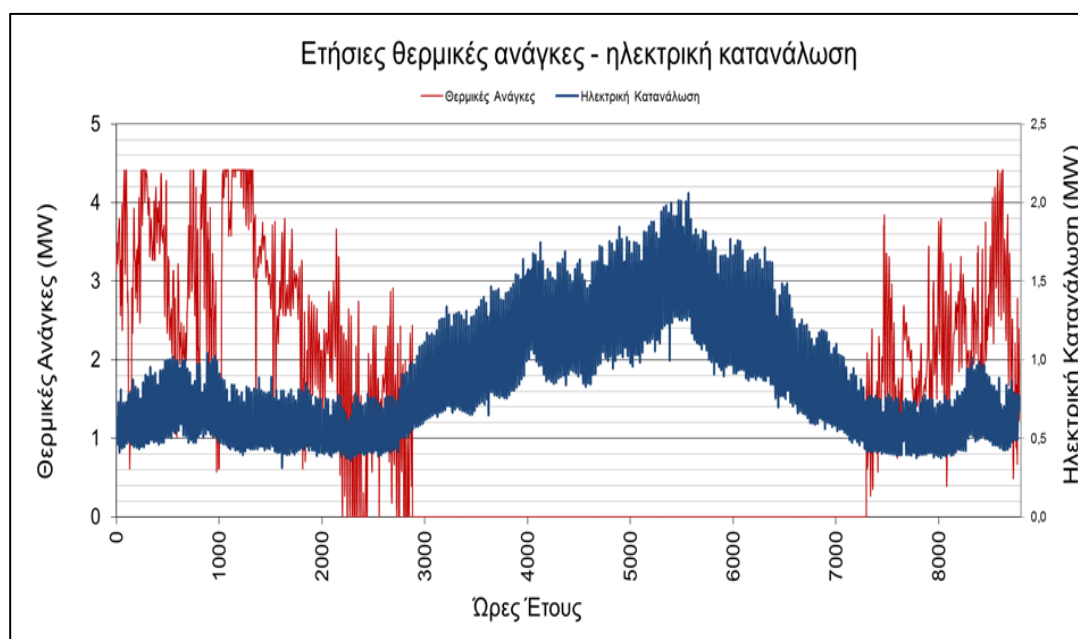
-Ένας αεριοστρόβιλος ισχύος " N_{gt-f} ", που καθορίζεται αφού αναλογιστούμε το μέγιστο εμφανιζόμενο ηλεκτρικό έλλειμμα που είναι συνδεδεμένο με μία ηλεκτρογεννήτρια η οποία είναι υπεύθυνη για την παράδοση αυτής της ηλεκτρικής ενέργειας όταν ζητηθεί.



Εικόνα 8 : Περιγραφή συστήματος

Σε αυτό το σημείο είναι σημαντικό να δώσουμε πληροφορίες για την περιοχή και βασικές υποθέσεις που έχουμε λάβει υπόψη μας:

- Μελέτη περίπτωσης : Μικρός νησιωτικός οικισμός
- Συμπιεστής : Ισοδύναμη ονομαστική ισχύς για το μέγιστο πλεόνασμα αιολικής ενέργειας
- Θερμοκρασία δεξαμενής νερού: Αν πέσει κάτω από 75°C , καταγράφεται μια ώρα απόρριψης
- Συνολικό θερμικό φορτίο : 4.88 GWh
- Συνολικό ηλεκτρικό φορτίο : 7.73 GWh
- Ισχύς αιολικού πάρκου: Από 2.5-20 MW
- Αιολικό δυναμικό: 7.09 m/sec
- Θερμοκρασία περιβάλλοντος : ελάχιστη 0°C , μέγιστη 38°C , μέση 15°C
- Συντελεστής απώλειας κτιρίων: 440 W/K, Εναλλαγές αέρα ανά ώρα = 0.5



Διάγραμμα 5.1 :Ετήσια θερμική και ηλεκτρική ζήτηση για την περιοχή που ερευνάμε

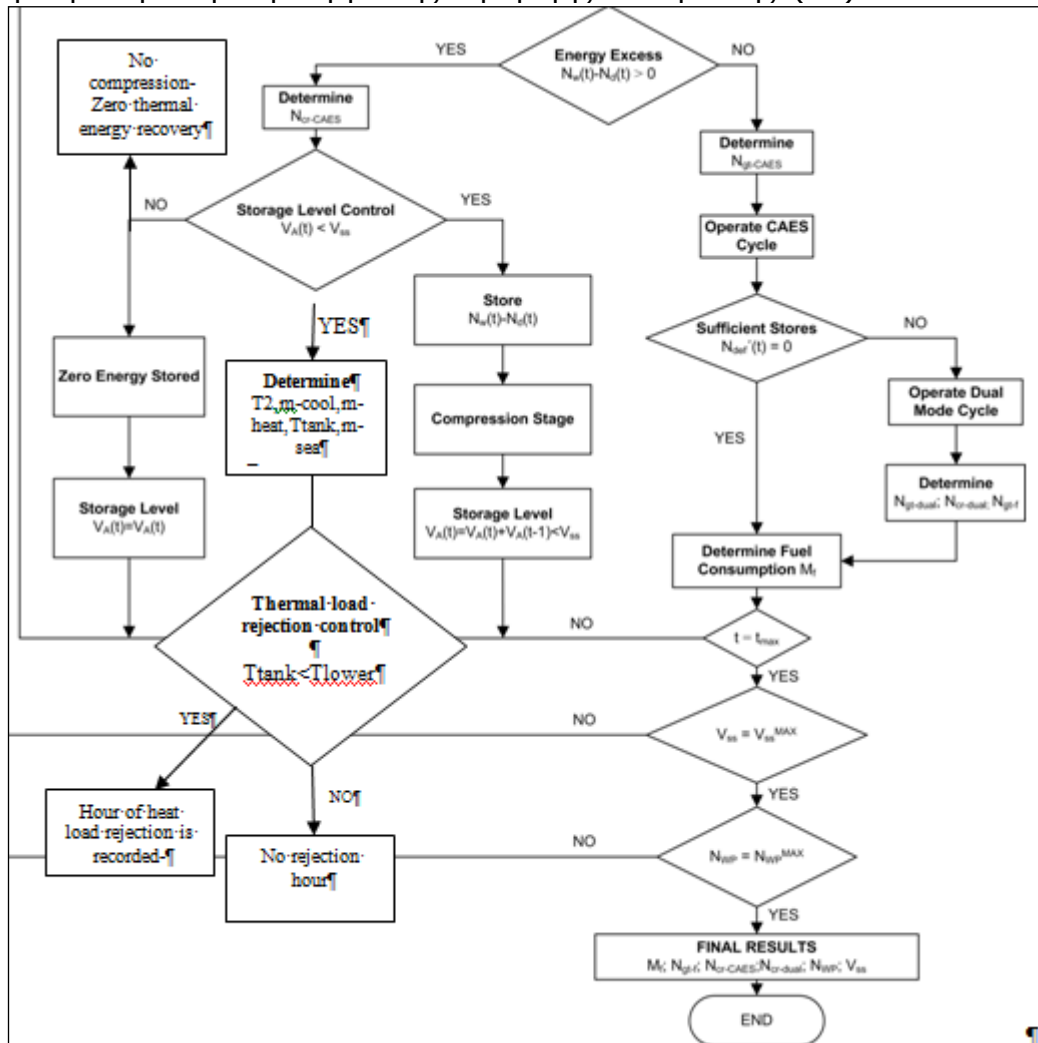
5.3 Ανάπτυξη αλγορίθμου

Οι κατευθυντήριες παράμετροι του συστήματος που χρησιμοποιούνται κατά τη διάρκεια της διαδικασίας, είναι η βαθμονομημένη ισχύς του αιολικού πάρκου " N_w " που είναι υπεύθυνη για το αντίστοιχο ενεργειακό πλεόνασμα, που καθορίζει την ονομαστική ισχύ του συμπιεστή και αυξάνει την διαθέσιμη θερμική ενέργεια που προκύπτει από το στάδιο της συμπίεσης του αέρα.

Σαν αποτέλεσμα, η ποσότητα της διαθέσιμης θερμικής ενέργειας είναι άρρηκτα εξαρτώμενη από τον αεροθύλακα, όπου όταν ο αεροθύλακας είναι στην μέγιστη τιμή του, τότε δεν υπάρχει συμπίεση, οπότε έχουμε σαν αποτέλεσμα παραγωγή θερμικής ενέργειας.

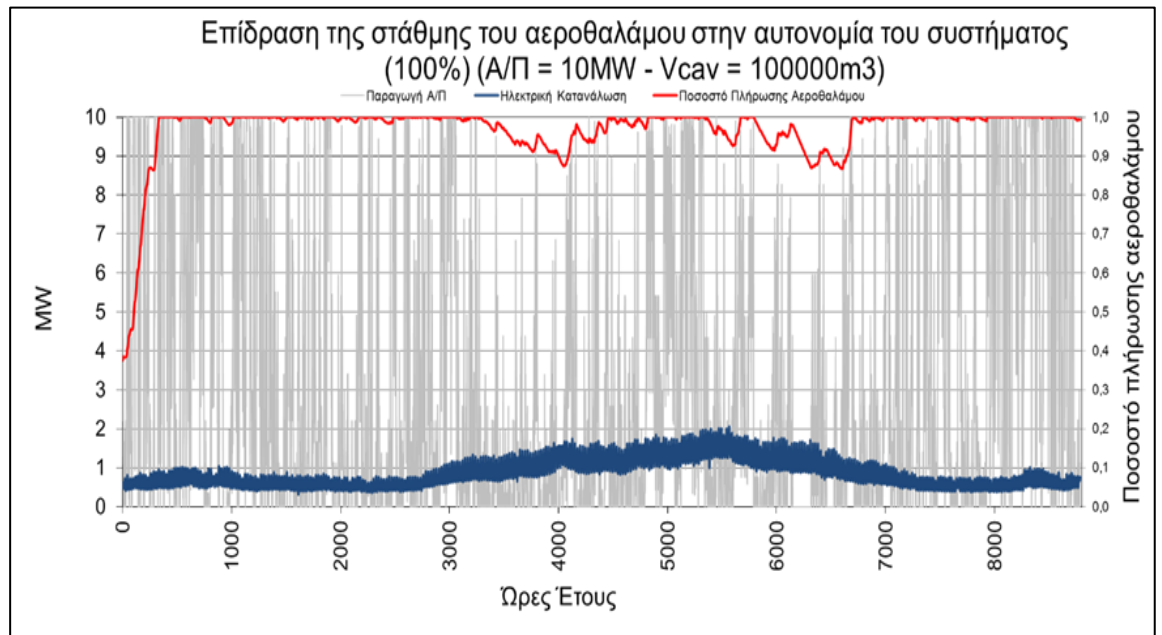
Συνεπώς, λόγω της ιδιομορφίας του συστήματος και της υψηλής συνδεσιμότητας ανάμεσα στις παραμέτρους, ένας αλγόριθμος που θα ονομαστεί

“CAES-Thermal” ,έχει δημιουργηθεί ,ώστε να γίνει η απαραίτητη παραμετρική ανάλυση σε μια ωριαία βάση ενεργειακής παραγωγής-αποθήκευσης. (5.3)

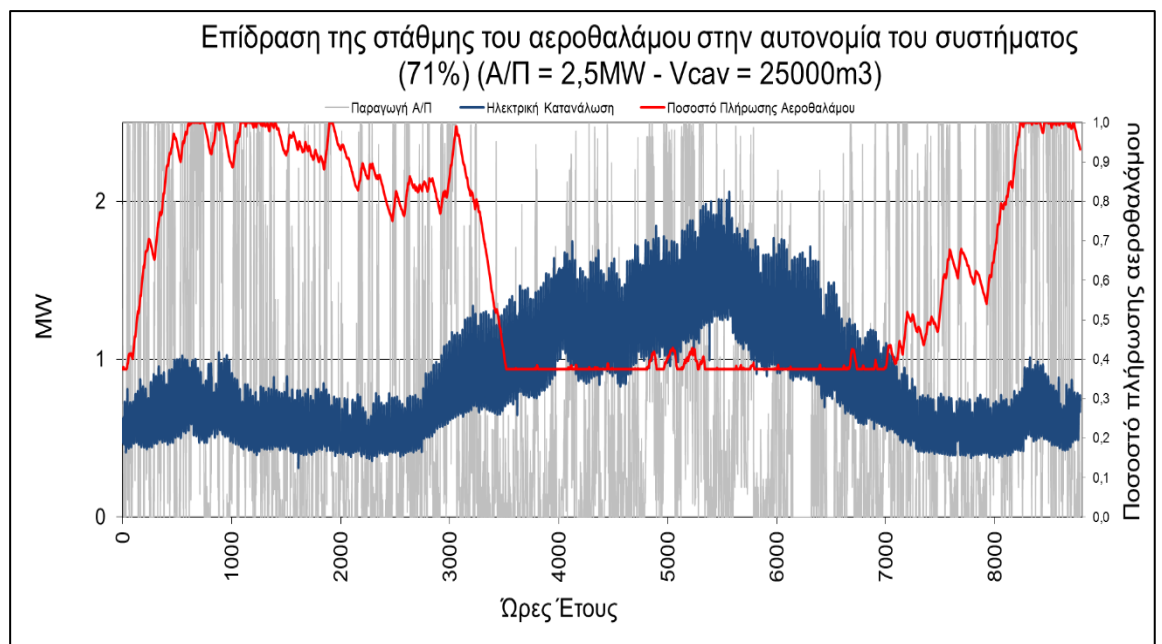


Διάγραμμα 5.2 : Ο αλγόριθμος CAES-Thermal

Για να έχουμε μια πιο ξεκάθαρη οπτική για το πώς λειτουργεί το σύστημα μας ώστε να καλύψουμε τις ηλεκτρικές ανάγκες μας ,απαιτούνται τα ακόλουθα στοιχεία . Όπως φαίνεται η μέγιστη χωρητικότητα του αεροθύλακα “ V_{max} ” φαίνεται να είναι μια σημαντική παράμετρος, ανάλογη με τα επίπεδα αυτονομίας. Πιο απλά ,όσο υψηλότερη η χωρητικότητα τόσο μεγαλύτερη η ικανοποίηση ηλεκτρικού φορτίου ,υπό διαρκή αιολική ενέργεια. Σχηματικώς ,αυτό μπορεί να εξηγηθεί ότι ο αεροθάλαμος όσον αφορά την περίπτωση να έχει 100% αυτονομία ,μεταφράζεται ότι το σύστημα απορροφά περισσότερη απορριπτόμενη αιολική ενέργεια. Από την άλλη ,λόγω περιορισμένου μεγέθους ,σε μια περίπτωση 71% αυτονομίας ,το σύστημα δεν μπορεί να απορροφήσει την διαθέσιμη αιολική ενέργεια οπότε έχουμε χαμηλότερη ικανοποίηση .(Διαγράμματα 5.3 και 5.4)

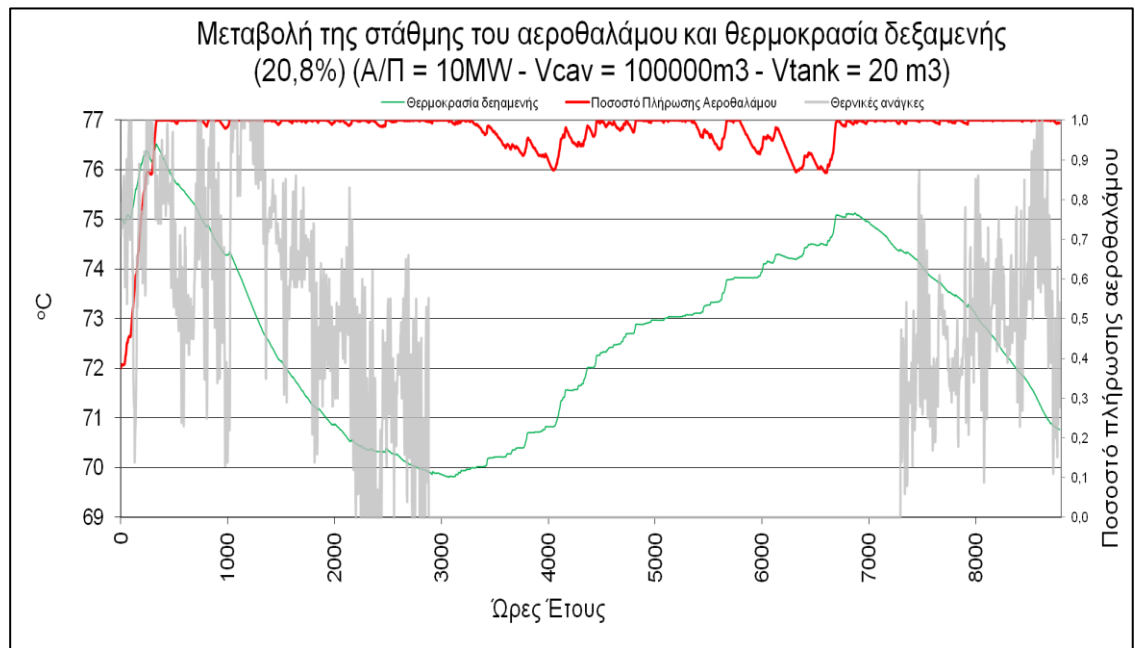


Διάγραμμα 5.3 : Πλήρης ικανοποίηση ηλεκτρικού φορτίου ,100% αυτονομία

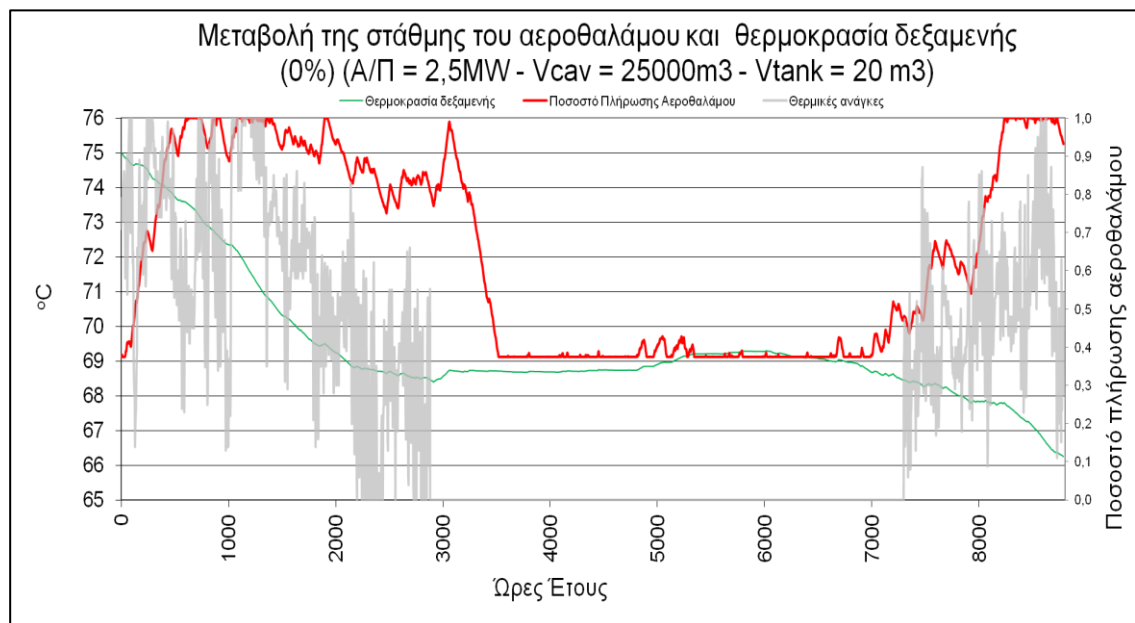


Διάγραμμα 5.4 : Μερική ικανοποίηση ηλεκτρικού φορτίου , 71% αυτονομία

Όσον αφορά την ικανοποίηση θερμικού φορτίου ,η συμπεριφορά του συστήματος αποτυπώνεται στα διαγράμματα 5.5 και 5.6 όπου παρατηρούμε την σχέση μεταξύ της ηλεκτρικής ενέργειας και της θερμικής . Για να είμαστε πιο συγκεκριμένοι στο διάγραμμα 5.5 , η μονάδα του CAES φτάνει στο 20.8% όσον αφορά τις θερμικές απαιτήσεις ,ενώ στο διάγραμμα 5.6 έχουμε μηδενική θερμική κάλυψη ,έχοντας κρατήσει σταθερό μόνο το V_{tank} και έχοντας μειώσει την ισχύ από 10MW σε 2.5MW και τον όγκο του αεροθαλάμου από 100000 m^3 σε 25000 m^3 .



Διάγραμμα 5.5 : Ικανοποίηση θερμικού φορτίου ,20.8% αυτονομία



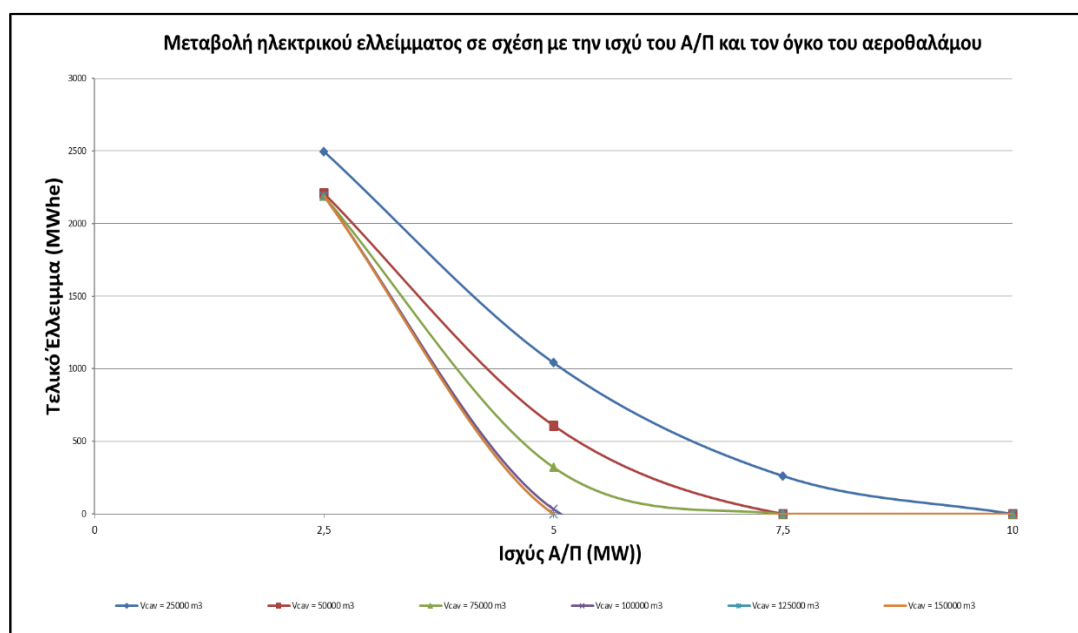
Διάγραμμα 5.6 : Μηδενική ικανοποίηση θερμικού φορτίου

5.4 Παρουσίαση αποτελεσμάτων που σχετίζονται με την ηλεκτρική ενέργεια

Τα αποτελέσματα που θα παρουσιάσουμε σε αυτό το κεφάλαιο έχουν σκοπό να μας δείξουν ,πως επηρεάζουν το σύστημα οι βασικές παράμετροι όπως :

- Ο αριθμός των κτιρίων που μελετάμε (από 500-1500 κτίρια)
- Η ονομαστική ισχύς της αιολικής ενέργειας "Nw " (MW) (από 2.5-20 MW)
- Ο όγκος του αεροθαλάμου "V_{cav}" (m³) (από 25000-150000 m³)
- Ο όγκος της δεξαμενής νερού "V_{tank}"(m³) (από 10-40 m³)

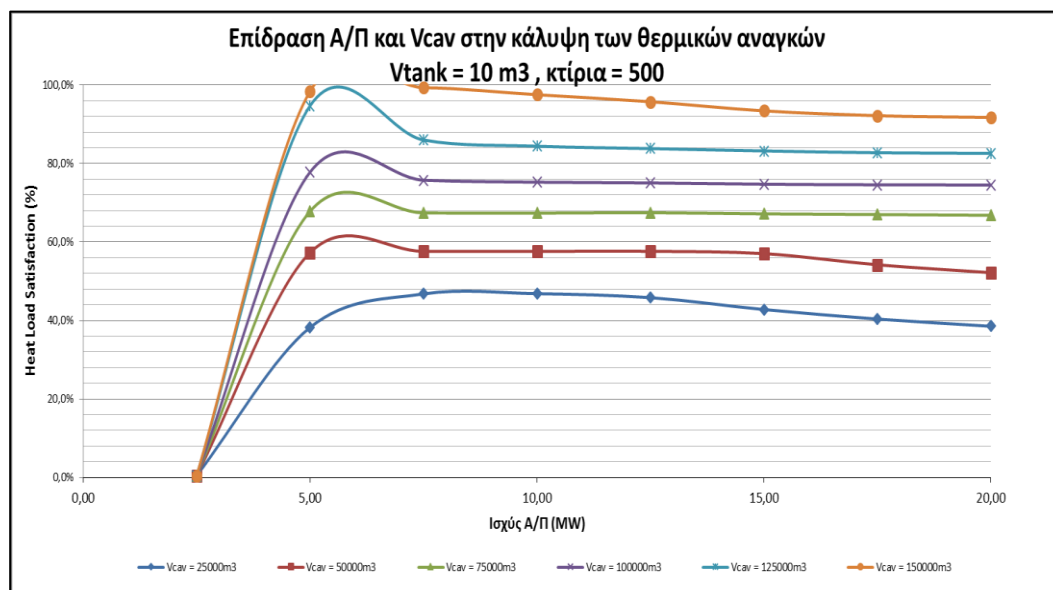
Με βάση τα παραπάνω ,στο διάγραμμα 5.7 βλέπουμε τον αντίκτυπο που έχει η αιολική ενέργεια και ο αεροθάλαμος στο τελικό ηλεκτρικό έλλειμμα. Όπως καταλαβαίνουμε ,αυξάνοντας και την ισχύ του αιολικού πάρκου και το όγκο του αεροθαλάμου ,επιτυγχάνουμε λιγότερες ώρες απόρριψης .



Διάγραμμα 5.7 : Μεταβολή ηλεκτρικού ελλείμματος σε σχέση με την ισχύ του Α/Π και τον όγκο του αεροθαλάμου

5.5 Παρουσίαση αποτελεσμάτων που σχετίζονται με την θερμική ενέργεια

Όσον αφορά το θερμικό έλλειμμα ,παρατηρούμε σημαντικές διαφορές σε σχέση με το ηλεκτρικό. Αυτό συμβαίνει γιατί στο ηλεκτρικό, τα κτίρια και η δεξαμενή νερού "V_{tank}" δεν επηρεάζουν τα αποτελέσματά μας . Αντιθέτως στα θερμικά αυτές οι μεταβλητές μαζί με την ισχύ "Nw" και με τον όγκο του αεροθαλάμου "V_{cav}" ,παίζουν τον σημαντικότερο ρόλο στο σύστημά μας.



Διάγραμμα 5.8 : Ικανοποίηση θερμικών αναγκών για διαφορετικούς όγκους αεροθαλάμου

Από το παραπάνω διάγραμμα παρατηρούμε ότι για :

- $V_{cav} > 50000 \text{ m}^3$,έχουμε μέγιστο θερμικό φορτίο περίπου στα 5,5 MW ισχύ.
- $V_{cav} > 75000 \text{ m}^3$,το θερμικό μας φορτίο παρουσιάζει μια ελάχιστη μείωση με την αύξηση του Α/Π
- $V_{cav} < 50000 \text{ m}^3$, έχουμε σημαντική πτώση του θερμικού μας φορτίου για ισχύ $> 15 \text{ MW}$
- $V_{cav} > 125000 \text{ m}^3$,συναντάμε το μέγιστο θερμικό φορτίο .

Παρατηρούμε λοιπόν από το διάγραμμα τον σημαντικό ρόλο που παίζει ο συμπιεστής στην ικανοποίηση θερμικού φορτίου. Πιο απλά ,όσο περισσότερο λειτουργεί ο συμπιεστής τόσο περισσότερη θερμική ενέργεια ανακτάται . Αυτό λοιπόν παρατηρούμε την άμεση σχέση της ικανοποίησης του θερμικού φορτίου και του όγκου του αεροθαλάμου ,δηλαδή , όσο πιο υψηλές οι τιμές στον όγκο του αεροθαλάμου τόσο περισσότερο λειτουργεί ο συμπιεστής για να δεχτεί μεγαλύτερα ποσά πεπιεσμένου αέρα στον θάλαμο.

5.6 Περίληψη

Στο πέμπτο κεφάλαιο ,οι συγγραφείς ανέλυσαν και παρουσίασαν τα αποτελέσματα της έρευνας. Για την ακρίβεια έγινε μια λεπτομερής ανάλυση ηλεκτρικών και θερμικών αποτελεσμάτων ,για να αποτυπωθεί το εύρος του αλγόριθμου που αναπτύξαμε.

Κεφάλαιο 6: Συζήτηση

6.1 Εισαγωγή

Στο κεφάλαιο 6, μια συζήτηση για τα αποτελέσματα που έχουν προκύψει είναι υποχρεωτική. Για την ακρίβεια ,παρουσιάζεται μια εσωτερική και μια εξωτερική ανάλυση. Η πρώτη αφορά την αναγνώριση όποιας αβεβαιότητας υπάρχει, την αξιοπιστία των ευρημάτων και την σύγκριση μεταξύ αυτών των ευρημάτων . Η εξωτερική ανάλυση αφορά την σύγκριση των αποτελεσμάτων ,με αποτελέσματα εργασιών που έχουμε βρει στην βιβλιογραφία μας. Ολοκληρώνοντας ,θα εξετάσουμε επίσης τη σχέση και την προσφορά των ευρημάτων μας στο γενικότερο πεδίο ερευνών.

6.2 Η αξιοπιστία των αποτελεσμάτων

Προκειμένου να αξιολογηθεί η αξιοπιστία των ευρημάτων μας , πρέπει να καθορίσουμε και να ποσοτικοποιήσουμε όποιες πηγές αβεβαιότητας βρεθούν, οι οποίες θα επηρεάσουν το τελικό αποτέλεσμα και θα οδηγήσουν σε λάθος συμπεράσματα. Για να αξιολογήσουμε την εγκυρότητα του μοντέλου μας , η παραμετρική ανάλυση θα επαναληφθεί για 3 διαφορετικές περιπτώσεις ,όπου θα αλλάζουμε τον αριθμό των κτιρίων που μελετάμε ,καθώς επίσης και το όγκο δεξαμενής του νερού V_{tank} . Με αυτό τον τρόπο ,σε περίπτωση που τα αποτελέσματα που παρουσιάσαμε στο κεφάλαιο 5 μας δείξουν παρόμοια μοτίβα ,τότε θα μπορούμε να πούμε με σιγουριά ότι υπάρχει αξιοπιστία στο πείραμά μας.

6.3 Παρουσίαση σεναρίων

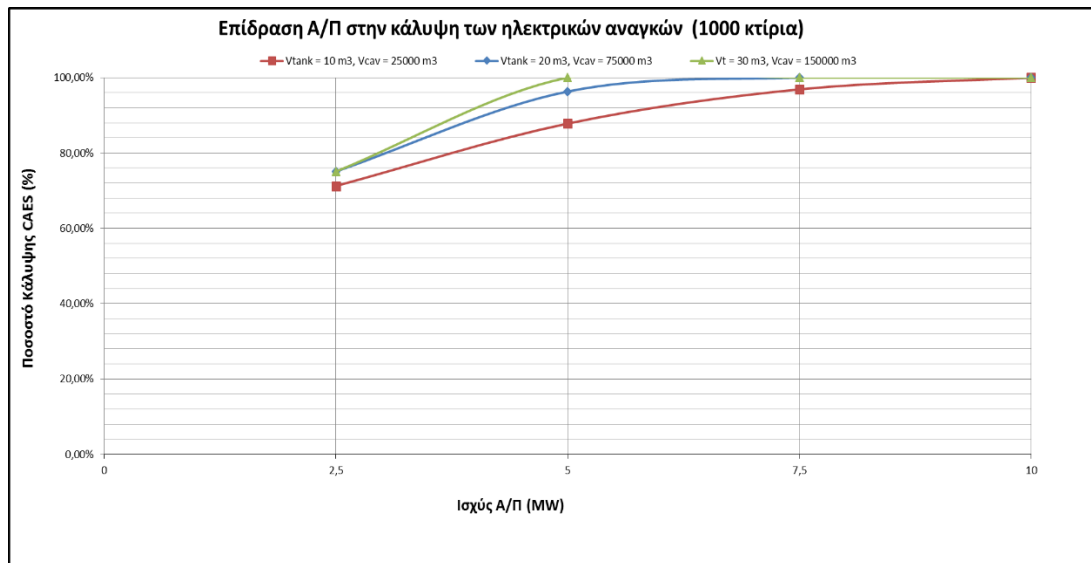
Οι 3 διαφορετικές περιπτώσεις που αποφασίσαμε να παρουσιάσουμε έχουν να κάνουν όπως προαναφέραμε με τον αριθμό των κτιρίων και με όγκο της δεξαμενής νερού. Πιο συγκεκριμένα έχουμε :

Σενάριο 1 : Αριθμός κτιρίων =1000 κτίρια και $V_{\text{tank}} = 10 \text{ m}^3$

Σενάριο 2 : Αριθμός κτιρίων = 500 κτίρια και $V_{\text{tank}} = 20 \text{ m}^3$

Σενάριο 3 : Αριθμός κτιρίων =1500 κτίρια και $V_{\text{tank}} =30 \text{ m}^3$

6.3.1 Παρουσίαση αποτελεσμάτων σχετικά με την ηλεκτρική ενέργεια

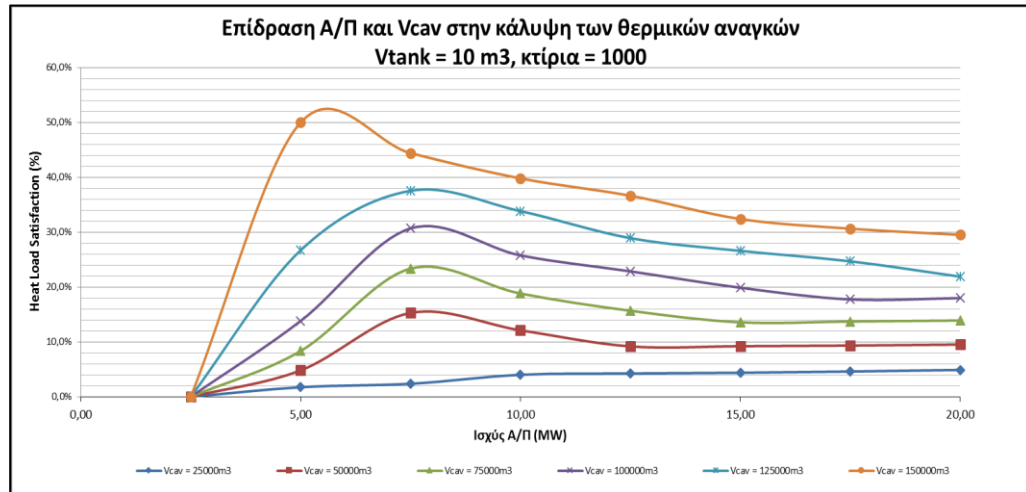


Διάγραμμα 6.1 :Επίδραση Α/Π στην κάλυψη ηλεκτρικών αναγκών για 1000 κτίρια

Όσον αφορά την κάλυψη των ηλεκτρικών μας αναγκών παρατηρούμε ότι από τα 8 MW και πάνω έχουμε πλήρη ηλεκτρική κάλυψη, ανεξαρτήτου V_{tank} και V_{cav} και επιπλέον από την πειραματική διαδικασία που ακολουθήσαμε το ίδιο ακριβώς συμβαίνει και για τον αριθμό των κτιρίων και για αυτό το λόγο αποφασίσαμε να παραθέσουμε μόνο το συγκεκριμένο παράδειγμα. Οπότε από την στιγμή που έχουμε πλήρη κάλυψη στα ηλεκτρικά μας φορτία, ως παρατηρήσουμε τι γίνεται στα θερμικά.

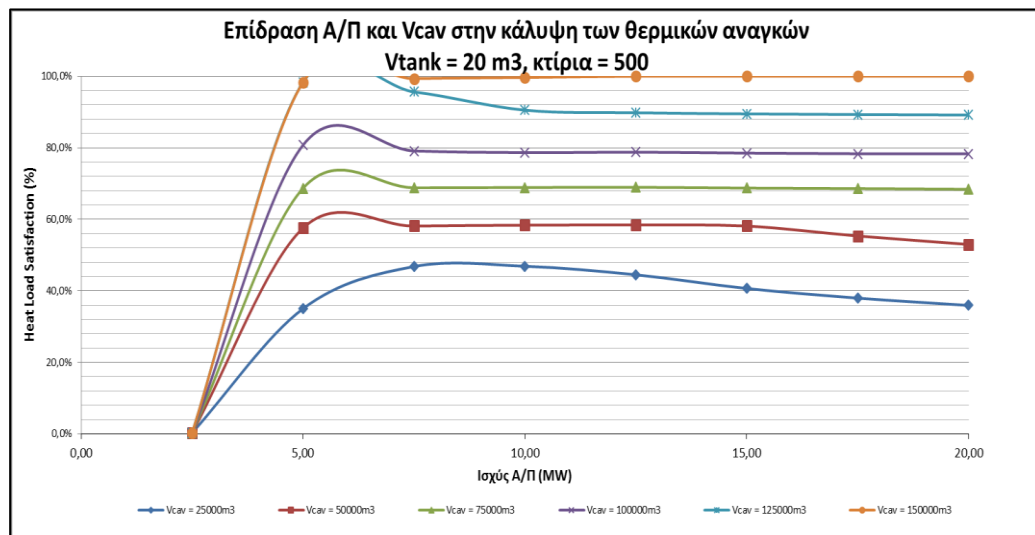
6.3.2 Παρουσίαση αποτελεσμάτων σχετικά με την θερμική ενέργεια

Όπως έχουμε προαναφέρει, ο σκοπός αυτής της πτυχιακής, είναι να βγάλουμε χρήσιμα συμπεράσματα για την θερμική απόδοση του εξεταζόμενου συστήματος CAES. Για αυτό το λόγο η εξέταση που αφορά την αξιοπιστία των αποτελεσμάτων που αφορούν τα θερμικά, θα αναλυθεί αναλυτικότερα παρακάτω.



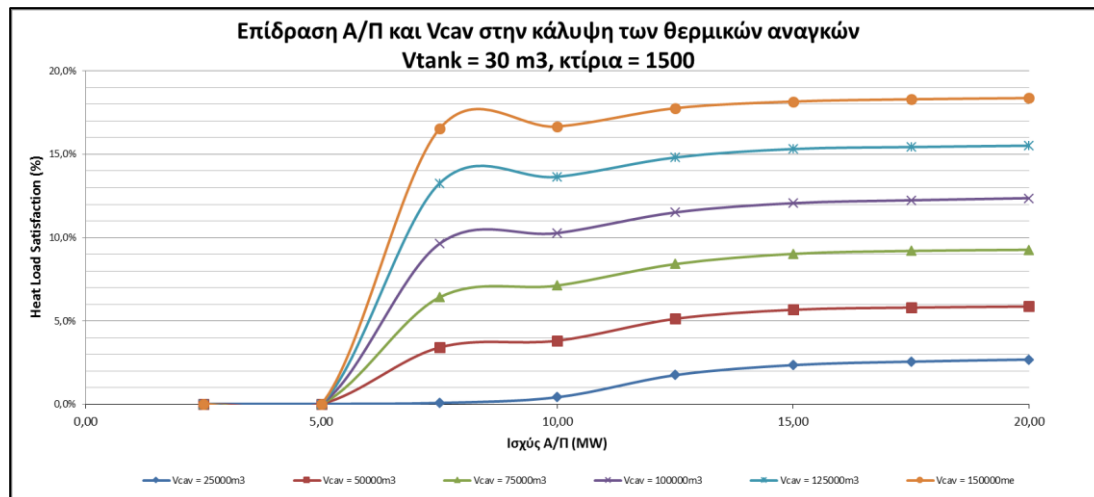
Διάγραμμα 6.2 : Επίδραση Α/Π και V_{cav} για θερμική αυτονομία (Σενάριο 1)

Αναλύοντας το διάγραμμα 5.4 σε σχέση με το διάγραμμα 4.9, παρατηρούμε ότι με την αύξηση των κτιρίων μειώνεται σημαντικά η θερμική ικανοποίηση φορτίου και την μέγιστη ικανοποίηση την συναντάμε κοντά στα 8 MW ισχύ



Διάγραμμα 6.3 : Επίδραση Α/Π και V_{cav} για θερμική αυτονομία (Σενάριο 2)

Αναλύοντας λοιπόν το διάγραμμα 5.5 σε σχέση με το διάγραμμα 4.9 , παρατηρούμε κάτι διαφορετικό. Με την αύξηση του V_{tank} και κρατώντας σταθερό τον αριθμό των κτιρίων, έχουμε ελάχιστα χαμηλότερες τιμές στο θερμικό μας φορτίο για μικρά V_{cav} , ενώ όσο μεγαλώνει το και V_{cav} έχουμε και αύξηση του θερμικού μας φορτίου.

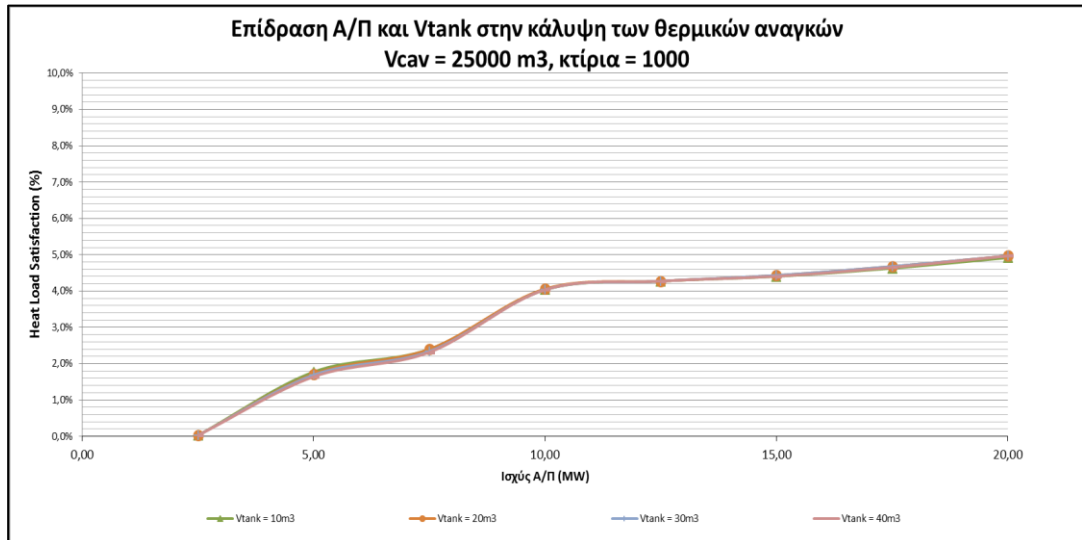


Διάγραμμα 6.4 : Επίδραση Α/Π και V_{cav} για θερμική αυτονομία (Σενάριο 3)

Σε αυτή την περίπτωση παρατηρούμε ότι ,τριπλασιάζοντας τόσο τον όγκο του V_{tank} , όσο και τα κτίρια , το θερμικό μας φορτίο είναι πολύ χαμηλό. αλλά όσο μεγαλώνει η ισχύς του Α/Π ,αυξάνεται και η αυτονομία μας ελάχιστα.

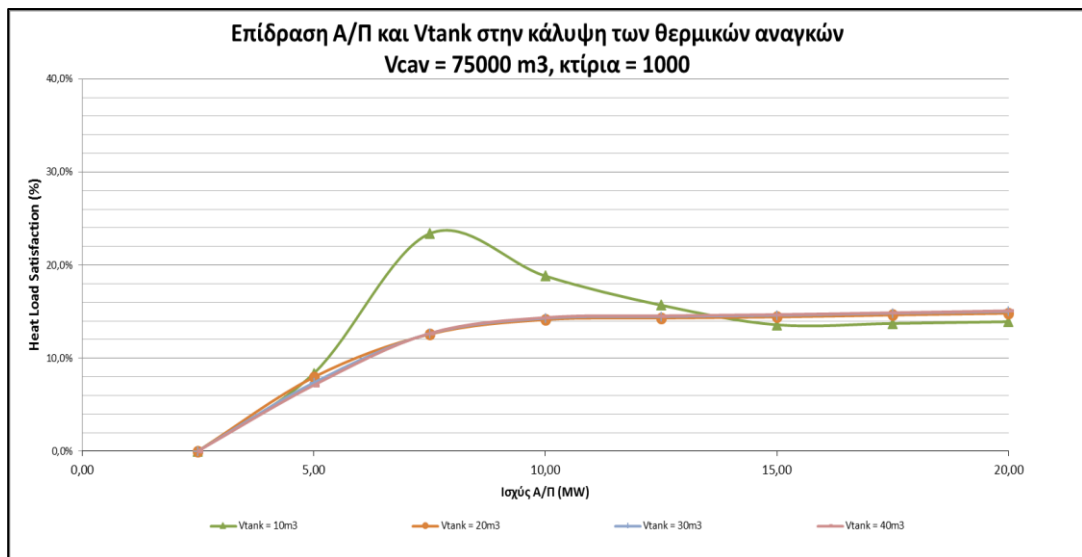
6.3.3 Ο ρόλος της δεξαμενής νερού V_{tank}

Αναλύοντας το μέγεθος της δεξαμενής νερού και του ρόλου που έχει σε σχέση με το θερμικό φορτίο του συστήματός μας , θα παρατηρήσουμε ότι υπάρχουν θερμικές απώλειες που σχετίζονται με την επιφάνεια της δεξαμενής. Για αυτό το λόγο θα συγκρίνουμε διάφορα μεγέθη δεξαμενών ,ώστε να δούμε τον πραγματικό αντίκτυπο στο θερμικό μας φορτίο κρατώντας σταθερό τον αριθμό των κτιρίων ,καθώς και τον όγκο του αεροθαλάμου μας.



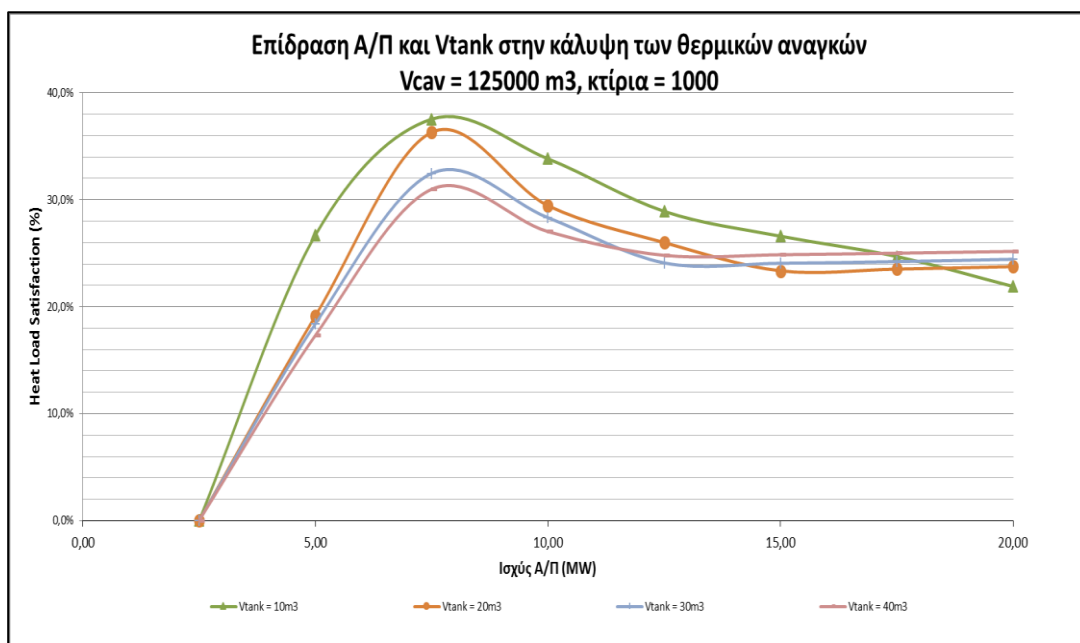
Διάγραμμα 6.5 : Επίδραση Α/Π και V_{tank} για θερμική αυτονομία (V_{cav} = 25000 m³, 1000 κτίρια)

Εδώ παρατηρούμε ότι για μικρό V_{cav} δεν επηρεάζεται το θερμικό φορτίο από το V_{tank}



Διάγραμμα 6.6 : Επίδραση Α/Π και V_{tank} για θερμική αυτονομία (V_{cav} = 75000 m³, 1000 κτίρια)

Σε αντίθεση με το διάγραμμα 6.7 , παρατηρούμε ότι για μικρό V_{tank} , στα 8 MW έχουμε το μέγιστο θερμικό φορτίο ,ενώ όσο αυξάνουμε την ισχύ μας στο Α/Π και αυξάνουμε και το V_{tank} ,έχουμε σχεδόν και το ίδιο θερμικό φορτίο



Διάγραμμα 6.7 : Επίδραση Α/Π και V_{tank} για θερμική αυτονομία ($V_{\text{cav}} = 125000 \text{ m}^3$, 1000 κτίρια)

Σε σύγκριση με τα προηγούμενα 2 διαγράμματα ,παρατηρούμε ότι όσο αυξάνουμε το V_{cav} ,αυξάνεται και το θερμικό μας φορτίο . Αξίζει να επισημάνουμε ότι για ισχύ Α/Π από 5-10 MW ,έχουμε το μέγιστο θερμικό φορτίο και όσο μικρότερο το V_{tank} τόσο μεγαλύτερο το θερμικό φορτίο μας.

6.4 Το νόημα των ευρημάτων

Σε αυτό το κεφάλαιο , ο σκοπός των συγγραφέων ,είναι να παρουσιάσουν τα αποτελέσματα και τα ευρήματα του έργου τους. Με αυτή τη δομή, η έρευνα για τις πιο σημαντικές τεχνικές παραμέτρους ,έχει βασιστεί στις πτυχές της ενεργειακής αυτονομίας . Επιπροσθέτως , μιας και το προτεινόμενο σύστημα θεωρείται υβριδικό , η έννοια ενεργειακή αυτονομία αφορά τόσο τις ηλεκτρικές ,όσο και τις θερμικές ανάγκες μας.

6.4.1 Η επιρροή του όγκου του αεροθαλάμου και της ισχύος του Α/Π στην ενεργειακή αυτονομία

Μιας και τα αποτελέσματα σχετικά με τα ηλεκτρικά φορτία συμβαδίζουν με όσα έχουμε δείξει, αυτό το κεφάλαιο θα επικεντρωθεί στα θερμικά αποτελέσματα. Με αυτό το περιεχόμενο , ο όγκος του αεροθαλάμου είναι βασικό στοιχείο ,λόγω των επιπτώσεων στις ώρες συμπίεσης ,που είναι και η πηγή τις θερμικής παραγωγής. Σαν αποτέλεσμα ,ο όγκος του αεροθαλάμου είναι ανάλογος με την θερμική ικανοποίηση, ενώ το αντίθετο συμβαίνει για την ισχύ του Α/Π. Για να το εξηγήσουμε καλύτερα, ας έχουμε στο νου μας ότι ,μεγαλύτερη ισχύς σημαίνει μικρότερος διαθέσιμος χώρος

στον αεροθάλαμο που δέχεται συμπιεσμένο αέρα ,το οποίο οδηγεί σε μικρότερη θερμική παραγωγή. Προφανώς, όταν έχουμε μεγαλύτερο αεροθάλαμο ,τότε υπάρχει επαρκής χώρος να δεχτεί περισσότερο συμπιεσμένο αέρα ,γεγονός το οποίο θα οδηγήσει σε πιο συχνές συμπίεσεις ,δηλαδή , σε καλύτερα θερμικά αποτελέσματα.

6.4.2 Η επιρροή του όγκου της δεξαμενής του νερού στην ενεργειακή αυτονομία

Αφού αναγνωρίσαμε τις σχέσεις μεταξύ της ισχύος του Α/Π και του όγκου του αεροθαλάμου ώστε να έχουμε ικανοποίηση της ζήτησης, το ίδιο εφαρμόστηκε για το μέγεθος της εγκατάστασης της αποθήκης θερμικής ενέργειας. Πιο συγκεκριμένα ,για να επιτύχουμε την επιθυμητή θερμική αυτονομία ,πρέπει να επιλέξουμε μια κατάλληλη δεξαμενή νερού ,η οποία θα είναι ικανή να απορροφήσει μέγιστη θερμότητα και να θα μας περιορίσει στο ελάχιστο τις θερμικές απώλειες.

6.4.3 Σύγκριση θερμικής και ηλεκτρικής συμπεριφοράς

Μιας και η εργασία που παρουσιάζουμε έχει ως βάση την συμπαραγωγή, είναι σημαντικό να μελετήσουμε το σύστημα σαν έναν πάροχο θερμικής και ηλεκτρικής ενέργειας. Με αυτό στο μυαλό μας , η διαδικασία για την ταξινόμηση μεγέθους γίνεται ιδιαίτερα περίπλοκη ,επειδή οι βασικές παράμετροι επηρεάζουν διαφορετικά την ηλεκτρική και τη θερμική απόδοση του συστήματος.

Για παράδειγμα, η ισχύς του Α/Π ως μια βασική παράμετρος ,μας δείχνει ότι για ποσά μικρότερα των 5 MW ,έχουμε πολύ μικρή ικανοποίηση του θερμικού φορτίου. Από 5-8 MW έχουμε τις υψηλότερες αποδόσεις ,ενώ για ισχύ άνω των 8 MW παρατηρούμε ότι ναι μεν έχουμε σχετικά υψηλή ικανοποίηση θερμικού φορτίου αλλά μικρότερη από ότι στα 5-8 MW. Όσον αφορά τα ηλεκτρικά παρατηρούμε ότι όσο μεγαλύτερη η ισχύς τόσο μεγαλύτερη ικανοποίηση του ηλεκτρικού φορτίου.

Ο όγκος του αεροθαλάμου , λειτουργεί ανάλογα με το θερμικό φορτίο ,δηλαδή όσο μεγαλύτερος είναι τόσο μεγαλύτερη και η ικανοποίηση του φορτίου μας. Το ίδιο ακριβώς ισχύει και για τα ηλεκτρικά .

Παρόλα αυτά δεν μπορούμε να αναλύσουμε την κάθε μια παράμετρο μόνη της ,αλλά σε συνδυασμό όλες τις παραμέτρους μαζί. Το σύστημα εξαρτάται από την ισχύ του Α/Π ,τον όγκο του αεροθαλάμου, τον όγκο της δεξαμενής νερού, τον αριθμό των κτιρίων , οπότε όλα τα παραπάνω θα μας δώσουν τα συγκεκριμένα αποτελέσματα που επιζητάμε για την βέλτιστη λειτουργία του συστήματος CAES.

Για παράδειγμα ,εάν είναι διαθέσιμος ένας αεροθάλαμος και με συγκεκριμένους υπολογισμούς καλύπτει το 100 % των θερμικών μας απαιτήσεων ,αλλά όχι και τις ηλεκτρικές ,τότε μπορούμε να αυξήσουμε την ονομαστική ισχύ του Α/Π για να καλύψουμε και αυτές τις ανάγκες. Παρόλα αυτά ,όσο μεγαλώνει η ισχύς και αναλόγως του μεγέθους του αεροθαλάμου μας , η θερμική αυτονομία μας μπορεί να επηρεαστεί αρνητικά ,λόγω των λιγότερων ωρών συμπίεσης . Οπότε καταλαβαίνουμε ότι μιλάμε για ένα περίπλοκο σύστημα.

6.4.4 Σύνοψη βασικών ευρημάτων

Από τις αναλύσεις που έχουν διεξαχθεί ,έχουμε καταλήξει σε κάποια βασικά ευρήματα:

- Τα χαρακτηριστικά της περιοχής ,ίσως επηρεάσουν την πιθανή εφαρμογή του προτεινόμενου συστήματος .
- Η θερμική απόδοση είναι ανάλογη με τον συντελεστή χωρητικότητας του συμπιεστή, δηλαδή τις ώρες λειτουργίας του. Επίσης ο συμπιεστής παίζει το ρόλο του " παραγωγού" θερμότητας.
- Πέρα από την ηλεκτρική ικανοποίηση , ο αεροθάλαμος είναι ανάλογος και με την θερμική ικανοποίηση φορτίου. Αυτό οφείλεται στην σχέση μεταξύ συμπίεσης και αποθήκευσης, δηλαδή όταν ο αεροθάλαμος είναι γεμάτος ,δεν δέχεται περισσότερο συμπιεσμένο αέρα ,που έχει ως αποτέλεσμα να μην παράγεται θερμική ενέργεια.
- Η ισχύς του Α/Π είναι ανάλογη με την ηλεκτρική αυτονομία αλλά το αντίθετο μπορεί να συμβεί με την θερμική. Ο λόγος είναι οι ώρες που λειτουργεί ο συμπιεστής , οι οποίες είναι περισσότερες όταν η ισχύς είναι σε χαμηλά επίπεδα.
- Ο αριθμός των κτιρίων όσο αυξάνεται τόσο μειώνεται η θερμική ικανοποίηση καθώς και η ηλεκτρική
- Η δεξαμενή νερού δεν είναι ανάλογη με την θερμική αυτονομία , γεγονός που σημαίνει ότι οι απώλειες μεγαλώνουν όσο μεγαλώνει η αποθήκευση θερμότητας.

6.5 Το νόημα των ευρημάτων σε γενικότερο επίπεδο

Για να αξιολογήσουμε τα ευρήματα της έρευνας σε ένα γενικότερο επίπεδο, πρέπει να λάβουμε υπόψη μας την τρέχουσα κατάσταση καθώς και τις μελλοντικές προοπτικές για συγκεκριμένα θέματα όπως παρουσιάζονται παρακάτω :

- Η υπερθέρμανση του πλανήτη και οι υποχρεώσεις των κρατών παγκοσμίως για ανανεώσιμες πηγές ενέργειας
- Ασφάλεια του εφοδιασμού και ενεργειακή εξάρτηση
- Υψηλό δυναμικό για ανανεώσιμες πηγές ενέργειας που είναι ανεκμετάλλευτο.

Επιπλέον ,τα αποτελέσματα της έρευνας όσον αφορά την μελέτη περίπτωσης για ένα τυπικό νησιωτικό οικισμό ,αναμένουμε ότι σχετίζονται και με διάφορα παρόμοια προφίλ άλλων περιοχών , το οποίο μας προσφέρει μια καλύτερη εκτίμηση όσον αφορά την υιοθέτηση και για άλλες περιοχές .

Κεφάλαιο 7: Συμπεράσματα

7.1 Εισαγωγή

Σύμφωνα με το προαναφερθέντα, ο βασικός σκοπός και η αξία της όλης μελέτης, ήταν να ερευνήσουμε το δυναμικό ενός υβριδικού συστήματος ανεμογεννητριών και CAES και την σύμπραξη αυτών των δύο, με το να εκμεταλλευτούμε την θερμική ενέργεια που παράγεται κατά τη διαδικασία της συμπίεσης. Για αυτό το λόγο, μέσω ρεαλιστικού αιολικού δυναμικού και δεδομένης ηλεκτρικής και θερμικής ζήτησης, προχωρήσαμε σε μια παραμετρική ανάλυση για να βρούμε το μέγεθος του θερμικού ΑΠΕ-CAES συστήματός μας.

Πρέπει επίσης να αναφέρουμε ότι εκτός από την προσοχή που έχουμε δώσει στο θερμικό κομμάτι, η ηλεκτρική ενέργεια παίζει επίσης πολύ βασικό ρόλο.

Από τις αναλύσεις που βασίστηκαν στην βιβλιογραφία, αναγνωρίσαμε την αναγκαιότητα να χρησιμοποιήσουμε συστήματα αποθήκευσης ενέργειας σαν ένα μέσο για να αντιμετωπίσουμε την διακοπόμενη φύση των ΑΠΕ, η οποία είναι και ο βασικός λόγος που καθυστερεί την μεγάλη εκμετάλλευση των ΑΠΕ ειδικά σε περιοχές με υψηλό δυναμικό.

Επιπλέον, την έννοια της συμπαραγωγής την θεωρούμε ως ένα αποδοτικό τρόπο για την παραγωγή ενέργειας.

Αποδεχόμενοι τα παραπάνω, η παρούσα εργασία εξετάζει τόσο την αποθήκευση ενέργειας όσο και την συμπαραγωγή και για αυτό το λόγο θεωρούμε ότι μέσα από αυτή θα προσθέσουμε καινούριες πληροφορίες που είναι σχετικές με το φλέγον θέμα της βιώσιμης ενέργειας.

Εξάλλου, πρέπει να αναλογιστούμε το υψηλό κόστος των ορυκτών καυσίμων για την παραγωγή ηλεκτρισμού και την χρησιμότητα των ΑΠΕ για να αποφύγουμε τέτοια κόστη.

Εν συνεχεία, χρησιμοποιώντας δεδομένα από την βιβλιογραφία, ο σκοπός μας είναι να εντοπίσουμε τις πιο αποδοτικές μεθόδους για να αυξήσουμε την διείσδυση της αιολικής ενέργειας, μας φάνηκε πιο υποσχόμενο το πλάνο αποθήκευσης της αιολικής ενέργειας. Ακολούθως, αφού αξιολογήσαμε ποικίλες τεχνολογίες ενεργειακής αποθήκευσης, καταλήξαμε ότι το σύστημα CAES είναι το πιο κατάλληλο είτε σε μικρό είτε σε μεγάλο μέγεθος, γεγονός που το καθιστά ιδανικό για παραμετρική ανάλυση. Επιπλέον φαίνεται να έχει μεγαλύτερη δυναμική σε σχέση με άλλες μονάδες αντίστοιχου μεγέθους όπως κάποια αντλιοστάσια αποθήκευσης. Εντέλει, ως έχουμε στο μυαλό μας ότι ανάμεσα σε διάφορες μεθόδους αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας, το CAES είναι το μόνο που προσφέρει τη δυνατότητα συμπαραγωγής, που όπως προαναφέραμε είναι ο βασικός σκοπός αυτής της πτυχιακής εργασίας. Για αυτόν ακριβώς το λόγο επιλέξαμε το CAES.

7.2 Βασικά συμπεράσματα

Βασισμένοι στο κριτήριο της μέγιστης ταυτόχρονης κάλυψης ,τόσο σε θερμικές όσο και σε ηλεκτρικές απαιτήσεις, το πρόβλημα για την διαστασολόγηση του συστήματος είναι το πιο περίπλοκο . Πιο συγκεκριμένα ,η παραμετρική ανάλυση μας δείχνει ότι ,για να επιτύχουμε το θερμικό φορτίο που χρειαζόμαστε ,ο συμπιεστής πρέπει να είναι διαρκώς σε λειτουργία, κάτι που σχετίζεται άμεσα με την ισχύ του αιολικού μας πάρκου καθώς επίσης και με τον όγκο του αεροθαλάμου.

Πιο συγκεκριμένα, τα δεδομένα μας δείχνουν ότι εναλλάσσοντας τις παραπάνω παραμέτρους ,παρατηρούμε ότι καλύπτουμε διαφορετικές πτυχές ενέργειας στο σύστημά μας. Για παράδειγμα όσο υψηλότερη η ισχύς του αιολικού πάρκου τόσο μεγαλύτερη ηλεκτρική κάλυψη φορτίου έχουμε ,ενώ όσο αφορά την θερμική παρατηρούμε ότι η μέγιστη κάλυψη συναντάται σε μικρότερα ποσά ισχύος. Αυτό συμβαίνει γιατί όταν έχουμε υψηλή ισχύ στο σύστημα μας, ο αεροθάλαμος λειτουργεί σε μέγιστη χωρητικότητα για περισσότερο χρόνο , γεγονός που οδηγεί σε χαμηλότερη λειτουργία του συμπιεστή μας.

Στον αντίποδα ,η χωρητικότητα του αεροθαλάμου φαίνεται να λειτουργεί αναλογικά τόσο για την ηλεκτρική όσο και για τη θερμική κάλυψη φορτίου , πράγμα που σημαίνει ότι επιλέγοντας αεροθάλαμο μεγαλύτερου όγκου ,όχι μόνο αυξάνεται η εισχώρηση αιολικής ενέργειας ,αλλά και ο συμπιεστής λειτουργεί περισσότερες ώρες παράγοντας σημαντικά ποσά θερμικής ενέργειας.

Έχοντας καταλήξει σε σημαντικά συμπεράσματα όσον αφορά την απόδοση θερμικών ΑΠΕ-CAES συστημάτων ,το επόμενο βήμα μας είναι να δώσουμε προσοχή σε μια άλλη βασική παράμετρο , στην δεξαμενή νερού. Για να είμαστε ξεκάθαροι ,το ιδανικό μέγεθος είναι τέτοιο ώστε οι θερμικές απώλειες να μην επηρεάζουν την συνολική απόδοση του συστήματος . Συγχρόνως ,η περιοχή πρέπει να είναι ικανή να δεχτεί την θερμική ενέργεια που παράγεται κατά τη διάρκεια της διαδικασίας της συμπίεσης και μέσω των ωρών λειτουργίας του συμπιεστή μπορούμε να βρούμε την ελάχιστη ονομαστική αξία του μεγέθους της δεξαμενής.

Συνοψίζοντας ,από την ανάλυση των αποτελεσμάτων, η εκμετάλλευση της απορριπτόμενης αιολικής ενέργειας στην συμπαραγωγή με τη βοήθεια ενός τυπικού συστήματος CAES ενισχύεται με ένα ολοκληρωμένο σύστημα θερμικής ενέργειας ,γεγονός που μας προκαλεί μεγάλες βλέψεις για ένα βιώσιμο τρόπο να ικανοποιήσουμε θερμικές και ηλεκτρικές ανάγκες. Ωστόσο είναι σημαντικό να αναφέρουμε ότι για μια τέτοια λύση πρέπει να εξεταστεί και το οικονομικό σκέλος ,γεγονός που δεν θα εξετάσουμε στην παρούσα πτυχιακή εργασία.

Επιπλέον ,πρέπει να λάβουμε υπόψη μας τα χαρακτηριστικά μιας περιοχής που σκοπεύουμε να κάνουμε αυτή την εγκατάσταση. Δηλαδή το αιολικό δυναμικό της περιοχής, το θερμικό φορτίο που βασίζεται στις θερμές ημέρες του χρόνου, το αν υπάρχει διαθέσιμος αεροθάλαμος που να καλύπτει τις απαιτήσεις μας καθώς επίσης και των αριθμό των κτιρίων σε εκείνη την περιοχή. Από την ανάλυση μας ,παρατηρούμε ότι αυτές τις παραμέτρους δεν πρέπει να τις μελετήσουμε ξεχωριστά ,αλλά μαζί μιας και συνεργάζονται για να μας δώσουν τα αποτελέσματα που επιθυμούμε.

7.3 Συνέπεια στους στόχους που έχουμε θέσει

Με την ανάλυση των συμπερασμάτων να έχει γίνει, θα κάνουμε μια σύγκριση μεταξύ των αρχικών στόχων και των απαντήσεων που προέκυψαν από την έρευνα μας. Σε αυτό το σημείο οι βασικές ερωτήσεις που μας είχαν τεθεί ήταν:

- Μπορεί ένα υβριδικό σύστημα ΑΠΕ- CAES να χρησιμοποιηθεί για συμπαραγωγή ώστε να μας καλύψει τα κριτήρια ενεργειακής αυτονομίας ;
- Ποιες είναι οι βασικές παράμετροι που επηρεάζουν το σύστημά μας ;
- Τι χαρακτηριστικά πρέπει να έχει μια περιοχή για να συμβαδίζει με τις παραμέτρους μας ;
- Ποια είναι η ενεργειακή απόδοση του προτεινόμενου συστήματος ;

Έχοντας στο μυαλό μας τις παραπάνω βασικές ερωτήσεις , παρατηρούμε τα εξής :

1. Η εκμετάλλευση της απορριπτόμενης θερμότητας κατά την συμπίεση ,δίνει τη δυνατότητα στο ΑΠΕ-CAES σύστημα μας να ικανοποιήσει τις θερμικές απαιτήσεις. Με αυτή την έννοια ,είναι σημαντικό να παρατηρήσουμε ότι αυτό επιτυγχάνεται με κάποιες μετατροπές (δεξαμενή νερού, αντλίες και εναλλάκτες θερμότητας) . Επιπλέον, μια αντίστοιχη διαδικασία για την ανάκτηση απορριπτόμενης θερμότητας θεωρείται απολύτως απαραίτητη στον τομέα της ενέργειας και αυτό μας παρέχει ένα μεγάλο πλεονέκτημα στο προτεινόμενο σύστημα σε αντίθεση με τον ανταγωνιστή του που είναι το αδιαβατικό CAES.
2. Όσον αφορά βασικές παραμέτρους και την επίπτωση αυτών στην θερμική και ηλεκτρική αυτονομία ,η ανάλυση μας οδηγεί στα εξής συμπεράσματα :
 - Η ονομαστική ισχύς του αιολικού πάρκου και ο όγκος του αεροθαλάμου είναι ανάλογες της ηλεκτρικής κάλυψης.
 - Το ίδιο ισχύει και για το αιολικό δυναμικό
 - Η ηλεκτρική αυτονομία είναι ανάλογη της κατανάλωσης καυσίμου
 - Αντιθέτως ,όσον αφορά την θερμική αυτονομία ,η ισχύς του αιολικού πάρκου διαφορετική συμπεριφορά. Ο λόγος είναι ότι ,όταν η ισχύς είναι υψηλή ,ο όγκος του αεροθαλάμου παραμένει περισσότερο χρόνο σε υψηλά επίπεδα πίεσης ,με αποτέλεσμα να μειώνονται οι ώρες συμπίεσης ,γεγονός που οδηγεί στη μη παραγωγή θερμικής ενέργειας
 - Ο αριθμός των κτιρίων είναι αντιστρόφως ανάλογος της θερμικής κάλυψης. Όσο περισσότερα κτίρια έχουμε ,τόσο μικρότερη η ικανοποίηση του θερμικού φορτίου μας. Βέβαια αυτό μπορεί να μεταβληθεί αν η ισχύς του συστήματος και ο όγκος του αεροθαλάμου πάρουν μεγάλες τιμές .
 - Τέλος μια από τις βασικότερες παραμέτρους είναι η δεξαμενή νερού. Όπως φαίνεται και παραπάνω δεν είναι ξεκάθαρη η σχέση με τις υπόλοιπες παραμέτρους και αυτό συμβαίνει γιατί υπάρχουν μεγάλες θερμικές απώλειες . πιο συγκεκριμένα ,ο όγκος της δεξαμενής νερού πρέπει να είναι τόσο μεγάλος ώστε να απορροφήσει μεγάλες ποσότητες θερμότητας και συγχρόνως να είναι τόσο μικρός ώστε να αποφύγουμε τις απώλειες λόγω αγωγιμότητας.
3. Όσον αφορά την επίπτωση των τοπικών χαρακτηριστικών για την ενεργειακή ικανοποίηση , η διαθεσιμότητα του αεροθαλάμου είναι βασική γιατί πρέπει να απορροφήσει μεγάλα ποσά περίσσειας αιολικής ενέργειας και να αυξήσει τον συντελεστή χωρητικότητας του συμπιεστή. Επιπλέον ,καλό είναι να δώσουμε

- έμφαση στο γεγονός ότι αυτά τα αποτελέσματα απευθύνονται σε θερμικά προφίλ τα οποία δεν είναι τελείως αποδεκτά και για διαφορετικές περιοχές με άλλα τοπικά χαρακτηριστικά
4. Στην ενεργειακή απόδοση του συστήματος που εξετάζουμε παρατηρούμε ότι ,το υβριδικό σύστημά μας ΑΠΕ-CAES είναι ικανό να αντικαταστήσει τα ορυκτά καύσιμα με το φυσικό αέριο για λόγους θέρμανσης.

7.4 Περίληψη

Για να απαντήσουμε λοιπόν στους προβληματισμούς που εξετάσαμε ,καταλήγουμε ότι η πιθανότητα εγκατάστασης ενός ΑΠΕ-CAES συστήματος που συνδυάζεται και με μονάδα ανάκτησης θερμότητας ,σε απομακρυσμένες περιοχές είναι πολλά υποσχόμενη. Ωστόσο ,λόγω της καινοτομίας αυτής της έρευνας ,ο αρχικός στόχος και σκοπός μας ήταν να βγάλουμε συμπεράσματα για το κατά πόσο το προτεινόμενο σύστημα θα μας έδινε θέρμανση και ηλεκτρισμό. Καταλήγοντας ,μιας και μια οικονομοτεχνική ανάλυση είναι πέρα από το πεδίο εφαρμογής της συγκεκριμένης πτυχιακής εργασίας ,δεν μπορούν να γίνουν βάσιμες προτάσεις για την βιωσιμότητα ενός τέτοιου συστήματος σε πραγματικές συνθήκες.

Βιβλιογραφία

1. Chedid R., Kobrosly M., Ghajar R., 2007, A supply model for crude oil and natural gas in the Middle East, *Energy Policy*, 35, pp. 2096–2109.
2. Brown, R. N., Carducci, R., & Kuby, C. R. (2014). *Disrupting Qualitative Inquiry*. Peter Lang Publishing Incorporated.
3. Davis, D. A., & Craven, C. (2016). *Feminist Ethnography: Thinking through Methodologies, Challenges, and Possibilities*. Rowman & Littlefield.
4. González F., Sumpera A., Bellmunta O., Robles R., 2012, A review of energy storage technologies for wind power applications, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16, pp. 2154–2171.
5. Hsu, C.; Lee, W. (1993) Superconducting magnetic energy storage for power system applications. *IEEE Transactions on Industry Applications*, vol. 29(5), pp. 990-996.
6. Ise, T.; Kita, M.; Taguchi, A. (2005). A hybrid energy storage with a SMES and secondary battery. *IEEE Trans. on Applied Superconductivity*, vol. 15 (2 part II), pp. 1915-1918.
7. Kousksou T., Bruel P., Jamil A., Rhafiki T., Zeraouli Y., 2014, Energy storage: Applications and challenges, *A Solar Energy Materials & Solar Cells*, 120, pp. 59–80.
8. Lund H., Salgi G., 2009, The role of compressed air energy storage (CAES) in future sustainable energy systems. *Energy Conversion and Management*, 50 (5), pp. 1172-1179.
9. Safaei H., Keith D., Hugo R., 2013, [Compressed air energy storage \(CAES\) with compressors distributed at heat loads to enable waste heat utilization](#), *Applied Energy*, 103, pp. 165-179.
10. Sutanto, D., Cheng, K. W. E. (2009). Superconducting magnetic energy storage systems for power system applications. *Proc. 2009 Int. Conf. on Applied Superconductivity and Electromagnetic Devices, ASEMD 2009, Chengdu, China*, pp. 377-380.
11. Sérgio Faias, Patrícia Santos, Jorge Sousa, Rui Castro (2007), *An Overview on Short and Long -Term Response Energy Storage Devices for Power Systems Applications*.
12. Tian Y., Zhao C., 2013. A review of solar collectors and thermal energy storage in solar thermal applications, *Applied Energy*, 104, pp. 538-553.
13. Zafirakis D., Chalvatzis K., Kaldellis J., 2013, "Socially just" support mechanisms for the promotion of renewable energy sources in Greece, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 21, pp. 478-493.