

Τ.Ε.Ι. Κρήτης
Τμήμα Φυσικών Πόρων & Περιβάλλοντος

ΤΙΤΛΟΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΗΛΙΑΚΩΝ ΚΑΙ ΑΙΟΛΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΓΙΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΗ ΚΡΗΤΗ ΜΕ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ ΤΗΣ ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΕ ΜΟΡΦΗ ΥΔΡΟΓΟΝΟΥ ΚΑΙ ΑΝΤΛΙΟΤΑΜΙΕΥΤΗΡΕΣ ΚΑΙ ΧΡΗΣΗ ΤΟΥΣ ΑΡΓΟΤΕΡΑ ΓΙΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ



Αντώνης Κομνηνός

ΕΙΣΗΓΗΤΗΣ: Γιάννης Βουρδουμπάς

Χανιά Ιούνιος 2004

TITLE

Estimation of photovoltaic and wind systems for production of electrical power in Crete, then storage of the electrical power in a chemical form (hydrogen) or in reservoirs with the help of pumps and usage of the electrical power whenever it is needed

STUDENT: Antonis Komninos

SUPERVISOR: John Bourdoubas

ABSTRACT:

One of the major problems of renewable energy is that we cannot store big quantities of energy for later and we have to be able to distribute it the same time we produce it. Storing energy in hydrogen, after we have electrolyzed water, and pumping water to an upper reservoir, is a way to overcome this obstacle.

In the first chapter we can read about the reasons we prefer hydrogen and pumping water to store energy.

In the second chapter is analyzed how we can produce hydrogen in a different way (without electrolyzing water), how we can store hydrogen, distribute it and in the same time how to be safe using hydrogen.

In the third chapter we can read about the fuel cell, how it works, the materials we use to construct it and the types that have a commercial use.

In the fourth chapter we can find specifics about how we can pump water and the machines we use to pump it, the turbines.

In the fifth chapter, there are calculations about the energy we have to produce from renewable sources, to store it in hydrogen or dynamic energy – pumping water to upper reservoir – and then when it is needed to use the stored energy to cover the energy needs of Crete.

In the sixth and last chapter there are some diagrams that show the environmental gains we could have if we used renewable sources.

Αρχικά θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή Γιάννη Βουρδουμπά τόσο για τη βοήθεια του όσο και για όλα εκείνα που μου μετέδωσε στη διάρκεια της συνεργασίας μας.

Φυσικά είναι αδύνατον να ξεχάσω τους συμφοιτητές μου που με κάθε τρόπο βοήθησαν σε αυτή την εργασία. Αναφέρομαι στους Γκανούρη Σωτήρη, Φορμόζη Στάθη, Γούλα Τηλέμαχο.

Η εργασία αυτή εκπονήθηκε τη περίοδο 2004 – 2005 από την 1^η Μαρτίου έως την 30^η Αυγούστου στο τμήμα Φυσικών Πόρων & Περιβάλλοντος του ΤΕΙ Κρήτης, Παράρτημα Χανίων

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

1.1	- ΕΙΣΑΓΩΓΗ	7
1.1.1	- ΑΙΟΛΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ	7
1.1.2	- ΗΛΙΑΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ	8
1.1.3	- ΥΔΡΟΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ	9
1.2	- ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ	10
	Α) Συσσωρευτής Μολύβδου –Οξέος	
	Β) Συσσωρευτής Αλκαλικού Ηλεκτρολύτη	
1.3	- ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΟΙ ΤΡΟΠΟΙ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΤΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ	11
1.3.1	- ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΥΠΟ ΜΟΡΦΗ ΥΔΡΟΓΟΝΟΥ	11
1.3.2	- ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΕ ΑΝΤΛΙΟΤΑΜΙΕΥΤΗΡΕΣ	12

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

2	- ΤΡΟΠΟΙ ΠΑΡΑΣΚΕΥΗΣ Η ₂	14
2.1	- ΗΛΕΚΤΡΟΛΥΣΗ	14
2.1.1	- ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ	14
2.1.2	- ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΜΙΑΣ ΚΥΨΕΛΗΣ ΗΛΕΚΤΡΟΛΥΣΗΣ	15
2.1.3	- ΥΛΙΚΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΜΟΝΑΔΩΝ ΗΛΕΚΤΡΟΛΥΣΗΣ	16
2.1.4	- ΗΛΕΚΤΡΟΛΥΣΗ ΣΕ ΚΑΝΟΝΙΚΕΣ ΠΙΕΣΕΙΣ	17
2.1.5	- ΣΥΓΚΡΟΤΗΜΑΤΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΥΔΡΟΓΟΝΟΥ	17
2.2	- ΑΛΛΟΙ ΜΕΘΟΔΟΙ ΠΑΡΑΣΚΕΥΗΣ ΥΔΡΟΓΟΝΟΥ	18
2.3	- ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ ΥΔΡΟΓΟΝΟΥ	19
2.3.1	- ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ ΩΣ ΑΕΡΙΟ	19
2.3.2	- ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ ΩΣ ΥΓΡΟ	20
2.3.3	- ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ ΣΕ ΜΕΤΑΛΛΙΚΟΥΣ ΥΔΡΙΤΕΣ	21
2.3.4	- ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕΘΟΔΩΝ ΓΙΑ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ ΥΔΡΟΓΟΝΟΥ ΣΕ ΜΕΓΑΛΗ ΚΛΙΜΑΚΑ	22
2.4	- ΥΛΙΚΑ	23
2.4.1	- ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΣ ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ ΑΠΟ ΤΟ ΥΔΡΟΓΟΝΟ	23
2.4.2	- ΥΛΙΚΑ ΤΑ ΟΠΟΙΑ ΕΙΝΑΙ ΚΑΤΑΛΛΗΛΑ ΓΙΑ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ ΚΑΙ ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΥΔΡΟΓΟΝΟΥ	24
2.5	- ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΚΑΙ ΔΙΑΝΟΜΗ ΥΔΡΟΓΟΝΟΥ	25
2.5.1	- ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΥΔΡΟΓΟΝΟΥ ΥΨΗΛΗΣ ΠΙΕΣΗΣ	26
2.5.2	- ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΥΓΡΟΥ ΥΔΡΟΓΟΝΟΥ	27
2.6	- ΑΣΦΑΛΕΙΑ	28
2.6.1	- ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΕΣ ΑΠΟ ΦΩΤΙΑ	28
2.6.2	- ΜΕΤΡΑ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ	29
2.6.3	- ΤΟΞΙΚΟΤΗΤΑ	29

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

	ΕΙΣΑΓΩΓΗ	31
3.1	- ΤΙ ΕΙΝΑΙ ΟΙ ΚΥΨΕΛΕΣ ΚΑΥΣΙΜΟΥ ΚΑΙ ΠΩΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΟΥΝ	31
3.1.1	- ΓΕΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ	33
3.2.	- ΕΙΔΗ ΚΥΨΕΛΩΝ	34
3.2.1	- POLYMER ELECTROLYTE FUEL CELL (PEFC)	34
3.2.2	- ALKALINE FUEL CELL	35
3.2.3	- PHOSPHORIC ACID FUEL CELL (PAFC)	35
3.2.4	- MOLTEN CARBONATE FUEL CELL (MCFC)	36
3.2.5	- SOLID OXIDE FUEL CELL (SOFC)	36

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

4	- ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΕ ΑΝΤΛΙΟΤΑΜΙΕΥΤΗΡΕΣ	38
4.1	- ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ	38
4.2.	- ΤΟ ΝΕΡΟ	38
4.2.1	- ΑΠΟΘΗΚΕΥΜΕΝΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΝΕΡΟΥ	39
4.2.2	- ΙΣΧΥΣ, ΥΨΟΣ ΣΕ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΜΕ ΤΗΝ ΡΟΗ	39
4.3	- ΤΙ ΕΙΝΑΙ ΟΙ ΑΝΤΛΙΟΤΑΜΙΕΥΤΗΡΕΣ	40
4.3.1	- ΕΙΔΗ ΑΝΤΛΙΟΤΑΜΙΕΥΤΗΡΩΝ	40
4.3.2	- ΑΝΤΛΙΟΤΑΜΙΕΥΤΗΡΕΣ ΧΑΜΗΛΟΥ ΥΨΟΥΣ	41
4.3.3	- ΑΝΤΛΙΟΤΑΜΙΕΥΤΗΡΕΣ ΜΕΣΑΙΟΥ ΥΨΟΥΣ	41
4.3.4	- ΑΝΤΛΙΟΤΑΜΙΕΥΤΗΡΕΣ ΜΕΓΑΛΟΥ ΥΨΟΥΣ	41
4.3.5	- ΠΟΥ ΥΠΑΡΧΟΥΝ ΣΗΜΕΡΑ ΑΝΤΛΙΟΤΑΜΙΕΥΤΗΡΕΣ	42
4.4	- ΕΙΔΗ ΥΔΡΟΣΤΡΟΒΙΑΩΝ	43
4.4.1	- FRANCIS	43
4.4.2	- PROPELLERS – KAPLAN	44
4.4.3	- PELTON	45
4.4.4	- TURGO AND CROSS-FLOW	46

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

5.1	- ΣΥΝΟΠΤΙΚΗ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΣΤΗ ΚΡΗΤΗ	48
5.2	- ΕΙΣΑΓΩΓΗ	49
5.2.1	- ΕΠΙΛΟΓΗ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ – ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ	49
	A) Μονάδες Αποθήκευσης Ενέργειας Υπό Τη Μορφή Υδρογόνου	49
	<ul style="list-style-type: none">• Υπολογισμός Διάφορων Παραμέτρων Κατά Τη Λειτουργία Των Κυψελών Καυσίμων• Υπολογισμός Αιολικών, Ηλιακών Συστημάτων	
	B) Αποθήκευση Ενέργειας Με Τη Βοήθεια Αντλιοσταμιευτήρων	71
	<ul style="list-style-type: none">• Υπολογισμός Αιολικών, Ηλιακών Συστημάτων• Σύγκριση των Δύο Μεθόδων Αποθήκευσης Ενέργειας	

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η εργασία αυτή αφορά τον υπολογισμό των ηλιακών και αιολικών συστημάτων που χρειάζονται για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών της Κρήτης με αποθήκευση της παραγόμενης ενέργειας ηλεκτρολυτικά σε μορφή υδρογόνου και αντλιοσταμειυτήρες και χρήση της αργότερα για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

Στο 1^ο κεφάλαιο γίνεται αναφορά στη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από:

- A) ηλιακή ενέργεια
- B) αιολική ενέργεια
- Γ) υδροηλεκτρική ενέργεια

Στη συνέχεια γίνεται αναφορά στη συμβατική μέθοδο αποθήκευσης της ηλεκτρικής ενέργειας με διάφορους τύπους συσσωρευτών, καθώς και στους εναλλακτικούς τρόπους αποθήκευσης της ηλεκτρικής ενέργειας:

- A) υπό μορφή υδρογόνου (H_2) δηλαδή σε χημική μορφή και παρατίθενται μερικοί λόγοι που μας οδήγησαν στην τεχνολογία του υδρογόνου όπως για παράδειγμα οι περιβαλλοντικές ωφέλειες από τη χρήση του
- B) σε αντλιοσταμειυτήρες δηλαδή σε δυναμική ενέργεια.

Στο 2^ο κεφάλαιο παρουσιάζονται οι βασικές αρχές της ηλεκτρόλυσης του νερού για την παραγωγή υδρογόνου και περιγράφεται η κυψέλη ηλεκτρόλυσης, η «μηχανή» η οποία παράγει το υδρογόνο, πως είναι κατασκευασμένη και από τι υλικά. Στη συνέχεια αναφέρονται άλλοι τρόποι παραγωγής υδρογόνου όπως για παράδειγμα με θερμόλυση υδρογονανθράκων ή φυσικού αερίου. Στη τεχνολογία του υδρογόνου σημαντικό ρόλο παίζει ο τρόπος αποθήκευσης του καθώς είναι ικανό να διαβρώνει τα δοχεία μέσα στα οποία βρίσκεται και μπορεί να γίνει με τους εξής τρόπους:

- A) αποθήκευση ως αέριο
- B) αποθήκευση ως υγρό
- Γ) αποθήκευση σε μεταλλικούς υδρίτες

Ακολουθεί αναφορά στη μεταφορά του υδρογόνου:

- A) μεταφορά υπό υψηλή πίεση
- B) μεταφορά ως υγρό

Σημαντικός παράγοντας για την μελλοντική χρήση του υδρογόνου θα είναι η ασφάλεια των εγκαταστάσεων οι οποίες θα διαχειρίζονται καθημερινά μεγάλες ποσότητες. Η επικινδυνότητα του αερίου υδρογόνου είναι μεγαλύτερη από των άλλων καυσίμων που ήδη χρησιμοποιούνται, λόγω των φυσικών ιδιοτήτων του. Ήδη

υπάρχουν μέτρα προστασίας αφού αναλύθηκαν ατυχήματα που είχαν σχέση με υδρογόνο ή με εξοπλισμό που χρησιμοποιεί υδρογόνο. Αυτά τα μέτρα χωρίζονται σε:

- A) πρωτοβάθμια
- B) δευτεροβάθμια
- Γ) τριτοβάθμια

και το καθένα από αυτά δημιουργήθηκαν για να μειώσουν τα δυσάρεστα αποτελέσματα ενός ατυχήματος από υδρογόνο.

Το 3^ο κεφάλαιο αναφέρεται στις ηλεκτροχημικές συσκευές οι οποίες μετατρέπουν την χημική ενέργεια ενός καυσίμου σε ηλεκτρική, τις κυψέλες καυσίμων. Αναλύεται συνοπτικά ο τρόπος λειτουργίας τους και στη συνέχεια αναφέρονται τα γενικά χαρακτηριστικά τους όπως η μεγάλη αποδοτικότητά τους καθώς μετατρέπουν την χημική ενέργεια σε ηλεκτρική και η λειτουργία τους με σταθερή απόδοση ανεξάρτητα από το μέγεθός τους.

Μια ποικιλία από κυψέλες καυσίμου έχει δημιουργηθεί για διάφορες εφαρμογές. Οι κυψέλες ταξινομούνται ανάλογα με τον τύπο του ηλεκτρολύτη που χρησιμοποιείται :

- A) polymer electrolyte fuel cell (PEFC),
- B) alkaline fuel cell (AFC),
- Γ) phosphoric acid fuel cell (PAFC),
- Δ) molten carbonate fuel cell (MCFC) και
- E) solid oxide fuel cell (SOFC).

Το τέταρτο κεφάλαιο επικεντρώνεται στον άλλο τρόπο αποθήκευσης μεγάλων ποσοτήτων ενέργειας, τους αντλιοσταμειτήρες. Αφού δίνεται μια σύντομη ιστορική αναφορά της χρήσης του νερού ανά τους αιώνες προχωρούμε στην ενέργεια που είναι δυνατόν να αποθηκεύσουμε σε αυτό και θεωρητικά μπορεί να υπολογιστεί από τον τύπο $E = M g H$ όπου το g είναι η επιτάχυνση λόγω της βαρύτητας και είναι ίση με $9,8 \text{ m/sec}^2$, M η μάζα του νερού και H το ύψος από το οποίο πέφτει το νερό.

Οι αντλιοσταμειτήρες μπορούν να έχουν ισχύ από μερικές εκατοντάδες watts μέχρι και μερικές χιλιάδες megawatts και μπορούμε να τους κατατάξουμε με πολλούς διαφορετικούς τρόπους.

- A) Από το ύψος από το οποίο πέφτει το νερό
- B) Από τη χωρητικότητα – την ισχύ του
- Γ) Από τον τύπο του υδροστροβίλου που χρησιμοποιείτε
- Δ) Από την περιοχή και το είδος του φράγματος – δεξαμενής

Η καρδιά ενός τέτοιου συστήματος είναι ο υδροστροβίλος δηλαδή οι μηχανές που μετατρέπουν την υδραυλική ενέργεια του νερού σε μηχανική ενέργεια. Τους διακρίνουμε σε δύο κατηγορίες, υδροστροβίλους δράσεως και υδροστροβίλους αντιδράσεως. Στους πρώτους η στατική πίεση του ρευστού δια μέσου της πτερωτής είναι σταθερή ενώ στους δεύτερους μεταβάλλεται διαρκώς.

Στη συνέχεια δίνονται όλοι οι τύποι υδροστροβίλων οι οποίοι χρησιμοποιούνται μέχρι και σήμερα. Οι υδροστροβίλοι είναι:

- A) FRANCIS
- B) KAPLAN

- Γ) PELTON
- Δ) TURGO
- Ε) CROSS-FLOW

Στο πέμπτο κεφάλαιο βρίσκονται οι υπολογισμοί για τα ηλιακά και αιολικά συστήματα που χρειάζονται για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών της Κρήτης με αποθήκευση της παραγόμενης ενέργειας ηλεκτρολυτικά σε μορφή υδρογόνου και αντλιοσταμειυτήρες και χρήση της αργότερα για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Στο πρώτο μέρος του κεφαλαίου γίνεται μια συνοπτική παρουσίαση της ενεργειακής κατάστασης στην Κρήτη. Είναι γνωστή η αδυναμία του παραγωγικού συστήματος του νησιού να καλύψει την υπάρχουσα ζήτηση καθώς υπάρχει μεγάλη ετήσια αύξηση της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας. Γι αυτό ακριβώς αλλά και για περιβαλλοντικούς λόγους πρέπει να στραφούμε σε εναλλακτικές μορφές ενέργειας.

Στο δεύτερο μέρος γίνονται οι υπολογισμοί για το έτος 2015 και παρουσιάζονται σε διαγράμματα τα αποτελέσματα. Οι υπολογισμοί αφορούν τα ηλιακά και αιολικά συστήματα που χρειάζονται για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών της Κρήτης με αποθήκευση της παραγόμενης ενέργειας ηλεκτρολυτικά σε μορφή υδρογόνου. Γνωρίζουμε την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας για την πενταετία 1996-2000 και γνωρίζουμε τον μέσο όρο ετήσιου ρυθμού αύξησης της παραγωγής άρα υπολογίζουμε την συνολική κατανάλωση για το έτος 2015. Έχοντας ως δεδομένο την κατανάλωση για το έτος 2015 - η χρονιά μέχρι την οποία η Ελλάδα θα πρέπει να έχει συμμορφωθεί με τις ευρωπαϊκές οδηγίες και το 15% της συνολικής κατανάλωσης θα πρέπει να καλύπτεται από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας - υπολογίζουμε με τη σειρά την ενέργεια από ανανεώσιμες πηγές (αιολικά, ηλιακά) και από συμβατικά καύσιμα. Στη συνέχεια υπολογίζονται και παρουσιάζονται με τη σειρά:

- 1) Τα ποσά των ενεργειών που διαχειριζόμαστε κατά τη διάρκεια της διαδικασίας αποθήκευσης και επαναχρησιμοποίησης της ηλεκτρικής ενέργειας συναρτήσει του ποσοστού κάλυψης των αναγκών της Κρήτης σε ηλεκτρική ενέργεια
- 2) οι απώλειες ενέργειας κατά τη διάρκεια της διαδικασίας αποθήκευσης και επαναχρησιμοποίησης της ενέργειας
- 3) ο ρυθμός μεταβολής απώλειας ενέργειας
- 4) η ποσοστιαία μεταβολή ενέργειας
- 5) το οξυγόνο που καταναλώνεται κατά τη λειτουργία των κυψελών καυσίμων
- 6) ο αέρας που χρησιμοποιείται για την παροχή του στοιχειομετρικά απαιτούμενου οξυγόνου
- 7) ο αέρας που εξέρχεται από μια κυψέλη καυσίμου μετά την κατανάλωση του στοιχειομετρικά απαιτούμενου οξυγόνου
- 8) Το παραγόμενο νερό κατά τη λειτουργία των κυψελών καυσίμων
- 9) Το χρησιμοποιούμενο υδρογόνο κατά τη λειτουργία των κυψελών καυσίμων
- 10) Η θερμότητα η οποία παράγεται κατά τη λειτουργία των κυψελών καυσίμων
- 11) η ονομαστική ισχύς των αιολικών συστημάτων για την παραγωγή της απαραίτητης ηλεκτρικής ενέργειας για την ηλεκτρόλυση του νερού
- 12) επιφάνεια φωτοβολταϊκών συστημάτων για την παραγωγή της απαραίτητης ηλεκτρικής ενέργειας για την ηλεκτρόλυση του νερού

το επόμενο κομμάτι της εργασίας επικεντρώνεται στην αποθήκευση ενέργειας σε αντλιοσταμειυτήρες και υπολογίζονται και παρουσιάζονται με τη σειρά:

- 1) τα ποσά των ενεργειών που διαχειριζόμαστε κατά τη διάρκεια της διαδικασίας αποθήκευσης και επαναχρησιμοποίησης της ηλεκτρικής ενέργειας συναρτήσει του ποσοστού κάλυψης των αναγκών της Κρήτης σε ηλεκτρική ενέργεια
- 2) οι απώλειες ενέργειας κατά τη διάρκεια της διαδικασίας αποθήκευσης και επαναχρησιμοποίησης της ενέργειας
- 3) ο ρυθμός μεταβολής απώλειας ενέργειας
- 4) η ποσοστιαία μεταβολή ενέργειας
- 5) η ονομαστική ισχύς των αιολικών συστημάτων για την παραγωγή της απαραίτητης ηλεκτρικής ενέργειας για την ηλεκτρόλυση του νερού
- 6) η επιφάνεια φωτοβολταϊκών συστημάτων για την παραγωγή της απαραίτητης ηλεκτρικής ενέργειας για την ηλεκτρόλυση του νερού

Στο έκτο κεφάλαιο παρουσιάζονται και δίνονται σε διάγραμμα οι ποσότητες των ρύπων που τελικά δεν καταλήγουν στο περιβάλλον σε σχέση με το ποσοστό κάλυψης των ενεργειακών απαιτήσεων της Κρήτης από αιολικά και ηλιακά συστήματα σε περίπτωση που αντικαταστήσουμε τα συμβατικά καύσιμα.

Δίνονται με τη σειρά τα εξής διαγράμματα:

- 1) η γραφική απεικόνιση της ποσότητας CO₂ εκφρασμένη σε τόνους που τελικά δεν καταλήγει στο περιβάλλον σε σχέση με το ποσοστό κάλυψης των ενεργειακών απαιτήσεων της Κρήτης από αιολικά και ηλιακά συστήματα
- 2) γραφική απεικόνιση της ποσότητας CO₂ εκφρασμένη σε τόνους που τελικά δεν καταλήγει στο περιβάλλον σε σχέση με το ποσοστό κάλυψης των ενεργειακών απαιτήσεων της Κρήτης από αιολικά και ηλιακά συστήματα
- 3) η γραφική απεικόνιση της ποσότητας CO₂ εκφρασμένη σε τόνους που τελικά δεν καταλήγει στο περιβάλλον σε σχέση με το ποσοστό κάλυψης των ενεργειακών απαιτήσεων της Κρήτης από αιολικά και ηλιακά συστήματα
- 4) η γραφική απεικόνιση της ποσότητας των μικροσωματιδίων εκφρασμένη σε τόνους που τελικά δεν καταλήγει στο περιβάλλον σε σχέση με το ποσοστό κάλυψης των ενεργειακών απαιτήσεων της Κρήτης από αιολικά και ηλιακά συστήματα

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Τα συμπεράσματα της εργασίας αυτής μπορούν να συνοψισθούν στα εξής:

Α) ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΕ ΥΔΡΟΓΟΝΟ

ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

1. Είναι ένας από τους δυο τρόπους με τους οποίους μπορούμε να αποθηκεύσουμε μεγάλα ποσά ενέργειας για μεγάλα χρονικά διαστήματα
2. Η αποθήκευση της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας υπό μορφή υδρογόνου δεν επιβαρύνει το περιβάλλον – δεν παράγει απολύτως καμία επικίνδυνη ουσία ή επικίνδυνους ρύπους

3. Κατά τη διαδικασία ηλεκτρόλυσης του νερού για παραγωγή υδρογόνου παράγεται συγχρόνως και οξυγόνο το οποίο μπορούμε να εκμεταλλευτούμε εμπορικά.
4. Κατά τη διαδικασία καύσης του υδρογόνου στις κυψέλες καυσίμου παράγεται θερμότητα που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για συμπαραγωγή ενέργειας.

ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

1. Η τεχνολογία που χρησιμοποιείται για την αποθήκευση της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας υπό μορφή υδρογόνου είναι σχετικά καινούργια και ακόμα και τώρα γίνονται έρευνες για τη βελτίωση της.
2. Λόγω της σύγχρονης τεχνολογίας που χρησιμοποιείται χρειάζεται εξειδικευμένο προσωπικό για τις εγκαταστάσεις.
3. Κατά τη διαδικασία αποθήκευσης της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας υπό μορφή υδρογόνου χρειάζεται να διαχειριστούμε τόνους αερίων και μεγάλα ποσά θερμότητας.
4. Η μέθοδος έχει μεγάλο κόστος.
5. Ακόμα δεν έχει καλές αποδόσεις όσο αναφορά στην αποθήκευση και επαναπόκτηση της ενέργειας.
6. Η μέθοδος δεν είναι τελείως ακίνδυνη. Χρειάζεται μεγάλη προσοχή μεγάλες ποσότητες εύφλεκτου αερίου (υδρογόνο).

Β) ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΕ ΑΝΤΛΙΟΤΑΜΙΕΥΤΗΡΕΣ

ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

1. Είναι ένας από τους δυο τρόπους με τους οποίους μπορούμε να αποθηκεύσουμε μεγάλα ποσά ενέργειας για μεγάλα χρονικά διαστήματα
2. Σε αυτή τη μέθοδο χρησιμοποιείται δοκιμασμένη τεχνολογία.
3. Κάθε υδροηλεκτρικό έργο μπορεί με κατάλληλες μετατροπές να αποθηκεύει ενέργεια (π.χ. επιλογή κατάλληλου στροβίλου ο οποίος θα λειτουργεί και ως αντλία)
4. Έχει καλές αποδόσεις όσο αναφορά στην αποθήκευση και επαναπόκτηση της ενέργειας.
5. Δεν χρειάζεται μεγάλο και εξειδικευμένο προσωπικό.

ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

1. Υπάρχουν περιορισμοί λόγω ανάγλυφου κάθε περιοχής και δεν είναι δυνατή η κατασκευή τους οπουδήποτε.
2. Έχει επιπτώσεις στην υδρολογία της περιοχής καθώς και στη γλωρίδα και πανίδα.

ΩΡΙΜΟΤΗΤΑ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΚΥΨΕΛΩΝ ΚΑΥΣΙΜΩΝ

Η μέθοδος αποθήκευσης της ενέργειας υπό μορφή υδρογόνου και επαναχρησιμοποίηση της όποτε κριθεί αναγκαίο μπορεί να χωριστεί σε τρία μέρη: Στην τεχνολογία ηλεκτρόλυσης του νερού που στηρίζεται σε δοκιμασμένες τεχνολογίες ενώ η μέθοδος φτάνει σε βαθμό απόδοσης ακόμα και το 90%.

Όσο αναφορά την αποθήκευση του υδρογόνου μπορούμε να στραφούμε στις ίδιες τεχνολογίες που χρησιμοποιήθηκαν και για την αποθήκευση και διανομή του φυσικού αερίου. Ωστόσο δεν μπορούμε να παραμείνουμε σε αυτές τις τεχνολογίες αν θέλουμε να μιλήσουμε για κοινωνίες οι οποίες θα στηρίζουν ένα μεγάλο μέρος των ενεργειακών αναγκών τους στο υδρογόνο. Σε αυτή τη περίπτωση οι καινούργιες τεχνολογίες, όπως η υπεδάφια αποθήκευση του υδρογόνου σε μεγάλες στοές ή ορυχεία ή ακόμα και πετρελαιοπηγές, η αποθήκευση υδρογόνου σε υδρίτες μετάλλων, είναι αυτές που θα δώσουν τις απαραίτητες λύσεις.

Το τρίτο μέρος είναι η καύση του υδρογόνου σε κυψέλες καυσίμων. Η τεχνολογία στηρίζεται σε στέρεο θεωρητικό υπόβαθρο που όμως δεν συνοδεύεται από τέτοιες τεχνολογικές καινοτομίες που θα έκαναν την εφαρμογή τους εμπορικά βιώσιμες. Βεβαίως έχουν γίνει πολλά θετικά βήματα όμως χρειάζονται ακόμα πολλές ώρες έρευνας για να πούμε ότι η συγκεκριμένη τεχνολογία έχει ωριμάσει και μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε ευρεία κλίμακα.

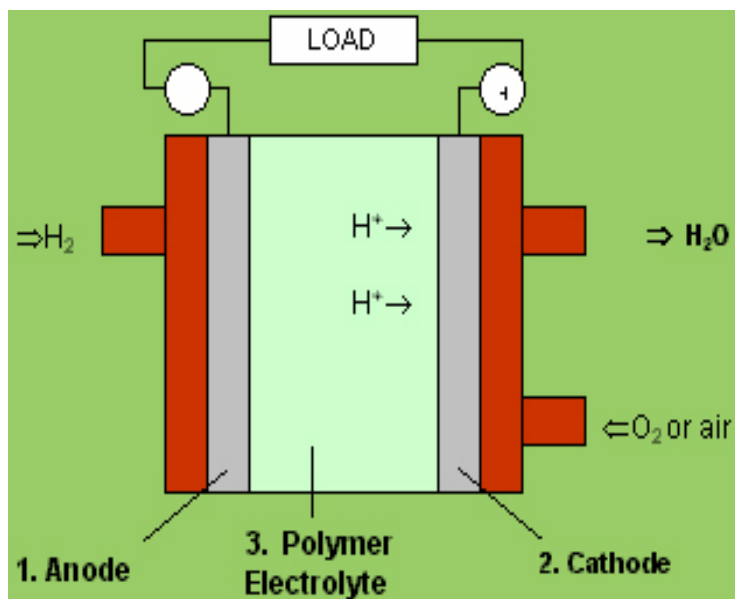
Έτσι λοιπόν τα αποτελέσματα στα οποία καταλήξαμε δεν είναι καθόλου ενθαρρυντικά. Η μικρή αποδοτικότητα της καύσης του υδρογόνου στις κυψέλες καυσίμου οδηγεί σε υπερβολικά μεγάλες ανάγκες για αιολικά και ηλιακά συστήματα έτσι ώστε να είμαστε ικανοί να καλύψουμε τις ενεργειακές ανάγκες της Κρήτης. Είναι μάλιστα τόσο μεγάλα τα νούμερα που μια τέτοια μέθοδος δεν είναι απλά αντικοινομική αλλά στην ουσία εξωπραγματική.

ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Ο συνολικός βαθμός απόδοσης της παραγωγής, αποθήκευσης και επαναχρησιμοποίησης του υδρογόνου είναι $A=36\%$ ενώ ο συνολικός βαθμός απόδοσης της αποθήκευσης ενέργειας υπό τη μορφή δυναμικής ενέργειας και επαναχρησιμοποίησης της αργότερα είναι $B=72,25\%$. Λόγω της χαμηλής απόδοσης αποθήκευσης και επαναπόκτησης της ενέργειας με υδρογόνο χρειαζόμαστε πολύ μεγαλύτερη ονομαστική ισχύ αιολικών συστημάτων ή επιφάνεια φωτοβολταϊκών για να καλύψουμε την κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας στην Κρήτη.

Η αποθήκευση σε υδρογόνο μπορεί να χρησιμοποιηθεί οπουδήποτε και δεν έχει κανένα χωρικό περιορισμό, σε αντίθεση με τους αντλιοσταμειυτήρες, με την εξής όμως προϋπόθεση: να παράγεται το υδρογόνο στα μέρη όπου υπάρχει η περίσσια της ηλεκτρικής ενέργειας και να μεταφέρεται σε κεντρικές μονάδες στις οποίες θα αποθηκεύεται ή θα καίγεται για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

1.1 - Εισαγωγή

Είναι σαφές πως αν θέλουμε να αντιμετωπισθεί το περιβαλλοντικό πρόβλημα θα πρέπει η κοινωνία και ο σύγχρονος τρόπος ζωής με αργά αλλά σταθερά βήματα να απαγκιστρωθούν από το υπάρχον ενεργειακό μοντέλο. Πιο συγκεκριμένα η Ελλάδα στηρίζεται κατά κύριο λόγο στο εισαγόμενο πετρέλαιο και στον εγχώριο λιγνίτη. Αυτό το ενεργειακό μοντέλο το οποίο στον τομέα της ηλεκτροπαραγωγής είχε ως βασικό πυλώνα η Ελλάδα το διαμόρφωσε μετά τις ενεργειακές κρίσεις της δεκαετίας του 1970. Έτσι λοιπόν είναι αναγκαίο να στραφούμε σε ένα καινούργιο, φιλικό ως προς το περιβάλλον, ενεργειακό μοντέλο. Ένα μοντέλο που θα δίνει έμφαση στην εξοικονόμηση, τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και την πιο ορθολογική χρήση των συμβατικών ενεργειακών πόρων.

Η Ελλάδα ως χώρα έχει μεγάλες δυνατότητες για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από πηγές όπως ο ήλιος και ο άνεμος. Αυτή τη στιγμή το αιολικό δυναμικό παραμένει ανεκμετάλλευτο με λίγες εξαιρέσεις, όπως για παράδειγμα η Κρήτη, όπου το 2000 σχεδόν το 10% των ενεργειακών απαιτήσεων καλύφθηκαν από την αιολική ενέργεια ενώ η εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας βρίσκεται ακόμα σε εμβρυϊκό επίπεδο.

1.1.1 – Αιολική Ενέργεια

Με τον όρο αιολική ενέργεια εννοούμε την ενέργεια που μεταφέρει ο άνεμος κατά τη κίνηση του. Οι ανεμογεννήτριες μετατρέπουν την κινητική ενέργεια του ανέμου σε μηχανική. Αυτή η μηχανική ενέργεια μπορεί να χρησιμοποιηθεί για συγκεκριμένες εργασίες όπως για παράδειγμα η άντληση νερού. Από τα πρώτα ιστορικά χρόνια η αιολική ενέργεια χρησιμοποιήθηκε για να κινήσει πλοία, να αντλήσει νερό ή να αλέσει δημητριακά. Υπάρχουν ενδείξεις ότι η αιολική ενέργεια χρησιμοποιήθηκε για ώθηση πλοιαρίων κατά μήκος του Νείλου γύρω στο 5000 π.Χ. ενώ και λίγους αιώνες πιο μετά ανεμόμυλοι χρησιμοποιήθηκαν στην Κίνα για άντληση νερού.



Εικόνα 1 : Εκμετάλλευση της αιολικής ενέργειας από τις αιολικές μηχανές

1.1.2 – Ηλιακή Ενέργεια

Το συνολικό μέγεθος της ροής της ηλιακής ενέργειας προς και από τη γη και την ατμόσφαιρα είναι τεράστιο. Το ποσό της ηλιακής ενέργειας που ρέει συνολικά κατά τη διάρκεια ενός χρόνου είναι:

- Ίσο με 160 φορές την ενέργεια που θα μπορούσαμε να πάρουμε από τα υπάρχοντα ορυκτά καύσιμα.
- Ίσο με 15000 φορές την ενέργεια που καταναλώνεται σε όλο τον κόσμο κατά την διάρκεια ενός έτους.

Το θέμα όμως δεν είναι η διαθεσιμότητα της ηλιακής ενέργειας αλλά η δυνατότητα να μετατρέπουμε την ηλιακή ενέργεια σε μορφές ενέργειας οι οποίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν από τον άνθρωπο.

Από τη συνολική εισερχόμενη ακτινοβολία το 30% αντανακλάται πίσω στο διάστημα αμέσως. Από το υπόλοιπο 70% το πιο μεγάλο μέρος θερμαίνει τη γήινη επιφάνεια, ατμόσφαιρα και τους ωκεανούς (47%) ή απορροφάται κατά την εξάτμιση του νερού (23%). Μικρές ποσότητες ακτινοβολίας δημιουργούν τον άνεμο ή απορροφούνται από τα φυτά για την φωτοσύνθεση.



Εικόνα 2 : Εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας από φωτοβολταικά πλαίσια

1.1.3 – Υδροηλεκτρική Ενέργεια

Όπως οι άλλες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας έτσι κι αυτή δημιουργείται έμμεσα από την ηλιακή ενέργεια. Σχεδόν το $\frac{1}{4}$ της ηλιακής ενέργειας που φτάνει στη γη καταναλώνεται στην διαδικασία εξάτμισης του νερού. Έτσι λοιπόν οι υδρατμοί στην ατμόσφαιρα είναι στην ουσία μια συνεχής, τεράστια αποθήκη ενέργειας. Δυστυχώς το μεγαλύτερο μέρος αυτής της ενέργειας δεν μπορούμε να την εκμεταλλευτούμε: ανακυκλώνεται στην ατμόσφαιρα όταν οι υδρατμοί συμπυκνώνονται για να σχηματίσουν βροχή ή χιόνι και η ενέργεια ακτινοβολείται πάλι πίσω στο διάστημα. Μόνο ένα μικρό μέρος, λιγότερο από το $\frac{1}{10}$ της συνολικής ενέργειας, είναι δυνατόν να εκμεταλλευτούμε όταν το νερό ή το χιόνι πέσουν στη γη.

Αντίθετα με τις άλλες πηγές η υδροηλεκτρική ενέργεια συνεισφέρει ήδη σε ένα μεγάλο μέρος των ενεργειακών αναγκών σε ολόκληρο τον κόσμο. Βασίζεται σε γνωστές τεχνολογίες και παράγει ενέργεια σε ανταγωνιστικές τιμές εδώ και ένα αιώνα. Είναι η βασική πηγή ηλεκτρισμού για 30 χώρες και καλύπτει περίπου το $\frac{1}{5}$ της ετήσιας παγκόσμιας κατανάλωσης. Να σημειωθεί ότι στους σταθμούς παραγωγής υδροηλεκτρικής ενέργειας συμπεριλαμβάνονται μερικά από τα μεγαλύτερα τεχνητά οικοδομήματα του κόσμου.

Οι σύγχρονες μονάδες θα μπορούσαμε να πούμε ότι είναι το τελικό προϊόν μιας πορείας τεχνολογικής ανάπτυξης 2000 ετών, από ένα μικρό ξύλινο μύλο που μετέτρεπε ένα μικρό ποσοστό της ενέργειας του νερού σε μηχανική, στις σύγχρονες γεννήτριες που μπορούν να φτάσουν τις 1500 στροφές ανά λεπτό και έχουν απόδοση ως και 95%.



Εικόνα 3 : Εκμετάλλευση της δυναμικής ενέργειας του νερού

1.2 – Αποθήκευση Ενέργειας

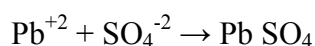
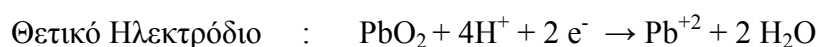
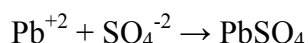
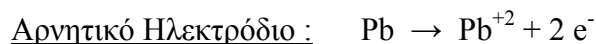
Παρά τη μεγάλη ποικιλία τύπων συσσωρευτών που είναι γνωστοί στα μεγάλα εμπορικά και ενεργειακά συστήματα δυο μόνο τύποι συσσωρευτή έχουν επικρατήσει. Αυτοί είναι οι συσσωρευτές με αλκαλική ηλεκτρολύτη και οι συσσωρευτές μολύβδου-οξέος. Περιβαλλοντικοί λόγοι έχουν επιβάλει οδηγίες για τον περιορισμό της χρήσης του καδμίου στην Ευρωπαϊκή Ένωση και στις ΗΠΑ. Έτσι ήδη έχει αρχίσει η σταδιακή αντικατάσταση της χρήσης συσσωρευτών νικελίου – καδμίου.

A) Συσσωρευτής Μολύβδου –Οξέος

Είναι ένα πετυχημένο εμπορικά είδος για περισσότερο από έναν αιώνα. Κυκλοφορεί σε δυο κύριους τύπους:

- Τον συσσωρευτή ανοικτού τύπου
- Τον στεγανό συσσωρευτή μολύβδου

Ο συσσωρευτής μολύβδου χρησιμοποιεί ως ενεργό υλικό στο θετικό ηλεκτρόδιο διοξείδιο του μολύβδου και στο αρνητικό ηλεκτρόδιο μεταλλικό μόλυβδο διαμορφωμένο σε μια μεγάλης επιφάνειας πορώδη κατασκευή. Ως ηλεκτρολύτης χρησιμοποιείται θεικό οξύ ειδικού βάρους περίπου 1,28. Κατά την εκφόρτιση και τα δυο ηλεκτρόδια μετατρέπονται σε θεικό μόλυβδο. Η διαδικασία αυτή αντιστρέφεται κατά τη φόρτιση. Η λειτουργία του συσσωρευτή μολύβδου περιγράφεται από τις εξισώσεις:

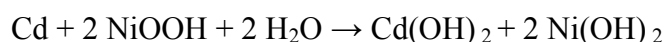


B) Συσσωρευτής Αλκαλικού Ηλεκτρολύτη

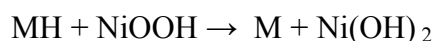
Ο όρος «αλκαλικός ηλεκτρολύτης» περιλαμβάνει δυο τύπους συσσωρευτών του νικελίου – καδμίου (Ni – Cd) και τους νικελίου – υδριδίου ενός μετάλλου (Ni – MH). Οι συσσωρευτές νικελίου – καδμίου μπορούν να βρεθούν τόσο σε μορφή ανοικτού τύπου όσο και σε κλειστού.

Τα ενεργά υλικά στους συσσωρευτές νικελίου – καδμίου είναι το κάδμιο για το αρνητικό ηλεκτρόδιο και το οξύ – υδροξείδιο του νικελίου (NiOOH) για το θετικό. Σαν ηλεκτρολύτης χρησιμοποιείται διάλυμα καυστικού καλίου

Η συνολική αντίδραση κατά τη φόρτιση και εκφόρτιση είναι :



Στους συσσωρευτές νικελίου – υδριδίου ενός μετάλλου η συνολική αντίδραση κατά τη φόρτιση και εκφόρτιση είναι :



1.3 – Εναλλακτικοί Τρόποι Αποθήκευσης Ενέργειας

Όπως αναφέραμε οι συσσωρευτές είναι μια κλασική μέθοδος και η πιο κατάλληλη για αποθήκευση ενέργειας. Αυτό ισχύει για μικρές ποσότητες ενέργειας και όχι για μεγάλες. Είναι αναγκαίο λοιπόν να βρούμε καινούργιους τρόπους για να αποθηκεύουμε ενέργεια ειδικά τώρα με την αύξηση της χρήσης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, γιατί η ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από αυτές δεν είναι σταθερή αλλά έχει διακυμάνσεις – πολλές φορές είναι απότομες και για λόγους τους οποίους δεν γνωρίζουμε. Δυο τέτοιοι εναλλακτικοί τρόποι αποθήκευσης είναι να χρησιμοποιήσουμε την ηλεκτρική ενέργεια για να παράγουμε υδρογόνο ή για να αντλούμε νερό σε κάποιο ύψος.

1.3.1 – Αποθήκευση Ενέργειας Σε Υδρογόνο

Το υδρογόνο παράγεται κύρια με ηλεκτρόλυση (ακόμα και από θαλασσινό νερό μετά από κατάλληλη επεξεργασία) και αποτελεί πρακτικά μια ανεξάντλητη πρώτη ύλη. Το υδρογόνο μπορεί να χρησιμοποιηθεί είτε απευθείας ως καύσιμο είτε ως μέσο αποθήκευσης ενέργειας.

Η επιλογή του υδρογόνου ως μέσο αποθήκευσης δεν είναι τυχαία. Παρακάτω παρατίθενται οι κύριοι λόγοι που μας οδηγούν να στραφούμε προς αυτό:

- Όταν καίγεται στη κυψέλη καυσίμου δεν παράγει τίποτα άλλο εκτός από υδρατμούς

- Η απόδοση της κυψέλης καυσίμου είναι καλύτερη από την απόδοση των μηχανών εσωτερικής καύσης
- Οι κυψέλες καυσίμου οι οποίες χρησιμοποιούν υδρογόνο δεν έχουν κινούμενα μηχανικά μέρη και είναι αθόρυβες
- Το υδρογόνο παράγεται με πληθώρα τρόπων ακόμα και από ηλεκτρόλυση του νερού
- Μπορεί το υδρογόνο να αποθηκευτεί όπως όλα τα άλλα αέρια π.χ. φυσικό αέριο

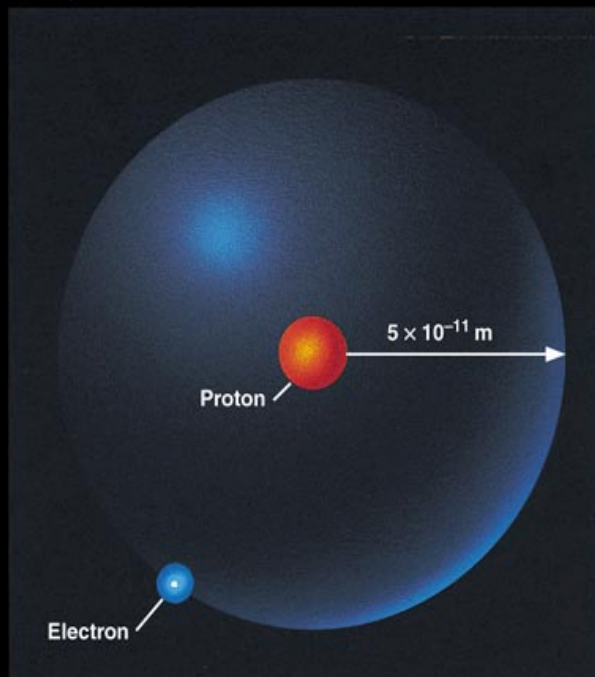
1.3.2 – Αποθήκευση Ενέργειας Σε Αντλιοταμιευτήρες

Η εφαρμογή αυτή εμφανίζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον και για τη χώρα μας στο άμεσο μέλλον, κύρια στα νησιά του Αιγαίου. Στη περίπτωση αυτή η περίσσια της αιολικής ή ηλιακής ενέργειας, κατά τις ώρες της μικρής ενεργειακής ζήτησης, χρησιμοποιείται για την άντληση του νερού στην πάνω λίμνη ενός ταμιευτήρα. Στη περίπτωση χαμηλής ενεργειακής ζήτησης ή άπνοιας λειτουργεί ο ταμιευτήρας με τη πτώση του αποθηκευμένου ύδατος στον υδροστρόβιλο και παραγωγή του επιθυμητού ποσού ενέργειας. Για την λειτουργία του αντλιοταμιευτήρα μπορεί να χρησιμοποιηθεί γλυκό νερό (βρόχινο) αλλά και προεπεξεργασμένο νερό θάλασσας. Βέβαια οι δαπάνες επένδυσης είναι αρκετά υψηλές με αποτέλεσμα να απαιτείται οικονομοτεχνική ανάλυση για την αναζήτηση της βέλτιστης λύσης. Δεν πρέπει τέλος να ξεχάμε ότι τα συνδυασμένα αιολικά – υδροηλεκτρικά έργα εμφανίζουν τέλεια ρύθμιση του φορτίου.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΥΔΡΟΓΟΝΟ

Fraknoi/Morrison/Wolff, *Voyages Through the Universe*, 2/e
Figure 4.13 The Hydrogen Atom



Harcourt, Inc. items and derived items copyright ©2000 by Harcourt, Inc.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

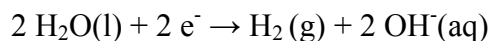
2 – ΤΡΟΠΟΙ ΠΑΡΑΣΚΕΥΗΣ H₂

2.1 – ΗΛΕΚΤΡΟΛΥΣΗ

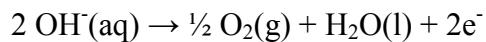
2.1.1 – ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ

Εάν ένα δυναμικό εφαρμοστεί στα ηλεκτρόδια μιας κυψέλης ηλεκτρόλυσης θα συμβούν οι παρακάτω αντιδράσεις:

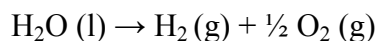
Στην κάθοδο:



Στην άνοδο:



Συνολική αντίδραση:



Όπου l είναι υγρό, g είναι αέριο, aq είναι διαλυμένο σε νερό.

Η αλλαγή της ενθαλπίας για την ηλεκτροχημική διάσπαση του νερού είναι:

$$\Delta H = \Delta G + T \Delta S = -n F E + n F T \left(\frac{\partial E}{\partial T} \right)_p$$

όπου H είναι η ενθαλπία, G είναι η σταθερά του Gibbs, S είναι η εντροπία, T η θερμοκρασία, n ο αριθμός των ηλεκτρονίων, F η σταθερά του Faraday και E το ηλεκτροχημικό δυναμικό.

Από τα παραπάνω δεδομένα έχουμε ότι η απαιτούμενη ηλεκτρική ενέργεια είναι ίση με:

$$W = \Delta G = F n E_{\text{rev}}$$

όπου E_{rev} είναι το ιδανικό δυναμικό διάσπασης.

Σε κανονικές συνθήκες (25°C, 1 atm) αυτό το δυναμικό είναι ίσο με:

$$E_{\text{rev}} = \frac{\Delta g}{n \times F} = 1,228 \text{ V}$$

Στην ουσία το δυναμικό που απαιτείται δίνεται από τους εξής συντελεστές:

$$V = E_1 + E_2 + E_3 + E_4$$

όπου V είναι το δυναμικό της κυψέλης, E_1 το θεωρητικό δυναμικό (E_{rev}), E_2 , E_3 οι τάσεις της ανόδου και της καθόδου και E_4 οι πτώσεις τάσεις λόγω της αντίστασης του ηλεκτρολύτη.

Η απόδοση της ηλεκτρόλυσης δίνεται από τον τύπο

$$n = \frac{E + T\Delta S/nF}{V}$$

Και στις κανονικές συνθήκες (25°C, 1 atm) η απόδοση δίνεται από τον τύπο

$$n = V / 1,48$$

2.1.2 – ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΜΙΑΣ ΚΥΨΕΛΗΣ ΗΛΕΚΤΡΟΛΥΣΗΣ.

Το σχήμα 1 δείχνει την βασική δομή μιας κυψέλης ηλεκτρόλυσης.

Οι περιοχές της ανόδου και της καθόδου διαχωρίζονται από ένα διάφραγμα που επιτρέπει στο ρεύμα να ρέει και είναι αδιαπέραστο για τα αέρια. Η κυψέλη γεμίζεται με ηλεκτρολύτη, το οξυγόνο σχηματίζεται στην άνοδο και το υδρογόνο στην κάθοδο. Ανάλογα με την διάταξη των ηλεκτροδίων και του διαφράγματος, οι κυψέλες χωρίζονται σε μονοπολικές (unipolar) και διπολικές (bipolar).

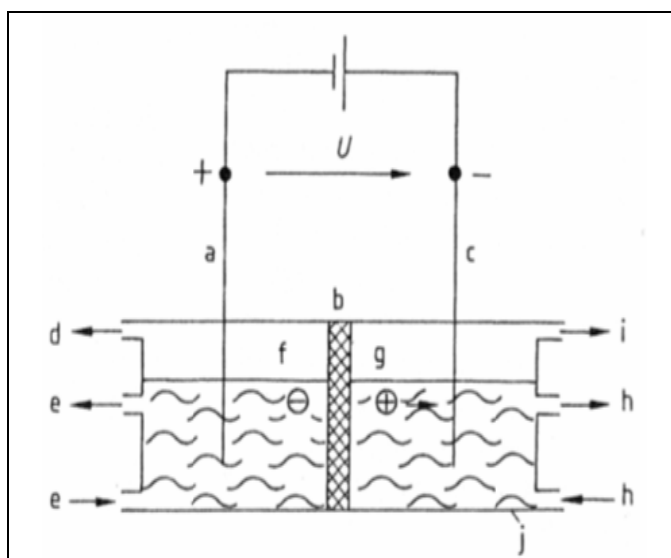
Οι μονοπολικές κυψέλες χωρίζονται σε bell-type (χωρίς διάφραγμα) και στις συνηθισμένες κυψέλες με διάφραγμα, τις bell-diaphragm. Ένα χαρακτηριστικό της μονοπολικής κυψέλης είναι ότι η άνοδος και η κάθοδος έχουν τις δικές τους ξεχωριστές περιοχές.

Οι διπολικές κυψέλες χαρακτηρίζονται από το γεγονός ότι το μέταλλο που τις χωρίζει χρησιμεύει ως κάθοδος για την μία κυψέλη και ως άνοδος για την επόμενη.

Μια εξέλιξη των παραπάνω κυψελών είναι ο στερεός πολυμερής ηλεκτρολύτης ή SPE (Solid Polymer Electrolyte). Σ' αυτού του είδους της κυψέλης (και αυτοί χωρίζονται σε unipolar και bipolar) ο υγρός ηλεκτρολύτης έχει αντικατασταθεί από ένα στερεό φύλλο υλικού που μοιάζει με τeflόν. Όταν μουςκεύεται σε νερό τότε γίνεται ένας εξαιρετικός αγωγός. Αντίθετα με τους

συνηθισμένους ηλεκτρολύτες δεν χρειάζεται να προσθέσουμε οξύ ή αλκάλια στο νερό για να βοηθήσουμε την ηλεκτρόλυση.

Για να μειώσουμε τις απώλειες λόγω της αντίστασης του ηλεκτρολύτη χρησιμοποιούμε διάλυμα υδροξειδίου του καλίου 25-36%κ.β. Άλλοι ηλεκτρολύτες που μπορούν να χρησιμοποιηθούν είναι υδατικό διάλυμα υδροξειδίου του νατρίου ή διάλυμα υδροχλωρικού οξέος. Η αγωγιμότητα των συνηθισμένων ηλεκτρολυτών αυξάνει καθώς αυξάνει η θερμοκρασία γι' αυτό και οι μονάδες ηλεκτρόλυσης λειτουργούν στους 70-90°C δηλαδή χαμηλότερα από το σημείο βρασμού του υδατικού διαλύματος.



Σχήμα 1: βασική δομή μιας κυψέλης ηλεκτρόλυσης. a) άνοδος b) διάφραγμα, c) κάθοδος, d) προϊόν οξυγόνο, e) ανακύκλωση ηλεκτρολύτη ανόδου, f) ανιόν g) κατιόν, h) ανακύκλωση ηλεκτρολύτη καθόδου, i) προϊόν υδρογόνο, j) τοίχωμα κυψέλης

2.1.3 – ΥΛΙΚΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΜΟΝΑΔΩΝ ΗΛΕΚΤΡΟΛΥΣΗΣ

Η συμβατική ηλεκτρόλυση του νερού με υδροξείδιο του καλίου ως ηλεκτρολύτη μπορεί να γίνει αν επιλέξουμε για υλικό κατασκευής τον χάλυβα. Οι περιοχές της κυψέλης που έχουν την μεγαλύτερη πιθανότητα να διαβρωθούν καλύπτονται με ένα λεπτό στρώμα πλαστικού ή κεραμικού.

Η κάθοδος είναι συνήθως κατασκευασμένη από μέταλλο. Για την καλύτερη λειτουργία της καθόδου καλύπτεται με διάφορους καταλύτες. Η άνοδος και τα ηλεκτρόδια των διπολικών (bipolar) κυψελών συνήθως κατασκευάζονται από νικέλιο (η επιλογή αυτή οφείλεται στο γεγονός ότι το νικέλιο έχει χαμηλότερο κόστος από την πλατίνα).

Το διάφραγμα στις κλασικές μονάδες ηλεκτρόλυσης είναι κατασκευασμένο από ασβέστιο και ενισχύεται από ένα δίχτυ κατασκευασμένο από νικέλιο. Λόγω της επικινδυνότητας του ασβεστίου για τον ανθρώπινο οργανισμό έχουν προταθεί άλλα

υλικά από τα οποία θα μπορούσε να κατασκευαστεί το διάφραγμα όπως κεραμικά ή υδρόφιλα πολυμερή.

2.1.4 – ΗΛΕΚΤΡΟΛΥΣΗ ΣΕ ΚΑΝΟΝΙΚΕΣ ΠΙΕΣΕΙΣ

Τα πλεονεκτήματα της διαδικασίας της ηλεκτρόλυσης σε κανονικές συνθήκες (25°C, 1 atm) είναι :

- δεν υπάρχουν μηχανικές καταπονήσεις στις σωληνώσεις και στα όργανα μετρήσεων
- απλή λειτουργία επειδή το νερό που τροφοδοτούμε την κυψέλη δεν χρειάζεται να είναι υπό πίεση.
- γρήγορη εκκίνηση, εύκολη επισκευή
- Ασφαλή λειτουργία γιατί δεν έχουμε ως προϊόν υδρογόνο υψηλής πίεσης.

Στην ηλεκτρόλυση υπό πίεση η κατανάλωση ενέργειας δεν είναι πολύ μεγαλύτερη από ότι στην ηλεκτρόλυση υπό κανονικές συνθήκες. Από την άλλη η κατασκευή και το σφράγισμα μονάδων ηλεκτρόλυσης είναι αρκετά πολύπλοκη και πιο δαπανηρή.

2.1.5 – ΣΥΓΚΡΟΤΗΜΑΤΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΥΔΡΟΓΟΝΟΥ

Εκτός από μία μονάδα ηλεκτρόλυσης ένα συγκρότημα παραγωγής υδρογόνου αποτελείται από έναν αριθμό διαφορετικών εγκαταστάσεων για την παροχή ηλεκτρισμού, την επεξεργασία του νερού, την κυκλοφορία του ηλεκτρολύτη (Εικόνα 1). Σημαντική μονάδα είναι ο διαχωριστής φάσεων (phase separator ή knock out system) η οποία διαχωρίζει τον ηλεκτρολύτη από τα αέρια προϊόντα. Εξίσου σημαντικό είναι και το κεντρικό σύστημα ελέγχου που με την βοήθεια μετρητικών οργάνων ελέγχει όλα τα προαναφερθέντα μέρη.

Το νερό το οποίο καταναλώνεται κατά την διάρκεια της ηλεκτρόλυσης πρέπει να αντικαθίσταται συνεχώς και να πληρεί κάποιες προδιαγραφές καθαρότητας έτσι ώστε να αποφεύγεται η αυξανόμενη συγκέντρωση ανεπιθύμητων ουσιών στον ηλεκτρολύτη. Αν αυτές οι προδιαγραφές δεν πληρούνται θα έχουμε ως αποτέλεσμα την διάβρωση των ηλεκτροδίων και ουσιαστικά την καταστροφή της μονάδας. Συνήθως το νερό που εισάγουμε στις μονάδες πρέπει να έχει αγωγιμότητα όχι μεγαλύτερη από 1 $\mu\text{S}/\text{cm}^3$.

Το ρεύμα με το οποίο τροφοδοτούμε την μονάδα είναι τριφασικό με υψηλό δυναμικό και με ένα μετασχηματιστή και ανορθωτή το μετατρέπουμε σε συνεχές

ρεύμα. Επιπρόσθετα τροφοδοτούμε με ρεύμα και τον βοηθητικό εξοπλισμό όπως είναι η αντλία κυκλοφορίας του ηλεκτρολύτη και το κέντρο ελέγχου.

Η ενεργειακές απώλειες που έχουμε στον ηλεκτρολύτη είναι υπό την μορφή θερμότητας που σημαίνει ότι μεγάλες ποσότητες νερού είναι αναγκαίες για να κρατάμε την θερμοκρασία της μονάδας μέσα στα όρια λειτουργίας της. Αυτό ισχύει και για την μονάδα επεξεργασίας των αερίων.



Εικόνα 1 : Εργοστάσιο παραγωγής υδρογόνου

2.2 – ΑΛΛΟΙ ΜΕΘΟΔΟΙ ΠΑΡΑΣΚΕΥΗΣ ΥΔΡΟΓΟΝΟΥ

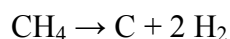
Η ηλεκτρόλυση χρησιμοποιεί ως πρώτη ύλη το νερό για την παραγωγή υδρογόνου. Οι άλλοι μέθοδοι χρησιμοποιούν ως πρώτη ύλη υδρογονάνθρακες. Μερικές από τις μεθόδους αυτές αναλύονται συνοπτικά παρακάτω :

ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΥΔΡΟΓΟΝΟΥ ΑΠΟ ΜΗΧΑΝΕΣ ΕΣΩΤΕΡΙΚΗΣ ΚΑΥΣΗΣ

Η διαδικασία παραγωγής υδρογόνου από μηχανή εσωτερικής καύσης εκμεταλλεύεται την οξείδωση του μεθανίου (CH_4). Πειράματα στις αρχές τις δεκαετίας του 1960 έγιναν στην Ιαπωνία με οχτακύλινδρους κινητήρες των 42 λίτρων. Μία αναλογία οξυγόνου – μεθανίου ίση με 0.82 παρήγαγε αέριο το οποίο περιείχε 58,3 % H_2 , 35,3 % CO , 3,8% CO_2 , 0,6 CH_4 , 0,4% O_2 , 1,6% N_2 . Η θερμοκρασία του αερίου ήταν στους 420 °C.

ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΥΔΡΟΓΟΝΟΥ ΜΕ ΘΕΡΜΟΛΥΣΗ

Η θερμόλυση υδρογονανθράκων ή φυσικού αερίου γύρω στους 1100 °C μελετήθηκε στις ΗΠΑ. Η μέθοδος βασίζεται στην διάσπαση του μεθανίου σε άνθρακα και υδρογόνου στους 650 – 980 °C και πίεση 1-2 atm. :



Ο άνθρακας που συλλέγεται σε έναν καταλύτη καίγεται για την παραγωγή θερμότητας. Οι καταλύτες που χρησιμοποιούνται στην αντίδραση είναι οξείδια Al, Li, Mg, Zn. Ενδεικτικά αναφέρετε ότι στην θερμοκρασία των 840 °C με την μέθοδο αυτή παράγεται αέριο το οποίο περιέχει 93,3 % H₂, 6,5% CH₄, 0,1 % CO, 0,1% N₂.

ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΥΔΡΟΓΟΝΟΥ ΑΠΟ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΠΕΤΡΕΛΑΙΟΥ

Αυτού του είδους το αέριο περιέχει 58% H₂, 4% CH₄, 8%CO, 2,5% άλλοι υδρογονάνθρακες, 1 % O₂, CO₂ και 2,5% N₂ και χρησιμοποιήθηκε στην Ευρώπη αλλά και στην Αμερική για παραγωγή υδρογόνου.

Η απομάκρυνση του θείου και ο διαχωρισμός σε χαμηλές θερμοκρασίες είναι οι συνήθεις διαδικασίες που εφαρμόστηκαν. Βενζίνη και άλλοι υδρογονάνθρακες απομακρύνονται όπως και το CO₂. Στην συνέχεια το αέριο ξηραίνεται και διαχωρίζεται σε χαμηλές θερμοκρασίες. Όλο το σύστημα λειτουργεί σε πίεση 20 atm.

ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΥΔΡΟΓΟΝΟΥ ΜΕ ΔΙΑΣΠΑΣΗ ΤΟΥ ΝΕΡΟΥ ΣΕ ΥΨΗΛΕΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΕΣ

Είναι δυνατή η παραγωγή υδρογόνου από την διάσπαση του νερού σε υψηλές θερμοκρασίες αλλά δεν είναι καθόλου πρακτική καθώς δεν υπάρχουν υλικά που να αντέχουν σε τέτοιες υψηλές θερμοκρασίες.

2.3 – ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ ΥΔΡΟΓΟΝΟΥ

Υπάρχουν μέθοδοι οι οποίοι έχουν ήδη χρησιμοποιηθεί και έχουν αποδείξει ότι λειτουργούν αρκετά καλά. Το υδρογόνο μπορεί να αποθηκευτεί με τους εξής τρόπους :

- Ως αέριο υπό πίεση
- Ως υγρό
- Ως μέρος μεταλλικών υδριτών

2.3.1 – ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ ΩΣ ΑΕΡΙΟ

Η αποθήκευση ως αέριο υπό πίεση είναι αυτή τη στιγμή ο πιο κοινός τρόπος αποθήκευσης. Κύλινδροι (Εικόνα 2) ή ειδικά μικρά trailer (Εικόνα 3) περιέχουν το υδρογόνο στην περιοχή του χρήστη. Μεγαλύτερες δεξαμενές με σφαιρικό ή άλλο σχήμα, μπορούν κι αυτές να έχουν αποθηκευμένο το υδρογόνο. Όμως είναι φανερό ότι κανένα από αυτά τα μεταλλικά κατασκευάσματα δεν είναι οικονομικά

συμφέροντα για τις μεγάλες ποσότητες υδρογόνου οι οποίες είναι αναγκαίες για μία μεγαλύτερη ενεργειακή αγορά.



Εικόνα 2 : Αποθήκευση υδρογόνου σε κυλίνδρους



Εικόνα 3 : μικρά trailer αποθήκευσης και μεταφοράς υδρογόνου

Η εμπειρία από το φυσικό αέριο για παράδειγμα υποδεικνύει ότι η αποθήκευση υδρογόνου κάτω από την επιφάνεια της γης είναι μια καλή λύση. Βέβαια για να γίνει αυτό είναι απαραίτητη η κατάλληλη γεωλογική δομή της περιοχής. Εγκαταλελειμμένες γεωτρήσεις πετρελαίου ή φυσικού αερίου είναι πιθανές υπόγειες περιοχές αποθήκευσης υδρογόνου. Πορώδη, περατά στρώματα τα οποία βρίσκονται κάτω από αδιαπέραστα, συμπαγή πετρώματα είναι μια άλλη πιθανότητα.

Τα μεταλλεία είναι ένας άλλος τρόπος υπόγειας αποθήκευσης του υδρογόνου. Πρέπει να σημειωθεί ότι λόγω της μικρής μοριακής μάζας του υδρογόνου, είναι δυνατό να έχουμε διαρροή προς την επιφάνεια διαμέσου κάποιων πετρωμάτων τα οποία ήδη περιέχουν κάποιο βαρύτερο αέριο όπως για παράδειγμα το φυσικό αέριο. Αυτή η περίπτωση πρέπει να ληφθεί υπόψη κάθε φορά που θα θέλουμε να αποθηκεύσουμε υδρογόνο υπόγεια. Επίσης είναι αναμενόμενο ότι θα έχουμε απώλειες γύρω στο 1-3 %.

2.3.2 – ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ ΩΣ ΥΓΡΟ

Η υγροποίηση του υδρογόνου για την αποθήκευση του είναι μια άλλη προοπτική. Η μείωση του όγκου που καταφέρνουμε με την υγροποίηση είναι μεγάλη, ακόμα μεγαλύτερη και από αυτήν του φυσικού αερίου. Αν εκφράσουμε την αναλογία υγρού – αερίου (το υγρό στο σημείο βρασμού, ενώ το αέριο σε 70°F και πίεση 1 atm.) θα έχουμε :

Υδρογόνο : 1:865 σε σύγκριση με

Φυσικό Αέριο : 1:650

Για να φέρουμε το υδρογόνο σε υγρή μορφή πρέπει να επιτύχουμε αρκετά χαμηλές θερμοκρασίες. Για παράδειγμα το σημείο βρασμού του υδρογόνου υπό κανονικές συνθήκες είναι $-252,77\text{ }^{\circ}\text{C}$. Έτσι λοιπόν για να μετατρέψουμε το υδρογόνο σε υγρό χρειάζεται να σπαταλήσουμε επιπλέον ενέργεια (περίπου 5 kWh ανά λίβρα). Όμως το ενεργειακό περιεχόμενο ανά μονάδα μάζας υδρογόνου είναι περίπου 2,75 φορές μεγαλύτερο από αυτό των υδρογονανθράκων και αυτό το κάνει κατάλληλο ακόμα και για καύσιμο σε πυραύλους και αεροσκάφη. Η τεχνική της υγροποίηση του υδρογόνου είναι αρκετά ανεπτυγμένη όπως και τα μέσα αποθήκευση που χρησιμοποιούνται.

Οι δεξαμενές (Εικόνα 4) που χρησιμοποιούνται για την αποθήκευση υγρού υδρογόνου είναι μονωμένες και με διπλά τοιχώματα. Στο χώρο ανάμεσα στο εξωτερικό και στο εσωτερικό τοίχωμα δημιουργούμε κενό αέρος και το γεμίζουμε με υπερμόνωση. Η υπερμόνωση είναι ένας μεγάλος αριθμός στρωμάτων (10-60 στρώματα/cm) από ειδική μονωτική ταινία. Το καθένα από αυτά τα στρώματα αποτελείται από ένα πλαστικό φιλμ που και οι δύο πλευρές του έχουν βομβαρδιστεί με σωματίδια μετάλλου ή επένδυση από ένα λεπτό έλασμα αλουμινίου. Όταν το φιλμ καλύπτεται από το έλασμα αλουμινίου, ανάμεσα στο έλασμα και το φιλμ τοποθετείται ένα νήμα το οποίο κατασκευάζεται από γυαλί. Μεταφορά θερμότητας ή ακτινοβολίας μέσα από αυτή την μόνωση είναι πολύ δύσκολο να συμβεί.



Εικόνα 4 : μονωμένη και με διπλά τοιχώματα δεξαμενή υγρού υδρογόνου

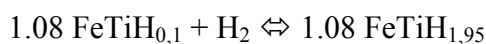
Ο ρυθμός απωλειών υδρογόνου λόγω εξάτμισης μειώνεται όσο αυξάνεται το μέγεθος της δεξαμενής. Για τα δοχεία του εργαστηρίου οι απώλειες κυμαίνονται στο 2-3%, για τις δεξαμενές μεταφοράς στο 1% ενώ οι μεγάλοι μεγέθους υπερμονωμένες δεξαμενές έχουν απώλειες λιγότερο από 0,1%.

2.3.3 – ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ ΣΕ ΜΕΤΑΛΛΙΚΟΥΣ ΥΔΡΙΤΕΣ

Η αποθήκευση σε μεταλλικούς υδρίτες είναι μια πολλά υποσχόμενη μέθοδος. Λόγω του μικρού μεγέθους του μορίου του, το αέριο υδρογόνο είναι ικανό να εισχωρεί στις κρυσταλλικές δομές στερεών μετάλλων και κραμάτων. Για αρκετά

μέταλλα, όπως το τιτάνιο, η εισχώρηση του υδρογόνου στο μεταλλικό πλέγμα είναι τόσο μεγάλη που η συγκέντρωση ανά μονάδα όγκο είναι υψηλότερη από ότι στο υγρό υδρογόνο.

Οι υδρίτες σχηματίζονται εάν απλά εκθέσουμε τα μέταλλα σε αέριο υδρογόνο που βρίσκεται υπό πίεση. Ο σχηματισμός τους είναι μία εξώθερμη διαδικασία και μπορεί να αντιστραφεί εάν τους θερμάνουμε. Το υδρογόνο μπορεί να αποθηκευτεί σε διμεταλλικό μείγμα του τύπου AB_5H_x , όπου Α είναι ένα αραιό λανθανίδιο στοιχείο, Β είναι νικέλιο ή κοβάλτιο και το Χ μπορεί να πάρει το πολύ την τιμή 6. Επίσης έχει βρεθεί ότι υδρίτες βαναδίου και νιόβιου και τα κράματά τους είναι ικανά για αποθήκευση υδρογόνου. Όμως εάν προτιμήσουμε συστήματα που θα χρησιμοποιούν τέτοιου είδους μέταλλα θα έχουν πολύ μεγάλο κόστος και επομένως δεν είναι συμφέρουσες επιλογές για να επενδύσουμε σε αυτές. Γι' αυτό λιγότερο ακριβά μέταλλα θα πρέπει να χρησιμοποιηθούν έτσι ώστε αυτός ο τρόπος αποθήκευσης να γίνει και πρακτικός. Ένα υποψήφιο υλικό είναι ο υδρίτης σιδήρου-τιτανίου. Οι βασικές αντιδράσεις που συμβαίνουν στην δεξαμενή μπορούν να συνοψιστούν στην παρακάτω εξίσωση :



Θερμότητα πρέπει να αφαιρεθεί όταν η εξίσωση πραγματοποιείται προς τα δεξιά και να προστεθεί (δηλαδή να θερμανθεί το κράμα) όταν η εξίσωση πραγματοποιείται προς τα αριστερά.

Εάν θέλουμε αυτός ο τρόπος αποθήκευσης να γίνει πιο εμπορικός είναι αναγκαίο να καθοριστούν και άλλοι παράγοντες, όπως η ικανότητα των μετάλλων να «γεμίζουν» και να «αδειάζουν» από υδρογόνο πολλές φορές χωρίς να υπάρξει διαφοροποίηση στις φυσικές ιδιότητές τους. Επίσης θα πρέπει να δημιουργηθούν λεπτομερείς οδηγίες και διαχειριστικά σχέδια σε περίπτωση εκμετάλλευσης της μεθόδου σε μεγάλη κλίμακα.

2.3.4 – ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕΘΟΔΩΝ ΓΙΑ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ ΥΔΡΟΓΟΝΟΥ ΣΕ ΜΕΓΑΛΗ ΚΛΙΜΑΚΑ

Η ενέργεια η οποία αποθηκεύεται σε ορισμένο όγκο υδρογόνου σε σχέση με το πόση ενέργεια αποθηκεύεται σε ορισμένο όγκο φυσικού αερίου καθορίζεται από την αναλογία των θερμικών περιεχομένων τους. Γι' αυτό λοιπόν σε κατά τα άλλα ισοδύναμα συστήματα, η αποθήκευση υδρογόνου είναι πιο ακριβή κατά 3 φορές από την αποθήκευση φυσικού αερίου. Οι οικονομικές μελέτες που έχουν γίνει για διάφορα συστήματα αποθήκευσης υδρογόνου δείχνουν ότι :

- η υπόγεια αποθήκευση υδρογόνου είναι η πιο συμφέρουσα για κάθε εφαρμογή
- η αποθήκευση σε ειδικά δοχεία υπό πίεση είναι η πιο οικονομική όταν ο χρόνος αποθήκευσης δεν ξεπερνά τις 30 ώρες.
- Η αποθήκευση του υδρογόνου σε υγρή μορφή είναι οικονομικά συμφέρουσα

όταν ο χρόνος αποθήκευσης είναι πάνω από 30 ώρες

2.4 – ΥΛΙΚΑ

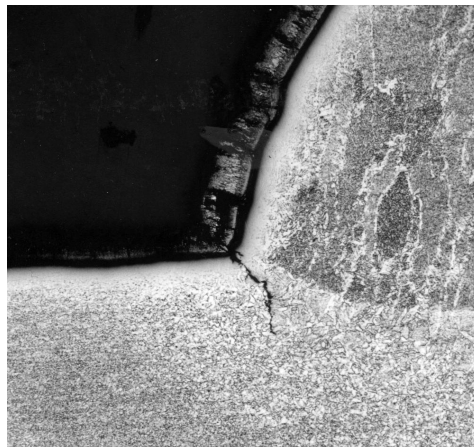
Μεταλλικά υλικά χρησιμοποιούνται κατά την παραγωγή, αποθήκευση και μεταφορά του υδρογόνου. Η επιλογή του υλικού και η σταθερότητά του στην παρουσία αερίου, υγρού ή ηλεκτρολυτικά παραγόμενου υδρογόνου είναι μεγάλης σημασίας και βασικό για την ασφαλή διαχείριση του υδρογόνου

2.4.1 – ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΣ ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ ΑΠΟ ΤΟ ΥΔΡΟΓΟΝΟ

Η καταστροφή που προκαλείται από το υδρογόνο σε διάφορα υλικά συμβαίνει μέσω διαφορετικών μηχανισμών. Το σημείο εκκίνησης είναι πάντα ο σχηματισμός ατομικού υδρογόνου. Αυτό μπορεί να δημιουργηθεί με τους εξής τρόπους :

- Από ιόντα υδρογόνου
- Από θερμικό διαχωρισμό
- Από συγκράτηση με χημικό δεσμό ή προσρόφηση σε ενεργές μεταλλικές επιφάνειες

Ορισμένα υλικά γίνονται εύθραυστα λόγω του σχηματισμού ατομικού υδρογόνου στην διαδικασία της ηλεκτρόλυσης όταν έχουμε να κάνουμε με αέριο υδρογόνο. Το ατομικό υδρογόνο διαχέεται μέσα στο υλικό όπου και καταλαμβάνει τα κενά που υπάρχουν λόγω της κρυσταλλικής δομής. Σε αυτές τις περιοχές ο διαχωρισμός του υλικού μπορεί να συμβεί εάν η συγκέντρωση των ατόμων του υδρογόνου φτάσει μία κρίσιμη τιμή. Τότε αρχίζει και ο σχηματισμός ρωγμών.(Εικόνα 5)



Εικόνα 5 : Σχηματισμός ρωγμών σε γαλβανισμένο ατσάλι λόγω διάχυσης του υδρογόνου μέσα σε αυτό

2.4.2 – ΥΛΙΚΑ ΤΑ ΟΠΟΙΑ ΕΙΝΑΙ ΚΑΤΑΛΛΗΛΑ ΓΙΑ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ ΚΑΙ ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΥΔΡΟΓΟΝΟΥ.

Μερικά από τα υλικά τα οποία είναι κατάλληλα για την αποθήκευση και την μεταφορά του υδρογόνου είναι :

- Ο χαλκός και τα κράματα χαλκού όταν η θερμοκρασία φτάνει μέχρι 400°C
- Νικέλιο μέχρι τους 250°C

Για θερμοκρασίες $> 1400^{\circ}\text{C}$ τα παρακάτω υλικά είναι κατάλληλα :

- Οξειδίο του αλουμινίου
- Οξειδίο του ζirkονίου
- Σιλικόνη

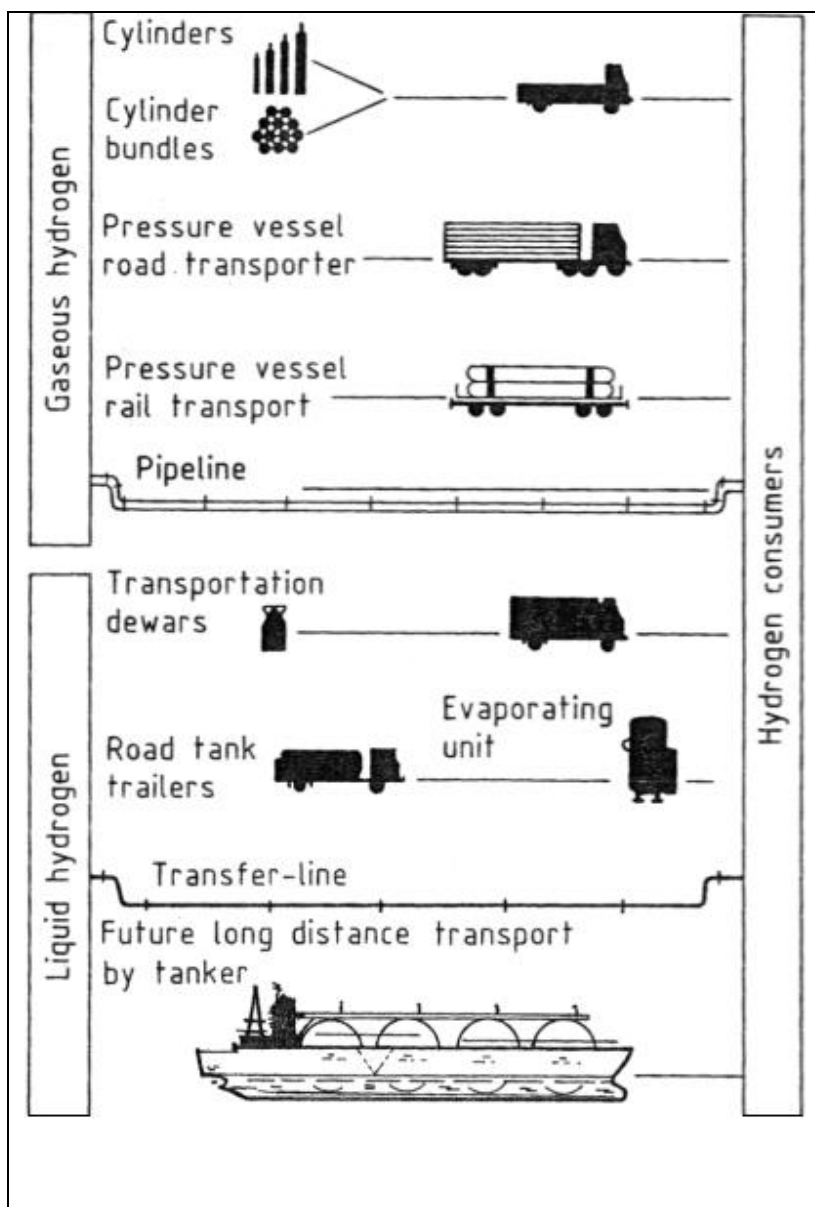
Γενικά, τα πλαστικά δεν είναι ευαίσθητα στην επαφή τους με το υδρογόνο αρκεί η θερμοκρασία να μην είναι πολύ υψηλότερη από την θερμοκρασία περιβάλλοντος.

Σε υψηλότερες θερμοκρασίες τα υλικά που ακολουθούν είναι κατάλληλα:

- Πολυαιθυλένιο(μέχρι και 60°C)
- Πολυγλωροπροπάνιο (μέχρι και 100°C)
- Πολυτετραφθοροαιθυλένιο (μέχρι και 250°C)

2.5 – ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΚΑΙ ΔΙΑΝΟΜΗ ΥΔΡΟΓΟΝΟΥ

Οι καταναλωτές υδρογόνου στην χημική βιομηχανία παράγουν και καταναλώνουν το υδρογόνο επιτόπου. Οι βασικές δυνατότητες για την μεταφορά υδρογόνου δίνονται στο σχήμα 2:



Σχήμα 2 : Δυνατότητες για την μεταφορά υδρογόνου

Στο μέλλον όταν θα χρειάζονται μεγάλες ποσότητες υδρογόνου να μεταφερθούν από περιοχή σε περιοχή θα χρησιμοποιούνται αγωγοί ή το υδρογόνο θα μεταφέρεται μέσα σε μεγάλες δεξαμενές ή τάνκερ.

2.5.1 – ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΥΔΡΟΓΟΝΟΥ ΥΨΗΛΗΣ ΠΙΕΣΗΣ

Μικρές ποσότητες υδρογόνου μπορούν να μεταφερθούν σε αλουμινένια κάνιστρα τα οποία αντέχουν σε υψηλές πιέσεις και σε ατσάλινες κυλινδρικές δεξαμενές διάφορων μεγεθών (μέχρι και 70 λίτρα). Μεγαλύτερες ποσότητες υδρογόνου μεταφέρονται με πακέτα ατσάλινων κυλινδρικών δεξαμενών ή σε μεγάλου μεγέθους containers πάνω σε φορτηγά ή τρέινα. Τέτοια φορτηγά (Εικόνα 6) έχουν χωρητικότητα πάνω από 4000 κυβικά μέτρα και μπορούν να γεμίσουν σε λιγότερο από 2 ώρες. Πιστόνια χρησιμοποιούνται για να συμπιέσουν το αέριο. Επίσης χρησιμοποιούνται και υλικά τα οποία είναι ικανά να προσροφούν ξένες ουσίες έτσι ώστε να εξασφαλίζεται η καθαρότητα του αερίου υδρογόνου.

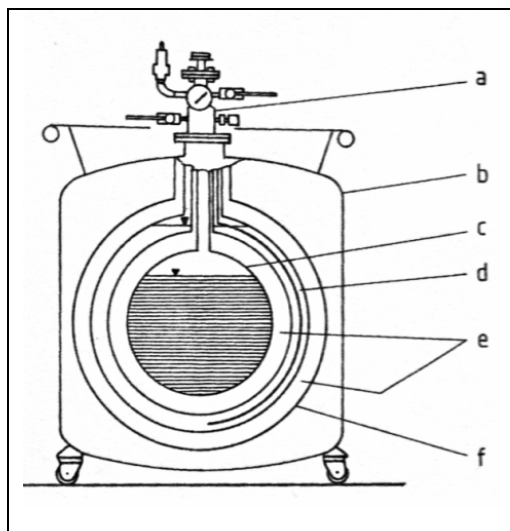


Εικόνα 6 : φορτηγό μεταφοράς υδρογόνου υπό πίεση

Στο μέλλον οι αγωγοί θα παίξουν σημαντικό ρόλο στην μεταφορά του υδρογόνου. Ένα τέτοιο σύστημα από αγωγούς είχε κατασκευαστεί το 1938 στις Η.Π.Α. Έχει μήκος 210 χιλιόμετρα και μπορεί να μεταφέρει όγκο ίσο με $250 * 10^6$ κυβικά μέτρα. Τέσσερις διανομείς και δεκατέσσερις καταναλωτές ήταν συνδεδεμένοι στο δίκτυο. Η εμπειρία και η γνώση τις οποίες κερδίσαμε από το έργο μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την κατασκευή, λειτουργία και συντήρηση παρόμοιων δικτύων. Αν χρειαστεί ποτέ να μετατραπούν οι αγωγοί φυσικού αερίου για μεταφορά υδρογόνου είναι αναγκαίο να ληφθεί υπ' όψη το υλικό από το οποίο είναι κατασκευασμένοι οι αγωγοί και αν μπορούν να αντέξουν υψηλές πιέσεις.

2.5.2 - ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΥΓΡΟΥ ΥΔΡΟΓΟΝΟΥ

Για εργαστηριακές χρήσεις, το υγρό υδρογόνο μπορεί να μεταφερθεί μέσα σε θερμικώς μονωμένα δοχεία (dewars). Στο σχήμα 3 απεικονίζεται ένα τέτοιο δοχείο:



Σχήμα 3 : θερμικώς μονωμένο δοχείο. a) πολλαπλές σωληνώσεις γεμίσματος και βαλβίδα ασφαλείας, b) προστατευτικό κέλυφος, c) υγρό υδρογόνο, d) υγρό άζωτο, e) κενό αέρος, f) εξωτερικό κέλυφος

Μεγαλύτερες ποσότητες μεταφέρονται με δεξαμενές (5.000 λίτρα) ή σε trailer φορτηγών ($3-5 \times 10^4$ λίτρα). Στις ΗΠΑ το υγρό υδρογόνο μεταφέρεται και με τραίνο το οποίο κουβαλά container των 10^5 λίτρων. Επίσης γίνονται υπερπόντιες μεταφορές με τάνκερ (Εικόνα 7), όπως για παράδειγμα οι μεταφορές που πραγματοποιούνται από την Αμερική προς την Ευρώπη για λογαριασμό τις Ευρωπαϊκής διαστημικής υπηρεσίας.

Για να κρατήσουμε σε χαμηλά επίπεδα τις απώλειες λόγω εξάτμισης τα δοχεία τα οποία θα μεταφέρουν το υδρογόνο θα πρέπει να είναι καλά μονωμένα.



Εικόνα 7 : τάνκερ για υπερπόντιες μεταφορές υδρογόνου

2.6 - ΑΣΦΑΛΕΙΑ

Γενικά, το υδρογόνο σχηματίζει εύφλεκτα και εκρηκτικά μείγματα με το οξυγόνο και άλλα στοιχεία. Η μεγάλης κλίμακας είσοδος του υδρογόνου στο προσκήνιο ως μέσο αποθήκευσης ενέργειας προϋποθέτει και μία αξιολόγηση εκ νέου των κανόνων ασφαλείας των καυσίμων.

Η διαρροή του υδρογόνου είναι 1,3 με 2,8 μεγαλύτερη από την διαρροή των κοινών καυσίμων και περίπου 4 φορές μεγαλύτερη από την διαρροή του αέρα. Σε περίπτωση διαρροής το ελεύθερο υδρογόνο διασκορπίζεται πολύ γρήγορα λόγω της τυρβώδους ανατάραξης, της μεταγωγής της θερμότητας, των ρευμάτων και της άνωσης. Γι' αυτόν ακριβώς τον λόγο οι καταστροφές που προκαλούνται από το υδρογόνο έχουν μικρή διάρκεια.

Το ελάχιστο ποσό της ενέργειας που χρειάζεται για να αναφλεγεί το μείγμα υδρογόνο – αέρας είναι πάρα πολύ μικρό. Η ενέργεια ανάφλεξης του υδρογόνου είναι η μικρότερη από όλων των άλλων καυσίμων. Αξίζει να σημειωθεί ότι η ανάφλεξη μπορεί να γίνει και αυτόματα από κάποια καταλυτική δράση. Στη συνέχεια δίνεται ένας πίνακας με τις ιδιότητες του υδρογόνου σε σχέση με άλλα καύσιμα:

ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ	ΚΗΡΟΖΙΝΗ	ΜΕΘΑΝΙΟ	ΥΔΡΟΓΟΝΟ
Πυκνότητα (Kg/M ³)	4.40	0.65	0.084
Συντελεστής διάχυσης στον αέρα (Cm ² /Sec)	0.05	0.16	0.610
Ειδική Θερμότητα υπό Σταθερή Πίεση (J/Gk)	1.20	2.22	14.89
Όρια Ανάφλεξης στον Αέρα (vol %)	1.0-7.6	5.3-15.0	4.0-75.0
Ενέργεια Ανάφλεξης στον Αέρα (Mj)	0.24	0.29	0.02
Θερμοκρασία Ανάφλεξης (°C)	228-471	540	585
Θερμοκρασία Φλόγας στον Αέρα (°C)	2197	1875	2045
Ενέργεια Έκρηξης (G TNT/kj)	0.25	0.19	0.17
Ικανότητα Ακτινοβολίας Φλόγας (%)	34-43	25 -33	17-25

2.6.1 – ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΕΣ ΑΠΟ ΦΩΤΙΑ

Οι φλόγες του υδρογόνου είναι σχεδόν αόρατες στο φως της ημέρας (Εικόνα 8). Οι φωτιές από υδρογόνο διαρκούν το 1/5 ή το 1/10 του χρόνου της φωτιάς που προκαλείται από υδρογονάνθρακες και οι ζημιές που προκαλούνται είναι μικρότερες:

- Λόγω της γρήγορης καύσης του υδρογόνου
- Λόγω της υψηλής ταχύτητας της κίνησης του υδρογόνου προς τα πάνω
- Λόγω του μεγάλου βαθμού δημιουργίας υδρατμών

Αν και η μέγιστη θερμοκρασία της φλόγας του υδρογόνου δεν είναι διαφορετική από αυτή των συμβατικών καυσίμων, η θερμική ενέργεια που ακτινοβολείται είναι πολύ μικρότερη από αυτή του φυσικού αερίου. Ο κίνδυνος της εισπνοής καπνού,

ένας από τους κύριους λόγους τραυματισμών και θανάτων δεν υφίσταται στις φωτιές από υδρογόνο γιατί το μοναδικό προϊόν από την ανάφλεξή του είναι υδρατμοί.



Εικόνα 8 : Φλόγα του υδρογόνου. Είναι δυσδιάκριτη ακόμα και μπροστά από μαύρο φόντο

2.6.2 – ΜΕΤΡΑ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ

Αφού αναλύθηκαν ατυχήματα που είχαν σχέση με υδρογόνο ή με εξοπλισμό που χρησιμοποιεί υδρογόνο, δημιουργήθηκαν κάποια μέτρα για αποφυγή της φωτιάς. Αυτά τα μέτρα χωρίζονται σε πρώτου βαθμού, δευτέρου βαθμού και τρίτου βαθμού.

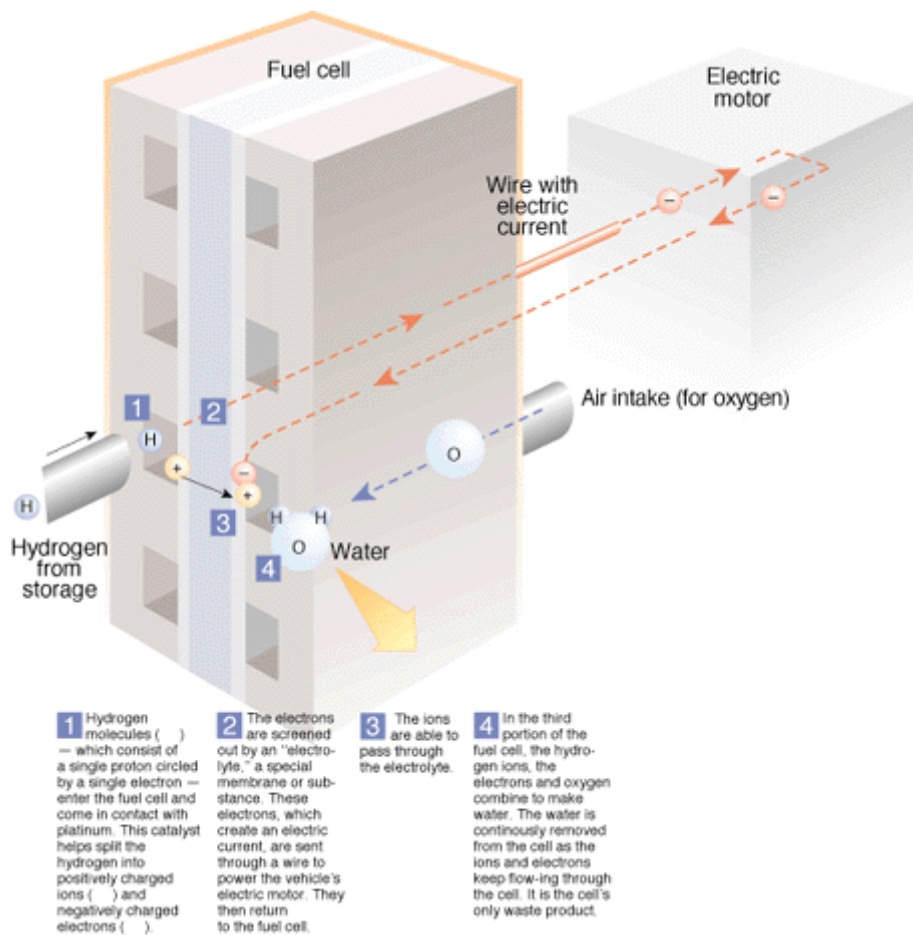
Τα πρωτοβάθμια μέτρα στοχεύουν στην αποφυγή κινδύνων όπως οι διαρροές ή ο σχηματισμός εκρηκτικών μειγμάτων. Τα μέτρα δευτέρου βαθμού αποσκοπούν κυρίως στην απομάκρυνση των πηγών ανάφλεξης κάθε είδους (σπίθες που παράγονται από μηχανικά ή ηλεκτροστατικά αίτια). Τα τριτοβάθμια μέτρα είναι αυτά που φροντίζουν να ελαχιστοποιούν τα δυσάρεστα αποτελέσματα σε περίπτωση φωτιάς ή έκρηξης. Αυτό επιτυγχάνεται με την εγκατάσταση συστημάτων ασφαλείας, συστημάτων τα οποία θα διακόπτουν την παροχή υδρογόνου στις μονάδες και συστημάτων πυρόσβεσης.

2.6.3 – ΤΟΞΙΚΟΤΗΤΑ

Το υδρογόνο δεν φαίνεται να έχει καμιά εμφανή επίδραση στο άνθρωπο και είναι μη τοξικό. Η εισπνοή του αερίου προκαλεί υπνηλία και επηρεάζει τις φωνητικές χορδές. Ο κίνδυνος της ασφυξίας είναι ορατός όταν η συγκέντρωση του οξυγόνου πέφτει κάτω από το 18 % λόγω της αύξησης της συγκέντρωσης του υδρογόνου. Η απευθείας επαφή του δέρματος με χαμηλής θερμοκρασίας αέριο ή υγρό υδρογόνο προκαλεί μούδιασμα μέχρι και κρυοπαγήματα. Το ρίσκο είναι μεγαλύτερο με το υγρό άζωτο λόγω της ακόμα μεγαλύτερης θερμοκρασίας και της μεγάλης θερμικής αγωγιμότητας του υδρογόνου.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΚΥΨΕΛΕΣ ΚΑΥΣΙΜΩΝ



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

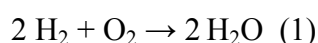
Εισαγωγή

Οι κυψέλες καυσίμων δεν είναι τίποτα άλλο από μία απλή μπαταρία. Στην μπαταρία ο ψευδάργυρος αντιδρά με οξείδιο του μαγγανίου για την παραγωγή ηλεκτρισμού. Οι κυψέλες καυσίμων μπορούν να συγκριθούν και με τις επαναφορτιζόμενες μπαταρίες οι οποίες χρησιμοποιούν μόλυβδο και διοξείδιο του μολύβδου ή νικέλιο και κάδμιο για την αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας και την επαναχρησιμοποίησή της. Όμως ανάμεσα στις δυο τεχνολογίες υπάρχει μία βασική διαφορά. Οι απλές μπαταρίες εξαντλούνται όταν εξαντληθεί ο ψευδάργυρος ενώ οι επαναφορτιζόμενες χρειάζονται φόρτιση. Αντίθετα οι κυψέλες καυσίμου λειτουργούν όσο τις εφοδιάζουμε με καύσιμο (υδρογόνο) όπως ακριβώς μια μηχανή εσωτερικής καύσης.

3.1 – ΤΙ ΕΙΝΑΙ ΟΙ ΚΥΨΕΛΕΣ ΚΑΥΣΙΜΟΥ ΚΑΙ ΠΩΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΟΥΝ

Στην ουσία οι κυψέλες καυσίμων είναι ηλεκτροχημικές συσκευές οι οποίες μετατρέπουν την χημική ενέργεια ενός καυσίμου σε ηλεκτρική. Μια πρώτη εφαρμογή κυψέλης καυσίμων είχε γίνει το 1839 από τον William Grove.

Ένας άλλος τρόπος προσέγγισης της λειτουργίας της κυψέλης καυσίμου είναι εάν πούμε ότι το υδρογόνο «καίγεται» μέσα σε αυτή. Αυτή η καύση δίνεται από την απλή σχέση:



Σε μια κυψέλη καυσίμου το ρεύμα που δημιουργείται είναι πολύ μικρό. Οι κύριοι λόγοι που το ρεύμα αυτό είναι πολύ μικρό είναι :

- Η μικρή περιοχή επαφής (contact area) μεταξύ του αερίου, του ηλεκτροδίου και του ηλεκτρολύτη
- Η μεγάλη απόσταση μεταξύ των ηλεκτροδίων – ο ηλεκτρολύτης αντιστέκεται στην ροή του ρεύματος

Για να ξεπεράσουμε αυτά τα προβλήματα τα ηλεκτρόδια κατασκευάζονται επίπεδα με ένα λεπτό στρώμα ηλεκτρολύτη όπως φαίνεται στο σχήμα παρακάτω.

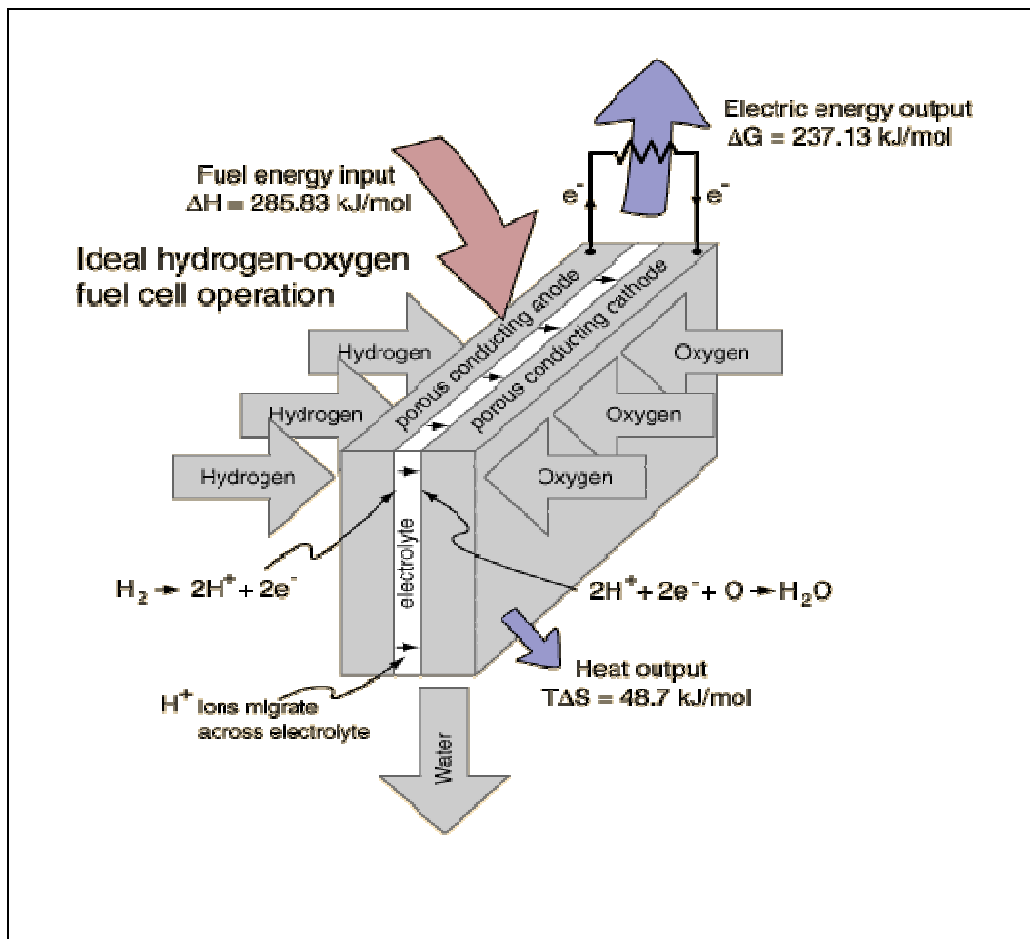
Η δομή του ηλεκτροδίου είναι πορώδης, έτσι ώστε ο ηλεκτρολύτης από την μία πλευρά και το αέριο από την άλλη να μπορούν να το διαπεράσουν. Αυτό γίνεται για να έχουμε την μέγιστη δυνατή επαφή μεταξύ ηλεκτροδίου, ηλεκτρολύτη και αερίου.

Για να καταλάβουμε πως η αντίδραση του υδρογόνου και του οξυγόνου παράγει ηλεκτρικό ρεύμα, και από πού προέρχονται τα ηλεκτρόνια, πρέπει να λάβουμε υπόψη τις ξεχωριστές αντιδράσεις που συμβαίνουν σε κάθε ηλεκτρόδιο. Αυτές οι σημαντικές λεπτομέρειες διαφέρουν ανάλογα με τον τύπο της κυψέλης καυσίμου. Παρ'όλαυτά αν αρχίσουμε με μία κυψέλη που βασίζεται σε όξινο ηλεκτρολύτη, όπως χρησιμοποίησε και ο Γκονε, τότε θα έχουμε αρχίσει με τον απλούστερο και πιο κοινό τύπο κυψέλης καυσίμου.

Στην άνοδο ενός όξινου ηλεκτρολύτη το αέριο υδρογόνο ιονίζεται, ελευθερώνει ηλεκτρόνια και δημιουργούνται ιόντα H^+ (πρωτόνια).



Η αντίδραση αυτή ελευθερώνει ενέργεια. Στην κάθοδο, το οξυγόνο αντιδρά με ηλεκτρόνια και ιόντα H^+ για την δημιουργία νερού.



Σχήμα 1 : Κυψέλη καυσίμου

Είναι ξεκάθαρο ότι για να συνεχίσουν οι παραπάνω αντιδράσεις να γίνονται πρέπει το ηλεκτρόνιο που ελευθερώνεται στην άνοδο να περνούν μέσω κυκλώματος στην κάθοδο. Επίσης είναι αναγκαίο ιόντα H^+ να περάσουν από τον ηλεκτρολύτη. Το οξύ είναι η ουσία η οποία έχει ελεύθερα ιόντα H^+ και επομένως εξυπηρετεί αυτόν τον σκοπό πολύ καλά. Επίσης μερικά πολυμερή μπορούν να κατασκευαστούν έτσι ώστε να φέρουν ιόντα H^+ . Αυτά τα υλικά ονομάζονται μεμβράνες ανταλλαγής πρωτονίων (proton exchange membranes).

Αν συγκρίνουμε τις εξισώσεις (2) και (3) θα βρούμε ότι δύο μόρια υδρογόνου χρειάζονται για κάθε μόριο οξυγόνου εάν θέλουμε να διατηρήσουμε το σύστημα σε ισορροπία. Να σημειωθεί ότι ο ηλεκτρολύτης πρέπει να αφήνει να περάσουν μόνο ιόντα H^+ και όχι ηλεκτρόνια αλλιώς τα ηλεκτρόνια θα περάσουν από τον ηλεκτρολύτη και όχι από το εξωτερικό κύκλωμα και θα χαθούν.

Για να συνοψίζουμε όλα τα παραπάνω θα λέγαμε ότι γενικά σε μία κυψέλη καυσίμου αέριο καύσιμο τροφοδοτείται συνεχώς στην άνοδο (αρνητικό ηλεκτρόδιο) και ένα οξειδωτικό (οξυγόνο ή αέρας) στην κάθοδο (θετικό ηλεκτρόδιο). Εκεί στα ηλεκτρόδια συμβαίνουν ηλεκτροχημικές αντιδράσεις οι οποίες παράγουν ηλεκτρικό ρεύμα.

Εκτός από την απευθείας παραγωγή ηλεκτρισμού παράγεται και θερμότητα στις κυψέλες καυσίμου. Αυτή η θερμότητα μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την επιπλέον παραγωγή ρεύματος ή για άλλους σκοπούς.

3.1.1 ΓΕΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ

Ένα από τα πιο σημαντικά χαρακτηριστικά των κυψελών καυσίμων είναι η μεγάλη αποδοτικότητά τους καθώς μετατρέπουν την χημική ενέργεια σε ηλεκτρική. Αυτή η αποδοτικότητα κυμαίνεται από 40 % έως 60 % ανάλογα με το καύσιμο που χρησιμοποιούμε και είναι υψηλότερη από κάθε άλλο σύστημα που μετατρέπει ενέργεια από την μία μορφή στην άλλη. Επιπλέον αρκετές κυψέλες καυσίμου δουλεύουν σε υψηλή θερμοκρασία και μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε μεθόδους συμπαραγωγής ενέργειας.

Οι κυψέλες καυσίμου λειτουργούν σχεδόν πάντα με σταθερή απόδοση, ανεξάρτητα από το μέγεθός τους γι' αυτό οι κυψέλες μικρού μεγέθους είναι το ίδιο αποδοτικές με τις μεγάλες. Να σημειωθεί ότι οι μονάδες παραγωγής ενέργειας με κυψέλες καυσίμου μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε μεγάλος εύρος εφαρμογών από watts έως megawatts. Δεν δημιουργούν ηχορύπανση και ότι θόρυβος δημιουργείται υπάρχει λόγω του βοηθητικού εξοπλισμού:

Αντλίες που μεταφέρουν το καύσιμο στο ηλεκτρόδιο και απομακρύνουν το νερό που έχει δημιουργηθεί από τις ηλεκτροχημικές αντιδράσεις, ανεμιστήρας ή συμπιεστή για την μεταφορά οξυγόνου στην κυψέλη καυσίμου. Ένα άλλο σημαντικό πλεονέκτημα είναι ότι δεν παράγουν καθόλου αέρια θερμοκηπίου ή άλλα αέρια επικίνδυνα για τον άνθρωπο.

Αυτή την στιγμή τα δύο κύρια μειονεκτήματά τους είναι το υψηλό κόστος κατασκευής, ο μικρός χρόνος ζωής και πάνω σε αυτούς τους δύο τομείς έχει στραφεί κυρίως η έρευνα.

3.2. – ΕΙΔΗ ΚΥΨΕΛΩΝ

Μια ποικιλία από κυψέλες καυσίμου έχει δημιουργηθεί για διάφορες εφαρμογές. Οι κυψέλες ταξινομούνται ανάλογα με τον τύπο του ηλεκτρολύτη που χρησιμοποιείται : polymer electrolyte fuel cell (PEFC), alkaline fuel cell (AFC), phosphoric acid fuel cell (PAFC), molten carbonate fuel cell (MCFC), solid oxide fuel cell (SOFC).

Οι φυσικοχημικές και θερμομηχανικές ιδιότητες των υλικών που χρησιμοποιούνται στα επιμέρους κομμάτια (ηλεκτρόδια, ηλεκτρολύτης, συλλέκτης ρεύματος κτλ) καθορίζουν την θερμοκρασία λειτουργίας και την διάρκεια ζωής.

Οι ιδιότητες του ηλεκτρολύτη είναι πολύ σημαντικές. Οι στερεοί πολυμερείς και υδατικοί ηλεκτρολύτες χρησιμοποιούνται για θερμοκρασίες έως 200 °C. Λόγω της πίεσης των υδρατμών και της γρήγορης καταστροφής τους σε υψηλότερες θερμοκρασίες. Στις κυψέλες με υψηλή θερμοκρασία λειτουργίας η ανώτερη θερμοκρασία στην οποία είναι εφικτή η λειτουργία καθορίζεται από το σημείο ζέσης (για παράδειγμα στα MCFC) ή την ιονικής αγωγιμότητας (για παράδειγμα στα SOFC) του ηλεκτρολύτη.

Οι κυψέλες καυσίμου χαμηλής θερμοκρασίας χρησιμοποιούν ως καύσιμο το υδρογόνο. Η παρουσία μονοξειδίου του άνθρακα και αερίων που περιέχουν θείο είναι καταστρεπτική για την αποδοτικότητα της κυψέλης γιατί φθείρουν την άνοδο. Στις κυψέλες που δουλεύουν σε υψηλότερες θερμοκρασίες η λίστα των καυσίμων που μπορούν να χρησιμοποιηθούν είναι πιο μεγάλη. Αυτό συμβαίνει για δύο λόγους :

- Μικρότερη ανάγκη για ηλεκτροκαταλυτική δράση
- Μεγάλη κινητικότητα των μορίων στους ηλεκτρολύτες

3.2.1 – POLYMER ELECTROLYTE FUEL CELL (PEFC)

Ο ηλεκτρολύτης σε ένα PEFC είναι μια μεμβράνη ανταλλαγής ιόντων (φθοριομένη μεμβράνη σουλφονικού οξέως). Το μόνο υγρό παρών σε αυτού του είδους την κυψέλη είναι το προϊόν, δηλαδή το νερό. Τα προβλήματα που δημιουργούνται λόγω διάβρωσης από το νερό είναι μηδαμινά. Ωστόσο η σωστή διαχείριση του νερού που υπάρχει μέσα στην μεμβράνη είναι ένα λεπτό ζήτημα εάν θέλουμε να έχουμε καλή απόδοση.

Η κυψέλη καυσίμου πρέπει να λειτουργεί υπό τέτοιες συνθήκες έτσι ώστε το υποπροϊόν (νερό) να μην εξατμίζεται γρηγορότερα από ότι παράγεται. Αυτό πρέπει

να συμβαίνει γιατί η μεμβράνη χρειάζεται να περιέχει νερό έτσι ώστε να διατηρεί την ιοντική της αγωγιμότητα.

Λόγω της μικρής θερμοκρασίας λειτουργίας του (<120°C) τα PEFC χρειάζονται μεγαλύτερη ποσότητα πλατίνας από ότι χρειάζονται τα PAFC.

Τα πλεονεκτήματα των PEFC είναι:

- Δεν υπάρχουν διαβρωτικά υλικά εντός της κυψέλης
- Απλή κατασκευή
- Δεν υπάρχουν προβλήματα διάβρωσης
- Παρουσιάζουν μεγάλη διάρκεια ζωής (η διάρκεια ζωής της μεμβράνης ξεπερνά τις 100.000 ώρες)

Τα μειονεκτήματα των PEFC είναι :

- Η φθοριομένη πολυμερής μεμβράνη είναι ακριβή
- Η σωστή διαχείριση του νερού στην μεμβράνη είναι αναγκαία

3.2.2 – ALKALINE FUEL CELL

Ο ηλεκτρολύτης σε μια τέτοια κυψέλη καυσίμου είναι υψηλής συγκέντρωσης (85% κ.β. διάλυμα υδροξυλίου του καλίου (KOH) για λειτουργία σε υψηλές θερμοκρασίες (μέχρι 250°C) και μικρότερης συγκέντρωσης (35 – 50% κ.β.) για χαμηλότερες θερμοκρασίες (< 120°C).

Ο ηλεκτρολύτης βρίσκεται μέσα σε πλέγμα αμιάντου ή μέσα σε ένα άλλο οξείδιο μετάλλου. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί μια ευρεία γκάμα από ηλεκτροκαταλύτες όπως νικέλιο, άργυρος, οξείδια μετάλλων και ευγενή μέταλλα.

Ένα μειονέκτημα αυτού του είδους κυψέλης είναι ότι οι αλκαλικοί ηλεκτρολύτες δεν απορρίπτουν το CO₂.

3.2.3 – PHOSPHORIC ACID FUEL CELL (PAFC)

Ο ηλεκτρολύτης που χρησιμοποιείται σε μια τέτοια κυψέλη είναι διάλυμα φωσφορικού οξέος. Η κυψέλη λειτουργεί σε θερμοκρασίες από 150 °C έως 220 °C. Σε χαμηλότερες θερμοκρασίες το φωσφορικό οξύ γίνεται φτωχός αγωγός ιόντων. Επίσης σε χαμηλότερες θερμοκρασίες το μονοξείδιο του άνθρακα καταστρέφει τον ηλεκτρολύτη (εδώ η πλατίνα). Ειδικά αν χρησιμοποιούνται υδρογονάνθρακες ως καύσιμη ύλη. Λόγω της σταθερότητας του ηλεκτρολύτη τα PAFC μπορούν να

χρησιμοποιηθούν με άνεση και σε θερμοκρασίες οι οποίες βρίσκονται στο άνω όριο της θερμοκρασίας λειτουργίας. Να σημειωθεί ότι η χρησιμοποίηση αρκετά συμπυκνωμένου οξέος μειώνει την πίεση των υδρατμών και έτσι η διαχείριση του νερού μέσα στην κυψέλη δεν είναι δύσκολη. Το πορώδες πλαίσιο που χρησιμοποιείται για την κατακράτηση του οξέος είναι συνήθως από SiC και ο ηλεκτροκαταλύτης στην άνοδο και στην κάθοδο είναι η πλατίνα.

3.2.4 – MOLTEN CARBONATE FUEL CELL (MCFC)

Ο ηλεκτρολύτης που χρησιμοποιείται σε μια τέτοια κυψέλη είναι ενώσεις λιθίου, νατρίου, καλίου με τον άνθρακα οι οποίες συγκρατούνται μέσα σε ένα κεραμικό πλέγμα LiAlO_2 . Η κυψέλη λειτουργεί σε θερμοκρασίες 600-700 °C όπου οι παραπάνω ενώσεις σχηματίζουν ένα πολύ αγωγίμο άλας. Στις θερμοκρασίες των 600-700 °C το Νικέλιο μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως υλικό για τα ηλεκτρόδια και έτσι ευγενή μέταλλα δεν χρειάζονται.

3.2.5 – SOLID OXIDE FUEL CELL (SOFC)

Στα SOFC δεν υπάρχει υγρός ηλεκτρολύτης. Ο ηλεκτρολύτης αυτή τη φορά είναι ένα κράμα από σπάνια υλικά όπως το διοξείδιο του ζirkονίου. Λειτουργούν σε θερμοκρασίες από 800 – 1000°C. Είναι σημαντικό τα ηλεκτρόδια να είναι πάρα πολύ λεπτά και πορώδη έτσι ώστε να προσφέρουν μια μεγάλη επιφάνεια στην επιφάνεια στην οποία θα γίνονται οι ηλεκτροχημικές αντιδράσεις.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΑΝΤΛΙΟΤΑΜΙΕΥΤΗΡΕΣ



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

4 – ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΕ ΑΝΤΛΙΟΤΑΜΙΕΥΤΗΡΕΣ

4.1 – ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ

Το νερό ήταν από τις πρώτες πηγές ενέργειας η οποία χρησιμοποιήθηκε για να μειώσει το φόρτο εργασίας των ανθρώπων. Δεν γνωρίζουμε πότε εφευρέθηκε ο πρώτος νερόμυλος αλλά συστήματα άρδευσης υπήρχαν τουλάχιστον από το 3.000 π.Χ. Η πρώτη πιθανή εργασία του νερόμυλου ήταν να μεταφέρει νερό από ένα ποτάμι σε κάποιο άλλο υψηλότερο σημείο που μπορεί να ήταν μια δεξαμενή ή ένα σύστημα από κανάλια.

Στους αιώνες που ακολούθησαν αρκετά πιο εξελιγμένοι νερόμυλοι χρησιμοποιήθηκαν, ειδικά στην Ρωμαϊκή Αυτοκρατορία. Πολύ αργότερα, στην περίοδο από το 1650 μέχρι το 1800, ήταν η πρώτη φορά που εκπονήθηκαν λεπτομερείς επιστημονικές μελέτες για τις αρχές που διέπουν τις υδατοπτώσεις και έγιναν εξαιρετικές τεχνικές έρευνες και προτάσεις για διαφορετικά σχέδια νερόμυλων. Αυτές οι μελέτες αποκάλυψαν ότι οι νερόμυλοι μπορούσαν να αποδίδουν ισχύ από ένα ίππο έως 50 ίππους. Το πιο σημαντικό ήταν ότι έδειξαν πως για να πετύχουμε τη μεγαλύτερη δυνατή απόδοση θα έπρεπε το νερό να συναντά και να αφήνει το νερόμυλο με όσο το δυνατό πιο μικρή ταχύτητα έτσι ώστε να δίνει όλη την κινητική του ενέργεια.

Το 1832 ένας νεαρός Γάλλος μηχανικός ο Fourneyron δημιούργησε ένα καινούριο και πιο αποδοτικό νερόμυλο που ο καθηγητής του (Clayde Burdin) ονόμασε turbine (στρόβιλο). Εισήγαγε καινοτομίες όπως τις βάνες οδήγησης (guide vanes) που οδηγούν το νερό στα πτερύγια του στροβίλου όπως και το γεγονός ότι ο υδροστρόβιλος λειτουργούσε βυθισμένος στο νερό.

Αυτές είναι οι προϋποθέσεις που εξασφαλίζουν στρωτή ροή του νερού και επομένως μεγαλύτερη απόδοση.

4.2. – ΤΟ ΝΕΡΟ

Σχεδόν το $\frac{1}{4}$ της ηλιακής ενέργειας της ηλιακής ενέργειας που φτάνει στη γη υπό τη μορφή ακτινοβολίας καταναλώνεται στην εξάτμιση του νερού. Όταν αυτό συμπυκνωθεί στην ατμόσφαιρα αποδίδει ένα μεγάλο μέρος της ενέργειας που απορρόφησε κατά την εξάτμισή του ξανά πίσω στο περιβάλλον. Μόνο ένα μικρό τμήμα της αρχικής ενέργειας παραμένει το οποίο μπορούμε εμείς να το εκμεταλλευτούμε.

4.2.1 – ΑΠΟΘΗΚΕΥΜΕΝΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΝΕΡΟΥ

Το νερό το οποίο κρατείται σε κάποιο ύψος έχει αποθηκευμένη μέσα του δυναμική ενέργεια. Έχει βρεθεί ότι για να σηκώσουμε ένα κιλό νερού σε ύψος ενός μέτρου χρειάζεται να σπαταλήσουμε 10 joule ενέργειας.

Γενικώς για να ανυψώσουμε Μ κιλά σε ύψος Η μέτρων η αποθηκευμένη ενέργεια σε joule θα δίνεται από τον τύπο :

$$E = M g H \quad \text{όπου το } g \text{ είναι η επιτάχυνση λόγω της βαρύτητας και είναι ίση με } 9,8 \text{ m/sec}^2$$

Με αυτό είμαστε ικανοί να υπολογίσουμε θεωρητικά το μέγιστο ποσό ενέργειας που μπορούμε να αποθηκεύουμε παγκοσμίως υπό την μορφή δυναμικής ενέργειας. Στην διάρκεια ενός έτους, σε παγκόσμια κλίμακα υπολογίζεται ότι τα κατακρημνίσματα φτάνουν βάρος ίσο με 10^{17} κιλά. Αν υποθέσουμε ότι το μέσο ύψος από την επιφάνεια της θάλασσας είναι 800 μέτρα τότε καταλήγουμε στο αποτέλεσμα των $8 * 10^{20}$ joule ή περίπου 200.000 TWh. Αυτό είναι ίσο με το διπλάσιο της ετήσιας παγκόσμιας κατανάλωσης ενέργειας. Βέβαια είναι γνωστό ότι δεν διαθέτουμε τέτοια τεχνολογία έτσι ώστε να εκμεταλλευτούμε ολόκληρο αυτό το ποσό της ενέργειας και επομένως η πραγματική αποθηκευτική ικανότητα του νερού σε δυναμική ενέργεια είναι πάρα πολύ πιο μικρή.

4.2.2 – ΙΣΧΥΣ, ΥΨΟΣ ΣΕ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΜΕ ΤΗΝ ΡΟΗ

Για την εκτίμηση της αποθηκευτικής ικανότητας είναι σημαντικό να γνωρίζουμε την ισχύ που μπορεί να αποδοθεί κάθε στιγμή. Η ισχύς που παράγεται από το νερό που κινείται από υψηλότερο σε χαμηλότερο σημείο είναι ουσιαστικά ο ρυθμός με τον οποίο παράγει ενέργεια – ο αριθμός των joule/sec - και είναι άμεσα συνδεδεμένη με την ροή (αριθμός κιλών του νερού ανά δευτερόλεπτο) ή τη ροή στην μονάδα του όγκου (αριθμός κυβικών μέτρων ανά δευτερόλεπτο). Κάθε κυβικό μέτρο νερού έχει μάζα 1000kgf και η ισχύς P σε watt θα δίνεται από τον τύπο :

$$P = (1000 * Q) g H$$

ή σε κιλοβατώρες

$$P(\text{kW}) = gQH$$

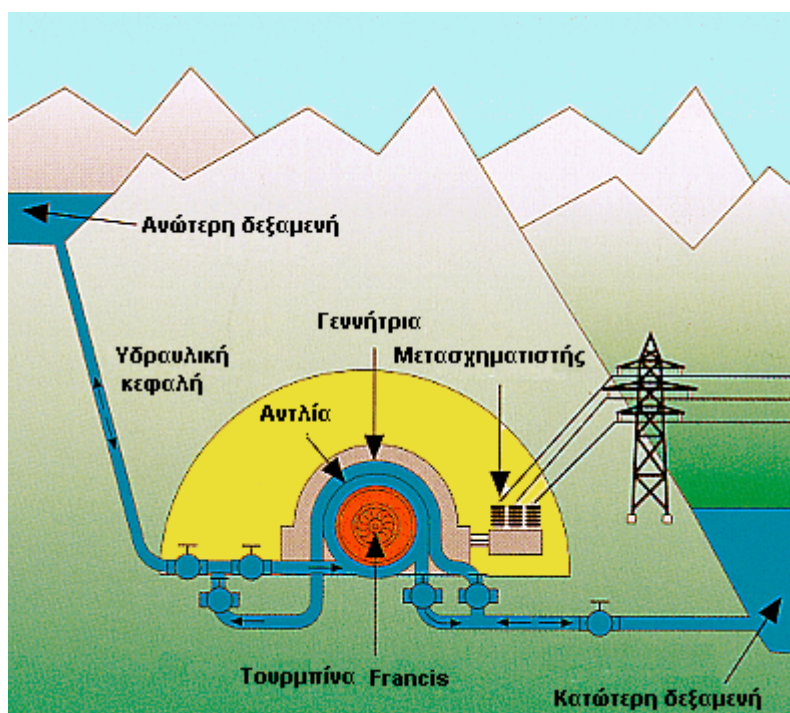
Υπό άριστες συνθήκες οι υδροστρόβιλοι μετατρέπουν ένα μεγάλο μέρος της δυναμικής ενέργειας του νερού σε μηχανική. Παρόλ' αυτά η απόδοση είναι πάντα μικρότερη του 100% γι' αυτό τελικά η ισχύς που θα πάρουμε θα είναι ίση με

$$P(\text{kW}) = n g Q H \quad \text{όπου } n \text{ είναι ο βαθμός απόδοσης,}$$

H το ύψος από το οποίο πέφτει το νερό.

4.3 – ΤΙ ΕΙΝΑΙ ΟΙ ΑΝΤΛΙΟΤΑΜΙΕΥΤΗΡΕΣ

Σε μια συμβατική υδροηλεκτρική μονάδα το νερό από την δεξαμενή περνάει από την τουρμπίνα και καταλήγει πάλι στο ποτάμι. Οι νέες υδροηλεκτρικές μονάδες χρησιμοποιούν δύο δεξαμενές. Την ανώτερη δεξαμενή η οποία συγκεντρώνει το νερό που συγκρατεί το φράγμα και χρησιμοποιείται για την παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος. Την κατώτερη δεξαμενή η οποία συγκεντρώνει το νερό που φεύγει από τις τουρμπίνες, αντί να γυρίζει πίσω στο ποτάμι. Μια αντίστροφη τουρμπίνα διοχετεύει αυτό το νερό πάλι πίσω στην ανώτερη δεξαμενή. Επιστρέφοντας το νερό πίσω η μονάδα έχει περισσότερο νερό για χρήση σε περιόδους αιχμής (Εικόνα 1).



Εικόνα 1 : Σχηματική αναπαράσταση ενός αντλιοταμιευτήρα

4.3.1 – ΕΙΔΗ ΑΝΤΛΙΟΤΑΜΙΕΥΤΗΡΩΝ

Οι αντλιοταμιευτήρες μπορούν να έχουν ισχύ από μερικές εκατοντάδες watts μέχρι και μερικές χιλιάδες megawatts και μπορούμε να τους κατατάξουμε με πολλούς διαφορετικούς τρόπους.

- Από το ύψος από το οποίο πέφτει το νερό
- Από τη χωρητικότητα – την ισχύ του
- Από τον τύπο του υδροστρόβιλου που χρησιμοποιείτε
- Από την περιοχή και το είδος του φράγματος – δεξαμενής

Αυτές οι κατηγορίες δεν είναι ανεξάρτητες μεταξύ τους. Το μέγιστο ύψος από το οποίο πέφτει το νερό είναι ένας αποφασιστικός παράγοντας για τις άλλες παραμέτρους και εξάλλου είναι αυτό που καθορίζει το είδος της εγκατάστασης και την επιλογή του υδροστροβίλου.

Δυο αντλιοταμιευτήρες που παράγουν την ίδια ισχύ μπορούν να είναι πολύ διαφορετικοί: ο ένας να εκμεταλλεύεται νερό μικρού όγκου αλλά υψηλής ταχύτητας και ο άλλος τεράστιους όγκους αλλά το νερό να έχει χαμηλή ταχύτητα.

4.3.1.1 – ΑΝΤΛΙΟΤΑΜΙΕΥΤΗΡΕΣ ΧΑΜΗΛΟΥ ΥΨΟΥΣ

Συνήθως οι αντλιοταμιευτήρες αυτού του είδους όπως και τα υδροηλεκτρικά έργα μεταφέρουν το νερό όχι σε ύψος πολύ μεγαλύτερο από τα 10 μέτρα. Είναι έτσι κατασκευασμένο ώστε ο υδροστρόβιλος και η αντλία να βρίσκονται μέσα στην ίδια την κατασκευή. Επίσης είναι έτσι κατασκευασμένος, ώστε να επηρεάζει όσο το δυνατόν λιγότερο την ισορροπία του τοπικού οικοσυστήματος. Για παράδειγμα σε χώρες όπου γίνονται μεταναστεύσεις ψαριών, αυτές οι κατασκευές είναι φτιαγμένες με τέτοιο τρόπο που να επιτρέπουν την μετανάστευση και να μην φράζουν τον δρόμο των ψαριών. Αυτού του τύπου οι κατασκευές στην ουσία δεν έχουν την δυνατότητα να αποθηκεύουν το νερό αλλά εξαρτώνται κυρίως από την ροή του ποταμού. Γι' αυτό το λόγο συνήθως αποφεύγονται να κατασκευάζονται τέτοιου είδους αντλιοταμιευτήρες καθώς θα χρειάζονται μεγαλύτερη επένδυση για την κατασκευή δεξαμεμών σε κάποιο άλλο σημείο και την μεταφορά του νερού σε εκείνες.

4.3.1.2 - ΑΝΤΛΙΟΤΑΜΙΕΥΤΗΡΕΣ ΜΕΣΑΙΟΥ ΥΨΟΥΣ

Οι αντλιοταμιευτήρες αυτού του είδους συνήθως είναι κατασκευές οι οποίες φτιάχνονται στο στόμιο μιας κοιλάδας η οποία διαρρέεται από ένα ποτάμι. Εκμεταλλεύονται τον όγκο του νερού που μεταφέρει το ποτάμι και τον αποθηκεύει. Γι' αυτόν ακριβώς τον λόγο λειτουργεί ακόμα και σε περιόδους ξηρασίας χάρη στο αποθηκευμένο νερό. Ένα βασικό μειονέκτημα είναι ότι πλημμυρίζει μια μεγάλη περιοχή και αυτό μπορεί να έχει οικολογικές αλλά και κοινωνικές επιπτώσεις.

4.3.1.3 – ΑΝΤΛΙΟΤΑΜΙΕΥΤΗΡΕΣ ΜΕΓΑΛΟΥ ΥΨΟΥΣ

Η κύρια διαφορά αυτού του είδους από τους αντλιοταμιευτήρες μεσαίου ύψους είναι κατασκευαστική. Στους μεγάλους ύψους αντλιοταμιευτήρες ολόκληρο το reservoir βρίσκεται πολύ πάνω από την εκροή του νερού στον υδροστρόβιλο και το νερό τρέχει διαμέσου ενός μεγάλου μήκους και σχετικά μικρής διατομής αγωγού. Γι' αυτόν τον λόγο ο υδροστρόβιλος και η γεννήτρια μπορούν να είναι μικρού μεγέθους. Από την άλλη υπάρχει το βασικό πρόβλημα της άντλησης του νερού σε αρκετά

μεγάλο ύψος. Αυτό σημαίνει μεγάλου κόστους αντλίες και δεν πρέπει να ξεχνάμε το μεγάλο κόστος της κατασκευής του μεγάλου μήκους αγωγού.

4.3.2 – ΠΟΥ ΥΠΑΡΧΟΥΝ ΣΗΜΕΡΑ ΑΝΤΛΙΟΤΑΜΙΕΥΤΗΡΕΣ

Στο εξωτερικό :

ΑΝΤΛΙΟΤΑΜΙΕΥΤΗΡΑΣ CRUACHAN

Βρίσκεται στη Σκωτία, άρχισε να λειτουργεί το 1965, μπορεί να αποθηκεύσει δέκα εκατομμύρια κυβικά μέτρα νερού σε ύψος 365 μέτρων. Η μάζα κάθε κυβικού μέτρου νερού είναι ίση με χίλια κιλά επομένως η συνολική αποθηκευμένη ενέργεια θα είναι $10000 \times 10 \times 365$ εκατομμύρια joules ή περίπου δέκα εκατομμύρια KWh.

Λειτουργώντας τους τέσσερις υδροστροβίλους των εκατό MW για μία ώρα σε πλήρη ισχύ, ως ηλεκτρικές γεννήτριες ή αντλίες, αυξάνεται ή μειώνεται το ύψος της επιφάνειας του νερού κατά ένα μέτρο.

ΑΝΤΛΙΟΤΑΜΙΕΥΤΗΡΑΣ DINORWIG

Βρίσκεται στην Ουαλία, διαθέτει έξι στροβίλους Francis συνολικής ισχύος τριακοσίων MW και μπορεί να έρθει σε πλήρη ισχύ λειτουργίας σε μόνο δέκα δευτερόλεπτα εάν οι στροβίλοι περιστρέφονται ήδη και σε λιγότερο από ένα λεπτό εάν είναι ακίνητοι. Αυτή η δυνατότητά του να δίνει μέγιστη ισχύ σε πολύ μικρό χρονικό διάστημα είναι χρήσιμη σε περίπτωση ξαφνικών αλλαγών στη ζήτηση.

Στην Ελλάδα :

ΑΝΤΛΙΟΤΑΜΙΕΥΤΗΡΑΣ ΣΦΗΚΙΑΣ

Σε αυτό το αντλητικό έργο προβλέπεται ετησίως πρόσθετη παραγωγή ενέργειας αυξημένη κατά 394 GWh, σε σύγκριση με τις 550 GWh που απαιτούνται για την άντληση του νερού, δίνοντας έτσι ένα συντελεστή απόδοσης ίσο με 72%

4.4 – ΕΙΔΗ ΥΔΡΟΣΤΡΟΒΙΛΩΝ

Οι υδροστροβίλοι είναι οι μηχανές που μετατρέπουν την υδραυλική ενέργεια του νερού σε μηχανική ενέργεια. Τους διακρίνουμε σε δύο κατηγορίες, υδροστροβίλους δράσεως και υδροστροβίλους αντιδράσεως. Στους πρώτους η στατική πίεση του ρευστού δια μέσου της πτερωτής είναι σταθερή ενώ στους δεύτερους μεταβάλλεται διαρκώς.

Μοναδικός υδροστροβίλος δράσεως που επιβιώνει μέχρι σήμερα είναι ο υδροστροβίλος Pelton.

4.4.1 FRANCIS

Είναι ο πιο κοινός τύπος υδροστροβίλου που χρησιμοποιείται (Εικόνα 2). Μπορούν να βρεθούν ακόμα και σε εγκαταστάσεις όπου το ύψος που πέφτει το νερό είναι 2,00 μ.. Οι υδροστροβίλοι Francis έχουν συνήθως τον άξονά τους κάθετο στο επίπεδο, όμως λόγω της κατασκευής του μπορούν να λειτουργήσουν και με τον άξονά τους οριζόντια ως προς το επίπεδο. Σε αυτή την περίπτωση ο αγωγός που οδηγεί στον υδροστροβίλο έχει μια κλίση.



Εικόνα 2 : υδροστροβίλος Francis

Το νερό το οποίο έρχεται από τον αγωγό κυλά περιφερειακά του στροβίλου και οδηγείται στον δρομέα από ειδικές βάνες οδήγησης (guide vanes). Όταν περνά το νερό από τα πτερύγια του δρομέα έχει χάσει την κυκλική ταχύτητά του και κινείται προς τα κάτω, λόγω της βαρύτητας ενώ εξέρχεται από τον στροβίλο από ένα κεντρικό αγωγό απαγωγής του νερού.

Το σχήμα που έχουν οι βάνες οδήγησης του νερού καθώς και τα πτερύγια του υδροστροβίλου, παίζει σημαντικό ρόλο στην ύπαρξη στρωτής ροής με αποτέλεσμα να έχουμε μεγάλες αποδόσεις. Οι μεγάλες αποδόσεις οφείλονται ουσιαστικά στο ότι το νερό όταν εξέρχεται από τον υδροστροβίλο έχει χάσει σχεδόν όλη την κινητική του ενέργεια.

Το ότι το νερό ασκεί μια δύναμη στα πτερύγια του υδροστροβίλου είναι φανερό αφού αλλάζει διεύθυνση καθώς περνά μέσα από τον υδροστροβίλο. Το νερό χτυπάει πάνω στα πτερύγια και τα απωθεί διατηρώντας έτσι την περιστροφική κίνηση του υδροστροβίλου. Γι' αυτό τον λόγο ο Francis λέγεται και υδροστροβίλος αντίδρασης.

Ένα βασικό χαρακτηριστικό αυτού του είδους των στροβίλων είναι ότι το νερό φτάνει σε αυτούς υπό πίεση και η πτώση πίεση που παρατηρείται αντιστοιχεί στην ενέργεια η οποία μεταφέρεται από το νερό στον υδροστροβίλο.

ΑΥΞΑΝΟΝΤΑΣ ΤΗΝ ΑΠΟΔΟΣΗ ΤΟΥ FRANCIS

Η ισχύς που παράγει ένας υδροστροβίλος είναι πάντα μικρότερη από την ισχύ που του προσφέρεται μέσω της κίνησης του νερού. Οι απώλειες αυτές οφείλονται στις τριβές οι οποίες υπάρχουν σε κάθε κινούμενο μηχανικό εξοπλισμό. Αυτές οι

απώλειες δεν μπορούν να εξαλειφθούν πλήρως αλλά μπορούν να ελαχιστοποιηθούν με τον καλό σχεδιασμό ολόκληρου του συστήματος.

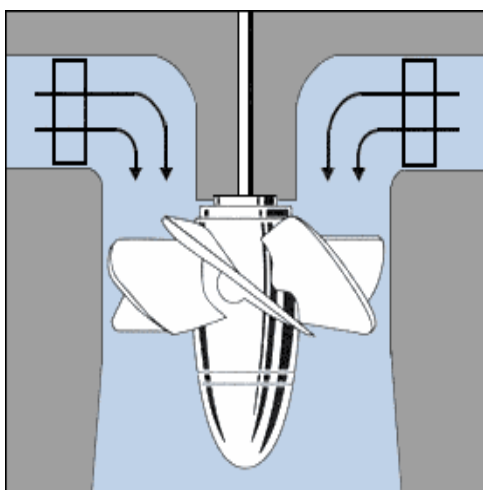
Η απόδοση των στροβίλων μπορεί να φτάσει μέχρι και 95% αλλά μόνο αν διατηρήσουμε ακριβώς την σωστή ταχύτητα και κατεύθυνση του εισερχόμενου νερού. Αυτό όμως οδηγεί σε ένα άλλο πρόβλημα. Ας υποθέσουμε ότι η ζήτηση της ενέργειας μειώνεται. Η ισχύς που παράγει ο στρόβιλος μπορεί να μειωθεί εάν μειώσουμε την ροή του νερού. Σε έναν στρόβιλο Francis αυτό γίνεται με την στρέψη των βανών οδήγησης. Για να διατηρήσουμε σταθερή τη συχνότητα του ρεύματος που παράγουμε η συχνότητα περιστροφής της γεννήτριας πρέπει να παραμένει σταθερή για οποιαδήποτε ζητούμενη ισχύ. Αλλά μη αναλλοίωτη ταχύτητα του δρομέα του στροβίλου με μικρότερη ταχύτητα νερού σημαίνει ότι πρέπει να αλλάξει η γωνία με την οποία το νερό συναντά τον υδροστρόβιλο. Αυτό σημαίνει ότι θα αλλάξει και η απόδοση του στροβίλου και είναι κάτι που θα πρέπει να δεχτούμε σε περίπτωση που επιλέξουμε αυτόν τον τύπο.

4.4.2 – PROPELLERS – KAPLAN

Στις προπέλες ή υδροστρόβιλους αξονικής ροής η περιοχή από την οποία το νερό εισέρχεται στον χώρο του στροβίλου είναι όσο μεγαλύτερη γίνεται. Ουσιαστικά είναι όλη η επιφάνεια η οποία σαρώνεται από τα πτερύγια του υδροστροβίλου (Εικόνα 3). Επομένως αυτού του τύπου οι στρόβιλοι είναι κατάλληλοι για μεγάλες ροές και συνηθίζονται σε τεχνικά έργα στα οποία το νερό πέφτει από μικρό ύψος. Έχουν το πλεονέκτημα ότι μπορούμε να αλλάζουμε τις γωνίες των πτερυγίων και επομένως να έχουμε την βέλτιστη απόδοση για οποιαδήποτε ζήτηση.

Στους υδροστρόβιλους Kaplan η κατεύθυνση του νερού δεν είναι κυκλική όπως στους Francis αλλά η ροή είναι αξονική. Ένα άλλο βασικό χαρακτηριστικό των Kaplan είναι η μεγάλη περιστροφική ταχύτητα του στροβίλου σε σχέση με το νερό.

Αφού έχουμε αξονική ροή δεν υπάρχει λόγος να οδηγούμε το νερό στον στρόβιλο από τα πλάγια. Είναι καλύτερα απλά να αφήνουμε το νερό να ρέει ως προς τον άξονα.



Εικόνα 3 : υδροστρόβιλος Kaplan

4.4.3 – PELTON

Για ύψος άνω των 250 μέτρων ο υδροστροβίλος Pelton (Εικόνα 4) είναι η πιο κατάλληλη επιλογή. Διαφέρει αρκετά από τους τύπους των υδροστροβίλων που περιγράφηκαν πιο πάνω. Ουσιαστικά είναι ένας τροχός που έχει ενσωματωμένα στην περιφέρειά του διπλά κύπελα. Κινείται από το νερό, που μέσω ψεκαστήρα (Εικόνα 5) ή ψεκαστήρων, χτυπά τα κύπελλα με την σειρά. Έχει πολύ καλή απόδοση και κάτω από ιδανικές συνθήκες το νερό μπορεί να αποδώσει όλη την κινητική του ενέργεια στον στροβίλο.

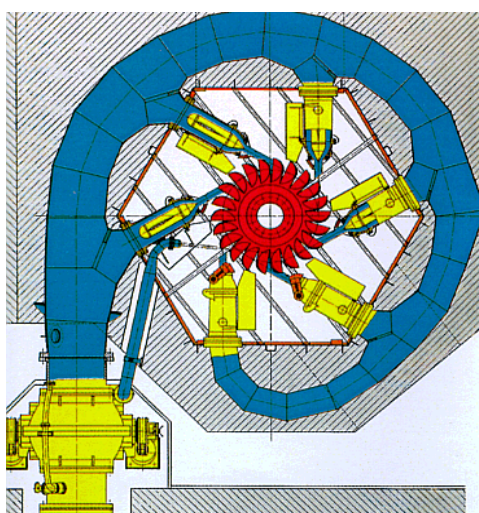


Εικόνα 4 : Υδροστροβίλος Pelton



Εικόνα 5 : ψεκαστήρας

Μια σημαντική διαφορά του Pelton είναι ότι αντίθετα με τους προηγούμενους στροβίλους αυτός δουλεύει υπό κανονικές συνθήκες δηλαδή σε πίεση ίση με την ατμοσφαιρική πίεση. Συνήθως η διάμετρος του στροβίλου πρέπει να είναι 10 φορές μεγαλύτερη από την διάμετρο του στομίου του ψεκαστήρα. Πολλές φορές παραπάνω από ένας ψεκαστήρας χρησιμοποιείται έτσι ώστε να παράγουμε μεγαλύτερη ισχύ χωρίς να μεγαλώνουμε την διάμετρο και επομένως το κόστος του στροβίλου (Εικόνα 6). Να σημειωθεί ότι είναι πιο αποδοτικός όταν περιστρέφεται με την μισή ταχύτητα της ταχύτητας του νερού.



Εικόνα 6 : Pelton που περιστρέφεται χάρη σε παραπάνω από έναν ψεκαστήρα

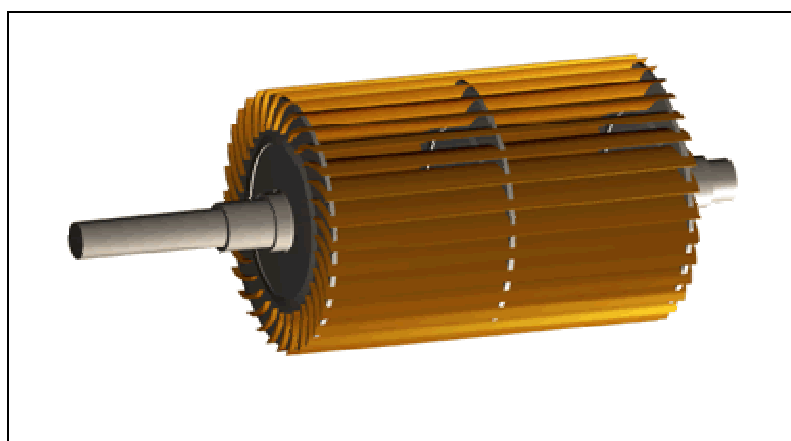
4.4.4 – TURGO AND CROSS-FLOW

Μια παραλλαγή του στροβίλου Pelton είναι ο στρόβιλος Turgo (Εικόνα 7) ο οποίος μελετήθηκε την δεκαετία του 1920. Τα διπλά κύπελλα αντικαταστάθηκαν από μονά και πιο ρηχά. Όπως και ο pelton είναι πιο αποδοτικός όταν περιστρέφεται με το μισό της ταχύτητας του νερού, αλλά έχει το πλεονέκτημα να μπορεί να δέχεται μεγαλύτερους όγκους νερού από έναν pelton ίδιας διαμέτρου. Αυτό τον κάνει κατάλληλο για παραγωγή ενέργειας σε τεχνικά έργα μεσαίου ύψους.



Εικόνα 7 : Υδροστρόβιλος Turgo

Ο υδροστρόβιλος cross-flow (Εικόνα 8) χρησιμοποιείται συχνά αντί του Francis σε μικρού μεγέθους υδροηλεκτρικά που παράγουν ισχύ όχι μεγαλύτερη από 100 kw. Είναι και αυτός ένας στρόβιλος δράσεως και το νερό που οδηγείται σε αυτόν συναντά τα πτερύγια πρώτη φορά όταν εισέρχεται στον χώρο του στροβίλου και μια δεύτερη φορά όταν εξέρχεται από τον χώρο του στροβίλου.



Εικόνα 8 : cross-flow υδροστρόβιλος

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

5.1 – Συνοπτική Παρουσίαση της Ενεργειακής Κατάστασης στην Κρήτη

Η παραγωγή και κατανάλωση ενέργειας αποτελεί σημαντικό τμήμα κάθε σύγχρονου παραγωγικού συστήματος. Πιο συγκεκριμένα για το νησί της Κρήτης είναι γνωστή η αδυναμία του παραγωγικού συστήματος να καλύψει την υπάρχουσα ζήτηση καθώς υπάρχει μεγάλη ετήσια αύξηση της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας. Έχουν γίνει σκέψεις για τη διασύνδεση του δικτύου της Κρήτης με το δίκτυο της ηπειρωτικής χώρας με υποθαλάσσιο καλώδιο που θα ξεκινούσε από το βορειοδυτικό άκρο της Κρήτης και θα κατέληγε στο νοτιοανατολικό άκρο της Πελοποννήσου.

Γρήγορα εγκαταλείφθηκε αυτή η ιδέα γιατί παρουσίαζε βασικά μειονεκτήματα:

- Μεγάλο κόστος κατασκευής του υποθαλάσσιου καλωδίου
- Υψηλή επικινδυνότητα λόγω της σεισμογενούς περιοχής στην οποία θα το τοποθετούσαν
- Δεν υπήρχε διεθνής εμπειρία για την πόντιση ενεργειακού καλωδίου σε τέτοιο μήκος και βάθος

Η όξυνση του ενεργειακού προβλήματος ανάγκασε τη ΔΕΗ να αρχίσει τις διακοπές στην παροχή ηλεκτρικής ενέργειας που ιδιαίτερα το καλοκαίρι στις τουριστικές περιοχές δημιούργησε προβλήματα.

Τα εργοστάσια παραγωγής ηλεκτρισμού είναι δυο το ένα είναι εγκατεστημένο στα Λινοπεράματα Ηρακλείου όπου αποτελεί τον σταθμό βάσης για όλη τη Κρήτη και λειτουργούν 6 μηχανές αμοστροβίλων, 4 μηχανές Diesel και 2 μηχανές αεροστροβίλων. Το δεύτερο εργοστάσιο είναι στα Χανιά όπου λειτουργεί ως σταθμός αιχμής ενώ αποτελείται από 7 μηχανές αεροστροβίλων και 1 μηχανή αμοστροβίλου από τις οποίες μηχανές οι 2 αεροστρόβιλοι και ο ένας αμοστρόβιλος είναι συνδυασμένου κύκλου. Ως σταθμοί αιχμής λειτουργούν και τα αιολικά πάρκα.

Ένα θετικό βήμα προς τη λύση του προβλήματος ήταν η αντικατάσταση των παλιών αεροστροβίλων στη Ξυλοκαμάρα με νέους συνδυασμένου κύκλου και βαθμού απόδοσης 40-45% μειώνοντας έτσι και την έκλυση αερίων ρύπων ανά μονάδα παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας.

5.2 – Εισαγωγή

Σε αυτό το μέρος της εργασίας αναφέρεται συνοπτικά ο εξοπλισμός και υπολογίζονται τα ηλιακά, αιολικά συστήματα που χρειάζονται για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στη Κρήτη με αποθήκευση της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας σε μορφή υδρογόνου και αντλιοσταμειυτήρες και χρήση τους αργότερα για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

Οι υπολογισμοί γίνονται για το έτος 2015

5.2.1 – Επιλογή Εξοπλισμού – Υπολογισμοί

Η σωστή επιλογή του εξοπλισμού είναι σημαντική αν θέλουμε να έχουμε καλές αποδόσεις στην αποθήκευση της ενέργειας. Στην επόμενη παράγραφο γίνεται μια συνοπτική ανάλυση για τον εξοπλισμό των μονάδων παραγωγής και αποθήκευσης ενέργειας υπό μορφή υδρογόνου.

A) Μονάδες Αποθήκευσης Ενέργειας Υπό Τη Μορφή Υδρογόνου

Σε πρώτο στάδιο θα γίνει η επιλογή του ηλεκτρολύτη δηλαδή της μονάδας στην οποία θα διοχετεύεται ηλεκτρική ενέργεια από τις αιολικές μηχανές και τα φωτοβολταϊκά συστήματα για την ηλεκτρόλυση του νερού.

Επιλέγουμε λοιπόν την εγκατάσταση ενός ηλεκτρολύτη στερεού πολυμερούς ή SPE (Solid Polymer Electrolyte) για τους εξής λόγους :

- Έχει απόδοση 80-90%
- Παράγει υδρογόνο με καθαρότητα σχεδόν 100%
- Αντίθετα από τους υγρούς ηλεκτρολύτες όταν του διοχετεύσουμε μεγάλη ισχύ μικρής διάρκειας έχει καλύτερη απόδοση
- Δεν υπάρχουν διαβρωτικά υλικά (π.χ. οξέα) εντός της κυψέλης επομένως δεν έχουμε προβλήματα με την απόρριψη τους στο περιβάλλον

Επιπλέον ο SP ηλεκτρολύτης θα είναι διπολικός (Bipolar) γιατί :

- Καταλαμβάνει λιγότερο χώρο
- Έχει καλύτερη απόδοση σε υψηλές θερμοκρασίες και πιέσεις

Όσο αναφορά την μετατροπή της ενέργειας του υδρογόνου σε ηλεκτρική επιλέγουμε κυψέλες καυσίμου με μεμβράνη ανταλλαγής ιόντων δηλαδή PEFC (Proton Exchange Membrane Fuel Cell) γιατί :

- Δεν υπάρχουν διαβρωτικά υλικά (π.χ. οξέα) εντός της κυψέλης επομένως δεν έχουμε προβλήματα με την απόρριψη τους στο περιβάλλον
- Απλή κατασκευή
- Μεγάλη διάρκεια ζωής

Υπολογισμοί

Γνωρίζουμε την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας για την πενταετία 1996-2000 :

Πίνακας 1 : Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας για τη πενταετία 1996-2000 στη Κρήτη

	1996		1997		1998		1999		2000	
	MWh	%	MWh	%	MWh	%	MWh	%	MWh	%
ΣΥΜΒΑΤΙΚΑ ΚΑΥΣΙΜΑ	1.555.874,70	99,59	1.652.841,80	99,61	1.761.802,40	97,84	1.820.247,10	94,58	1.934.109	90,43
ΑΙΟΛΙΚΑ	5.342,50	0,34	5.122,20	0,31	37.728,90	2,10	103.183,80	5,36	203.702	9,53
ΥΔΡΟΗΛΕΚΤΡΙΚΑ	1.056,10	0,07	1.319,70	0,08	1.069,30	0,06	1.139,90	0,06	1.021,00	0,05
ΣΥΝΟΛΟ	1.562.273,30	100	1.659.283,70	100	1.800.600,60	100	1.924.570,80	100	2.138.902	100
ΕΤΗΣΙΟΣ ΡΥΘΜΟΣ ΑΥΞΗΣΗΣ ΤΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ(%)				5,85		7,85		6,44		10,02

Από τον πίνακα 1 έχουμε για κάθε χρονιά τον ετήσιο ρυθμό αύξησης της παραγωγής. Από αυτούς θα υπολογίσουμε τον μέσο όρο ετήσιου ρυθμού αύξησης της παραγωγής. Έτσι θα έχουμε:

$$\text{μ.ο. ρυθμού αύξησης παραγωγής} = \frac{5,85 + 7,85 + 6,44 + 10,02}{4} = 7,54\%$$

Για να υπολογίσουμε τη συνολική κατανάλωση της επόμενης χρονιάς (2001) πολλαπλασιάζουμε τον μέσο όρο ρυθμού αύξησης με την κατανάλωση της τελευταίας χρονιάς (2000) και το αποτέλεσμα το προσθέτουμε στην κατανάλωση της τελευταίας χρονιάς δηλαδή :

$$\text{αρχική τιμή} * (1 + \text{ρυθμός αύξησης}) = 2138902 * (1 + \frac{7,54}{100}) = 2300175,211 \text{ MWh}$$

Ομοίως θα υπολογίσουμε την συνολική κατανάλωση για το έτος 2002 ,το 2003 κ.ο.κ. μέχρι το έτος 2015. Το ότι επιλέγουμε να υπολογίσουμε την συνολική κατανάλωση για το έτος 2015 δεν είναι τυχαίο. Είναι η χρονιά μέχρι την οποία η Ελλάδα θα πρέπει να έχει συμμορφωθεί με τις ευρωπαϊκές οδηγίες. Αυτές αναφέρουν ότι το 15% της συνολικής κατανάλωσης θα πρέπει να καλύπτεται από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Η συνολική κατανάλωση για το 2015 θα είναι :

$$\text{αρχική τιμή} * (1 + \text{ρυθμός αύξησης})^{15} = 2138902 * (1 + \frac{7,54}{100})^{15} = 6364164,089 \text{ MWh}$$

Το έτος 2015 το 15% της συνολικής κατανάλωσης θα πρέπει να καλύπτεται από ενέργεια η οποία εξάγεται από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και θα είναι ίση με :

$$\text{Ενέργεια από ανανεώσιμες πηγές(αιολικά, ηλιακά)} = 6364164,089 * 0,15 = 954624,6134 \text{ MWh}$$

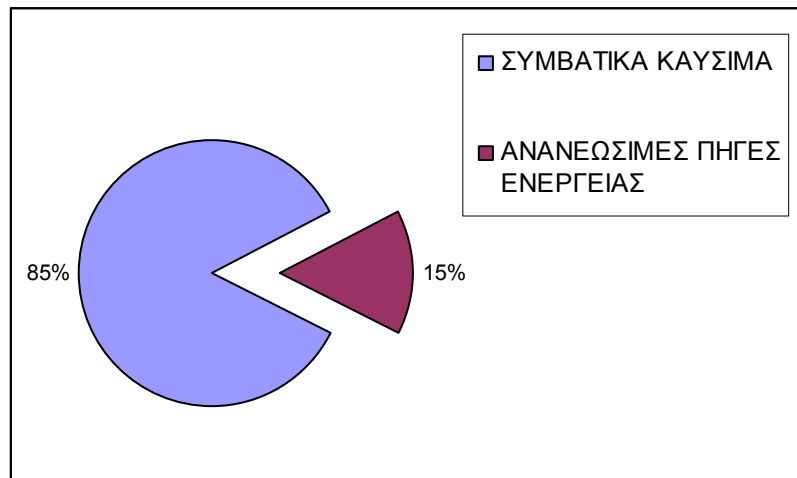
Αν αφαιρέσουμε από τη συνολική κατανάλωση για το έτος 2015 την ενέργεια η οποία θα καλύπτεται από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας θα έχουμε :

$$\text{Ενέργεια από συμβατικά καύσιμα} = 6364164,089 - 954624,6134 = 5409539,476 \text{ MWh}$$

Όλα τα παραπάνω δεδομένα είναι συγκεντρωμένα στον παρακάτω πίνακα :

Πίνακας 2 : Πρόβλεψη Παραγωγής Ηλεκτρικής Ενέργειας στη Κρήτη από διάφορες πηγές για το έτος 2015

	2015	
	MWh	%
ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΑΠΟ ΣΥΜΒΑΤΙΚΑ ΚΑΥΣΙΜΑ	5409539,476	85
ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΑΠΟ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ	954624,6134	15
ΣΥΝΟΛΟ	6364164,089	100



Διάγραμμα 1 : Γραφική απόδοση της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας για το έτος 2015 στη Κρήτη από διάφορες πηγές

Πειραματικά έχει αποδειχθεί ότι :

ΑΠΟΔΟΣΗ ΕΠΙΛΕΓΜΕΝΗΣ ΚΥΨΕΛΗΣ ΚΑΥΣΙΜΟΥ : 50-60%

ΑΠΟΔΟΣΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΥΤΗ SP : 80-90%

Στους υπολογισμούς που ακολουθούν διαλέγουμε τις χαμηλές αποδόσεις. Διαλέγουμε τις χαμηλές αποδόσεις γιατί με αυτές μπορούμε να υπολογίσουμε το μέγιστο των ηλιακών και αιολικών εγκαταστάσεων που θα χρειαστούμε για να αντικαταστήσουμε

κατά ένα μέρος ή πλήρως τα συμβατικά καύσιμα με τα οποία καλύπτονται οι ενεργειακές απαιτήσεις της Κρήτης για το έτος 2015

Στη συνέχεια οι υπολογισμοί αφορούν την κάλυψη της ενέργειας που προέρχεται μόνο από συμβατικά καύσιμα, με αποθήκευση της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας από ηλιακά, αιολικά συστήματα σε μορφή υδρογόνου και χρήση τους αργότερα για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Δηλαδή θα κάνουμε τους υπολογισμούς για το 10% του 85% της συνολικής κατανάλωσης της Κρήτης ή πιο απλά το 10% της ενέργειας που προέρχεται μόνο από συμβατικά καύσιμα, το 20% της ενέργειας που προέρχεται μόνο από συμβατικά καύσιμα, το 30% της ενέργειας που προέρχεται μόνο από συμβατικά καύσιμα κ.ο.κ.

ΚΑΛΥΨΗ ΤΩΝ ΑΝΑΓΚΩΝ ΤΗΣ ΚΡΗΤΗΣ ΣΕ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΤΟ 2015

ΠΟΣΟΣΤΟ ΚΑΛΥΨΗΣ 10% ΤΗΣ ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΗΣ ΗΛ. ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Για να υπολογίσουμε τα ηλιακά, αιολικά συστήματα που χρειάζονται για να καλύψουμε το 10% της ενέργειας που προέρχεται μόνο από συμβατικά καύσιμα θα κινηθούμε με τον εξής τρόπο :

Έχουμε ως δεδομένο την τελική παραγωγή δηλαδή την ενέργεια που είναι αναγκαία για να καλύψουμε τις ενεργειακές ανάγκες του νησιού. Στη συνέχεια θα κινηθούμε προς τα πίσω και θα υπολογίσουμε το ποσό της ενέργειας που χρειάστηκε να «δώσουμε», υπό τη μορφή υδρογόνου, στις κυψέλες καυσίμου για να παράξουν την ενέργεια που καλύπτει τις ανάγκες της Κρήτης. Αφού υπολογίσαμε την ενέργεια πριν από την καύση του H₂ στις κυψέλες καυσίμου στη συνέχεια θα υπολογίσουμε το ποσό της ενέργειας που χρειάζεται να δαπανήσουμε για να παράξουμε αυτό το υδρογόνο με τη μέθοδο της ηλεκτρόλυσης. Αυτή είναι και η ζητούμενη ενέργεια η οποία θα προέρχεται από τα ηλιακά, αιολικά συστήματα

Η ενέργεια από καύση συμβατικών καυσίμων είναι 5409539,476 MWh. Το 10% αυτής της ενέργειας θα είναι :

	MWh
ΕΝΕΡΓΕΙΑ 10%	540953,9476

Επειδή οι κυψέλες καυσίμου έχουν απόδοση 50% τα 5409539,476 MWh αντιστοιχούν στο 50% της ενέργειας που χρειάστηκε να «δώσουμε», υπό τη μορφή υδρογόνου στις κυψέλες καυσίμου ενώ η ενέργεια που ζητάμε να υπολογίσουμε αντιστοιχεί στο 100% δηλαδή :

Τα 5409539,476 MWh αντιστοιχούν στο 50% της ενέργειας

$$x \qquad \qquad \qquad 100\%$$

$$x = 1081907,895 \text{ MWh}$$

Τα 1081907,895 MWh αντιστοιχούν στο 80% της ενέργειας που χρειάστηκε να δαπανήσουμε για να παράξουμε υδρογόνο με τη μέθοδο της ηλεκτρόλυσης ενώ η ενέργεια που ζητάμε να υπολογίσουμε αντιστοιχεί στο 100% δηλαδή:

Τα 1081907,895 MWh αντιστοιχούν στο 80% της ενέργειας

$$x \qquad \qquad \qquad 100\%$$

$$x = 1352384,869 \text{ MWh}$$

Τα 1352384,869 MWh αντιστοιχούν στη ζητούμενη ενέργεια η οποία θα προέρχεται από τα ηλιακά, αιολικά συστήματα

Ομοίως θα κινηθούμε και για το 20%, 30% κ.ο.κ. της ενέργειας που προέρχεται από συμβατικά καύσιμα κ.ο.κ

ΠΟΣΟΣΤΟ ΚΑΛΥΨΗΣ 20% ΤΗΣ ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΗΣ ΗΛ. ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

	MWh
ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΠΡΙΝ ΤΗΝ ΗΛΕΚΤΡΟΛΥΣΗ ΠΡΟΕΡΧΟΜΕΝΗ ΑΠΟ ΗΛΙΑΚΑ, ΑΙΟΛΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ	2704769,738
ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΠΡΙΝ ΤΗ ΚΑΥΣΗ ΤΟΥ Η₂ ΣΤΙΣ Κ.Κ.	2163815,79
ΤΕΛΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΠΡΟΣ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ	1081907,895

ΠΟΣΟΣΤΟ ΚΑΛΥΨΗΣ 30% ΤΗΣ ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΗΣ ΗΛ. ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

	MWh
ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΠΡΙΝ ΤΗΝ ΗΛΕΚΤΡΟΛΥΣΗ ΠΡΟΕΡΧΟΜΕΝΗ ΑΠΟ ΗΛΙΑΚΑ, ΑΙΟΛΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ	4057154,607
ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΠΡΙΝ ΤΗ ΚΑΥΣΗ ΤΟΥ Η₂ ΣΤΙΣ Κ.Κ.	3245723,686
ΤΕΛΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΠΡΟΣ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ	1622861,843

ΠΟΣΟΣΤΟ ΚΑΛΥΨΗΣ 40% ΤΗΣ ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΗΣ ΗΛ. ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

	MWh
ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΠΡΙΝ ΤΗΝ ΗΛΕΚΤΡΟΛΥΣΗ ΠΡΟΕΡΧΟΜΕΝΗ ΑΠΟ ΗΛΙΑΚΑ, ΑΙΟΛΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ	5409539,476
ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΠΡΙΝ ΤΗ ΚΑΥΣΗ ΤΟΥ Η₂ ΣΤΙΣ Κ.Κ.	4327631,581
ΤΕΛΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΠΡΟΣ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ	2163815,79

ΠΟΣΟΣΤΟ ΚΑΛΥΨΗΣ 50% ΤΗΣ ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΗΣ ΗΛ. ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

	MWh
ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΠΡΙΝ ΤΗΝ ΗΛΕΚΤΡΟΛΥΣΗ ΠΡΟΕΡΧΟΜΕΝΗ ΑΠΟ ΗΛΙΑΚΑ, ΑΙΟΛΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ	6761924,345
ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΠΡΙΝ ΤΗ ΚΑΥΣΗ ΤΟΥ Η₂ ΣΤΙΣ Κ.Κ.	5409539,476
ΤΕΛΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΠΡΟΣ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ	2704769,738

ΠΟΣΟΣΤΟ ΚΑΛΥΨΗΣ 60% ΤΗΣ ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΗΣ ΗΛ. ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

	MWh
ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΠΡΙΝ ΤΗΝ ΗΛΕΚΤΡΟΛΥΣΗ ΠΡΟΕΡΧΟΜΕΝΗ ΑΠΟ ΗΛΙΑΚΑ, ΑΙΟΛΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ	8114309,214
ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΠΡΙΝ ΤΗ ΚΑΥΣΗ ΤΟΥ Η₂ ΣΤΙΣ Κ.Κ.	6491447,371
ΤΕΛΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΠΡΟΣ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ	3245723,686

ΠΟΣΟΣΤΟ ΚΑΛΥΨΗΣ 70% ΤΗΣ ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΗΣ ΗΛ. ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

	MWh
ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΠΡΙΝ ΤΗΝ ΗΛΕΚΤΡΟΛΥΣΗ ΠΡΟΕΡΧΟΜΕΝΗ ΑΠΟ ΗΛΙΑΚΑ, ΑΙΟΛΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ	9466694,083
ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΠΡΙΝ ΤΗ ΚΑΥΣΗ ΤΟΥ Η₂ ΣΤΙΣ Κ.Κ.	7573355,266
ΤΕΛΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΠΡΟΣ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ	3786677,633

ΠΟΣΟΣΤΟ ΚΑΛΥΨΗΣ 80% ΤΗΣ ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΗΣ ΗΛ. ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

	MWh
ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΠΡΙΝ ΤΗΝ ΗΛΕΚΤΡΟΛΥΣΗ ΠΡΟΕΡΧΟΜΕΝΗ ΑΠΟ ΗΛΙΑΚΑ, ΑΙΟΛΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ	10819078,95
ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΠΡΙΝ ΤΗ ΚΑΥΣΗ ΤΟΥ Η₂ ΣΤΙΣ Κ.Κ.	8655263,162
ΤΕΛΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΠΡΟΣ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ	4327631,581

ΠΟΣΟΣΤΟ ΚΑΛΥΨΗΣ 90% ΤΗΣ ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΗΣ ΗΛ. ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

	MWh
ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΠΡΙΝ ΤΗΝ ΗΛΕΚΤΡΟΛΥΣΗ ΠΡΟΕΡΧΟΜΕΝΗ ΑΠΟ ΗΛΙΑΚΑ, ΑΙΟΛΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ	12171463,82
ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΠΡΙΝ ΤΗ ΚΑΥΣΗ ΤΟΥ Η₂ ΣΤΙΣ Κ.Κ.	9737171,057
ΤΕΛΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΠΡΟΣ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ	4868585,528

ΠΟΣΟΣΤΟ ΚΑΛΥΨΗΣ 100% ΤΗΣ ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΗΣ ΗΛ. ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

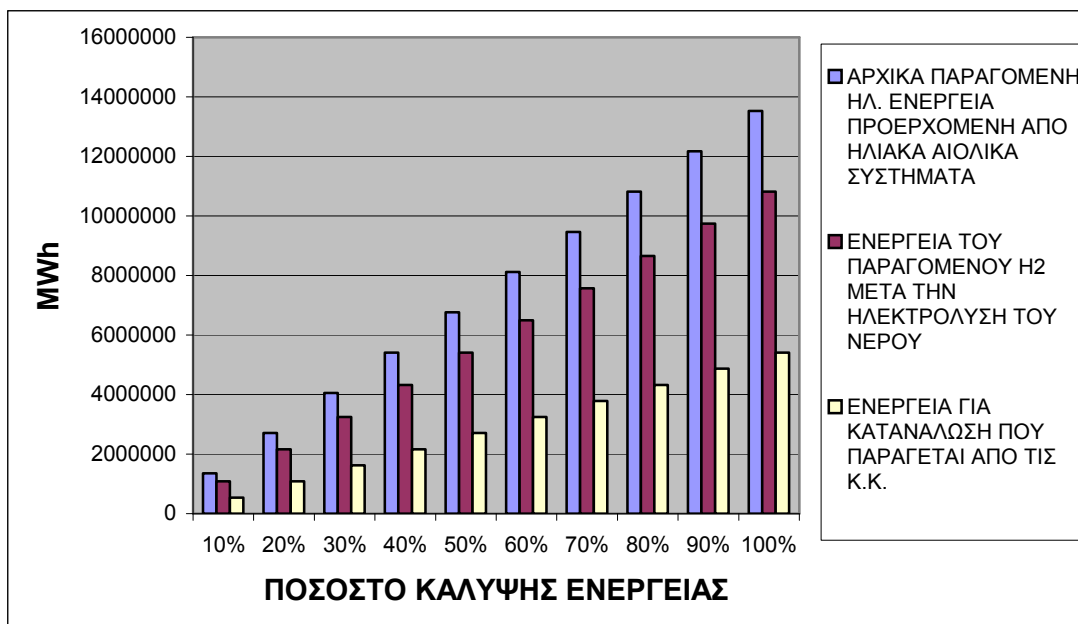
	MWh
ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΠΡΙΝ ΤΗΝ ΗΛΕΚΤΡΟΛΥΣΗ ΠΡΟΕΡΧΟΜΕΝΗ ΑΠΟ ΗΛΙΑΚΑ, ΑΙΟΛΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ	13523848,69
ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΠΡΙΝ ΤΗ ΚΑΥΣΗ ΤΟΥ Η ₂ ΣΤΙΣ Κ.Κ.	10819078,95
ΤΕΛΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΠΡΟΣ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ	5409539,476

Σημείωση: όπου στους παραπάνω πίνακες αναγράφεται κ.κ. εννοούμε κυψέλες καυσίμου

Συνοψίζοντας τους παραπάνω πίνακες σε ένα θα έχουμε :

Πίνακας 3 : Πίνακας των ποσών των ενεργειών που διαχειριζόμαστε κατά τη διάρκεια της διαδικασίας αποθήκευσης και επαναχρησιμοποίησης της ενέργειας συναρτήσει του ποσοστού κάλυψης των αναγκών της Κρήτης σε ηλεκτρική ενέργεια

ΠΟΣΟΣΤΟ ΚΑΛΥΨΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ	ΤΕΛΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΠΡΟΣ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ MWh	ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΠΡΙΝ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΤΟΥ Η ₂ ΣΤΙΣ Κ.Κ. MWh	ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΠΡΙΝ ΤΗΝ ΗΛΕΚΤΡΟΛΥΣΗ ΠΡΟΕΡΧΟΜΕΝΗ ΑΠΟ ΗΛΙΑΚΑ, ΑΙΟΛΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ (MWh)
10%	540953,9476	1081907,895	1352384,869
20%	1081907,895	2163815,79	2704769,738
30%	1622861,843	3245723,686	4057154,607
40%	2163815,79	4327631,581	5409539,476
50%	2704769,738	5409539,476	6761924,345
60%	3245723,686	6491447,371	8114309,214
70%	3786677,633	7573355,266	9466694,083
80%	4327631,581	8655263,162	10819078,95
90%	4868585,528	9737171,057	12171463,82
100%	5409539,476	10819078,95	13523848,69



Διάγραμμα 2 : Γραφική απόδοση των ενεργειών που διαχειριζόμαστε κατά τη διάρκεια της διαδικασίας αποθήκευσης και επαναχρησιμοποίησης της ενέργειας συναρτήσει του ποσοστού κάλυψης

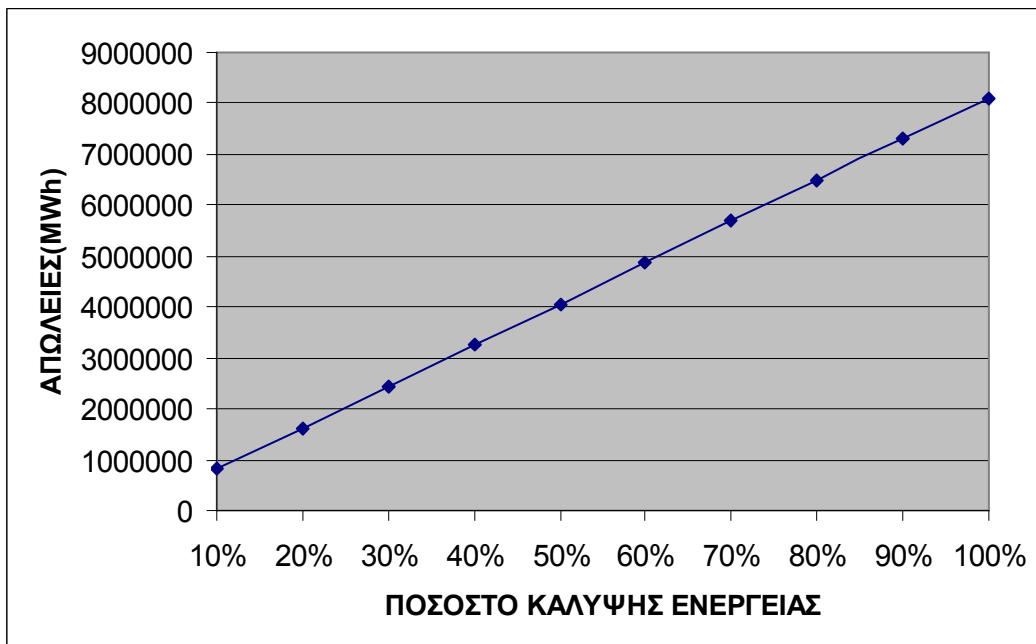
Αν από την ενέργεια που προέρχεται από τα ηλιακά, αιολικά συστήματα αφαιρέσουμε την τελική ενέργεια που έχουμε για κατανάλωση θα προκύψει η ενέργεια η οποία χάθηκε κατά τη διάρκεια της διαδικασίας αποθήκευσης της. Για το 10% έχουμε :

$$\text{Απώλεια Ενέργειας} = 1352384,869 - 540953,9476 = \mathbf{811430,92 \text{ MWh}}$$

Το ίδιο θα κάνουμε για το 20%, 30% κ.ο.κ. και έτσι προκύπτει ο παρακάτω πίνακας

Πίνακας 4 : Απώλειες ενέργειας κατά τη διάρκεια της διαδικασίας αποθήκευσης και επαναχρησιμοποίησης της ενέργειας

ΠΟΣΟΣΤΟ ΚΑΛΥΨΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ	ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ (MWh)
10%	811430,921
20%	1622861,84
30%	2434292,76
40%	3245723,69
50%	4057154,61
60%	4868585,53
70%	5680016,45
80%	6491447,37
90%	7302878,29
100%	8114309,21



Διάγραμμα 3 : το διάγραμμα μας παρουσιάζει τις απώλειες ενέργειας που έχουμε καθώς αυξάνει το ποσοστό κάλυψης των ενεργειακών αναγκών της Κρήτης

Είναι φανερό ότι για μεγάλα ποσοστά κάλυψης της ενέργειας η απόκλιση είναι αρκετά μεγάλη και η αποθήκευση σε υδρογόνο είναι αντιοικονομική. Ένα μέτρο για το πόσο γρήγορα μεταβάλλεται η απώλεια ενέργειας μπορεί να μας δώσει ο ρυθμός μεταβολής της :

$$\text{ρυθμός μεταβολής απώλειας ενέργειας} : \frac{dA}{dx} = \frac{dA_2 - dA_1}{dx} = 1,5$$

Το αποτέλεσμα είναι καθαρός αριθμός γιατί στον αριθμητή έχουμε ως μονάδα MWh και στον παρονομαστή το ποσοστό κάλυψης της ενέργειας έχει ως μονάδα MWh

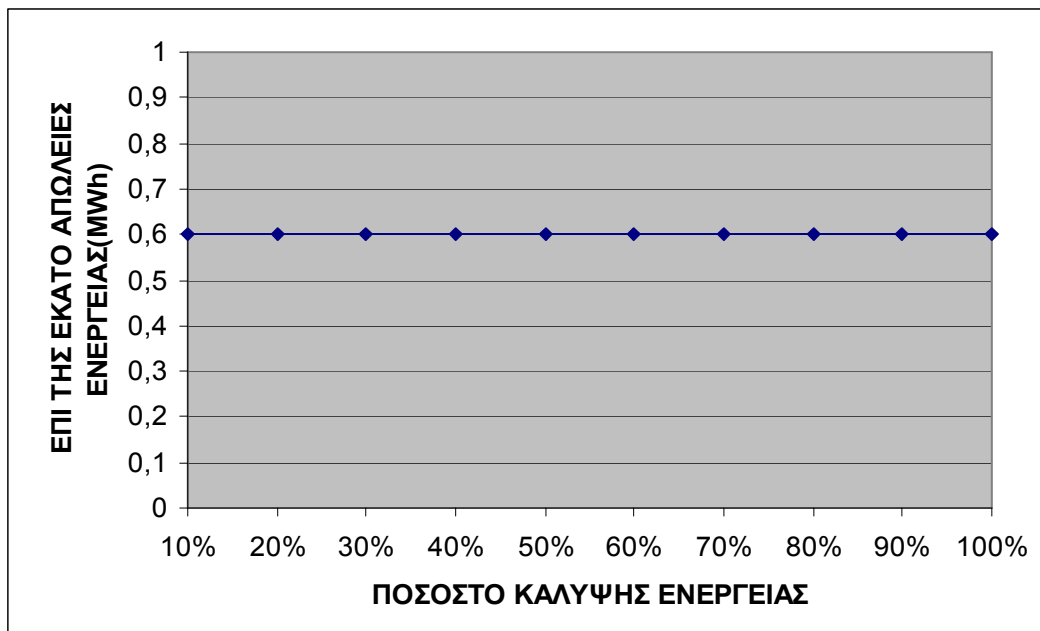
Ενδιαφέρον θα ήταν να υπολογίσουμε την ποσοστιαία μεταβολή της ενέργειας που χάθηκε κατά τη διάρκεια της διαδικασίας αποθήκευσης της. Βρίσκεται από το λόγο της αρχικής ενέργειας που προέρχεται από τα ηλιακά, αιολικά συστήματα μείον την τελική ενέργεια που έχουμε για κατανάλωση προς την αρχική ενέργεια και όλο πολλαπλασιασμένο με το 100% :

$$\text{Ποσοστιαία Μεταβολή Ενέργειας} = \left(\frac{1352384,869 - 540953,9476}{1352384,869} \right) * 100\% = 0,6$$

Ο υπολογισμός που έγινε ήταν για το 10% της ενέργειας που προέρχεται από συμβατικά καύσιμα. Αν κάνουμε τους ίδιους υπολογισμούς και για το 20%, 30% κ.ο.κ. θα διαπιστώσουμε ότι η ποσοστιαία απώλεια ενέργειας παραμένει σταθερή

Πίνακας 5 : Ποσοστιαίες απώλειες ενέργειας κατά τη διάρκεια της διαδικασίας αποθήκευσης και επαναχρησιμοποίησης της ενέργειας

ΠΟΣΟΣΤΟ ΚΑΛΥΨΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ	ΠΟΣΟΣΤΙΑΙΕΣ ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ
10%	0,6
20%	0,6
30%	0,6
40%	0,6
50%	0,6
60%	0,6
70%	0,6
80%	0,6
90%	0,6
100%	0,6



Διάγραμμα 4 : το διάγραμμα μας παρουσιάζει τις ποσοστιαίες απώλειες ενέργειας που έχουμε καθώς αυξάνει το ποσοστό κάλυψης των ενεργειακών αναγκών της Κρήτης από αιολικά, ηλιακά συστήματα

Υπολογισμός Διάφορων Παραμέτρων Κατά Τη Λειτουργία Των Κυψελών Καυσίμων

- 1) Το οξυγόνο που καταναλώνεται κατά τη λειτουργία μιας κυψέλης καυσίμου δίδεται από τη σχέση:

$$O_2 = 8,29 * 10^{-8} * P/V$$

Όπου O_2 σε kg/sec

P = συνολική ισχύς της κυψέλης καυσίμου (W)

V = τάση μιας απλής κυψέλης καυσίμου (V)

Θεωρητικά μπορούμε να κάνουμε την υπόθεση ότι αντικαθιστούμε τον αριθμό των κυψελών που χρειαζόμαστε για να καλύψουμε τις ενεργειακές απαιτήσεις της Κρήτης με μια τεράστια ενιαία κυψέλη καυσίμου η οποία θα είχε ισχύ ίση με την ισχύ που χρειαζόμαστε για να καλύψουμε τις ενεργειακές απαιτήσεις.

Η παραγόμενη τάση από μια απλή κυψέλη καυσίμου με χρήση H_2 , εάν όλη η ενέργεια της αντίδρασης μετατρέπεται σε ενέργεια ηλεκτρική, και λαμβάνοντας υπ' όψη την ανώτερη θερμογόνο δύναμη του H_2 , θα ήταν 1,48 . Στην πράξη επιτυγχάνουμε τάσεις περίπου 0,7 και επομένως ο βαθμός απόδοσης κυμαίνεται στο 50% περίπου.

Από την αρχή των υπολογισμών έχουμε επιλέξει απόδοση για τις κυψέλες καυσίμου ίση με $\eta = 0,45$ και επομένως έχουμε τάση ίση με:

$$V = 1,48 \text{ V} \times 0,45 = \mathbf{0.666 \text{ V}}$$

Η ενέργεια από καύση συμβατικών καυσίμων είναι 5409539,476 MWh. Το 10% αυτής της ενέργειας θα είναι :

	MWh
ΕΝΕΡΓΕΙΑ 10%	540953,9476

Η ισχύς υπολογίζεται εάν διαιρέσουμε την ενέργεια, του 10% της ενέργειας που παράγεται από συμβατικά καύσιμα, με τις ώρες του χρόνου (8760 h):

$$P = 540953,9476 \text{ MWh} / 8760 \text{ h} = \mathbf{61.75273374 \text{ MW} \text{ ή } 61752733.74 \text{ W}}$$

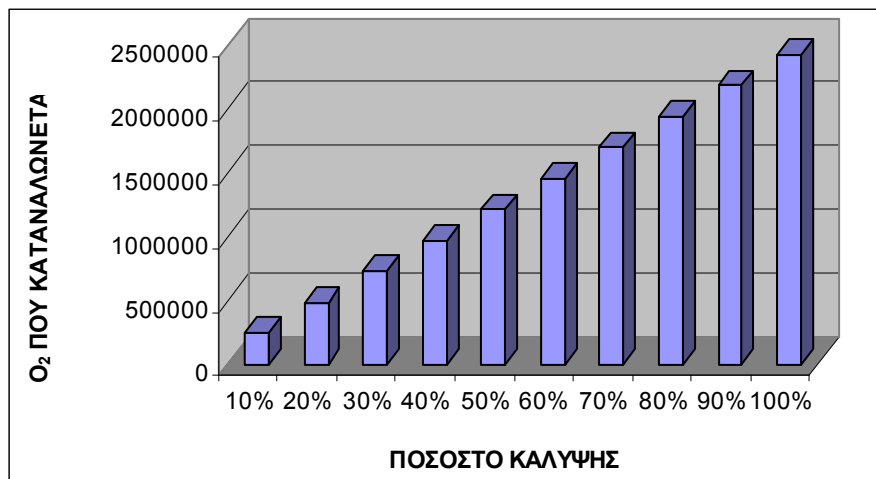
Επομένως το O_2 που καταναλώνεται κατά τη λειτουργία μιας κυψέλης καυσίμου θα είναι:

$$O_2 = 8,29 \times 10^{-8} \times \frac{61752733,74}{0,666} = \mathbf{7.68663908 \text{ kg/sec} \text{ ή } 242405.85 \text{ tn/year}}$$

Ομοίως θα εργαστούμε για το 20%, 30% κ.ο.κ. και έτσι προκύπτει ο παρακάτω πίνακας:

Πίνακας 6 : Πίνακας του O_2 που καταναλώνεται στις κυψέλες καυσίμου στη διάρκεια του έτους συναρτήσει του ποσοστού κάλυψης των ενεργειακών αναγκών της Κρήτης

ΠΟΣΟΣΤΟ ΚΑΛΥΨΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ	O_2 (tn/year)
10%	242405.85
20%	484811.7
30%	727217.5502
40%	969623.4
50%	1212029.25
60%	1454435.1
70%	1696840.95
80%	1939246.8
90%	2181652.65
100%	2424058.5



Διάγραμμα 5 : γραφική απεικόνιση του O₂ που καταναλώνεται στις κυψέλες καυσίμου στη διάρκεια του έτους συναρτήσει του ποσοστού κάλυψης των ενεργειακών αναγκών της Κρήτης

- 2) Ο αέρας που χρησιμοποιείται για την παροχή του στοιχειομετρικά απαιτούμενου οξυγόνου δίνεται από τη σχέση:

$$\text{Αέρας} = 3,57 * 10^{-7} * P/V$$

Όπου Αέρας σε kg/sec

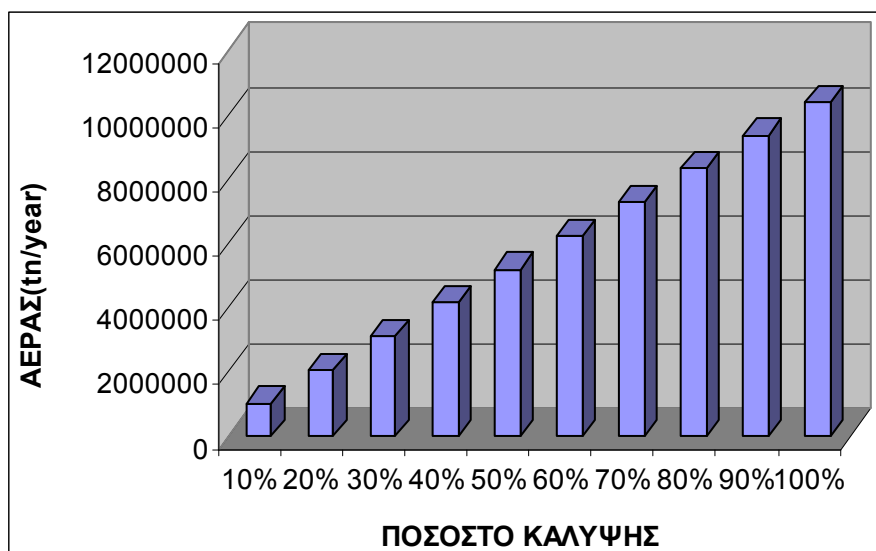
P = συνολική ισχύς της κυψέλης καυσίμου (W)

V = τάση μιας απλής κυψέλης καυσίμου (V)

Με τον ίδιο τρόπο που εργασθήκαμε στους υπολογισμούς για το O₂ θα εργαστούμε και για τη ποσότητα του αέρα που χρησιμοποιείτε για την παροχή του στοιχειομετρικά απαιτούμενου οξυγόνου στις κυψέλες καυσίμου

Πίνακας 7 : Πίνακας του αέρα που χρησιμοποιείτε για την παροχή του στοιχειομετρικά απαιτούμενου οξυγόνου στις κυψέλες καυσίμου στη διάρκεια του έτους συναρτήσει του ποσοστού κάλυψης των ενεργειακών αναγκών της Κρήτης

ΠΟΣΟΣΤΟ ΚΑΛΥΨΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ	ΑΕΡΑΣ(tn/year)
10%	1043894.915
20%	2087789.83
30%	3131684.746
40%	4175579.66
50%	5219474.575
60%	6263369.491
70%	7307264.405
80%	8351159.321
90%	9395054.235
100%	10438949.15



Διάγραμμα 6 : γραφική απεικόνιση του όγκου του αέρα που χρησιμοποιείτε για την παροχή του στοιχειομετρικά απαιτούμενου οξυγόνου στις κυψέλες καυσίμου στη διάρκεια του έτους συναρτήσει του ποσοστού κάλυψης των ενεργειακών αναγκών της Κρήτης

- 3) Ο αέρας που εξέρχεται από μια κυψέλη καυσίμου μετά την κατανάλωση του στοιχειομετρικά απαιτούμενου οξυγόνου δίνεται από τη σχέση:

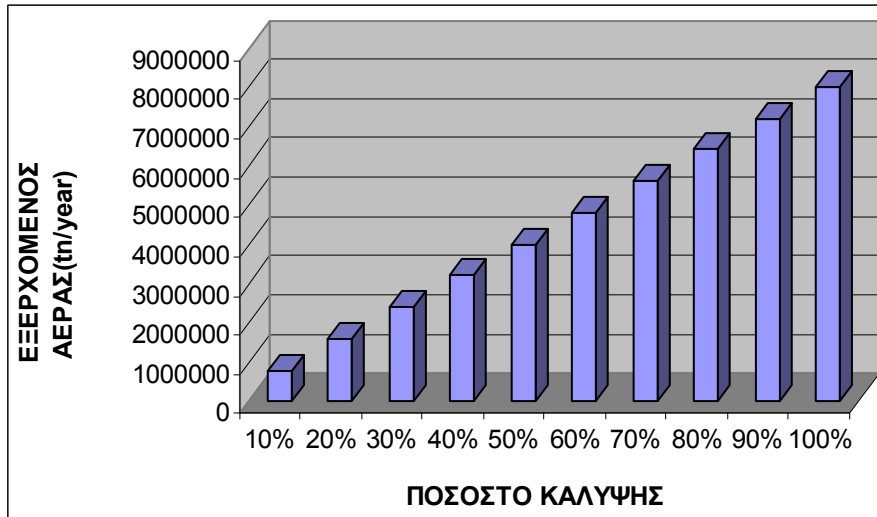
$$\text{Εξερχόμενος Αέρας} = 3,57 * 10^{-7} * P/V - 8,29 * 10^{-8} * P/V$$

Όπου Εξερχόμενος Αέρας σε kg/sec

Ουσιαστικά ο Εξερχόμενος αέρας υπολογίζεται εάν αφαιρέσουμε το οξυγόνο που καταναλώνεται κατά τη λειτουργία μιας κυψέλης καυσίμου από τον αέρα που χρησιμοποιείται για την παροχή του στοιχειομετρικά απαιτούμενου οξυγόνου

Πίνακας 8 : Πίνακας του εξερχόμενου αέρα στη διάρκεια του έτους από μια κυψέλη καυσίμου μετά την κατανάλωση του στοιχειομετρικά απαιτούμενου οξυγόνου συναρτήσει του ποσοστού κάλυψης των ενεργειακών αναγκών της Κρήτης

ΠΟΣΟΣΤΟ ΚΑΛΥΨΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ	ΕΞΕΡΧΟΜΕΝΟΣ ΑΕΡΑΣ (tn/year)
10%	801489.0651
20%	1602978.13
30%	2404467.195
40%	3205956.26
50%	4007445.325
60%	4808934.391
70%	5610423.455
80%	6411912.521
90%	7213401.585
100%	8014890.651



Διάγραμμα 7 : γραφική απεικόνιση του εξερχόμενου αέρα στη διάρκεια του έτους συναρτήσει του ποσοστού κάλυψης των ενεργειακών αναγκών της Κρήτης

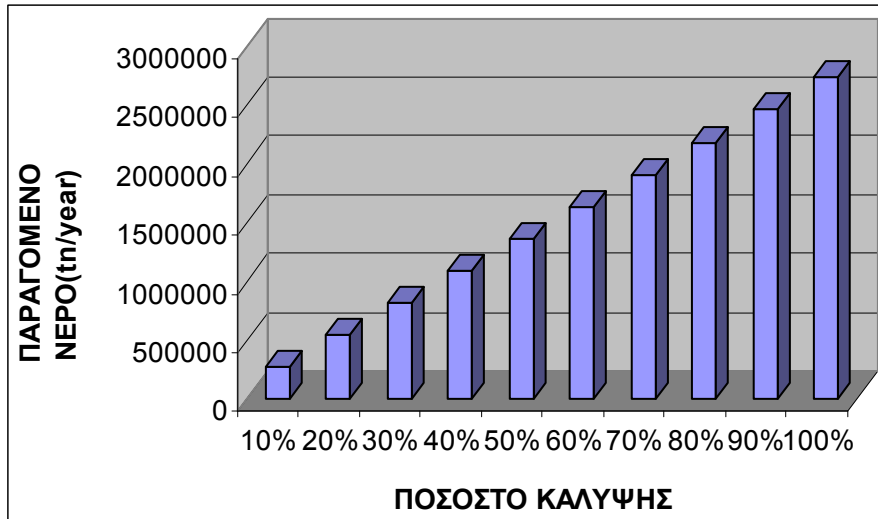
4) Το παραγόμενο νερό σε μια κυψέλη καυσίμου δίνεται από τη σχέση:

$$\text{Νερό} = 9,34 * 10^{-8} * P/V$$

Όπου το Νερό σε kg/sec

Πίνακας 9 : Πίνακας του παραγόμενου νερού στη διάρκεια του έτους συναρτήσει του ποσοστού κάλυψης των ενεργειακών αναγκών της Κρήτης

ΠΟΣΟΣΤΟ ΚΑΛΥΨΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ	ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΟ ΝΕΡΟ(tn/year)
10%	273108.6417
20%	546217.2832
30%	819325.9251
40%	1092434.566
50%	1365543.208
60%	1638651.85
70%	1911760.491
80%	2184869.133
90%	2457977.775
100%	2731086.417



Διάγραμμα 8 : γραφική απεικόνιση του παραγόμενου νερού στη διάρκεια του έτους συναρτήσει του ποσοστού κάλυψης των ενεργειακών αναγκών της Κρήτης

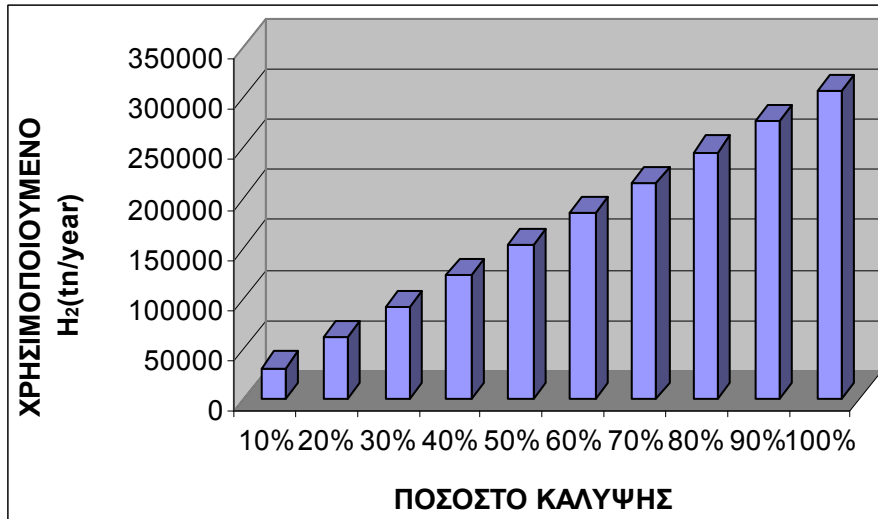
5) Το χρησιμοποιούμενο υδρογόνο σε μια κυψέλη καυσίμου δίνεται από την σχέση:

$$H_2 = 1,05 * 10^{-8} * P/V$$

Όπου το H_2 σε kg/sec

Πίνακας 10 : Πίνακας του χρησιμοποιούμενου υδρογόνου στη διάρκεια του έτους συναρτήσει του ποσοστού κάλυψης των ενεργειακών αναγκών της Κρήτης

ΠΟΣΟΣΤΟ ΚΑΛΥΨΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ	ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΟΥΜΕΝΟ ΥΔΡΟΓΟΝΟ (tn/year)
10%	30702.79162
20%	61405.58323
30%	92108.37487
40%	122811.1665
50%	153513.9581
60%	184216.7497
70%	214919.5413
80%	245622.333
90%	276325.1246
100%	307027.9162



Διάγραμμα 9 : γραφική απεικόνιση του χρησιμοποιούμενου υδρογόνου στη διάρκεια του έτους συναρτήσει του ποσοστού κάλυψης των ενεργειακών αναγκών της Κρήτης

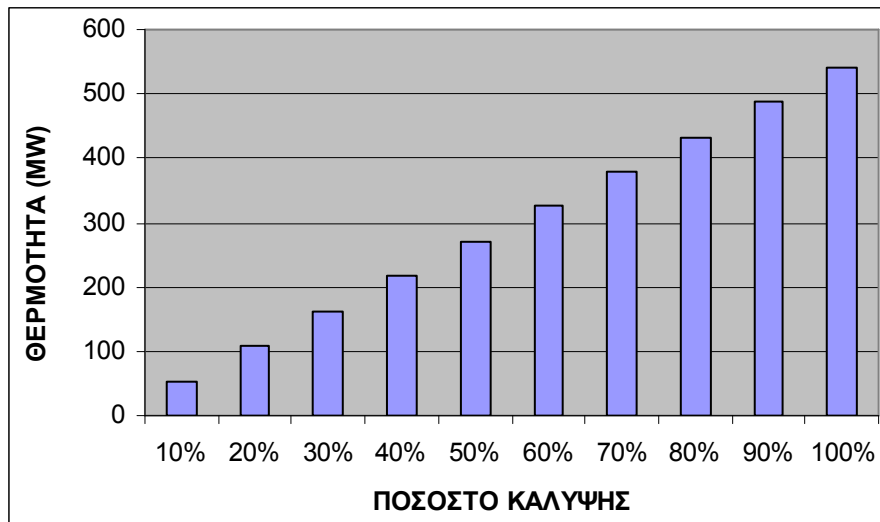
6) Η θερμότητα η οποία παράγεται από μια κυψέλη καυσίμου δίνεται από την σχέση:

$$\text{Θερμότητα} = P \cdot (1,25/V - 1)$$

Όπου Θερμότητα σε watts

Πίνακας 11 : Πίνακας του ποσού της θερμότητας που παράγεται από μια κυψέλη καυσίμου στη διάρκεια του έτους συναρτήσει του ποσοστού κάλυψης των ενεργειακών αναγκών της Κρήτης

ΠΟΣΟΣΤΟ ΚΑΛΥΨΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ	ΘΕΡΜΟΤΗΤΑ (MW)
10%	54.1495443
20%	108.2990886
30%	162.4486329
40%	216.5981772
50%	270.7477215
60%	324.8972659
70%	379.0468101
80%	433.1963545
90%	487.3458987
100%	541.495443



Διάγραμμα 10 : γραφική απεικόνιση της θερμότητας που παράγεται στη διάρκεια του έτους συναρτήσει του ποσοστού κάλυψης των ενεργειακών αναγκών της Κρήτης

Υπολογισμός Αιολικών, Ηλιακών Συστημάτων

Η αρχική ενέργεια δηλαδή η ενέργεια που τροφοδοτούμε τις μονάδες ηλεκτρόλυσης προέρχεται από τα αιολικά, ηλιακά συστήματα. Αρχικά θα υπολογίσουμε την ονομαστική ισχύ των αιολικών συστημάτων.

Όπως υπολογίστηκε η αρχική ενέργεια δηλαδή η ενέργεια που τροφοδοτούμε τις μονάδες ηλεκτρόλυσης για να καλύψουμε το 10% της ενέργειας που παράγεται από συμβατικά καύσιμα θα πρέπει να είναι ίση με **1352384,869 MWh**.

Την ονομαστική ισχύ των αιολικών συστημάτων μπορούμε να την υπολογίσουμε από το Capacity Factor ή Συντελεστή Φορτίου που ορίζεται ως ο λόγος της πραγματικά παραγόμενης ενέργειας για κάποιο διάστημα προς την ενέργεια που θα παραγόταν αν η ανεμογεννήτρια λειτουργούσε στην ονομαστική ισχύ της :

$$C.F. = \frac{X(MWh/year)}{Y_{ONOM.ISXYS} * 8760h}$$

όπου C.F : Capacity Factor

X : ενέργεια που παίρνουμε από αιολικές μηχανές στη διάρκεια ενός έτους

Y : η ονομαστική ισχύς των αιολικών συστημάτων

8760 : οι ώρες του έτους

άρα η ονομαστική ισχύς των αιολικών συστημάτων θα δίνεται από τον τύπο :

$$Y_{ONOM.ISXYS} = \frac{X(MWh/year)}{C.F. * 8760h}$$

και αν διαλέξουμε μια τιμή της τάξεως του 0,3 για το

C.F και αντικαταστήσουμε όπου X την ενέργεια που προέρχεται από τα αιολικά συστήματα τότε η ονομαστική ισχύς των αιολικών συστημάτων που θα χρειαζόμαστε για να αντικαταστήσουμε το 10% της ενέργειας που θα παράγεται το 2015 από συμβατικά καύσιμα θα είναι :

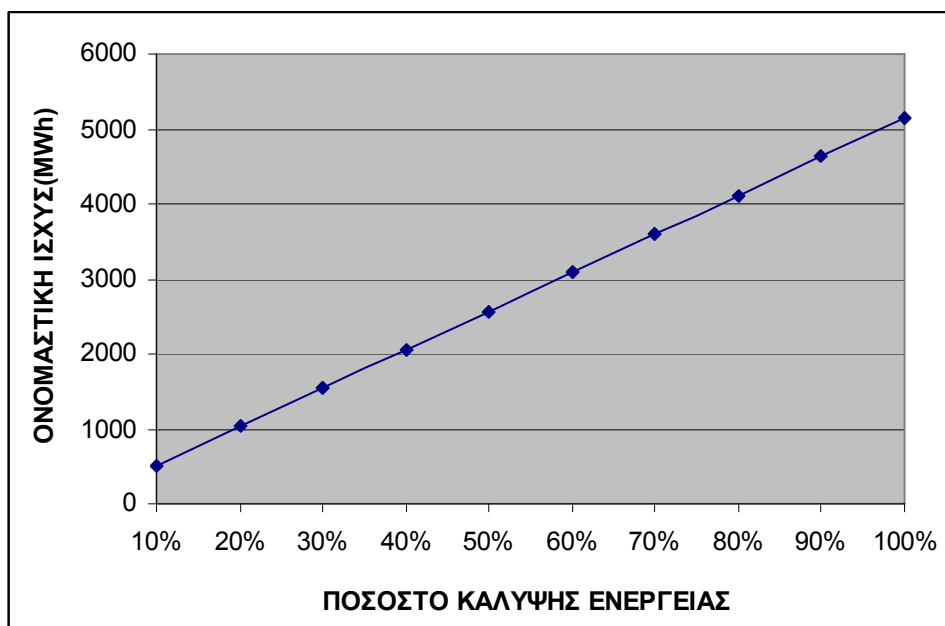
$$Y_{\text{ONOM. ISXYS}} = \frac{1352384,869}{0,3 * 8760} = 514,6061145 \text{ MW}$$

Ομοίως θα εργασθούμε και για το 20%, 30%, 40% κ.ο.κ. της ενέργειας που παράγουν τα αιολικά συστήματα και θα προκύψει ο παρακάτω πίνακας :

Πίνακας 12 :Ονομαστική ισχύς αιολικών συστημάτων για την παραγωγή της απαραίτητης ηλεκτρικής ενέργειας για την ηλεκτρόλυση του νερού

ΠΟΣΟΣΤΟ ΚΑΛΥΨΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΠΡΙΝ ΤΗΝ ΗΛΕΚΤΡΟΛΥΣΗ ΠΡΟΕΡΧΟΜΕΝΗ ΑΠΟ ΗΛΙΑΚΑ, ΑΙΟΛΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ	ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΠΡΙΝ ΤΗΝ ΗΛΕΚΤΡΟΛΥΣΗ ΠΡΟΕΡΧΟΜΕΝΗ ΑΠΟ ΗΛΙΑΚΑ, ΑΙΟΛΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ (MWh)	ΟΝΟΜΑΣΤΙΚΗ ΙΣΧΥΣ ΑΙΟΛΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ (MW)
10%	1352384,869	514,6061145
20%	2704769,738	1029,212229
30%	4057154,607	1543,818344
40%	5409539,476	2058,424458
50%	6761924,345	2573,030573
60%	8114309,214	3087,636687
70%	9466694,083	3602,242802
80%	10819078,95	4116,848916
90%	12171463,82	4631,455031
100%	13523848,69	5146,061145

Από τα δεδομένα του πίνακα 6 προκύπτει το παρακάτω διάγραμμα που παριστάνει την ονομαστική ισχύ και πως αυτή αυξάνει καθώς αυξάνει η ενέργεια που παράγουν τα αιολικά συστήματα



Διάγραμμα 11 : το διάγραμμα μας παρουσιάζει την ονομαστική ισχύ των αιολικών συστημάτων

Αφού υπολογίσαμε την ονομαστική ισχύ των αιολικών συστημάτων που θα χρειαζόμαστε τώρα θα υπολογίσουμε την συνολική επιφάνεια των φωτοβολταϊκών που θα χρησιμοποιήσουμε για να καλύψουμε τις ενεργειακές ανάγκες της Κρήτης το 2015 αντικαθιστώντας έτσι τα συμβατικά καύσιμα.

Επειδή το νησί της Κρήτης βρίσκεται κάτω από τον 36^ο παράλληλο το σύνολο των φωτοβολταϊκών θα τοποθετηθούν με κλίση 30 μοιρών για να έχουμε καλύτερη απόδοση. Από πίνακες έχουμε βρει τη συνολική ενέργεια της ηλιακής ακτινοβολίας για τη διάρκεια ενός έτους, για τις 30 μοίρες, που πέφτει ανά μονάδα επιφάνειας για διάφορες περιοχές της Κρήτης

Πίνακας 13 : προσπίπτουσα ενέργεια ηλιακής ακτινοβολίας ανά μονάδα επιφάνειας σε διάφορες περιοχές της Κρήτης κατά τη διάρκεια ενός έτους

	(KWh/m ²)
Ηράκλειο	1744
Ιεράπετρα	1882
Ρέθυμνο	1691
Σητεία	1743
Σούδα	1731
Χανιά	1738

Από τον πίνακα 7 θα διαλέξουμε την περιοχή η οποία δέχεται το μικρότερο ποσό ενέργειας από τον ήλιο έτσι ώστε να διαστασιολογήσουμε τα φωτοβολταϊκά συστήματα με την επιλογή της δυσμενέστερης λύσης. Η περιοχή που δέχεται το μικρότερο ποσό ενέργειας από τον ήλιο είναι το Ρέθυμνο με 1691 (KWh/m²) ή **1,691 (MWh/m²)**

Την επιφάνεια των φωτοβολταϊκών στοιχείων που χρειαζόμαστε για να καλύψουμε την ενέργεια που παράγεται από συμβατικά καύσιμα μπορούμε να την υπολογίσουμε από τον τύπο του βαθμού απόδοσης ενός φωτοβολταϊκού στοιχείου.

Όπως υπολογίστηκε η αρχική ενέργεια δηλαδή η ενέργεια που προέρχεται από φωτοβολταϊκά και τροφοδοτούμε τις μονάδες ηλεκτρόλυσης για να την αποθηκεύσουμε υπό τη μορφή υδρογόνου έτσι ώστε να καλύψουμε το 10% της ενέργειας που παράγεται από συμβατικά καύσιμα θα πρέπει να είναι ίση με **1352384,869 MWh**

Ο συντελεστής ή βαθμός απόδοσης ενός φωτοβολταϊκού στοιχείου ορίζεται ως ο λόγος της ηλεκτρικής ισχύος που παράγει το φωτοβολταϊκό πλαίσιο προς την ισχύ της ηλιακής ακτινοβολίας που δέχεται στην επιφάνεια του και δίνεται από τον τύπο:

$$\eta = \frac{P(W)}{H(W/M^2) \times S(M^2)} = \frac{E(KWh)}{\Pi(KWh/M^2) \times S(M^2)}$$

όπου $P(W)$ = ισχύς φωτοβολταϊκού πλαισίου

$H(W/M^2)$ = ισχύς ηλιακής ενέργειας

Αν λύσουμε τον παραπάνω τύπο ως προς την επιφάνεια S θα έχουμε:

$$S = \frac{E(KWh)}{\Pi(KWh/M^2) \times \eta} \quad \text{και αν διαλέξουμε μια τιμή της τάξεως του 12% για το}$$

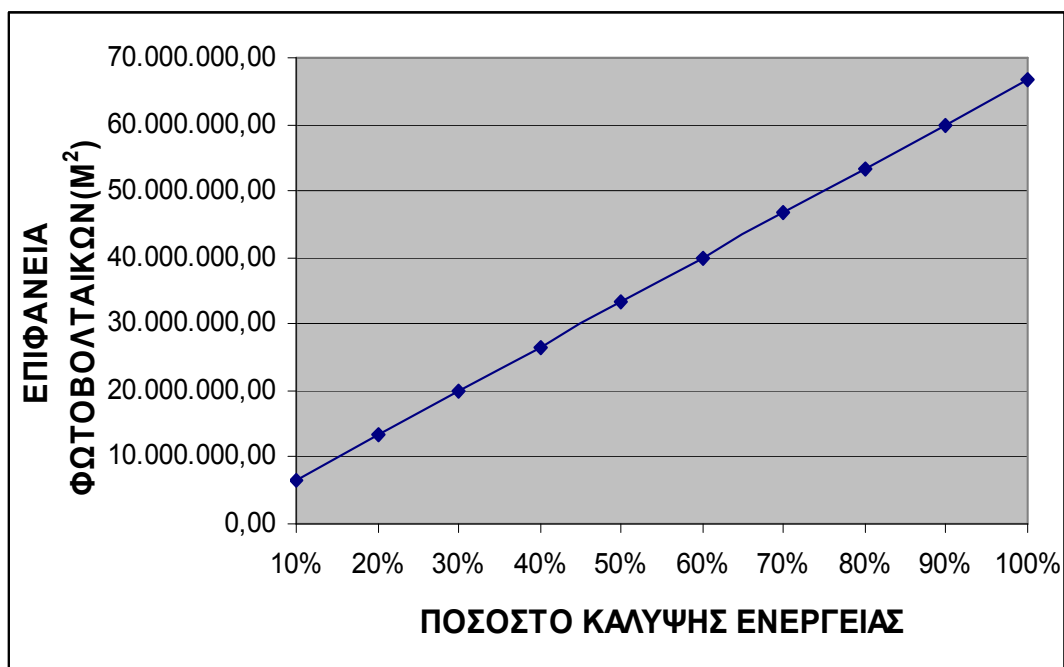
βαθμό απόδοσης του φωτοβολταϊκού στοιχείου και αντικαταστήσουμε όπου E την ενέργεια που προέρχεται από τα ηλιακά συστήματα τότε έχουμε υπολογίσει την επιφάνεια των φωτοβολταϊκών στοιχείων που θα χρειαζόμαστε για να αντικαταστήσουμε το 10% της ενέργειας που θα παράγεται το 2015 από συμβατικά καύσιμα:

$$S = \frac{1352384,869(MWh)}{1,691(MWh/M^2) \times 0,12} = \mathbf{6.664.620,88 M^2}$$

Ομοίως θα εργασθούμε και για το 20%, 30%, 40% κ.ο.κ. της ενέργειας που παράγουν τα αιολικά συστήματα και θα προκύψει ο παρακάτω πίνακας :

Πίνακας 14 : επιφάνεια φωτοβολταϊκών συστημάτων για την παραγωγή της απαραίτητης ηλεκτρικής ενέργειας για την ηλεκτρόλυση του νερού

ΠΟΣΟΣΤΟ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΠΡΙΝ ΤΗΝ ΗΛΕΚΤΡΟΛΥΣΗ ΠΡΟΕΡΧΟΜΕΝΗ ΑΠΟ ΗΛΙΑΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ	ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΠΡΙΝ ΤΗΝ ΗΛΕΚΤΡΟΛΥΣΗ ΠΡΟΕΡΧΟΜΕΝΗ ΑΠΟ ΗΛΙΑΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ (MWh)	ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΩΝ (M ²)
10%	1352384,869	6.664.620,88
20%	2704769,738	13.329.241,76
30%	4057154,607	19.993.862,64
40%	5409539,476	26.658.483,52
50%	6761924,345	33.323.104,40
60%	8114309,214	39.987.725,28
70%	9466694,083	46.652.346,16
80%	10819078,95	53.316.967,04
90%	12171463,82	59.981.587,92
100%	13523848,69	66.646.208,80



Διάγραμμα 12 : διάγραμμα της επιφάνειας των φωτοβολταϊκών πλαισίων που είναι αναγκαία για να καλύψουμε το 10%, 20% κ.ο.κ της ενεργειακής κατανάλωσης της Κρήτης για το έτος του 2015

Β)Αποθήκευση Ενέργειας Με Τη Βοήθεια Αντλιοσταμειυτήρων

Η επιλογή του εξοπλισμού σε αυτή τη μέθοδο αποθήκευσης της ενέργειας έγκειται στη σημασία της σωστής επιλογής του στροβίλου ο οποίος θα μετατρέπει την κινητική ενέργεια του νερού σε μηχανική και στη συνέχεια σε ηλεκτρική.

Η επιλογή του στροβίλου εξαρτάται κυρίως από το ύψος από το οποίο θα πέφτει το νερό. Οι αντλιοσταμειυτήρες που αποθηκεύουν νερό σε μεγάλο ύψος έχουν το πλεονέκτημα να μην χρειάζονται μεγάλες δεξαμενές σε αντίθεση με τους αντλιοσταμειυτήρες που αποθηκεύουν νερό σε χαμηλότερο ύψος.

Στη πρώτη περίπτωση οι στροβίλοι Pelton και Turgo είναι οι πιο κατάλληλοι για εγκατάσταση όμως δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως αντλίες. Αυτό σημαίνει ότι πρέπει να δαπανηθούν επιπλέον χρηματικά ποσά για την αγορά και τοποθέτηση αντλίας καθώς και για καινούργιες κατασκευαστικές μελέτες οι οποίες θα λαμβάνουν υπόψιν την τοποθέτηση μίας ή περισσότερων αντλιών.

Στη δεύτερη περίπτωση δηλαδή για αντλιοσταμειυτήρες που αποθηκεύουν νερό σε μικρό ύψος η επιλογή θα ήταν ένας στροβίλος τύπου προπέλας ο οποίος έχει το πλεονέκτημα να αλλάζει από αντλία σε παραγωγό ηλεκτρικής ενέργειας μόνο αντιστρέφοντας τις λεπίδες αντί για αντιστροφή της φοράς ολόκληρης τη προπέλας

Υπολογισμοί

έχουμε λοιπόν τα εξής δεδομένα :

Από το μέρος « Μονάδες Αποθήκευσης Ενέργειας Υπό Τη Μορφή Υδρογόνου » έχουμε υπολογίσει την συνολική κατανάλωση για το έτος 2015 με το 15% της συνολικής κατανάλωσης να καλύπτεται από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας

Πίνακας 15 : Πρόβλεψη Παραγωγής Ηλεκτρικής Ενέργειας στη Κρήτη από διάφορες πηγές για το έτος 2015

	2015	
	MWh	%
ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΑΠΟ ΣΥΜΒΑΤΙΚΑ ΚΑΥΣΙΜΑ	5409539,476	85
ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΑΠΟ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ	954624,6134	15
ΣΥΝΟΛΟ	6364164,089	100

Πειραματικά έχει αποδειχθεί ότι :

ΑΠΟΔΟΣΗ ΑΝΤΛΗΣΗΣ : 85-95%

ΑΠΟΔΟΣΗ ΥΔΑΤΟΠΤΩΣΗΣ : 85-95%

Για άλλη μια φορά οι υπολογισμοί αφορούν την κάλυψη της ενέργειας που προέρχεται μόνο από συμβατικά καύσιμα με ηλιακά, αιολικά συστήματα, με

αποθήκευση της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας υπό τη μορφή δυναμικής ενέργειας σε αντλιοσταμειυτήρες και χρήση της αργότερα για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Δηλαδή θα κάνουμε τους υπολογισμούς για το 10% του 85% της συνολικής κατανάλωσης της Κρήτης ή πιο απλά το 10% της ενέργειας που προέρχεται μόνο από συμβατικά καύσιμα, το 20% της ενέργειας που προέρχεται μόνο από συμβατικά καύσιμα, το 30% της ενέργειας που προέρχεται μόνο από συμβατικά καύσιμα κ.ο.κ.

ΠΟΣΟΣΤΟ ΚΑΛΥΨΗΣ 10% ΤΗΣ ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΗΣ ΗΛ. ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Για να υπολογίσουμε τα ηλιακά, αιολικά συστήματα που χρειάζονται για να καλύψουμε το 10% της ενέργειας που προέρχεται μόνο από συμβατικά καύσιμα θα κινηθούμε με τον εξής τρόπο :

Έχουμε ως δεδομένο την τελική παραγωγή δηλαδή την ενέργεια που είναι αναγκαία για να καλύψουμε τις ενεργειακές ανάγκες του νησιού. Στη συνέχεια θα κινηθούμε προς τα πίσω και θα υπολογίσουμε το ποσό της ενέργειας που υπήρχε υπό τη μορφή δυναμικής ενέργειας στο νερό στους αντλιοσταμειυτήρες. Μετά θα υπολογίσουμε την ενέργεια που ξοδέψαμε για να αντλήσουμε αυτό το νερό σε συγκεκριμένο ύψος στους αντλιοσταμειυτήρες. Αυτή είναι και η ζητούμενη ενέργεια η οποία θα προέρχεται από τα ηλιακά, αιολικά συστήματα

Η ενέργεια από καύση συμβατικών καυσίμων είναι 5409539,476 MWh. Το 10% αυτής της ενέργειας θα είναι :

	MWh
ΕΝΕΡΓΕΙΑ 10%	540953,9476

Επειδή οι υδατοπτώσεις έχουν απόδοση 85% τα 5409539,476 MWh αντιστοιχούν στο 85% της ενέργειας που εκμεταλλευτήκαμε με τις υδατοπτώσεις ενώ η ενέργεια που υπήρχε υπό τη μορφή δυναμικής ενέργειας στο νερό στους αντλιοσταμειυτήρες αντιστοιχεί στο 100% δηλαδή :

Τα 5409539,476 MWh αντιστοιχούν στο 85% της ενέργειας

$$x \qquad \qquad \qquad 100\%$$

$$x = 636416,4089 \text{ MWh}$$

Τα 636416,4089 MWh αντιστοιχούν στο 85% της ενέργειας που χρειάστηκε να δαπανήσουμε για να αντλήσουμε αυτό το νερό σε συγκεκριμένο ύψος στους αντλιοσταμειυτήρες ενώ η ενέργεια που ζητάμε να υπολογίσουμε αντιστοιχεί στο 100% δηλαδή :

Τα 636416,4089 MWh αντιστοιχούν στο 85% της ενέργειας

$$x \qquad \qquad \qquad 100\%$$

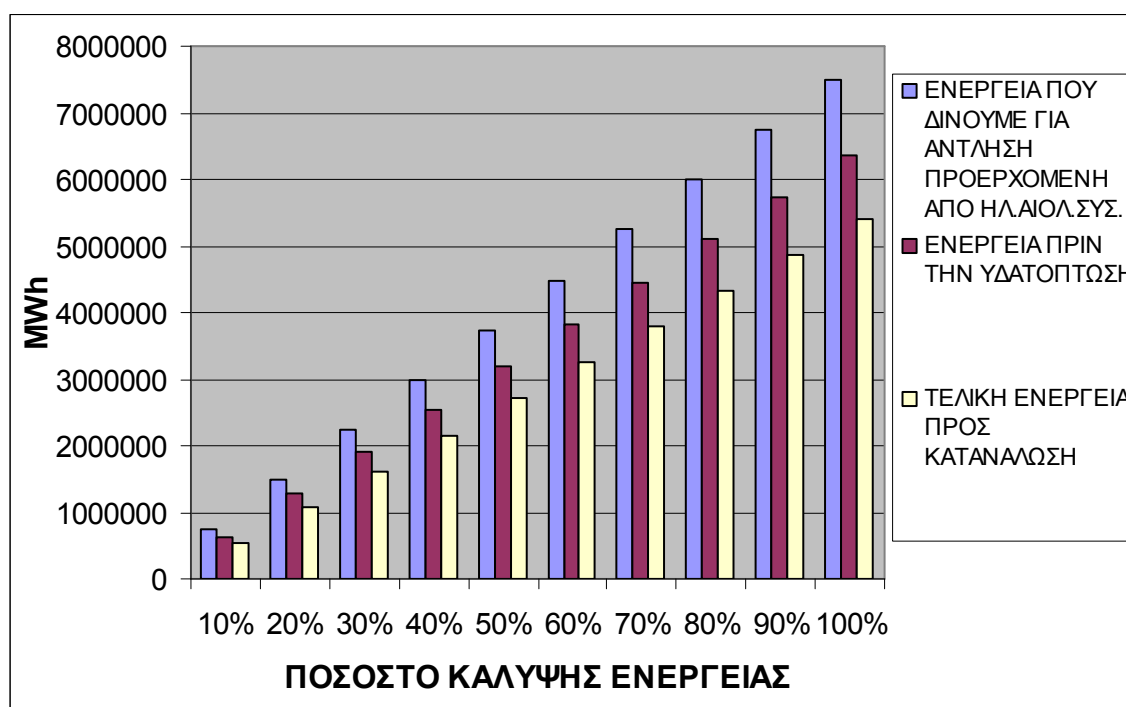
$$x = 748725.187 \text{ MWh}$$

Τα 748725.187MWh αντιστοιχούν στη ζητούμενη ενέργεια η οποία θα προέρχεται από τα ηλιακά, αιολικά συστήματα

Ομοίως θα κινηθούμε και για το 20%, 30% κ.ο.κ. της ενέργειας που προέρχεται από συμβατικά καύσιμα κ.ο.κ. Αφού κάνουμε όλους τους υπολογισμούς θα καταλήξουμε στα εξής δεδομένα τα οποία είναι συγκεντρωμένα στον παρακάτω πίνακα :

Πίνακας 16 : Πίνακας των ενεργειών που διαχειριζόμαστε κατά τη διάρκεια της διαδικασίας αποθήκευσης και επαναχρησιμοποίησης της ενέργειας συναρτήσει του ποσοστού κάλυψης των ενεργειακών αναγκών της Κρήτης

ΠΟΣΟΣΤΟ ΚΑΛΥΨΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ	ΤΕΛΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΠΡΟΣ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ	ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΠΡΙΝ ΤΗΝ ΥΔΑΤΟΠΤΩΣΗ	ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΠΟΥ ΔΙΝΟΥΜΕ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΝΤΛΗΣΗ ΝΕΡΟΥ ΠΡΟΕΡΧΟΜΕΝΗ ΑΠΟ ΗΛΙΑΚΑ, ΑΙΟΛΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ
10%	540953.9476	636416.4089	748725.187
20%	1081907.895	1272832.818	1497450.374
30%	1622861.843	1909249.227	2246175.561
40%	2163815.79	2545665.636	2994900.748
50%	2704769.738	3182082.045	3743625.935
60%	3245723.686	3818498.454	4492351.122
70%	3786677.633	4454914.863	5241076.309
80%	4327631.581	5091331.272	5989801.496
90%	4868585.528	5727747.68	6738526.683
100%	5409539.476	6364164.089	7487251.87



Διάγραμμα 13 : Γραφική απόδοση των ενεργειών που διαχειριζόμαστε κατά τη διάρκεια της διαδικασίας αποθήκευσης και επαναχρησιμοποίησης της ενέργειας συναρτήσει του ποσοστού κάλυψης

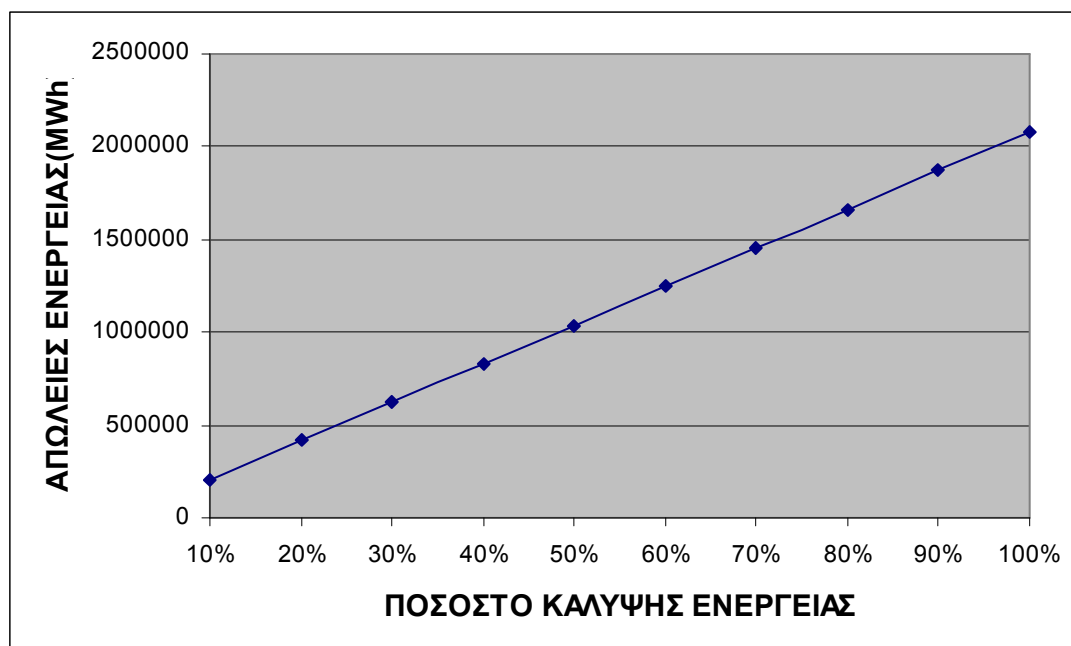
Αν από την ενέργεια που προέρχεται από τα ηλιακά, αιολικά συστήματα αφαιρέσουμε την τελική ενέργεια που έχουμε για κατανάλωση θα προκύψει η ενέργεια η οποία χάθηκε κατά τη διάρκεια της διαδικασίας αποθήκευσης της. Για το 10% έχουμε :

$$\text{Απώλεια Ενέργειας} = 748725,187 - 540953,9476 = \mathbf{207771,2394MWh}$$

Το ίδιο θα κάνουμε για το 20%, 30% κ.ο.κ. και έτσι προκύπτει ο παρακάτω πίνακας

Πίνακας 17 : Απώλειες ενέργειας κατά τη διάρκεια διαδικασίας αποθήκευσης και επαναχρησιμοποίησης της ενέργειας

ΠΟΣΟΣΤΟ ΚΑΛΥΨΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ	ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ (MWh)
10%	207771.239
20%	415542.479
30%	623313.718
40%	831084.958
50%	1038856.2
60%	1246627.44
70%	1454398.68
80%	1662169.92
90%	1869941.15
100%	2077712.39



Διάγραμμα 14 : διάγραμμα των απωλειών ενέργειας που έχουμε κατά τη διάρκεια της διαδικασίας αποθήκευσης και επαναχρησιμοποίησης της ενέργειας καθώς αυξάνει το ποσοστό κάλυψης των ενεργειακών αναγκών της Κρήτης από αιολικά, ηλιακά συστήματα

Ένα μέτρο για το πόσο γρήγορα μεταβάλλεται η απώλεια ενέργειας μπορεί να μας δώσει ο ρυθμός μεταβολής της :

$$\text{ρυθμός μεταβολής απώλειας ενέργειας : } \frac{dA}{dx} = \frac{dA_2 - dA_1}{dx} = 0.384083$$

Το αποτέλεσμα είναι καθαρός αριθμός γιατί στον αριθμητή έχουμε ως μονάδα MWh και στον παρονομαστή το ποσοστό κάλυψης της ενέργειας έχει ως μονάδα MWh

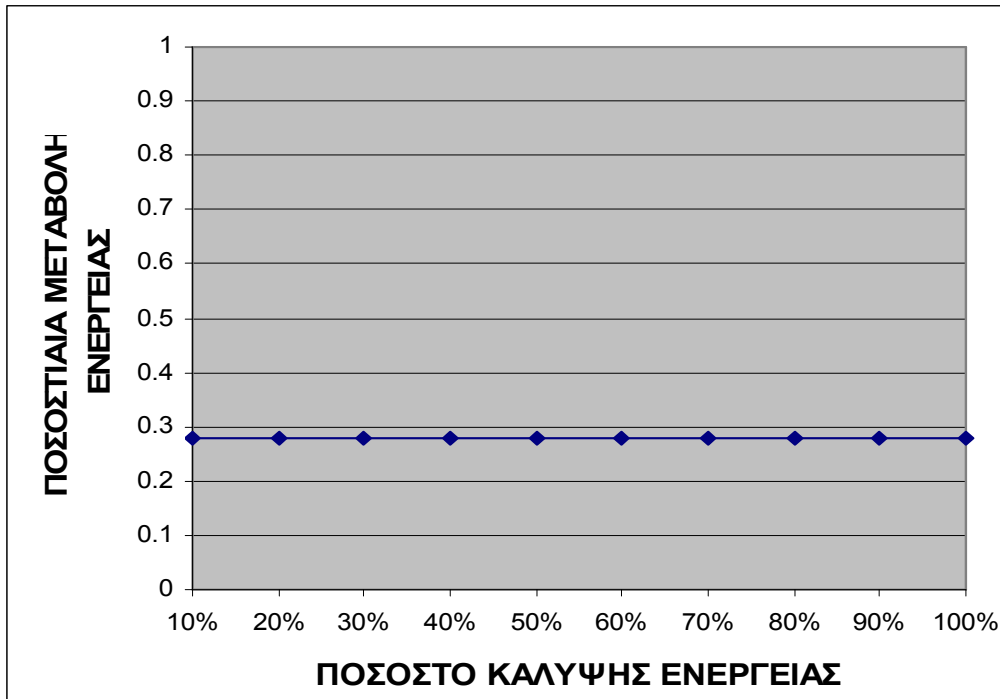
Τώρα θα υπολογίσουμε την ποσοστιαία μεταβολή της ενέργειας που χάθηκε κατά τη διάρκεια της διαδικασίας αποθήκευσης της. Βρίσκεται από το λόγο της αρχικής ενέργειας που προέρχεται από τα ηλιακά, αιολικά συστήματα μείον την τελική ενέργεια που έχουμε για κατανάλωση προς την αρχική ενέργεια και όλο πολλαπλασιασμένο με το 100% :

$$\text{Ποσοστιαία Απώλεια Ενέργειας} = \left(\frac{748725,187 - 540958,9476}{748725,187} \right) * 100\% = 0.2775$$

Ο υπολογισμός που έγινε ήταν για το 10% της ενέργειας που προέρχεται από συμβατικά καύσιμα. Αν κάνουμε τους ίδιους υπολογισμούς και για το 20%, 30% κ.ο.κ. θα διαπιστώσουμε ότι η επί της εκατό απώλεια ενέργειας παραμένει σταθερή

Πίνακας 18 : Ποσοστιαίες απώλειες ενέργειας κατά τη διάρκεια της διαδικασίας αποθήκευσης και επαναχρησιμοποίησης της ενέργειας

ΠΟΣΟΣΤΟ ΚΑΛΥΨΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ	ΠΟΣΟΣΤΙΑΙΑ ΑΠΩΛΕΙΑ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ
10%	0.2775
20%	0.2775
30%	0.2775
40%	0.2775
50%	0.2775
60%	0.2775
70%	0.2775
80%	0.2775
90%	0.2775
100%	0.2775



Διάγραμμα 15 : διάγραμμα της ποσοστιαίας απώλειας της ενέργειας καθώς αυξάνει το ποσοστό κάλυψης των ενεργειακών αναγκών της Κρήτης από αιολικά, ηλιακά συστήματα

Υπολογισμός Αιολικών, Ηλιακών Συστημάτων

Η αρχική ενέργεια δηλαδή η ενέργεια που τροφοδοτούμε τις μονάδες ηλεκτρόλυσης προέρχεται από τα αιολικά, ηλιακά συστήματα. Αρχικά θα υπολογίσουμε την ονομαστική ισχύ των αιολικών συστημάτων.

Όπως υπολογίστηκε η αρχική ενέργεια δηλαδή η ενέργεια που ξοδέψαμε για να αντλήσουμε αυτό το νερό σε συγκεκριμένο ύψος στους αντλιοσταμειυτήρες για να καλύψουμε το 10% της ενέργειας που παράγεται από συμβατικά καύσιμα είναι ίση με **748725,187 MWh**.

Την ονομαστική ισχύ των αιολικών συστημάτων μπορούμε να την υπολογίσουμε από το Capacity Factor ή Συντελεστή Φορτίου που ορίζεται ως ο λόγος της πραγματικά παραγόμενης ενέργειας για κάποιο διάστημα προς την ενέργεια που θα παραγόταν αν η ανεμογεννήτρια λειτουργούσε στην ονομαστική ισχύ της :

$$C.F. = \frac{X(MWh/year)}{Y_{ONOM.ISXYS} * 8760h}$$

όπου C.F : Capacity Factor

X : ενέργεια που παίρνουμε από αιολικές μηχανές στη διάρκεια ενός έτους

Y : η ονομαστική ισχύς των αιολικών συστημάτων

8760 : οι ώρες του έτους

άρα η ονομαστική ισχύς των αιολικών συστημάτων θα δίνεται από τον τύπο :

$$Y_{\text{ONOM.ISXYS}} = \frac{X(\text{MWh}/\text{year})}{C.F. * 8760h} \text{ και αν διαλέξουμε μια τιμή της τάξεως του } 0,3 \text{ για το } C.F$$

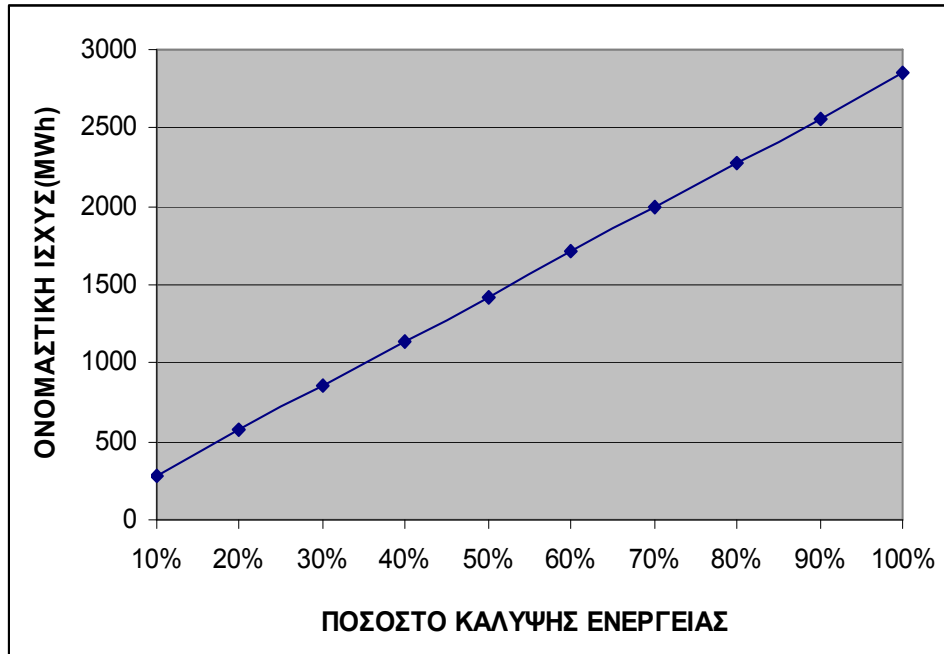
και αντικαταστήσουμε όπου X την ενέργεια που προέρχεται από τα αιολικά συστήματα τότε η ονομαστική ισχύς των αιολικών συστημάτων που θα χρειαζόμαστε για να αντικαταστήσουμε το 10% της ενέργειας που θα παράγεται το 2015 από συμβατικά καύσιμα θα είναι :

$$Y_{\text{ONOM.ISXYS}} = \frac{748725,187}{0,3 * 8760} = 284.9030392 \text{ MW}$$

Ομοίως θα εργασθούμε και για το 20%, 30%, 40% κ.ο.κ. της ενέργειας που παράγουν τα αιολικά συστήματα και θα προκύψει ο παρακάτω πίνακας :

Πίνακας 19 : Ονομαστική ισχύς αιολικών συστημάτων που είναι αναγκαία για να αντλήσουμε τόση ποσότητα νερού όση χρειάζεται για να καλύψουμε τις ανάγκες της Κρήτης σε ηλεκτρική ενέργεια το έτος 2015

ΠΟΣΟΣΤΟ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΠΟΥ ΔΙΝΟΥΜΕ ΓΙΑ ΑΝΤΛΗΣΗ ΠΡΟΕΡΧΟΜΕΝΗ ΑΠΟ ΗΛΙΑΚΑ, ΑΙΟΛΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ	ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΠΟΥ ΔΙΝΟΥΜΕ ΓΙΑ ΑΝΤΛΗΣΗ ΠΡΟΕΡΧΟΜΕΝΗ ΑΠΟ ΗΛΙΑΚΑ, ΑΙΟΛΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ (MWh)	ΟΝΟΜΑΣΤΙΚΗ ΙΣΧΥΣ ΑΙΟΛΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ (MW)
10%	748725.187	284.9030392
20%	1497450.374	569.8060784
30%	2246175.561	854.7091176
40%	2994900.748	1139.612157
50%	3743625.935	1424.515196
60%	4492351.122	1709.418235
70%	5241076.309	1994.321274
80%	5989801.496	2279.224314
90%	6738526.683	2564.127353
100%	7487251.87	2849.030392



Διάγραμμα 16 : το διάγραμμα μας παρουσιάζει την ονομαστική ισχύ των αιολικών συστημάτων

Την επιφάνεια των φωτοβολταϊκών στοιχείων που χρειαζόμαστε για να καλύψουμε την ενέργεια που παράγεται από συμβατικά καύσιμα μπορούμε να την υπολογίσουμε από τον τύπο του βαθμού απόδοσης ενός φωτοβολταϊκού στοιχείου.

Όπως υπολογίστηκε η αρχική ενέργεια δηλαδή η ενέργεια που ξοδέψαμε για να αντλήσουμε αυτό το νερό σε συγκεκριμένο ύψος στους αντλιοσταμειυτήρες έτσι ώστε να καλύψουμε το 10% της ενέργειας που παράγεται από συμβατικά καύσιμα θα πρέπει να είναι ίση με **748725,187MWh**

Ο συντελεστής ή βαθμός απόδοσης ενός φωτοβολταϊκού στοιχείου ορίζεται ως ο λόγος της ηλεκτρικής ισχύος που παράγει το φωτοβολταϊκό πλαίσιο προς την ισχύ της ηλιακής ακτινοβολίας που δέχεται στην επιφάνεια του και δίνεται από τον τύπο:

$$\eta = \frac{P(W)}{H(W/M^2) \times S(M^2)} = \frac{E(KWh)}{\Pi(KWh/M^2) \times S(M^2)}$$

όπου $P(W)$ = ισχύς φωτοβολταϊκού πλαισίου

$H(W/M^2)$ = ισχύς ηλιακής ενέργειας

Αν λύσουμε τον παραπάνω τύπο ως προς την επιφάνεια S θα έχουμε:

$$S = \frac{E(KWh)}{\Pi(KWh/M^2) \times \eta} \text{ και αν διαλέξουμε μια τιμή της τάξεως του 12% για το}$$

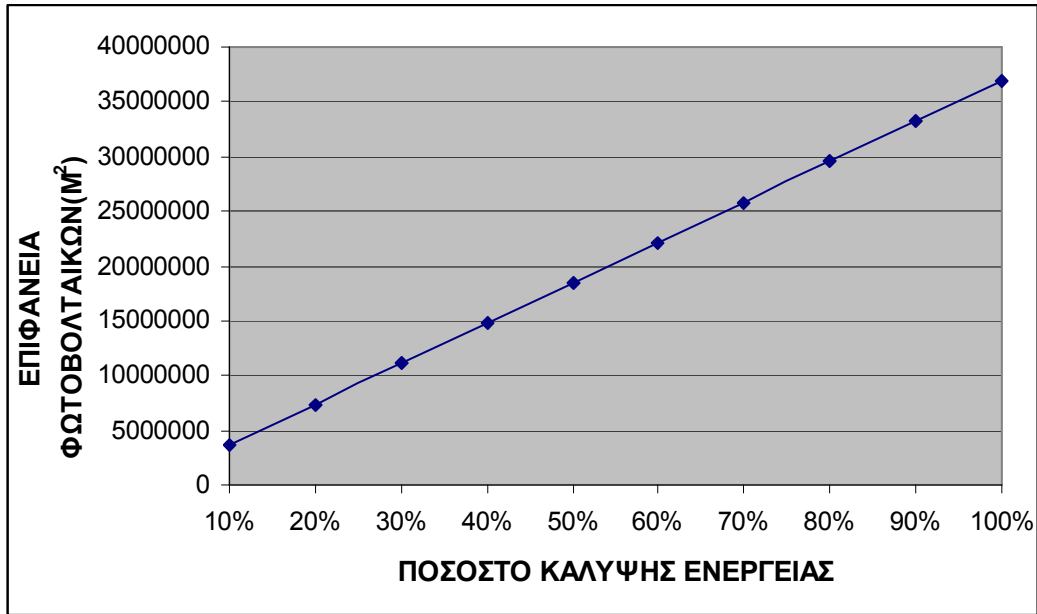
βαθμό απόδοσης του φωτοβολταϊκού στοιχείου και αντικαταστήσουμε όπου Ε την ενέργεια που προέρχεται από τα ηλιακά συστήματα τότε έχουμε υπολογίσει την επιφάνεια των φωτοβολταϊκών στοιχείων που θα χρειαζόμαστε για να αντικαταστήσουμε το 10% της ενέργειας που θα παράγεται το 2015 από συμβατικά καύσιμα:

$$S = \frac{748725,187(MWh)}{1,691(MWh/M^2) \times 0,12} = 6.664.620,88 M^2$$

Ομοίως θα εργασθούμε και για το 20%, 30%, 40% κ.ο.κ. της ενέργειας που παράγουν τα αιολικά συστήματα και θα προκύψει ο παρακάτω πίνακας :

Πίνακας 20 : επιφάνεια φωτοβολταϊκών συστημάτων που είναι αναγκαία για να αντλήσουμε τόση ποσότητα νερού όση χρειάζεται για να καλύψουμε τις ανάγκες της Κρήτης σε ηλεκτρική ενέργεια το έτος 2015

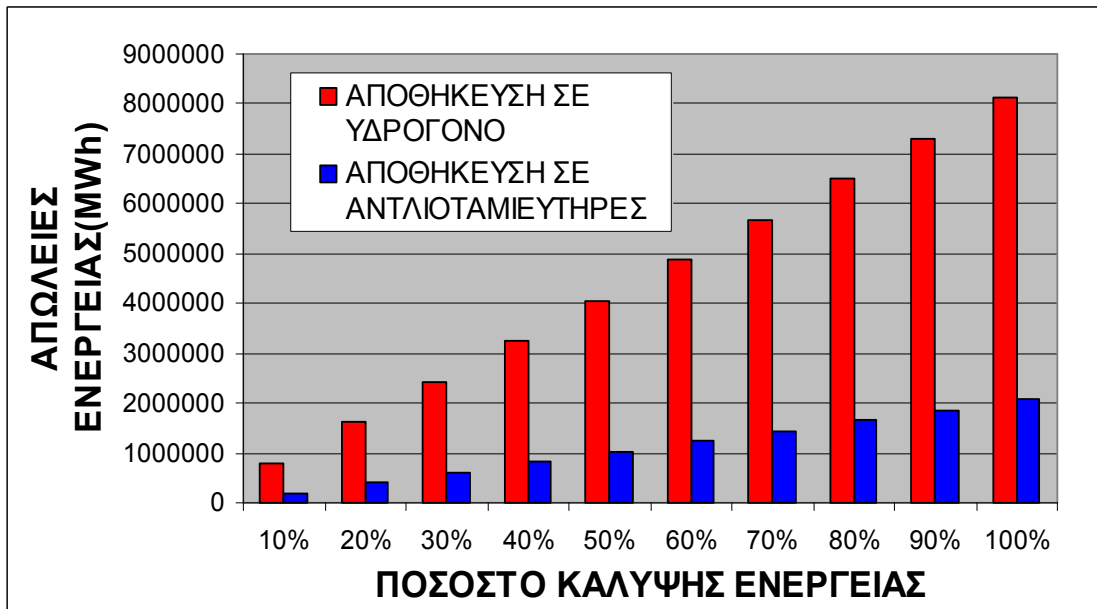
ΠΟΣΟΣΤΟ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΠΟΥ ΔΙΝΟΥΜΕ ΓΙΑ ΑΝΤΛΗΣΗ ΠΡΟΕΡΧΟΜΕΝΗ ΑΠΟ ΗΛΙΑΚΑ, ΑΙΟΛΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ	ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΠΟΥ ΔΙΝΟΥΜΕ ΓΙΑ ΑΝΤΛΗΣΗ ΠΡΟΕΡΧΟΜΕΝΗ ΑΠΟ ΗΛΙΑΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ (MWh)	ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΩΝ (M ²)
10%	748725,187	3689755,505
20%	1497450,374	7379511,009
30%	2246175,561	11069266,51
40%	2994900,748	14759022,02
50%	3743625,935	18448777,52
60%	4492351,122	22138533,03
70%	5241076,309	25828288,53
80%	5989801,496	29518044,04
90%	6738526,683	33207799,54
100%	7487251,87	36897555,05



Διάγραμμα 10 : διάγραμμα της επιφάνειας των φωτοβολταϊκών πλαισίων που είναι αναγκαία για να καλύψουμε το 10%, 20% κ.ο.κ. της ενεργειακής κατανάλωσης της Κρήτης για το έτος του 2015

Σύγκριση των Δύο Μεθόδων Αποθήκευσης Ενέργειας

Αρχικά θα συγκρίνουμε τις απώλειες ενέργειας που έχουμε στην αποθήκευση ενέργειας με υδρογόνο και την αποθήκευση ενέργειας σε αντλιοσταμειυτήρες. Πιο κάτω αποδίδονται γραφικά οι απώλειες ενέργειας έτσι ώστε να είναι πιο εύκολη η σύγκριση



Διάγραμμα 17 : συγκριτικό διάγραμμα των απωλειών ενέργειας

Με μια και μόνο ματιά μπορούμε να διαπιστώσουμε ότι όσο αυξάνει το ποσοστό κάλυψης της ενέργειας τόσο μεγαλύτερες είναι οι απώλειες σε μεγαλύτερες

και για τις δυο μεθόδους. Όμως η αποθήκευση σε υδρογόνο έχει πολύ μεγαλύτερες απώλειες και μπορούν να φτάσουν ακόμα και λίγο πιο πάνω από 8000000 MWh

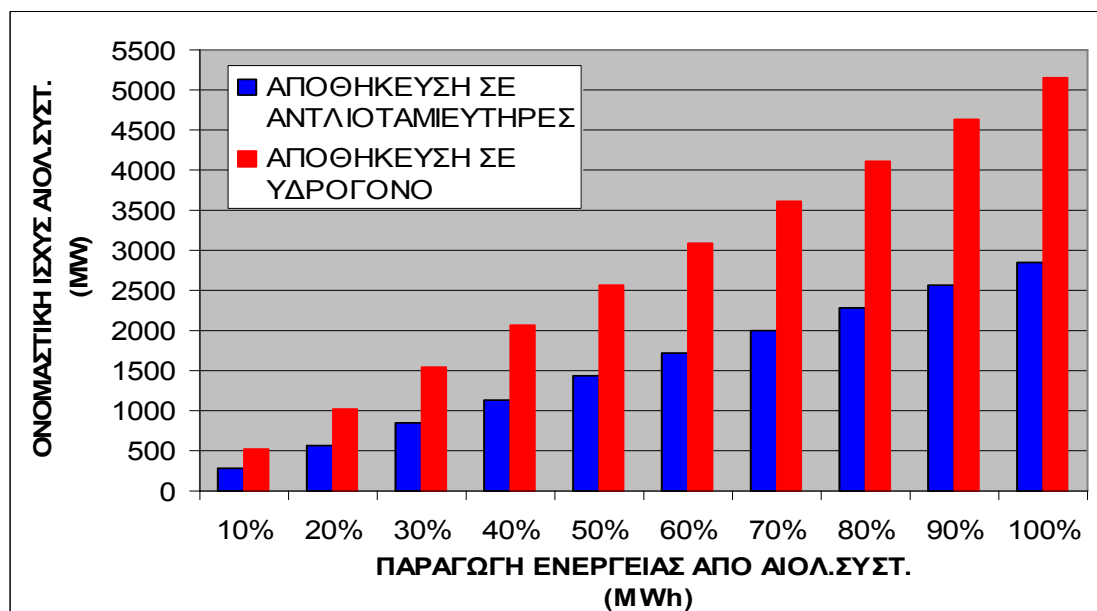
Ένα μέτρο σύγκρισης μπορεί να είναι και οι ρυθμοί μεταβολής των απωλειών τους οποίους τους έχουμε υπολογίσει :

$$\text{ρυθμός μεταβολής απώλειας ενέργειας(υδρογόνο)} : \frac{dA}{dx} = \frac{dA_2 - dA_1}{dx} = 1,5$$

$$\text{ρυθμός μεταβολής απώλειας ενέργειας(αντλιοταμιευτήρες)} : \frac{dA}{dx} = \frac{dA_2 - dA_1}{dx} =$$

0.384

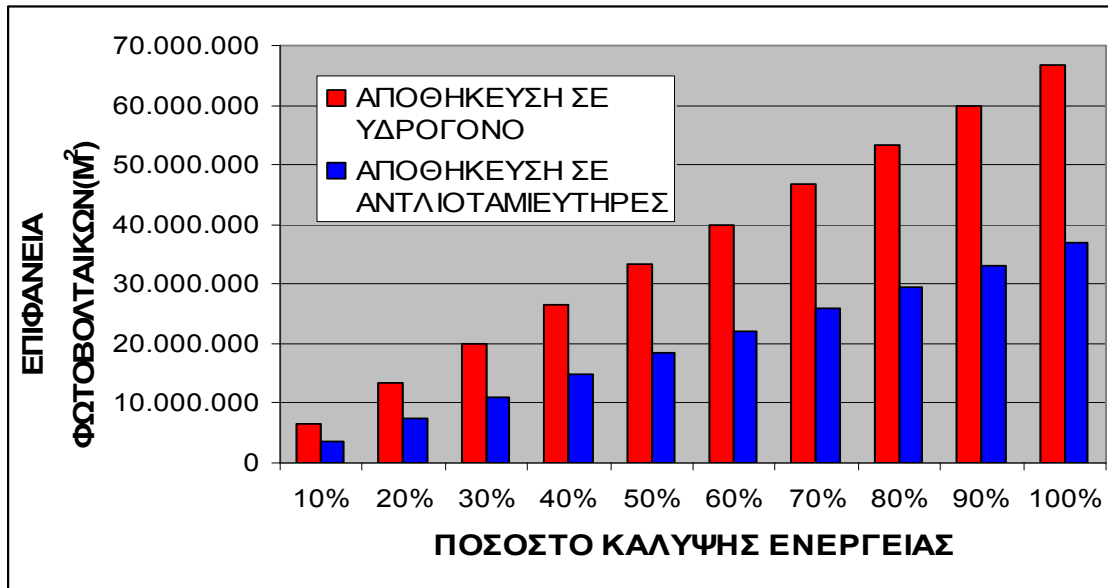
Για να αντικαταστήσουμε το 10%, 20%, 30% κ.ο.κ. της ενέργειας που παράγεται από συμβατικά καύσιμα το έτος 2015 έχουμε υπολογίσει την ονομαστική ισχύ των αιολικών συστημάτων που χρειάζεται να εγκαταστήσουμε και για τις δυο μεθόδους αποθήκευσης της ενέργειας και προκύπτει το εξής συγκριτικό διάγραμμα :



Διάγραμμα 18 : συγκριτικό διάγραμμα της ονομαστικής ισχύος των αιολικών μηχανών

Από το παραπάνω διάγραμμα βλέπουμε ότι η αποθήκευση της ενέργειας στους αντλιοταμιευτήρες είναι πολύ πιο συμφέρουσα επιλογή καθώς χρειάζονται αιολικά συστήματα μικρότερης ονομαστικής ισχύος.

Στη συνέχεια παρατίθεται το συγκριτικό διάγραμμα της επιφάνειας των φωτοβολταϊκών πλαισίων



Διάγραμμα 19 : συγκριτικό διάγραμμα της επιφάνειας των φωτοβολταϊκών πλαισίων που είναι αναγκαία για να καλύψουμε το 10%, 20% κ.ο.κ. της ενεργειακής κατανάλωσης της Κρήτης για το έτος του 2015

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

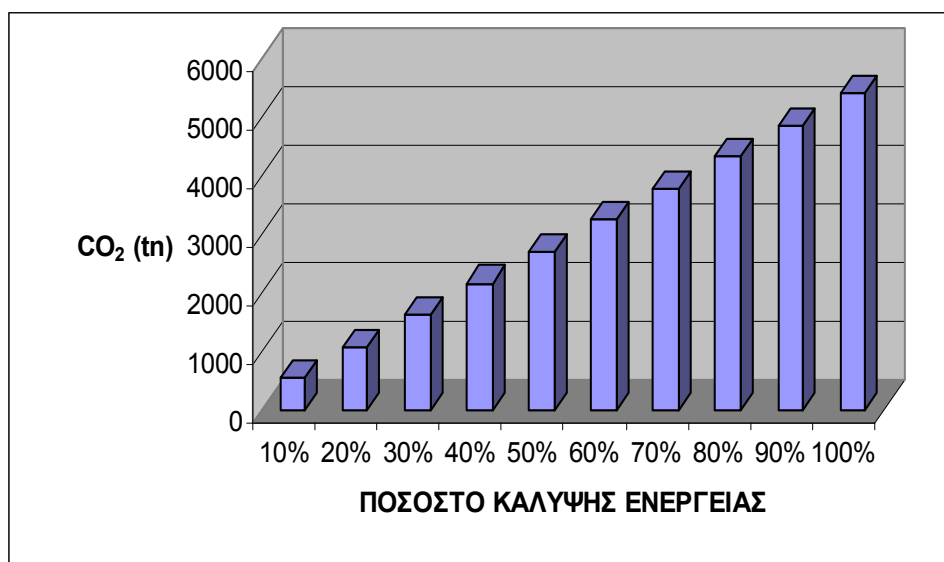
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΩΦΕΛΕΙΕΣ



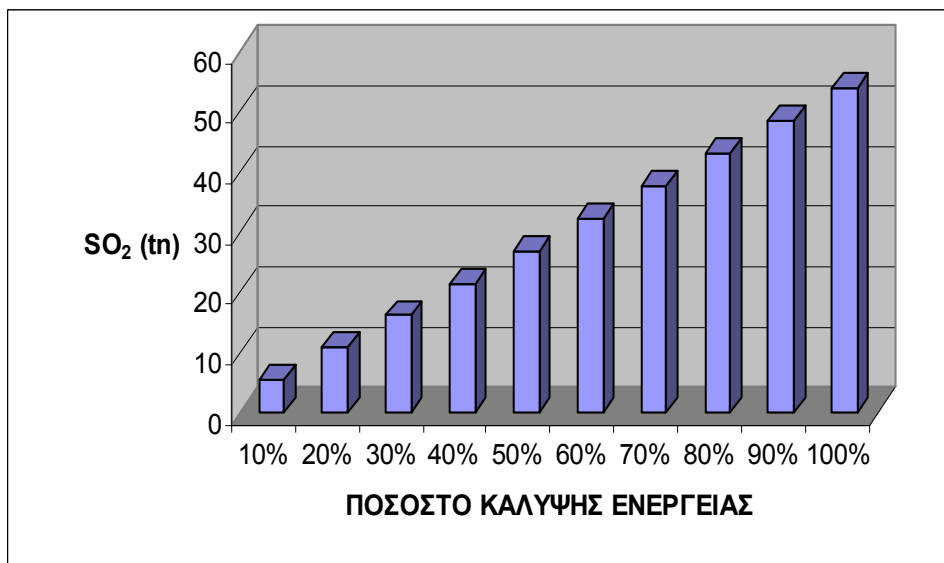
Περιβαλλοντικές Ωφέλειες

Εάν τελικά επιλέξουμε να στραφούμε σε ανανεώσιμες ενεργειακές πηγές είναι σίγουρο ότι θα έχουμε κάποιες περιβαλλοντικές ωφέλειες που δεν είναι άλλες από την μείωση των ρύπων ή ακόμα και την εξάλειψη τους σε περίπτωση που αντικαταστήσουμε πλήρως τα συμβατικά καύσιμα.

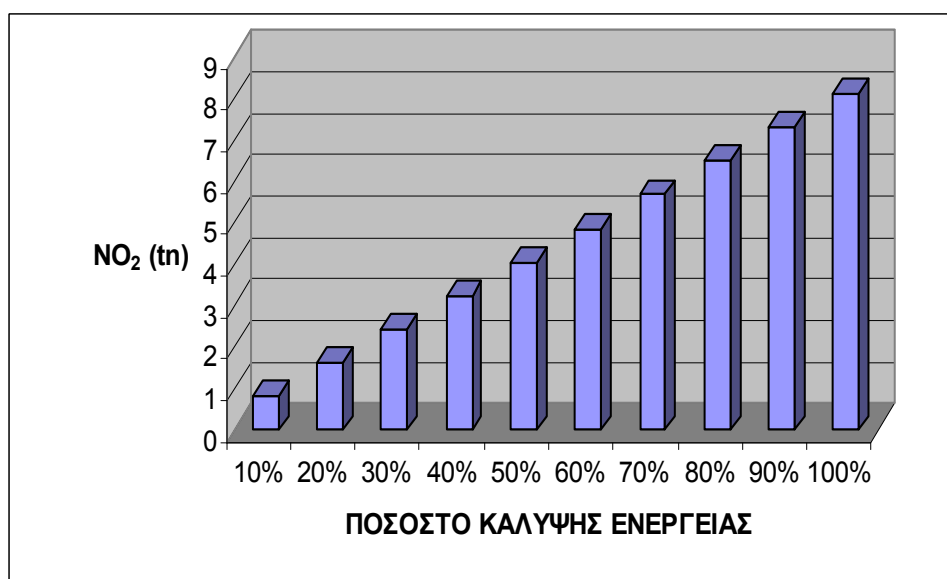
Έχει αποδειχθεί ότι κατά την παραγωγή ενέργειας 1 MWh από τη καύση συμβατικών καυσίμων παράγονται 1 kgf CO₂, 10 με 20 gr SO₂, 1,5 με 15 gr NO₂ και 1,5 gr μικροσωματιδίων. Στη συνέχεια δίνονται σε διάγραμμα οι ποσότητες των ρύπων που τελικά δεν καταλήγουν στο περιβάλλον σε σχέση με το ποσοστό κάλυψης των ενεργειακών απαιτήσεων της Κρήτης από αιολικά και ηλιακά συστήματα.



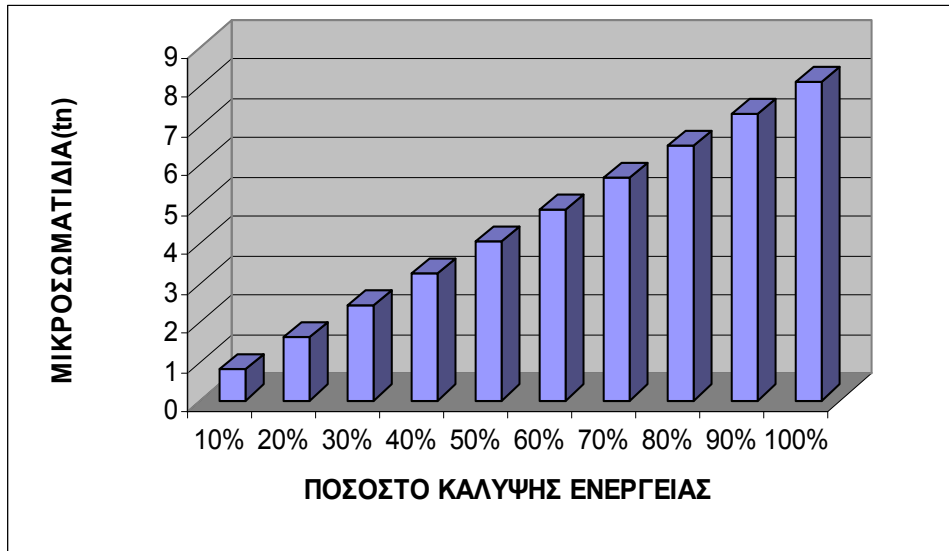
Διάγραμμα 20 : γραφική απεικόνιση της ποσότητας CO₂ εκφρασμένη σε τόνους που τελικά δεν καταλήγει στο περιβάλλον σε σχέση με το ποσοστό κάλυψης των ενεργειακών απαιτήσεων της Κρήτης από αιολικά και ηλιακά συστήματα



Διάγραμμα 21 : γραφική απεικόνιση της ποσότητας SO₂ εκφρασμένη σε τόνους που τελικά δεν καταλήγει στο περιβάλλον σε σχέση με το ποσοστό κάλυψης των ενεργειακών απαιτήσεων της Κρήτης από αιολικά και ηλιακά συστήματα



Διάγραμμα 22 : γραφική απεικόνιση της ποσότητας NO₂ εκφρασμένη σε τόνους που τελικά δεν καταλήγει στο περιβάλλον σε σχέση με το ποσοστό κάλυψης των ενεργειακών απαιτήσεων της Κρήτης από αιολικά και ηλιακά συστήματα



Διάγραμμα 23 : γραφική απεικόνιση της ποσότητας των μικροσωματιδίων εκφρασμένη σε τόνους που τελικά δεν καταλήγει στο περιβάλλον σε σχέση με το ποσοστό κάλυψης των ενεργειακών απαιτήσεων της Κρήτης από αιολικά και ηλιακά συστήματα

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Το Ενεργειακό Πρόβλημα Της Κρήτης Και Οι Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (Γιάννης Βουρδουμπάς, Μεσογειακό Αγρονομικό Ινστιτούτο Χανίων, Χανιά, 1998)
- Σημειώσεις Εργαστηρίου Ήπιων Μορφών Ενέργειας (ΤΕΙ Ηρακλείου – Παράρτημα Χανίων)
- Renewable Energy – Power For Sustainable Future (Godfrey Boyle, BPC Wheatons Ltd, UK, 1996)
- Encyclopedia of Chemical Technology – Third Edition (Kirk - Othmer, J. Wiley & Sons, N. York – USA, 1978)
- Encyclopedia of Chemical Technology – Fourth Edition (Ullman, VCH VERLAGSGESSEUSCHAFT, Weinhei, 1985)
- Tomorrow's Energy (Peter Hoffman, The MIT Press, USA, 2000)
- Introduction to Hydrogen Energy (Nejat Veziroglou, International Association of Hydrogen Energy, Miami – USA, 1975)
- Fuel Cell Systems Explained (J. Larminie – A. Dicks, WILEY, UK, 1996)

