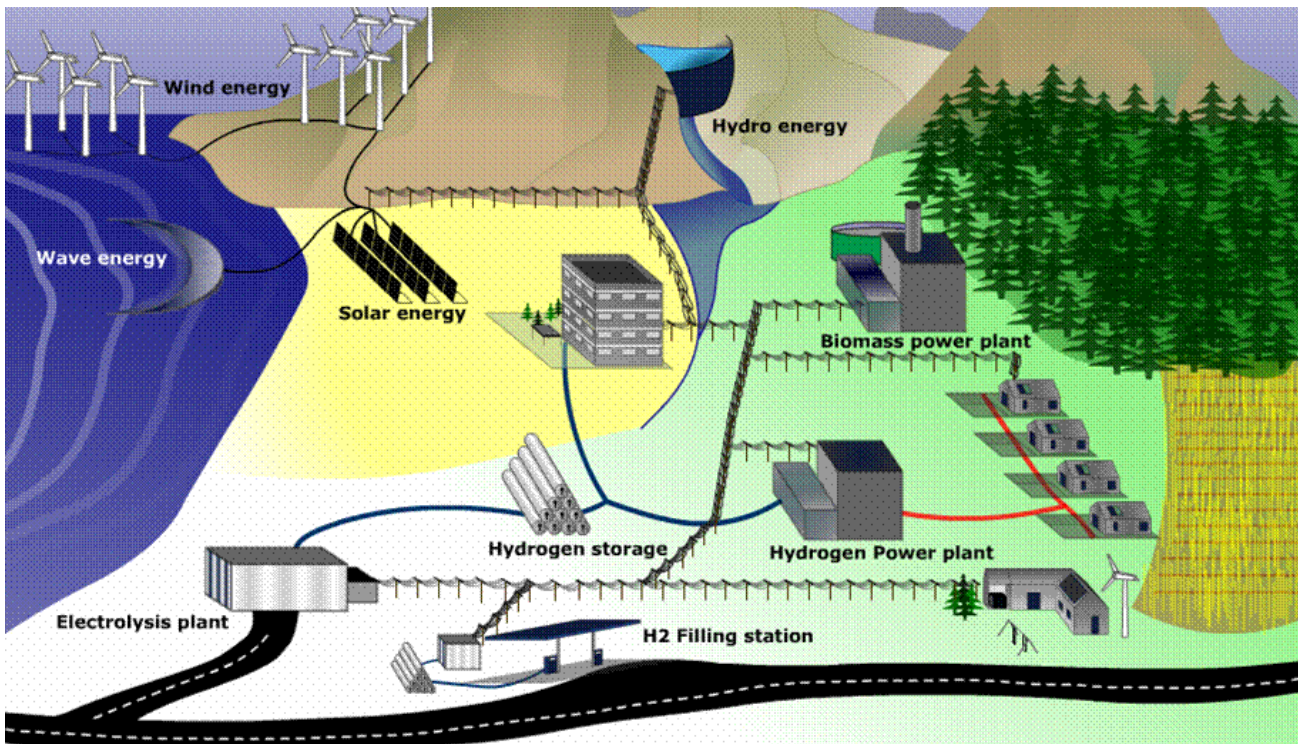


ΑΤΕΙ ΗΡΑΚΛΕΙΟΥ ΣΤΕΦ ΕΝ.ΠΕ.Τ. ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΤΙΤΛΟΣ

*Τεχνολογία Υδρογόνου και Εφαρμογή σε Υβριδικά
Ενεργειακά Συστήματα*



ΣΠΟΥΔΑΣΤΗΣ: ΜΑΤΘΑΙΟΣ ΜΑΚΡΑΚΗΣ
ΕΙΣΗΓΗΤΗΣ: ΑΝΔΡΕΑΣ ΒΛΗΣΙΔΗΣ

ΕΥΧΑΡΙΣΤΗΡΙΑ

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τους γονείς μου για την υπομονή που επέδειξαν και την στήριξη, ηθική και οικονομική, που μου προσέφεραν καθ' όλη τη διάρκεια των σπουδών μου. Επίσης ευχαριστώ θερμά το Τ.Ε.Ι. Ηρακλείου και τους καθηγητές του για τις γνώσεις που αποκόμισα κατά τη φοίτηση μου στο Τμήμα ΕΝ.ΠΕ.Τ. της Σ.ΤΕ.Φ, και ιδιαίτερα τον εισηγητή της Πτυχιακής μου εργασίας κ. Ανδρέα Βλησίδη, για την πολύτιμη βοήθεια και καθοδήγηση του, στην αποπεράτωση της εργασίας.

| | Σελίδα |
|--|-----------|
| ΕΙΣΑΓΩΓΗ | 1 |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 | 2 |
| Γενικά για το υδρογόνο | 2 |
| 1.2 Εισαγωγή στην Οικονομία υδρογόνου | 3 |
| 1.3 Φυσικές ιδιότητες υδρογόνου | 4 |
| 1.4 Χημικές ιδιότητες υδρογόνου | 6 |
| 1.5 Παρασκευή και χρήσεις υδρογόνου | 6 |
| 1.6 Το υδρογόνο ως φορέας ενέργειας | 7 |
| 1.7 Πλεονεκτήματα έναντι συμβατικών πηγών ενέργειας | 8 |
| 1.8 Μειονεκτήματα έναντι συμβατικών πηγών ενέργειας | 8 |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 | 9 |
| Εισαγωγή στην παραγωγή και αποθήκευση υδρογόνου | 9 |
| 2.1 Μέθοδοι παραγωγής υδρογόνου | 9 |
| 2.1.1 Ηλεκτρόλυση νερού | 9 |
| 2.2 Μέθοδοι αποθήκευσης υδρογόνου | 12 |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 | 13 |
| Κυψέλες καυσίμων | 13 |
| Εισαγωγή στις κυψέλες καυσίμου | 13 |
| 3.1 Αρχή λειτουργίας κυψέλης καυσίμου | 13 |
| 3.2 Κυψέλη καυσίμου φωσφορικού οξέος (PAFC) | 15 |
| 3.3 Κυψέλη καυσίμου πολυμερισμένης μεμβράνης (PEM) | 15 |
| 3.4 Κυψέλη καυσίμου τηγμένου άνθρακα (MCFC) | 16 |
| 3.5 Κυψέλη καυσίμου στερεού οξειδίου (SOFC) | 17 |
| 3.6 Κυψέλη καυσίμου μεθανόλης (DMFC) | 18 |
| 3.7 Θεωρητική προσέγγιση | 18 |
| 3.8 Πρακτική προσέγγιση | 19 |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 | 20 |
| Αναλυτική περιγραφή κυψέλης PEM | 20 |
| 4.1 Μεμβράνη κυψέλης | 20 |
| 4.2 Ηλεκτρόδια κυψέλης | 21 |
| 4.3 Καταλύτης κυψέλης | 22 |
| 4.4 Διαχείριση νερού | 24 |
| 4.5 Ροή αερίων και συλλογή ρεύματος | 24 |
| 4.6 Υπολογισμός τάσης ιδανικής κυψέλης καυσίμου | 25 |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 | 25 |
| 5.1 ΓΕΝΙΚΕΣ ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΤΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ | 25 |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 | 28 |
| ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΣΕ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΠΕ/Η ₂ /FC ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ | 28 |
| 6.1 UTSIRA ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ (ΝΟΡΒΗΓΙΑ) | 28 |
| 6.2 ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΕΠΙΔΕΙΞΗΣ. HYDROGEN U.K: ΚΑΘΑΡΟΣ - ΠΡΟΑΓΟΝΤΑΣ UNST ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ | 29 |
| 6.3 ΑΝΤΑΡΚΤΙΚΗΣ ΕΜΠΕΙΡΙΑ: ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΥΔΡΟΓΟΝΟΥ | 29 |

| | |
|---|-----------|
| ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΣΕ MAWSON | |
| 6.4 BUSES ΤΡΕΧΟΝΤΑΣ ΣΤΟ ΥΔΡΟΓΟΝΟ ΓΙΑ ΤΟ MACARONESIA (HYDROBUS) | 29 |
| 6.5 INTEGRATING ΜΟΝΟΣ ΑΝΕΦΟΔΙΑΣΜΟΣ ΣΤΗΝ ΤΕΛΙΚΗ ΧΡΗΣΗ ΓΙΑ ΒΙΩΣΙΜΟ ΤΟΥΡΙΣΜΟΣ (ΠΡΑΣΙΝΟ ΞΕΝΟΔΟΧΕΙΟ) | 30 |
| 6.6 ΥΒΡΙΔΙΚΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΥΔΡΟΓΟΝΟΥ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ (ΚΑΝΑΡΙΑ νησιά-Ισπανία) | 30 |
| 6.7 CLUSTER ΠΙΛΟΤΙΚΟ ΕΡΓΟ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΝΤΑΞΗ ΤΟΥ ΑΠΕ ΕΥΡΩΠΑΪΚΟΙ ΤΟΜΕΙΣ ΤΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΟΥΝ ΤΟ ΥΔΡΟΓΟΝΟ (ΑΠΕ2Η2) | 30 |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7 | 31 |
| ΔΙΕΙΣΔΥΣΗ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΩΝ ΠΗΓΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΑ ΕΛΛΗΝΙΚΑ ΝΗΣΙΑ | 31 |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8 | 32 |
| ΔΙΑΦΟΡΕΣ LEAD ACID ΜΠΑΤΑΡΙΑΣ – ΚΥΨΕΛΩΝ ΚΑΥΣΙΜΟΥ | 32 |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9 | 35 |
| ΣΥΓΚΕΚΡΙΜΕΝΕΣ ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΡΕΜ – ΜΠΑΤΑΡΙΑΣ | 35 |
| 9.1 Συγκρίσεις | 35 |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 10 | 37 |
| 10.1 ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΗΣ ΑΞΙΟΠΙΣΤΙΑΣ ΕΝΟΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΜΠΑΤΑΡΙΩΝ | 37 |
| 10.2 ΜΙΑ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΗΣ ΑΞΙΟΠΙΣΤΙΑΣ ΕΝΟΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΚΥΤΤΑΡΩΝ ΚΑΥΣΙΜΩΝ | 37 |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 11 | 39 |
| ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΥΒΡΙΔΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ | 39 |
| 11.1 ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΩΝ ΠΟΡΩΝ ΚΑΙ ΤΩΝ ΦΟΡΤΙΩΝ | 41 |
| 11.2 ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΙΣΧΥΟΣ | 42 |
| 11.3 ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΤΕΧΝΙΚΗΣ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ LPSP | 44 |
| 11.4 ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ FC/ΜΗΧΑΝΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΥΣΗΣ | 44 |
| 11.5 ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ ΜΠΑΤΑΡΙΩΝ | 47 |
| 11.6 ΑΝΑΛΥΟΜΕΝΟ ΚΟΣΤΟΣ | 48 |
| 11.7 ΚΟΣΤΟΣ ΤΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ | 49 |
| 11.8 ΙΣΟΡΡΟΠΗΜΕΝΟΥ ΠΡΟΫΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΑΠΟΣΤΑΣΗ ΕΠΕΚΤΑΣΗΣ ΓΡΑΜΜΩΝ (BELED) | 50 |
| 11.9 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ | 50 |
| ΕΠΙΛΟΓΟΣ | 54 |
| ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ | 55 |

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η αύξηση της ενεργειακής ζήτησης και των περιβαλλοντικών προβλημάτων σχετικά με την σημερινή ενέργεια αιτεί την χρησιμοποίηση νέων πηγών ενέργειας για την αντικατάσταση των παραδοσιακών καυσίμων.

Η ενεργειακή παραγωγή, εξαρτάται από την εισαγωγή, κυρίως του πετρελαίου και των προϊόντων του. Η συνεχής ανάπτυξη όμως των ανανεώσιμων ενεργειακών τεχνολογιών βεβαιώνει την ανάγκη για απεξάρτηση από το πετρέλαιο, ιδίως σε απομακρυσμένες περιοχές και σε νησιά. Για να υπερνικήσει τον περιορισμό των πηγών ανανεώσιμης ενέργειας, το υδρογόνο χρησιμοποιείται ως μέσο αποθήκευσης που ενσωματώνεται με αυτές. Αυτή η πτυχιακή εισάγει:

- Την τεχνολογία των υβριδικών συστημάτων
- Συγκρίσεις των μπαταριών ως μέσα αποθήκευσης και των κυττάρων καυσίμων
- Το κύτταρο καυσίμων (FC) και την υποδομή υδρογόνου στην διείσδυση συστημάτων ισχύος.

Στις περισσότερες από τις περιπτώσεις, δεν υπάρχει κανένας τρόπος να συνδεθούν, κυρίως τα νησιά με την ενέργεια στα δίκτυα παραγωγής, έτσι καθιστούν δύσκολη την εφαρμογή των λύσεων που μειώνουν περιβαλλοντικές δαπάνες, όπως τις εκπομπές της ατμοσφαιρικής ρύπανσης και του CO₂.

Η ανανεώσιμη ενεργειακή τεχνολογία είναι μια από τις λύσεις, η οποία παράγει την ενέργεια μετασχηματίζοντας τα φυσικά φαινόμενα (ή τους φυσικούς πόρους) σε μορφές χρήσιμης ενέργειας. Αμέτρητα προγράμματα πάνω στην ανανεώσιμη ενέργεια δείχνουν τη δυνατότητα πραγματοποίησης, για την αντικατάσταση των καυσίμων στο εγγύς μέλλον. Το πλεονέκτημα των ανανεώσιμων ενεργειακών τεχνολογιών είναι συγκεκριμένες χρήσεις μέσα σε μικρής κλίμακας εφαρμογές όπως η οικιακή ηλεκτρική ενέργεια, φωτισμός οδών, συστήματα άρδευσης, υδραντλίες ή παρόμοια όργανα, τεχνολογίες μικροϋπολογιστών-υδροθεραπευτηρίου, βιοαέριο, ανεμογεννήτριες και ανεμαντλίες που χρησιμοποιούνται σε διάφορες θέσεις.

Η παραγωγή του υδρογόνου μπορεί να είναι η λύση στην ενεργειακή αποθήκευση και να παρέχει ένα ενεργειακό πλεονέκτημα με μια ποικιλία χρήσεων και άριστων περιβαλλοντικών χαρακτηριστικών. Ειδικότερα, το υδρογόνο θα μπορούσε να χρησιμοποιείται στα κύτταρα καυσίμων (FCs) για την ηλεκτρική ενέργεια, με μηδαμινές εκπομπές. Το υδρογόνο και οι κυψέλες καυσίμων είναι καλά ισορροπημένα για να γίνουν προεξέχουσες ενεργειακές δυνάμεις και με μετατροπές να μπορούν να διαμορφώσουν το μελλοντικό ενεργειακό σύστημα. Έρευνα, ανάπτυξη και επίδειξη στις κρίσιμες τεχνολογίες από την παραγωγή υδρογόνου, την αποθήκευση και τον χειρισμό των FCs είναι στρατηγικής σπουδαιότητας και θα μπορούσε να έχει πολύ σημαντικό κοινωνικοοικονομικό αντίκτυπο για τη βιομηχανία και τους καταναλωτές.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

1.1 Γενικά για το υδρογόνο

| Γενικές Ιδιότητες Υδρογόνου | |
|----------------------------------|-------------------------------|
| Όνομα, Σύμβολο, Ατομικός αριθμός | Υδρογόνο, H, 1 |
| Κατάταξη | Αμέταλλα |
| Ομάδα, Περίοδος, Τομέας | 1 (IA), 1, s |
| Πυκνότητα, Σκληρότητα | 0,0899 kg/m ³ , ΔΑ |
| Χρώμα | Άχρωμο |
| Ατομικά χαρακτηριστικά | |
| Ατομικό βάρος | 1,00794 u |
| Ατομική ακτίνα (υπολ) | 25 (53) pm |
| Ομοιοπολική ακτίνα | 37 pm |
| Ακτίνα van der Waals | 120 pm |
| Ηλεκτρονιακή απεικόνιση | 1s ¹ |
| Διάφορα | |
| Ηλεκτραρνητικότητα | 2,2 (Κλίμακα Pauling) |
| Ειδική θερμοχωρητικότητα | 14304 J/(kg*K) |
| Ηλεκτρική αγωγιμότητα | __ 10 ⁶ /(m·ohm) |
| Θερμική αγωγιμότητα | 0,1815 W/(m*K) |
| Δυναμικό ιοντισμού | 1312 kJ/mol |

Πίνακας 1: Στοιχεία Υδρογόνου

Το υδρογόνο σε θερμοκρασία δωματίου, βρίσκεται σε αέρια κατάσταση. Είναι άοσμο, άχρωμο και εύφλεκτο. Όταν αέριο υδρογόνο καίγεται, σχηματίζεται νερό. Το όνομα του στοιχείου αυτού δόθηκε από το Γάλλο χημικό Antoine Lavoisier και έχει ρίζες τις λέξεις της αρχαίας ελληνικής γλώσσας "ύδωρ" και "γένομαι". Πρώτη φορά αναγνωρίστηκε ως ξεχωριστό στοιχείο από τον άγγλο χημικό Henry Cavendish το 1766.

Ένα άτομο υδρογόνου αποτελείται από ένα πρωτόνιο και ένα ηλεκτρόνιο ενώ δύο άτομα ενώνονται μεταξύ τους ώστε να δώσουν ένα μόριο υδρογόνου. Το υδρογόνο είναι το πρώτο στοιχείο στον περιοδικό πίνακα και συμβολίζεται με το σύμβολο H. Μπορεί να συνδυαστεί χημικά με σχεδόν κάθε άλλο στοιχείο και έτσι μπορεί να δώσει περισσότερες ενώσεις από ότι μπορεί οποιοδήποτε άλλο στοιχείο. Στις ενώσεις αυτές συγκαταλέγονται το νερό και διάφοροι υδρογονάνθρακες όπως το πετρέλαιο και το φυσικό αέριο.

Λόγω της ελαφρότητας του το υδρογόνο, δεν αποτελεί περισσότερο από το 1% της συνολικής μάζας της Γης. Σε καθαρή αέρια μορφή συναντάτε σπάνια παρόλο που πολλά ορυκτά και όλοι οι ζωντανοί οργανισμοί περιέχουν ενώσεις του σε πολύ μεγάλο βαθμό. Έτσι το υδρογόνο βρίσκεται στην κερατίνη, στα ένζυμα που συντελούν στη πέψη, στα μόρια του DNA ενώ βρίσκεται άφθονο στις τροφές υπό τη μορφή λιπών, πρωτεϊνών και υδρογονανθράκων.

Βαρύτερα στοιχεία προκύπτουν από τη σύντηξη του υδρογόνου, όπως το ήλιο (He). Βάσει αυτής της διαδικασίας πιστεύεται ότι σχηματίστηκε το ίδιο το σύμπαν ενώ η ίδια διαδικασία είναι επίσης υπεύθυνη για την έκλυση ενέργειας από τα άστρα όπως γίνεται στον ήλιο.

1.2 Εισαγωγή στην Οικονομία υδρογόνου

Η οικονομία υδρογόνου αποτελεί την πιο ελκυστική λύση όσων αφορά την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών στο άμεσο μέλλον. Μπορούμε να φανταστούμε την οικονομία υδρογόνου σαν ένα συνδεδεμένο δίκτυο

- από χημικές διεργασίες οι οποίες παράγουν υδρογόνο από φυσικά καύσιμα, τη βιομάζα ή την ηλεκτρόλυση του νερού
- αποθήκευσης του παραγόμενου υδρογόνου με φυσικές ή χημικές μεθόδους
- μετατροπή της ενέργειας της οποίας φέρεται από το υδρογόνο σε ηλεκτρική ενέργεια και θερμότητα στο σημείο ζήτησης

Οι ενεργειακές απαιτήσεις του επόμενου αιώνα μπορούν να καλυφθούν από αυτό ακριβώς το μοντέλο. Χρησιμοποιώντας την ηλιακή ενέργεια για την ηλεκτρόλυση του νερού και παράγοντας ενέργεια με τη χρήση του υδρογόνου που παράγεται με μόνο παραπροϊόν νερό έχουμε πετύχει έναν κύκλο παραγωγής ενέργειας μεγάλης απόδοσης και ελάχιστων ρύπων.

Παρόλο που η παραπάνω εικόνα φαίνεται ιδιαίτερη ελκυστική, προς το παρόν, αρκετά επιστημονικά και τεχνικά θέματα πρέπει να επιλυθούν πρώτα. Κάθε τομέας της οικονομίας υδρογόνου, η παραγωγή υδρογόνου δηλαδή, η αποθήκευση του και η εκμετάλλευση του έχει ιδιαίτερες απαιτήσεις. Μόνο όταν ικανοποιητικές λύσεις δοθούν, μπορεί το συνολικό κόστος να γίνει συγκρίσιμο με αυτό των σύγχρονων πηγών ενέργειας με τελικό στόχο την πλήρη αντικατάστασης της υπάρχουσας υποδομής με μία νέα, στηριζόμενη στο υδρογόνο.

Για να επιτευχθεί κάτι τέτοιο χρειάζεται κάτι περισσότερο από απλή βελτίωση των σημερινών σχετικών τεχνολογιών. Θα πρέπει αντιθέτως να γίνουν θεμελιώδους σημασίας πρόοδοι σε μία πληθώρα επιστημονικών πεδίων όπως η φυσική, η χημεία ή η επιστήμη των υλικών. Νέα υλικά χρειάζονται για τη χρήση τους όπως μεμβράνες, καταλύτες ή αποθηκευτικά μέσα. Προκειμένου όμως να γίνει εφικτό αυτό χρειάζεται μία προσέγγιση η οποία δεν περιορίζεται στη γνώση ενός μόνο γνωστικού πεδίου αλλά αντιθέτως προκύπτει ως αποτέλεσμα συνδυασμού περισσοτέρων του ενός.

Σαν μέρος της επιστήμης και της τεχνολογίας το οποίο βρίσκεται σε πρώιμα, σχετικά, στάδια ανάπτυξης, το βάρος δίνεται στην πειραματική διαδικασία. Ωστόσο εξίσου ιδιαίτερης σημασίας αποτελεί η ανάπτυξη και η εκμετάλλευση θεωρητικών μοντέλων με μεθόδους προσομοίωσης προκειμένου να βοηθηθεί το πείραμα και να ξεχωρίσουν

κάποιες κατευθύνσεις για πιο προσοδοφόρα έρευνα. Οι δραματικές πρόοδοι στην υπολογιστική ισχύ τα τελευταία χρόνια και σε συνδυασμό με τη χρήση υπολογιστικών συστημάτων παράλληλης επεξεργασίας έχουν διευκολύνει πολύ τη θεωρητική μελέτη δίνοντας μοντέλα για την κατάλυση, την αποθήκευση, τη λειτουργία των κυψελών καυσίμου κοκ.

Επίσης ένα τομέας του οποίου η εξέλιξη αποτελεί καθοριστικό παράγοντα στην εξέλιξη της οικονομίας υδρογόνου είναι η επιστήμη και η τεχνολογία στη κλίμακα του νανομέτρου. Υλικά προοριζόμενα για την αποθήκευση υδρογόνου ή για ηλεκτρόδια κυψελών καυσίμου βελτιώνουν την επίδοση τους ραγδαία όταν αυτά αποκτήσουν νανοκρυσταλλική δομή. Ο λόγος είναι ότι τα υλικά αυτά παρουσιάζουν ιδιαίτερες ιδιότητες οι οποίες οφείλονται στο μεγάλο λόγο επιφάνειας όγκου των θεμελιωδών λίθων τους.

Η κατάλυση είναι εκ φύσεως παρατηρούμενη στην κλίμακα του νανομέτρου. Κατανοώντας τις χημικές και φυσικές διεργασίες που χαρακτηρίζουν τις καταλυτικές διεργασίες, μπορούμε να αυξήσουμε την απόδοση και την κινητική αυτών. Κατασκευάζοντας βελτιωμένους καταλυτές μπορεί να δοθεί μεγάλη ώθηση σε πολλούς τομείς της οικονομίας υδρογόνου. Αυτό γίνεται εύκολα αντιληπτό κατανοώντας πως η κατάλυση παίζει κεντρικό ρόλο τόσο στην παραγωγή όσο και στην αποθήκευση του υδρογόνου όπως επίσης και στη λειτουργία των κυψελών καυσίμου.

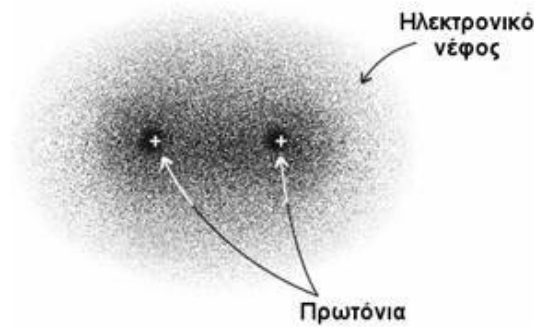
Το θέμα της οικονομίας υδρογόνου, θα πρέπει επίσης να σημειωθεί ότι δεν περιορίζεται σε γνωστικά πεδία όπως η φυσική ή χημεία και άλλες θετικές επιστήμες ή σύγχρονες τεχνολογίες. Ωστόσο, αυτή τη στιγμή, η βαρύτητα δίνεται σε αυτά τα πεδία μέχρι. Η οικονομία υδρογόνου είναι ένα ευρύ θέμα και με την εδραίωση της οι επιπτώσεις στο πολιτισμό μας θα είναι τέτοιες ώστε να αποτελέσει αντικείμενο μελέτης των οικονομικών επιστημών ή ακόμα και τις για ανθρωπιστικές επιστήμες όπως η κοινωνιολογία.

1.3 Φυσικές ιδιότητες υδρογόνου

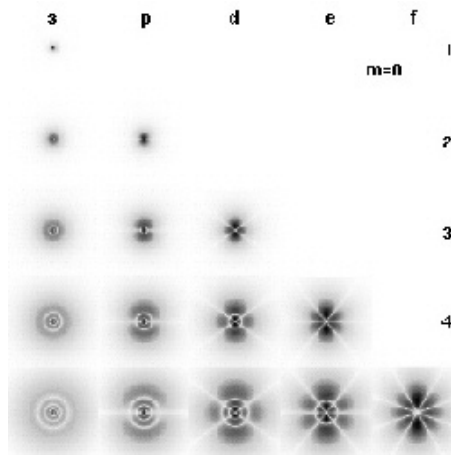
Όπως και τα περισσότερα αέρια, το μόριο του υδρογόνου είναι διατομικό. Το αέριο υδρογόνο είναι πολύ πιο ελαφρύ από τον αέρα. Συγκεκριμένα, στους 0 °C το υδρογόνο έχει πυκνότητα 0.0899 kg m⁻³ περίπου δέκα φορές μικρότερη από αυτή του αέρα και για αυτό το λόγο δε βρίσκεται σε μεγάλες ποσότητες στην ατμόσφαιρα αφού σε συνδυασμό με τη μικρή του μάζα μπορεί να διαφύγει από τις βαρυτικές δυνάμεις της γης. Με εξαίρεση το ήλιο, το υδρογόνο έχει το χαμηλότερο σημείο βρασμού (20 °K) και πήξεως (14°K). Υδρογόνο σε υγρή φάση επιτεύχθηκε πρώτη φορά από τον Άγγλο χημικό Sir James Dewar το 1898, είναι άχρωμο σε μικρές ποσότητες αλλά ανοιχτό μπλε σε λεπτά δείγματα. Το στερεό υδρογόνο είναι επίσης άχρωμο.

Στη φύση συναντώνται τρία διαφορετικά ισότοπα. Το ισότοπο που αποτελεί το 99,98% των ατόμων υδρογόνου ονομάζεται πρώτιο (¹H) και αποτελείται από ένα πρωτόνιο και ένα ηλεκτρόνιο. Σε ποσοστό 0,02% συναντούμε ένα δεύτερο ισότοπο, το δευτέριο (²H ή D) το οποίο αποτελείται από ένα πρωτόνιο, ένα νετρόνιο και ένα ηλεκτρόνιο. Το δευτέριο χρησιμοποιείται σε πλήθος επιστημονικών εφαρμογών. Τέλος, το τρίτο ισότοπο ονομάζεται τρίτιο (³H ή T) αποτελούμενο από ένα πρωτόνιο,

δύο νετρόνια και ένα ηλεκτρόνιο και αντιστοιχεί ένα σε 10000 άτομα υδρογόνου. Το τρίτο είναι ραδιενεργό με χρόνο ημίσειας ζωής τα 12,4 χρόνια.



Σχήμα1 Ηλεκτρονικό νέφος μορίου υδρογόνου. Πιο σκούρες περιοχές αναπαριστούν μεγαλύτερη ηλεκτρονική πιθανότητα



Σχήμα 2 Ηλεκτρονική πυκνότητα ατόμου υδρογόνου για διάφορες τιμές κβαντικών αριθμών n και l (m=0).

1.4 Χημικές ιδιότητες υδρογόνου

Το αέριο υδρογόνο συνήθως δεν αντιδρά με άλλα χημικά σε θερμοκρασία δωματίου. Αυτό διότι ο δεσμός μεταξύ των ατόμων του είναι εξαιρετικά δυνατός και απαιτεί μεγάλες ποσότητες ενέργειας για να διασπαστεί ώστε τα ξεχωριστά πια άτομα να αντιδράσουν με άλλα στοιχεία ή ενώσεις. Ο στοιχειακός υδρογόνος βίβια με το οξυγόνο του αέρα ώστε να δώσει νερό σύμφωνα με την αντίδραση εκλύοντας ταυτόχρονα ενέργεια.



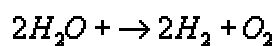
Τα άτομα υδρογόνου σχηματίζουν ομοιοπολικούς δεσμούς εκτός μεταξύ τους και με τα άλλα στοιχεία, όπως στις ενώσεις του μεθανίου (CH₄) και του νερού. Οι δεσμοί αυτοί δεν είναι πάντα ισχυροί αλλά σπάνε εύκολα όπως στην περίπτωση των οξέων. Παράδειγμα αυτού είναι το μεθανικό οξύ (CH₃COOH), ένα ασθενές οξύ. Διαλυόμενα σε νερό, ο ασθενής δεσμός του υδρογόνου σπάει, με το υδρογόνο να αφήνει πίσω το ηλεκτρόνιο του και να μετατρέπεται σε ιόν υδρογόνου (H⁺). Το υδρογόνο επίσης σχηματίζει ιοντικούς δεσμούς όπως για παράδειγμα το HCl.

Τέλος, το υδρογόνο μπορεί να σχηματίσει το λεγόμενο δεσμό υδρογόνου (hydrogen bond). Ο δεσμός αυτός γίνεται μόνο μεταξύ υδρογόνου και ενός από τα στοιχεία O, S, N, F ή Cl. Η ενέργεια του δεσμού αυτού είναι μικρή. Χαρακτηριστικότερο παράδειγμα αυτού αποτελεί το νερό όπου κάθε μόριο του -σε μη υψηλές θερμοκρασίες- συνδέεται με 4 γειτονικά δημιουργώντας συμπλέγματα πολλών μορίων H₂O. Ο δεσμός υδρογόνου κατά ένα μέρος οφείλεται σε δυνάμεις Van Der Waals ενώ έχουμε επιπρόσθεση δυνάμεων καθαρά χημικού δεσμού.

Το υδρογόνο κάτω από πολύ μεγάλη πίεση (1,5 εκατομμύρια ατμόσφαιρες) και θερμοκρασία (3000 °C με 5000 °C) μπορεί να συμπεριφερθεί και ως μέταλλο, αντανακλώντας το φως και άγοντας το ηλεκτρικό ρεύμα.

1.5 Παρασκευή και χρήσεις υδρογόνου

Η μη ύπαρξη καθαρού αέριου υδρογόνου, θέτει το πρόβλημα της παρασκευής του. Οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται για την παρασκευή υδρογόνου είναι πολυάριθμοι. Οι περισσότεροι περιέχουν τη διαδικασία της υδρόλυσης κατά την οποία μόρια νερού διασπώνται σε υδρογόνο και οξυγόνο σύμφωνα με την αντίδραση ,



Οι μέθοδοι παρασκευής, ενδεικτικά, χωρίζονται σε 3 κατηγορίες, τις θερμοχημικές, τις ηλεκτρολυτικές και τις φωτολυτικές ενώ θα δούμε περισσότερες λεπτομέρειες σχετικά παρακάτω.

Εν συντομία, αναφέρουμε μερικές από τις χρήσεις του

- Το υδρογόνο χρησιμοποιείται από τη βιομηχανία σε μεγάλο ποσοστό για την παρασκευή αμμωνίας, μεθανίου ή μεθανόλης. Αυτά χρησιμοποιούνται στη συνέχεια για την παρασκευή άλλων προϊόντων, όπως εκρηκτικά, λιπάσματα, αντιψυκτικά κτλ.
- Η τεχνολογία τροφίμων χρησιμοποιεί το υδρογόνο για την παρασκευή υδρογονανθράκων.
- Το υδρογόνο επίσης χρησιμοποιείται από την επιστήμη της φυσικής με εφαρμογή στη μελέτη των στοιχειωδών σωματιδίων.
- Με τη μορφή υγρού βρίσκει χρήση στη μελέτη της υπεραγωγιμότητας.

1.6 Το υδρογόνο ως φορέας ενέργειας

Το υδρογόνο έχει επιπλέον μία χρήση. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως φορέας ενέργειας. Μάλιστα αυτή τη στιγμή γίνονται σημαντικές προσπάθειες, κυρίως στα

ιδιαίτερα ανεπτυγμένα κράτη, για τη μετατροπή της προσαρμοσμένης στα συμβατικά καύσιμα υποδομής σε υποδομή με βάση το υδρογόνο. Ενδεικτικά, η Ισλανδία, προβλέπει σε μία υποδομή πλήρως βασισμένη στο υδρογόνο μέχρι το 2030-2040, ενώ μέχρι το 2030 στόχος του υπουργείου ενέργειας των Η.Π.Α. είναι η αντικατάσταση του 10% της ενεργειακής κατανάλωσης από ενέργεια υδρογόνου.

Χαρακτηριστικό παράδειγμα για το πως το υδρογόνο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να παραχθεί ενέργεια είναι οι λεγόμενες κυψέλες καυσίμου (fuel cells) στοιχεία τα οποία χρησιμοποιούνται για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με βάση αυτό. Περισσότερα για τις κυψέλες καυσίμου θα δούμε παρακάτω.

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



Σχήμα 3 Περιεκτικότητες καυσίμων σε άνθρακα και υδρογόνο

1.7 Πλεονεκτήματα έναντι συμβατικών πηγών ενέργειας

Το ότι υπάρχει ένας σαφής προσανατολισμός προς την κατεύθυνση του υδρογόνου δεν είναι τυχαίο.

- Το υδρογόνο έχει το υψηλότερο ενεργειακό περιεχόμενο ανά μονάδα βάρους από οποιοδήποτε άλλο γνωστό καύσιμο, 120,7 kJ/gr και περίπου τρεις φορές μεγαλύτερο από αυτό της συμβατικής βενζίνης.
- Κάνει καθαρή καύση. Όταν καίγεται με οξυγόνο παράγει μόνο νερό και θερμότητα. Όταν καίγεται με τον ατμοσφαιρικό αέρα, ο οποίος αποτελείται περίπου από 68% άζωτο, παράγονται επίσης μερικά οξείδια του αζώτου σε αμελητέο ωστόσο βαθμό.
- Για το λόγο ότι κάνει καθαρή καύση δε συμβάλει στη μόλυνση του περιβάλλοντος. Το ποσό του νερού που παράγεται κατά τη καύση είναι τέτοιο ώστε να θεωρείται επίσης αμελητέο και μη ικανό επομένως να επιφέρει κάποια κλιματολογική αλλαγή δεδομένης ακόμα και μαζικής χρήσης.
- Είναι το ίδιο ακίνδυνο όσο η βενζίνη, το πετρέλαιο diesel ή το φυσικό αέριο. Το υδρογόνο μάλιστα είναι το λιγότερο εύφλεκτο σε απουσία αέρα με

θερμοκρασία αυθόρμητης ανάφλεξης τους 585 βαθμούς Κελσίου (230°C με 480°C η αντίστοιχη της βενζίνης).

- Μπορεί να συμβάλει στη μείωση του ρυθμού κατανάλωσης των περιορισμένων φυσικών καυσίμων. Αν και σε πολλές περιπτώσεις αυτά τα ίδια καύσιμα χρησιμοποιούνται για την παρασκευή υδρογόνου το ενεργειακό όφελος είναι μεγάλο. Μάλιστα η πιο συμφέρουσα οικονομικά αυτή τη στιγμή μέθοδος παρασκευής υδρογόνου βασίζεται στη μετατροπή του μεθανίου του φυσικού αερίου.
- Μπορεί να παρασκευαστεί με πάρα πολλές μεθόδους σε οποιαδήποτε χώρα και σε οποιοδήποτε μέρος κι επομένως μπορεί να βοηθήσει στην ανάπτυξη αποκεντροποιημένων συστημάτων παραγωγής ενέργειας. Αυτό θα ωφελήσει φτωχότερα και λιγότερο αναπτυγμένα κράτη τα οποία σήμερα εξαρτώνται ενεργειακά από άλλα ισχυρότερα. Επιπλέον, η περίπτωση δυσλειτουργίας ενός συστήματος παραγωγής ενέργειας δε θα επηρεάσει τη λειτουργία των άλλων.

1.8 Μειονεκτήματα έναντι συμβατικών πηγών ενέργειας

Όσων αφορά τώρα τα μειονεκτήματα στη χρήση του υδρογόνου ως καύσιμο, τα περισσότερα έχουν να κάνουν με την ελλιπή σημερινή υποδομή και αποτελούν κυρίως τεχνικά προβλήματα τα οποία αναζητούν λύση.

- Ένα πρόβλημα είναι αυτό της αποθήκευσης του. Δεδομένου του ότι το υδρογόνο είναι πολύ ελαφρύ, η συμπίεση μεγάλης ποσότητας σε μικρού μεγέθους δεξαμενή είναι δύσκολη λόγω των υψηλών πιέσεων που χρειάζονται για να επιτευχθεί η υγροποίηση.
- Δεύτερο πρόβλημα αποτελεί η έλλειψη οργανωμένου δικτύου διανομής του.
- Λόγω του παραπάνω και η τιμή του επίσης είναι σχετικά υψηλή σε σύγκριση με αυτή της βενζίνης ή του πετρελαίου. Η περισσότερο διαδεδομένη λόγω χαμηλού κόστους μέθοδος παραγωγής υδρογόνου αυτή τη στιγμή είναι η μετατροπή του φυσικού αερίου. Ωστόσο όσο εξελίσσονται και άλλες μέθοδοι, όπως η μετατροπή της αιολικής ενέργειας, το κόστος θα συνεχίσει να μειώνεται.
- Επίσης αν και στο μεγαλύτερο μέρος των περιπτώσεων το υδρογόνο θεωρείται περισσότερο ασφαλές από οποιοδήποτε άλλο καύσιμο, κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες μπορεί να γίνει εξαιρετικά επικίνδυνο. Για παράδειγμα, μπορεί να εκτοπίσει το οξυγόνο ενός χώρου και να δράσει ως ασφυξιογόνο.
- Αυξημένη είναι και η τιμή των κυψέλων καυσίμου με τις οποίες αυτή τη στιγμή γίνεται η μεγαλύτερη εκμετάλλευση του υδρογόνου ως καύσιμο. Επιπλέον η τεχνολογία τους δε μπορεί να θεωρηθεί ολοκληρωτικά αξιόπιστη αφού προς το παρόν υπάρχουν αρκετά τεχνικά προβλήματα τα οποία αναζητούν αξιόπιστες λύσεις. Κυψέλες προσανατολισμένες για οικιακή και μεταφορική χρήση χαρακτηρίζονται από μικρή ανοχή σε καύσιμα μη υψηλής καθαρότητας. Αυτό με τη σειρά του αυξάνει το κόστος παραγωγής του καυσίμου. Κυψέλες καυσίμου προσανατολισμένες για βιομηχανική χρήση πάλι χαρακτηρίζονται από πολύ υψηλές θερμοκρασίες λειτουργίας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

Εισαγωγή στην παραγωγή και αποθήκευση υδρογόνου

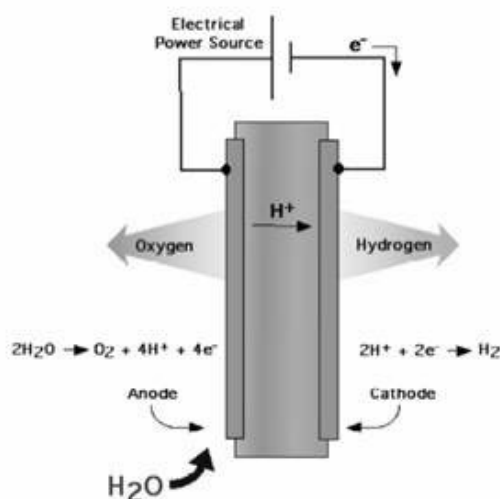
2.1 Μέθοδοι παραγωγής υδρογόνου

Οι μέθοδοι παρασκευής υδρογόνου χονδρικά μπορούν να χωριστούν σε τρεις κατηγορίες

- τις θερμοχημικές
- τις ηλεκτρολυτικές
- τις φωτολυτικές

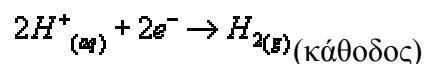
2.1.1 Ηλεκτρόλυση νερού

Κατά την ηλεκτρόλυση το νερό διασπάται στα βασικά στοιχεία όπου το αποτελούν, υδρογόνο και οξυγόνο με την παροχή ηλεκτρικού ρεύματος. Τα πλεονεκτήματα αυτής της διεργασίας είναι η υψηλής καθαρότητας υδρογόνο που παράγεται. Ωστόσο, αποτελεί ακριβή μέθοδο εν συγκρίσει με την αναμόρφωση ατμού του φυσικού αερίου εξαιτίας του κόστους του ηλεκτρικού ρεύματος το οποίο απαιτείται.

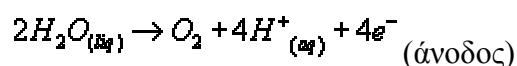


Σχήμα 4 Αναπαράσταση ηλεκτρολυτικού στοιχείου

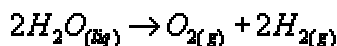
Κατά την ηλεκτρόλυση, στην κάθοδο ιόντα υδρογόνου (πρωτόνια) ανάγονται σε υδρογόνο ενώ στην άνοδο το νερό οξειδώνεται σε οξυγόνο και πρωτόνια. Οι διεργασίες αυτές περιγράφονται αντίστοιχα από τις παρακάτω αντιδράσεις:



και



οι οποίες μας δίνουν το συνολικό μηχανισμό της ηλεκτρόλυσης:



Πλεονέκτημα της μεθόδου είναι το ότι το παραγόμενο οξυγόνο μπορεί επίσης να εκμεταλλευτεί για βιομηχανική ή άλλη χρήση.

Θεωρητικά 1,23 V εφαρμοζόμενης τάσης αρκούν για τη διεξαγωγή της ηλεκτρόλυσης. Πρακτικά, χρειάζεται περισσότερη τάση (1,55 V με 1,65 V). Η απόδοση της ηλεκτρόλυσης ορίζεται ως το λόγο του 1,23 V προς την τάση όπου χρησιμοποιείται. Με τάση 1,60 V έχουμε απόδοση

$$\frac{1,23}{1,60} = 0,77 = 77\%$$

Η θεωρητική τιμή υπολογίζεται ως εξής. Η εξίσωση του Nernst για την κάθοδο είναι

$$E_c = E_{H_2}^0 + \frac{RT}{2F} \ln \frac{a_{H_2O}^2}{a_{OH}^2 a_{H_2}}$$

Όπου E_c το δυναμικό σε ισορροπία για την κάθοδο, $E_{H_2}^0$ το πρότυπο δυναμικού ηλεκτροδίου υδρογόνου, $2F$ το φορτίο Coulomb που διέρχεται από το ηλεκτρόδιο και a_x οι ενέργειες των προϊόντων και αντιδρώντων. Ανάλογα για την άνοδο έχουμε

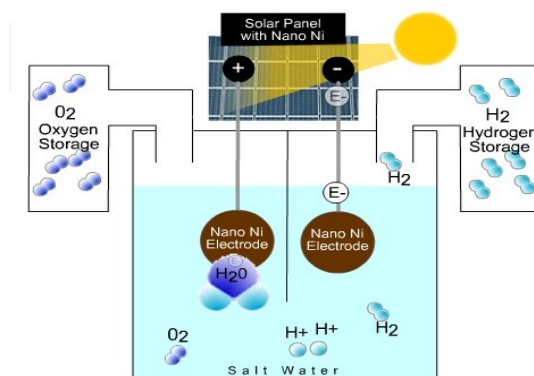
$$E_a = E_{O_2}^0 + \frac{RT}{2F} \ln \frac{a_{O_2}^{1/2} a_{H_2O}}{a_{OH}^2}$$

με $E_{O_2}^0$ το πρότυπο δυναμικό του ανοδικού ηλεκτροδίου. Κατά σύμβαση θεωρούμε. $E_{H_2}^0 = 0$. Θεωρώντας $a_{H_2} = a_{O_2} = a_{H_2O} = 1$ (ότι δηλαδή H_2 , O_2 και H_2O βρίσκονται στην πρότυπη κατάσταση (standard state)) τότε από τις παραπάνω σχέσεις έχουμε

$$E_a - E_c = 1,229V$$

Η αντίδραση της καθόδου, εμπλέκει όπως είδαμε 4 ηλεκτρόνια και η οξείδωση πραγματοποιείται μέσω μιας σειράς ενδιάμεσων προϊόντων. Σε αυτό οφείλεται η ανάγκη επιπλέον τάσης καθώς η όλη διαδικασία χαρακτηρίζεται από αργό κινητικό μηχανισμό. Η χρήση καταλύτη βοηθάει στη μείωση αυτής της τάσης και επιταχύνει τη διαδικασία. Ένας ιδανικός καταλύτης για την οξείδωση του νερού θα πρέπει να εξισορροπεί την απαιτούμενη ενέργεια του κάθε ενδιάμεσου βήματος και επίσης να εξισορροπεί τους ρυθμούς μεταφοράς κάθε ηλεκτρονίου.

Η απευθείας ηλεκτρόλυση νερού μέχρι και τη δεκαετία του '50 είχε ευρεία χρήση στην παραγωγή υδρογόνου. Σήμερα, ένα μικρό μόνο ποσοστό υδρογόνου παράγεται κατά αυτόν τον τρόπο σε εφαρμογές κυρίως όπου χρειάζεται μικρός όγκος καθαρού υδρογόνου. Ωστόσο παράλληλα παρατηρείται μια αναγέννηση του ενδιαφέροντος με την κατασκευή ολοκληρωμένων συστημάτων ηλεκτρολυτών σε συνδυασμό με εκμετάλλευση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (ηλιακής ή αιολικής). Περισσότερα σχετικά θα δούμε παρακάτω.

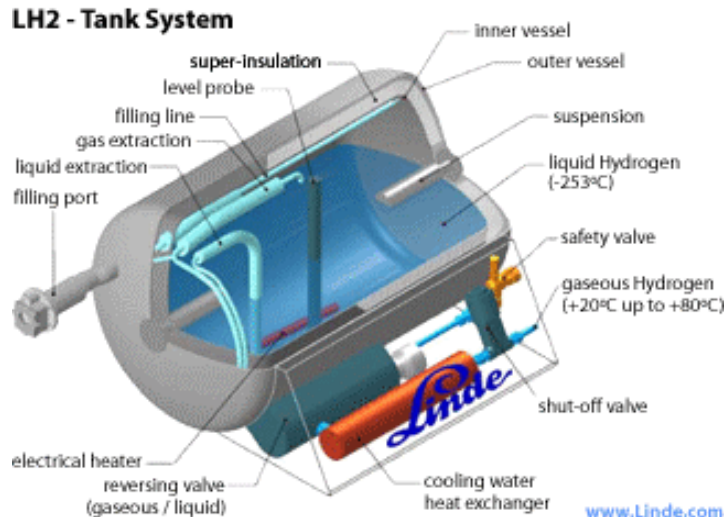


2.2 Μέθοδοι αποθήκευσης υδρογόνου

Η αποθήκευση υδρογόνου υπονοεί ουσιαστικά τη μείωση ενός πολύ μεγάλου όγκου αερίου υδρογόνου. 1 kg υδρογόνου σε θερμοκρασία περιβάλλοντος και ατμοσφαιρική πίεση καταλαμβάνει 11 m^3 . Για την πρακτική επομένως χρήση του πρέπει να αυξηθεί η πυκνότητά του. Αυτό γίνεται είτε αυξάνοντας την πίεση του είτε μειώνοντας τη θερμοκρασία του είτε, τέλος, μειώνοντας την άπωση μεταξύ των μορίων καθώς αυτό αντιδρά με κάποιο υλικό. Επίσης πολύ σημαντικό κριτήριο είναι κατά πόσο η διαδικασία της αποθήκευσης είναι αντιστρέψιμη.

Το υδρογόνο μπορεί να αποθηκευτεί με τους ακόλουθους τρόπους

1. Με υψηλής πίεσης φιάλες αερίου
2. Ως υγρό σε κρυογονικές δεξαμενές
3. Προσροφημένο σε υλικά με μεγάλη ειδική επιφάνεια
4. Ροφημένο σε ενδοπλεγματικές θέσεις σε μέταλλα
5. Με χημικούς δεσμούς (ιοντικής ή ομοιοπολικής φύσης)



Σχήμα 6 Παρουσίαση εξαρτημάτων της δεξαμενής αποθήκευσης υδρογόνου

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

Κυψέλες καυσίμων

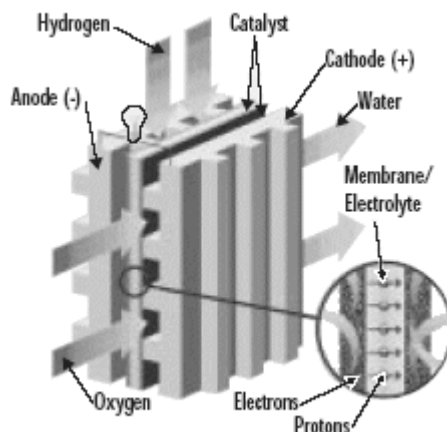
Εισαγωγή στις κυψέλες καυσίμου

Οι κυψέλες καυσίμου μπορούν να χαρακτηριστούν σαν κέντρα ενός συστήματος το οποίο χρησιμοποιεί το υδρογόνο ως καύσιμο. Είναι αυτές οι οποίες αναλαμβάνουν τη μετατροπή του καυσίμου σε χρήσιμη ηλεκτρική ενέργεια. Η έννοια της κατάλυσης παίζει πολύ σημαντικό ρόλο στη λειτουργία μιας κυψέλης καυσίμου, όπως θα δούμε παρακάτω και η έρευνα για τη βελτίωση της αποδόσεων της γίνεται κυρίως σε αυτόν τον τομέα, τομέας εξ ορισμού μελετώμενος στην κλίμακα του νανομέτρου.

Η κυψέλη καυσίμου αποτελεί ένα μηχανισμό για την ηλεκτροχημική μετατροπή της ενέργειας μετατρέποντας υδρογόνο και οξυγόνο σε νερό, παράγοντας ταυτόχρονα με τη διαδικασία αυτή, ηλεκτρισμό και θερμότητα. Ο ηλεκτρισμός παράγεται με τη μορφή συνεχούς ρεύματος. Η πρώτη κυψελίδα φτιάχτηκε από τον Sir William Grove, το 1839. Ωστόσο η συστηματική έρευνα πάνω σε αυτές άρχισε μόλις τη δεκαετία του '60, όταν η NASA χρησιμοποίησε κυψέλες καυσίμου στο διαστημικό σκάφος Gemini και Apollo ως

3.1 Αρχή λειτουργίας κυψέλης καυσίμου

Οι κυψέλες καυσίμου μπορούν να ταξινομηθούν βάσει του τύπου του ηλεκτρολύτη τον οποίο χρησιμοποιούν. Το πιο γνωστό είδος είναι η κυψέλη καυσίμου με μεμβράνη ανταλλαγής πρωτονίου (PEM). Μία κυψέλη καυσίμου PEM αποτελείται εν συντομία από τα εξής μέρη:



Σχήμα 7 Κύρια μέρη κυψέλης καυσίμου PEM

Δύο ηλεκτρόδια, τα οποία διαχωρίζονται από μία μεμβράνη, η οποία έχει το ρόλο του ηλεκτρολύτη. Μεταξύ αυτής της πολυμερισμένης μεμβράνης και των ηλεκτροδίων υπάρχει ένα στρώμα καταλύτη. Αργότερα θα μελετήσουμε τα μέρη μιας κυψέλης αναλυτικότερα. Συνοπτικά, η διαδικασία παραγωγής ηλεκτρισμού περιγράφεται από τα παρακάτω επιμέρους στάδια.

Το υδρογόνο τροφοδοτεί την άνοδο της κυψέλης, το αρνητικό ηλεκτρόδιο, το οποίο ερχόμενο σε επαφή με τον καταλύτη διαχωρίζεται σε θετικά φορτισμένα ιόντα υδρογόνου και ηλεκτρόνια. Η άνοδος και ο καταλύτης είναι τέτοιας κατασκευής ώστε η διάχυση των ατόμων του υδρογόνου να γίνεται με ομογενή τρόπο. Τα ηλεκτρόνια τα οποία απελευθερώθηκαν μεταφέρονται μέσω εξωτερικού ηλεκτρικού κυκλώματος προς την άνοδο δημιουργώντας ηλεκτρισμό αφού η μεμβράνη αποτρέπει τη διέλευση τους μέσω αυτής. Για αυτό το λόγο άνοδος και καταλύτης διαλέγονται αγωγικά υλικά.

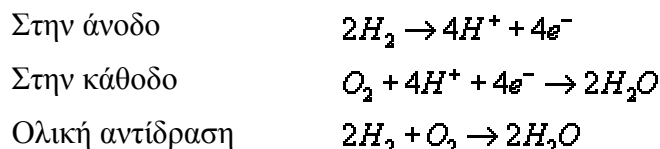
Τα θετικά φορτισμένα ιόντα του υδρογόνου (στην ουσία αναφερόμαστε σε μεμονωμένα πρωτόνια) διαπερνούν τη μεμβράνη και ενώνονται με το οξυγόνο το οποίο τροφοδοτεί την κάθοδο, το θετικά φορτισμένο ηλεκτρόδιο, και παράγεται νερό. Όπως και πριν, την ομογενή διάχυση του οξυγόνου στον καταλύτη εξασφαλίζει η κατασκευή του ηλεκτροδίου. Ο καταλύτης αναλαμβάνει την επιτάχυνση της δημιουργίας του νερού από τα συστατικά του.

Στο σχηματισμό του νερού συμμετέχουν εκτός των μορίων του οξυγόνου και των ιόντων του υδρογόνου, τα ηλεκτρόνια τα οποία διοχετεύτηκαν μέσω του εξωτερικού ηλεκτρικού κυκλώματος στην κάθοδο, στην αρχή της διαδικασίας.

Τα δύο στρώματα (στηριζόμενου) καταλύτη χρησιμεύουν στην αύξηση της ταχύτητας των αντιδράσεων διάσπασης του μορίου του υδρογόνου και της ένωσης υδρογόνου οξυγόνου για τη δημιουργία νερού, στην άνοδο και στην κάθοδο αντίστοιχα. Συνήθως

αποτελείται από ένα πολύ λεπτό στρώμα λευκόχρυσου (Pt) πάνω σε επιφάνεια άνθρακα. Το στρώμα αυτό είναι και το μέρος του καταλύτη το οποίο βρίσκεται σε επαφή με τη μεμβράνη. Ο καταλύτης είναι τραχύς και πορώδης ώστε να μεγιστοποιεί η εκτεθειμένη επιφάνεια του.

Οι χημικές αντιδράσεις οι οποίες χαρακτηρίζουν τα παραπάνω βήματα, συνοψίζονται παρακάτω.



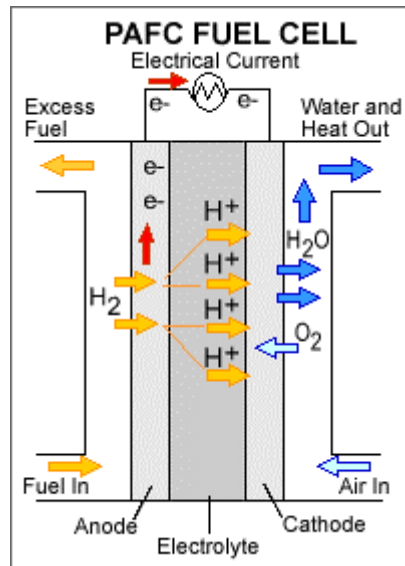
Οι παραπάνω αντιδράσεις σε μία απλή κυψέλη καυσίμου παράγει περίπου στα 0,7 Volts . Προκειμένου να παραχθούν μεγαλύτερες (και πρακτικά αξιοποιήσιμες) τάσεις, χρησιμοποιούνται περισσότερες κυψέλες σε σειρά (fuel cell stack).

3.2 Κυψέλη καυσίμου φωσφορικού οξέος (PAFC)

Οι κυψέλες φωσφορικού οξέος (phosphoric - acid fuel cells , PAFC) είναι αυτές όπου είναι διαθέσιμες σήμερα στο εμπόριο. Η απόδοση ενός τέτοιου συστήματος κυμαίνεται σε αρκετά υψηλά επίπεδα.

Οι θερμοκρασίες λειτουργίας του βρίσκονται στην περιοχή των 150 με 200 °C . Σε χαμηλότερες θερμοκρασίες το φωσφορικό οξύ γίνεται κακός ιοντικός αγωγός και το μονοξείδιο του άνθρακα CO το οποίο σχηματίζεται πάνω στον καταλύτη δηλητηριάζει την άνοδο ρίχνοντας πάρα πολύ την απόδοση. Ωστόσο τα επίπεδα ανοχής της συγκέντρωσης του CO είναι τέτοια ώστε να επιτρέπει περισσότερα είδη καυσίμων για τη τροφοδότηση του. Στην περίπτωση της συμβατικής βενζίνης ωστόσο πρέπει να απομακρυνθούν τα σουλφίδια. Τα μειονεκτήματα των PA κυψέλων καυσίμου, είναι το μεγάλο μέγεθος και βάρος, ο ακριβός καταλύτης όπου χρησιμοποιείται (λευκόχρυσος) ενώ το ρεύμα το οποίο παράγεται είναι χαμηλό και η ισχύς συγκρίσιμη με αυτή άλλων τύπων κυψέλων καυσίμου.

Οι ηλεκτροχημικές αντιδράσεις που χαρακτηρίζουν αυτόν τον τύπο είναι ίδιες με αυτής της PEM κυψέλης.

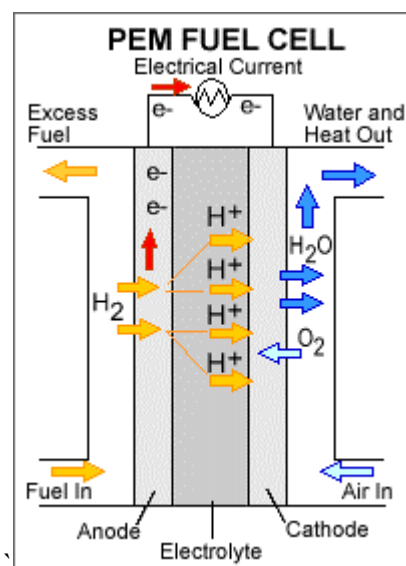


Σχήμα 8 Κυψέλη καυσίμου PAFC

3.3 Κυψέλη καυσίμου πολυμερισμένης μεμβράνης (PEM)

Αυτές οι κυψέλες (κυψέλες καυσίμου ανταλλαγής πρωτονίων, proton exchange membrane fuel cells , PEM) λειτουργούν σε σχετικά χαμηλές θερμοκρασίες και παράγουν ισχύ αρκετή για την εφαρμογή τους για την ικανοποίηση καθημερινών ενεργειακών αναγκών, όπως αυτή για την κίνηση ενός οχήματος. Σε αυτό βοηθά η ικανότητα τους να προσαρμόζονται σε γρήγορες αυξομειώσεις στην απαίτηση ισχύος. Η ισχύς που παράγει μια τέτοια κυψέλη κυμαίνεται μεταξύ των 50 και 250 kW . Ο συγκεκριμένος τύπος κυψέλης είναι αρκετά ευαίσθητος σε μη καθαρά καύσιμα.

Η έρευνα πάνω στις κυψέλες καυσίμου όσων αφορά εφαρμογές τους στην τροφοδότηση οχημάτων αυτή τη στιγμή είναι επικεντρωμένη κυρίως σε αυτόν τον τύπο.

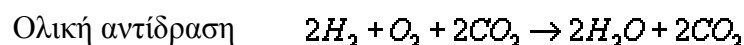
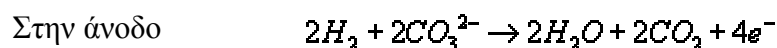


Σχήμα 9 Κυψέλη καυσίμου PEM

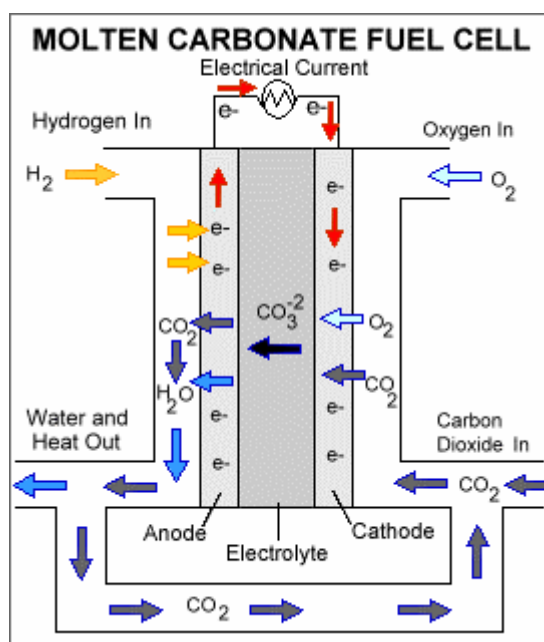
3.4 Κυψέλη καυσίμου τηγμένου άνθρακα (MCFC)

Αυτές οι κυψέλες (molten carbonate fuel cells , MCFC) χρησιμοποιούν για ηλεκτρολύτη ενώσεις του άνθρακα με λίθιο, νάτριο και κάλιο σε υγρή μορφή εμποτισμένες σε κατάλληλο υλικό. Ενώ χαρακτηρίζονται από πολύ υψηλά επίπεδα απόδοσης οι θερμοκρασίες όπου λειτουργούν (περίπου 650°C) δεν προσφέρονται για καθημερινή χρήση. Ωστόσο, αυτή η υψηλή θερμοκρασία, η οποία απαιτείται προκειμένου ο ηλεκτρολύτης να γίνει ιοντικά αγωγίμος, επιτρέπει τη χρήση φτηνών καταλυτών αφού οι χημικοί δεσμοί καταστρέφονται και δημιουργούνται πολύ πιο εύκολα σε τέτοιες θερμοκρασίες. Η ίδια όμως υψηλή θερμοκρασία ευθύνεται για την αυξημένη διάβρωση και καταστροφή των μελών της κυψέλης. Ως καύσιμο μπορεί να χρησιμοποιηθεί υδρογόνο, μονοξείδιο του άνθρακα, φυσικό αέριο, προπάνιο και άλλα. Η ισχύς η οποία χαρακτηρίζει αυτόν τον τύπο κυψέλης κυμαίνεται ανάλογα τη χρήση από 10 kW μέχρι και 2 MW .

Οι ηλεκτροχημικές αντιδράσεις που χαρακτηρίζουν αυτόν τον τύπο κυψέλης είναι



(το CO_2 παράγεται στην άνοδο και καταναλώνεται στην κάθοδο)



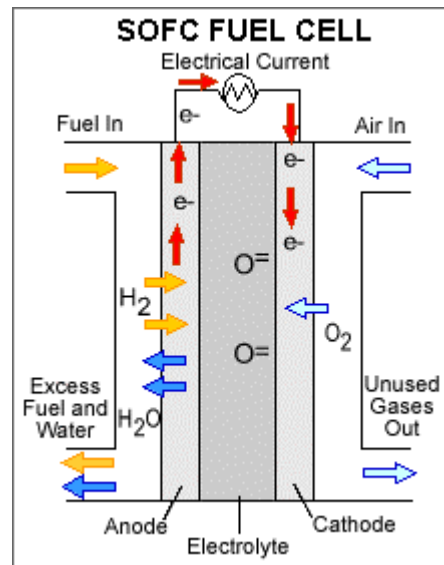
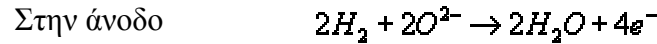
Σχήμα 10 Κυψέλη καυσίμου MCFC

3.5 Κυψέλη καυσίμου στερεού οξειδίου (SOFC)

Ο συγκεκριμένος τύπος κυψέλων (solid oxide fuel cells , SOFC), όπως και ο προηγούμενος, ενδείκνυται για αυξημένες ενεργειακές ανάγκες, με απόδοση στο 60% και παραγόμενη ισχύ μέχρι και 100kW. Αυτά τα συστήματα χρησιμοποιούν συνήθως ως ηλεκτρολύτη ένα σκληρό κεραμικό υλικό στερεού οξειδίου ζirkονίου και μια

μικρή ποσότητα υτρίου, αντί για ηλεκτρολύτη υγρής μορφής, επιτρέποντας έτσι θερμοκρασίες μέχρι και 1000 °C.

Οι ηλεκτροχημικές αντιδράσεις που χαρακτηρίζουν αυτόν τον τύπο κυψέλης είναι



Σχήμα 11 Κυψέλη καυσίμου SOFC

3.6 Κυψέλη καυσίμου μεθανόλης (DMFC)

Σε όλες τις παραπάνω κυψέλες ως καύσιμο χρησιμοποιείται το υδρογόνο. Ωστόσο, ο συγκεκριμένος τύπος κυψελών (direct methanol fuel cells , DMFC) χρησιμοποιεί ως καύσιμο μεθανόλη χωρίς να απαιτεί τη μετατροπή της σε υδρογόνο. Σε αυτή την περίπτωση η μεθανόλη είναι αυτή που οξειδώνεται στην άνοδο. Η κατηγορία αυτή είναι πιο πρόσφατη των κυψελίδων PEM με αρκετά ακόμα προβλήματα προς επίλυση όπως η μεγάλη ποσότητα καταλύτη όπου απαιτείται. Ωστόσο, εάν η συγκεκριμένη τεχνολογία επρόκειτο να χρησιμοποιηθεί στη θέση των PEM κυψελών δε θα υπήρχε η ανάγκη αναζήτησης εναλλακτικών τρόπων αποθήκευσης του καυσίμου όπως γίνεται στη δεύτερη περίπτωση με το υδρογόνο ενώ δε θα ήταν αναγκαία και η ανάπτυξη αναμορφωτών.

3.7 Θεωρητική προσέγγιση

Μπορούμε να συγκρίνουμε την απόδοση μιας κυψέλης καυσίμου και μιας μηχανής εσωτερικής καύσεως σε θεωρητικό επίπεδο. Όπως το θεώρημα του Carnot της θερμοδυναμικής μας υποδεικνύει, υπάρχει κάποιο μέγιστο όριο στην απόδοση μιας θερμικής μηχανής, δηλαδή δεν είναι δυνατή η ολική μετατροπή της θερμότητας σε μηχανικό έργο αλλά μέρος αυτής εκλύεται στο περιβάλλον. Σε μία μηχανή εσωτερικής καύσεως, η μηχανή δέχεται θερμότητα από κάποια δεξαμενή θερμότητας

σε υψηλή θερμοκρασία T_1 και μετά τη μετατροπή ενός μέρους της ενέργειας σε μηχανικό έργο, διοχετεύει το υπόλοιπο της ενέργειας στο περιβάλλον θερμοκρασίας T_2 (χαμηλότερης της T_1). Η μέγιστη θεωρητική απόδοση δίνεται από τον τύπο

$$\eta = \frac{T_1 - T_2}{T_1}$$

και είναι τόσο μεγαλύτερη, όπως φαίνεται, όσο μεγαλύτερη είναι η διαφορά αυτών των θερμοκρασιών.

Ωστόσο σε μία κυψέλη καυσίμου δεν εμπλέκεται καμία μετατροπή θερμότητας σε μηχανική έργο οπότε και το όριο της μέγιστης απόδοσης δεν περιορίζεται όπως στην προηγούμενη περίπτωση μιας κι έτσι είναι δυνατή η λειτουργία τους ακόμα και στις χαμηλές θερμοκρασίες των 80°C .

3.8 Πρακτική προσέγγιση

Σε μία πιο πρακτική προσέγγιση, ξεκινάμε εξετάζοντας ένα ηλεκτρικά κινούμενο όχημα βασισμένο στη τεχνολογία των κυψέλων καυσίμου. Με τροφοδότηση της κυψέλης με καθαρό υδρογόνο η απόδοση του μπορεί να φτάσει το 80%. Όμως κατά τη μετατροπή της ηλεκτρικής ενέργειας η οποία παράγεται από αυτό σε μηχανική (κινητική ενέργεια κινητήρα) η ολική απόδοση μειώνεται. Αν επίσης δεχτούμε το γεγονός ότι δεν υπάρχει ακόμα κάποιος πρακτικά εκμεταλλεύσιμος τρόπος αποθήκευσης καθαρού υδρογόνου επί του οχήματος για την άμεση χρήση του στην κυψέλη αλλά απαιτείται η χρήση ενός αναμορφωτή (reformer) για τη μετατροπή συμβατικών καυσίμων σε υδρογόνο, η απόδοση ελαττώνεται ακόμα περισσότερο. Καταλήγουμε μετά τα παραπάνω σε μια απόδοση του 25% με 35%.

Συγκρίνοντας το παραπάνω όχημα με ένα το οποίο στηρίζεται στη συμβατική βενζίνη. Λόγω έκλυσης μεγάλου ποσού θερμότητας κατά την καύση του καυσίμου και σε συνδυασμό με το γεγονός ότι αρκετό μέρος της παραγόμενης ενέργειας καταναλώνεται από τις διάφορες αντλίες ή ανεμιστήρες της μηχανής η απόδοση ενός τέτοιου οχήματος είναι αρκετά χαμηλή, περίπου 20%.

Θεωρούμε τώρα όχημα κινούμενο με ηλεκτρική ενέργεια με τη χρήση μπαταρίας. Η απόδοση μιας μπαταρίας είναι αρκετά υψηλή, περίπου 90%, μιας και οι περισσότερες εκπέμπουν ένα μικρό ποσοστό θερμότητας. Κατά τη μετατροπή της ενέργειας αυτής σε κινητική του κινητήρα καταλήγουμε σε μια απόδοση 70%. Ωστόσο, πρέπει να λάβουμε υπόψη μας τη διαδικασία πίσω από την οποία κρύβεται η φόρτιση της μπαταρίας όπου χρησιμοποιούμε. Αν η μέθοδος φόρτισης της δε βασίζεται σε κάποια από τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, όπως η ηλιακή ή η αιολική η παραπάνω απόδοση μειώνεται στο 40%. Εξάλλου για τη φόρτιση της μπαταρίας απαιτείται μετατροπή του εναλλασσόμενου ρεύματος που παράγεται από την περιστροφή του κινητήρα σε συνεχές, διαδικασία απόδοσης 90%. Τελικά, φτάνουμε σε ολική απόδοση περίπου 25%

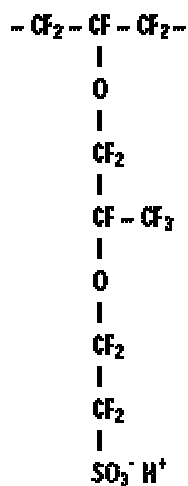
Αν και τα ποσοστά βρίσκονται κοντά το ένα στο άλλο, και άλλοι παράγοντες πρέπει να ληφθούν υπόψη όπως, η ταχύτητα ανεφοδιασμού του οχήματος, η περίοδος η οποία μεσολαβεί μεταξύ δύο ανεφοδιασμών, η μόλυνση όπου προκαλείται κ.α.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

Αναλυτική περιγραφή κυψέλης PEM

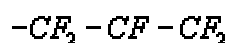
4.1 Μεμβράνη κυψέλης

Μεταξύ των δύο ηλεκτροδίων της κυψέλης καυσίμου βρίσκεται ο ηλεκτρολύτης. Ο ηλεκτρολύτης ονομάζεται έτσι λόγω της ιδιότητας του να δίσταται σε θετικά και αρνητικά ιόντα. Στην περίπτωση μίας PEM κυψέλης ο ηλεκτρολύτης είναι πλαστικό οργανικό πολυμερές και συνηθέστερα ονομάζεται μεμβράνη (membrane). Μία τυπική τέτοια μεμβράνη, όπως το Nafion (polyperfluorosulfonic acid), αποτελείται από τρεις ομάδες ατόμων.

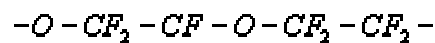


Σχήμα 12 Ομάδες ατόμων υδρογόνου

Μίας ομάδας, παρόμοιας δομής με αυτή του Teflon (πολυτετραφθοροαιθυλένιο), με εκατοντάδες επαναλαμβανόμενες μονάδες τύπου



Μίας δεύτερης, τύπου



στο ρόλο πλαϊνής αλυσίδας η οποία ενώνει τις προηγούμενες μονάδες με μια τρίτη, με τύπο $SO_3^- H^+$.

Τα αρνητικά ιόντα του SO_3^- είναι μόνιμα ενωμένα στις πλαϊνές αλυσίδες. Ωστόσο, όταν η μεμβράνη βρεθεί σε ένυδρο περιβάλλον, απορροφώντας νερό, τα ιόντα υδρογόνου αποκτούν την ικανότητα να κινηθούν ελεύθερα. Η κίνηση αυτή γίνεται, καθώς προσκολλώνται στα πολικά μόρια του νερού, όπως περιγράφεται από τον τύπο $H(H_2O)_n^+$, και μεταπηδούν μεταξύ των SO_3^- ιόντων μέσα στη μεμβράνη. Αυτός είναι

και ο λόγος όπου ο συγκεκριμένος τύπος ηλεκτρολύτη σε ένυδρη μορφή αποτελεί πολύ καλό αγωγό πρωτονίων.

Αυτό από την άλλη μεριά, τίθεται ένας περιορισμός ως προς τη μέγιστη θερμοκρασία λειτουργίας των PEM κυψέλων καυσίμου, αφού το νερό θα πρέπει να παραμένει σε υγρή κατάσταση. Σε συνθήκες λειτουργίας οι οποίες χαρακτηρίζονται από αυξημένες πιέσεις το όριο των 100 °C αίρεται αλλά ταυτόχρονα μειώνεται και ο χρόνος ζωής της κυψέλης. Για αυτό το λόγο έρευνα γίνεται σήμερα προς αναζήτηση συν τοις άλλοις και για μεμβράνες όπου μπορούν να λειτουργήσουν σε υψηλότερες των 100 °C θερμοκρασίες.

Το πάχος αυτής της μεμβράνης κυμαίνεται μεταξύ των 25 και 175 μικρών. Συγκρινόμενο δηλαδή, με ένα φύλλο χαρτί, είναι 2 με 7 φορές πιο παχύ. Για τη λειτουργία της κυψέλης απαιτείται όπως είδαμε παραπάνω, η μεμβράνη να είναι ένυδρη. Η ιδιαιτερότητα των PEM μεμβρανών ως ηλεκτρολύτες είναι ότι παρουσία νερού, τα αρνητικά ιόντα παραμένουν σταθερά τη θέση του ενώ μπορούν να κινηθούν μόνο τα θετικά. Η κίνηση αυτή πρέπει να γίνεται προς μία κατεύθυνση μόνο. Επίσης η μεμβράνη εκ κατασκευής εμποδίζει το αέριο υδρογόνο να αναμειχθεί με το αέριο οξυγόνο διότι σε αντίθετη περίπτωση δεν θα ήταν δυνατή η λειτουργία της κυψέλης.

Τέλος η μεμβράνη αυτή ανήκει στην κατηγορία των ηλεκτρικών μονωτών κι έτσι παρεμποδίζεται η διέλευση ηλεκτρονίων διαμέσου αυτής και αυτά αναγκάζονται να ακολουθήσουν το δρόμο ενός εξωτερικού κυκλώματος.

4.2 Ηλεκτρόδια κυψέλης

Τα ηλεκτρόδια της κυψέλης αποτελούν πολύπλοκες νανοδομές και περιέχουν καταλύτη, πόρους και ηλεκτρικά αγωγίμα υλικά. Όλες οι ηλεκτροχημικές αντιδράσεις που λαμβάνουν χώρα σε μία κυψέλη καυσίμου αποτελούνται από δύο επιμέρους ημι-αντιδράσεις. Την οξείδωση (oxidation) του υδρογόνου η οποία πραγματοποιείται στην άνοδο και την αναγωγή (reduction) του οξυγόνου στην κάθοδο.

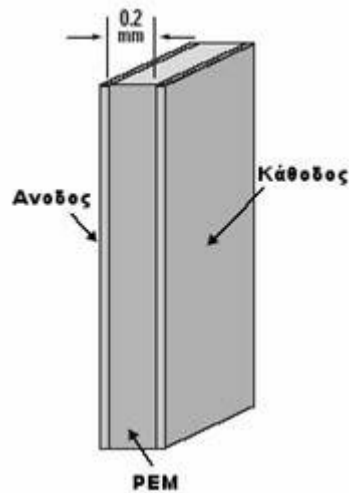
Με την οξείδωση του υδρογόνου παράγονται ιόντα υδρογόνου (πρωτόνια), τα οποία μεταφέρονται μέσω της ιοντικά αγωγίμης μεμβράνης στην κάθοδο και ηλεκτρόνια τα οποία διοχετεύονται στο εξωτερικό κύκλωμα καθώς η διέλευση τους μέσα από τη μεμβράνη δεν είναι δυνατή.

Η αναγωγή του οξυγόνου γίνεται καθώς το οξυγόνο το οποίο παρέχεται από τον αέρα έρχεται σε επαφή με τα ιόντα υδρογόνου και παράγεται νερό και θερμότητα. Αντίθετα με τη διαδικασία της οξείδωσης, στη διαδικασία της αναγωγής δεν έχει ακόμα κατανοηθεί ο μηχανισμός της αντίδρασης πλήρως.

Εδώ θα πρέπει να σημειωθεί ότι η ταχύτητα της καθοδικής αντίδρασης είναι 100 φορές μικρότερη από αυτή της ανόδου και αυτό δημιουργεί ένα σημαντικό όριο στην απόδοση της κυψέλης. Η χαμηλή ταχύτητα αναγωγής του οξυγόνου οφείλεται σε 3 παράγοντες:

- Στη μεγάλη ισχύ του δεσμού του μοριακού οξυγόνου και στην αυξημένη σταθερότητα του δεσμού Pt - O ή Pt - OH.

- Στο ότι είναι αντίδραση μεταφοράς 4 ηλεκτρονίων
- Στην δημιουργία παραπροϊόντων όπως το

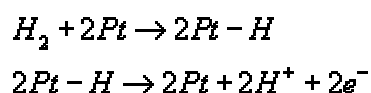


Σχήμα 13 Ηλεκτρόδια PEM κυψέλης

4.3 Καταλύτης κυψέλης

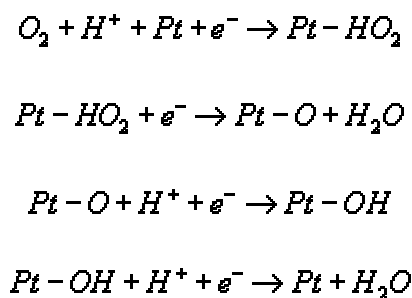
Οι δύο ημιαντιδράσεις, η οξείδωση δηλαδή του υδρογόνου και η αναγωγή του οξυγόνου, χαρακτηρίζονται από χαμηλές ταχύτητες στις χαμηλές θερμοκρασίες όπου λειτουργεί μια PEM κυψέλη καυσίμου και αυτό είναι που κάνει απαραίτητη την παρουσία καταλύτη. Ο καταλύτης όπου έχει μελετηθεί περισσότερο μέχρι στιγμής και για τις δύο αυτές αντιδράσεις είναι ο λευκόχρυσος, ένα αρκετά ακριβό υλικό.

Στην άνοδο ο καταλύτης δρα σε δύο στάδια, μέσω μίας διασπαστικής χημειορρόφησης και μίας αντίδρασης μεταφοράς ηλεκτρονίων, ως εξής:



Το ρυθμορυθμιστικό στάδιο της ολικής αντίδρασης αποτελεί η χημειορρόφηση.

Στην κάθοδο, αν και ο μηχανισμός αντίδρασης δε μπορεί ακόμα να περιγραφεί πλήρως, ένα μοντέλο είναι το εξής:



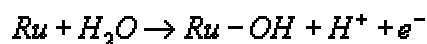
Στην κάθοδο εκτός από καθαρό ενεργό καταλύτη Pt γίνεται χρήση και κράμα Pt - Ru

Ο δεσμός μεταξύ και Pt και H είναι ούτε αρκετά ασθενής έτσι ώστε να γίνεται εύκολη η διάσπαση του μοριακού υδρογόνου, ούτε αρκετά ισχυρή έτσι ώστε το ατομικό υδρογόνο να διατίθεται άμεσα για χρήση στην κυψέλη. Αυτό το χαρακτηριστικό είναι που ξεχωρίζει το λευκόχρυσο ως καταλύτη. Ωστόσο επειδή πρόκειται για ακριβό υλικό απαιτείται η μεγιστοποίηση της καταλυτικά ενεργής επιφάνειας του καταλύτη. Έτσι κάθε ηλεκτρόδιο αποτελείται από πορώδες άνθρακα πάνω στο οποίο βρίσκονται σωματίδια Pt . Το πορώδες του ηλεκτροδίου βοηθάει στην ομοιογενή διάχυση του αερίου. Τόσο ο άνθρακας όσο και ο λευκόχρυσος αποτελούν ηλεκτρικά αγωγικά υλικά έτσι ώστε τα ηλεκτρόνια να κινούνται ελεύθερα μέσα στο ηλεκτρόδιο. Το μέγεθος των σωματιδίων του Pt είναι της τάξης των 2 νανομέτρων, κάτι το οποίο συνεπάγεται μεγάλη ολική επιφάνεια Pt προσβάσιμη από τα αέρια ακόμα και σε μικρή μάζα καταλύτη. Αυτά τα σωματίδια βρίσκονται διεσπαρμένα πάνω σε άλλα μεγαλύτερα σωματίδια άνθρακα μεγέθους περίπου 30 nm όπου με τη σειρά τους αποτελούν μέρη της μακροδομής του καταλύτη.

Η οξείδωση του υδρογόνου λαμβάνει χώρα σε όλη την έκταση του καταλύτη, σε παραπάνω από ένα ενεργό κέντρο του δηλαδή ταυτόχρονα. Στη μεγάλη αυτή διασπορά στην ουσία οφείλεται η ύπαρξη αξιολογής ροής ρεύματος.

Μειονέκτημα στη χρήση του Pt ως καταλύτη αποτελεί, εκτός το μεγάλο κόστος του, η μείωση της καταλυτικής του δράσης του ως συνέπεια της παρουσίας διαφόρων προσμίξεων όπως το CO στο καύσιμο του υδρογόνου αν αυτό προέρχεται από αναμόρφωση άλλων καυσίμων ακόμα και στις χαμηλές συγκεντρώσεις όπου αυτό συναντάται της τάξεως του 1%. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι η ισχύς του δεσμού Pt - CO είναι μεγαλύτερη του δεσμού Pt - H μειώνοντας τα καταλυτικά ενεργά κέντρα αφού για το σπάσιμο του πρώτου χρειάζονται θερμοκρασίες κοντά στους 150 °C. Αυτός είναι και ο λόγος όπου δικαιολογεί την έρευνα για μεμβράνες ικανές να λειτουργήσουν σε θερμοκρασίες μεταξύ των 120 °C και 200 °C αφού σε αυτήν την περιοχή η δηλητηρίαση είναι ελάχιστη και μειώνει παρά ελάχιστα την ολική απόδοση της κυψέλης.

Κράμα λευκόχρυσου-ρουθηνίου (Pt - Ru), επιπλέον, παρουσιάζει, καλύτερες καταλυτικές ιδιότητες από τον καθαρό Pt στην άνοδο γεγονός το οποίο έγκειται κυρίως στη μεγαλύτερη του ανθεκτικότητα στη δηλητηρίαση από το CO , με αποτέλεσμα μεγαλύτερες τάσεις εξόδου. Μπορούμε να καταλάβουμε καλύτερα το γιατί μέσω των επόμενων αντιδράσεων στις οποίες λαμβάνουν μέρος δύο κοντινά ενεργά κέντρα, Pt και Ru



Εξάλλου η ηλεκτρονική πυκνότητα του Pt μειώνεται, καθώς αυτό βρίσκεται στον καταλύτη ως μέρος κράματος και επομένως η ισχύς του δεσμού Pt - CO μειώνεται αφήνοντας μεγαλύτερη ποσότητα PtRu ελεύθερη. Άλλα κράματα του Pt εκτός του Pt

- Ru τα οποία έχουν μελετηθεί στο ρόλο του καταλύτη είναι τα Pt - Rh και Pt - Ir τα οποία όμως δεν είναι τόσο αποτελεσματικά όσο το πρώτο.

Τέλος εκτός από το CO και το CO₂ δρα σαν δηλητήριο καθώς αυτό παράγει CO όπως βλέπουμε από τις αντιδράσεις που ακολουθούν



και



4.4 Διαχείριση νερού

Η διαχείριση νερού (water management) είναι μία έννοια κλειδί όσων αφορά την αποτελεσματική λειτουργία μίας PEM κυψέλης. Παρόλο που το νερό αποτελεί προϊόν την αντίδρασης της κυψέλης και μεταφέρεται εκτός αυτής, τόσο το καύσιμο (υδρογόνο) όσο και ο αέρας (με το οξυγόνο που αυτός περιέχει) πρέπει να περιέχουν επαρκή ποσότητα υγρασίας έτσι ώστε η μεμβράνη να διατηρείται ένυδρη.

Ωστόσο, προσοχή πρέπει να δοθεί στο ποσό του νερού αυτού αφού λιγότερη από τη ιδανική ποσότητα επηρεάζει αρνητικά την ιοντική αγωγιμότητα της μεμβράνης με αποτέλεσμα τη μείωση του αποδιδόμενου ρεύματος. Αν ο ρυθμός με τον οποίο ο αέρας εισέρχεται στην κυψέλη είναι αργός τότε το νερό το οποίο παράγεται δεν απομακρύνεται αρκετά γρήγορα και αυτό έχει ως συνέπεια το "πλημμύρισμα" της καθόδου αποτρέποντας με τη σειρά του το οξυγόνο να εισέλθει στα καταλυτικά κέντρα της καθόδου.

4.5 Ροή αερίων και συλλογή ρεύματος

Σε επαφή με τα στρώματα υποστήριξης βρίσκεται υλικό (υπό μορφή πλάκας) το οποίο έχει διττό ρόλο στη λειτουργία της κυψέλης. Κατά πρώτον, καθορίζει το πεδίο ροής (flow field) των αερίων και κατά δεύτερον συλλέγει το παραγόμενο ρεύμα. Το υλικό αυτό είναι ελαφρύ, σκληρό, ανθεκτικό σε διαβρωτικές ουσίες, μη διαπερατό από αέρια και αγωγίμο. Γραφίτης και μέταλλα χαρακτηρίζονται από αυτές τις ιδιότητες και είναι αυτά όπου συνήθως χρησιμοποιούνται.

Οι πλάκες αυτές ορίζουν ένα πεδίο ροής στα εισερχόμενα αέρια. Αυτό γίνεται με τη βοήθεια καναλιών τα οποία βρίσκονται στη μία πλευρά της πλάκας με τέτοιο τρόπο ώστε το πεδίο να είναι ομοιογενές και να μεγιστοποιείται η απόδοση. Επίδραση στην απόδοση έχουν παράγοντες όπως το πλάτος και το βάθος των καναλιών αυτών. Βλέπουμε δηλαδή πως η κατασκευή των καναλιών επηρεάζει το πεδίο ροής των αερίων όπου με τη σειρά του επηρεάζει την αποδοτικότητα της κυψέλης. Εξάλλου η κατασκευή των καναλιών καθορίζει και την αποτελεσματική εισροή και εκροή του απαραίτητου για τη λειτουργία της κυψέλης νερού.

Δεύτερος σκοπός κάθε πλάκας είναι αυτός της συλλογής του παραγόμενου ρεύματος. Προκειμένου το ηλεκτρικό ρεύμα αυτό να διέλθει εκτός της κυψέλης μεταφέρεται από την άνοδο στο στρώμα υποστήριξης και στη συνέχεια στην πλάκα. Αυτή τροφοδοτεί το εξωτερικό κύκλωμα και στη συνέχεια το ρεύμα διέρχεται στην πλάκα της καθόδου.

4.6 Υπολογισμός τάσης ιδανικής κυψέλης καυσίμου

Για τον υπολογισμό της τάσης μιας ιδανικής κυψέλης καυσίμου απαιτείται η γνώση των ενεργειακών διαφορών μεταξύ αντιδρώντων ($H_2+1/2O_2$) και προϊόντων (H_2O). Αυτό γίνεται με τη βοήθεια της μεταβολής της ελεύθερης ενέργειας κατά Gibbs κατά τη μετατροπή των αντιδρώντων σε προϊόντα. Γνωρίζουμε πως η σχέση μεταξύ της μέγιστης τάσης ΔE και της ελεύθερης ενέργειας κατά Gibbs το ΔG δίνεται από τη σχέση (γ)

$$\Delta E = -\frac{\Delta G}{nF} \quad \gamma$$

όπου n είναι ο αριθμός των mol των ηλεκτρονίων όπου παίρνουν μέρος στην αντίδραση ανά mol H_2 και F η σταθερά του Faraday ίση με 96487 joules/volt. Η ελεύθερη ενέργεια υπολογίζεται από το τύπο

$$\Delta G = \Delta H - T\Delta S$$

όπου τα ΔH και ΔS είναι η μεταβολή της ενθαλπίας και της εντροπίας αντίστοιχα. Χρησιμοποιώντας θεωρητικά αριθμητικά δεδομένα για θερμοκρασία δωματίου έχουμε

$$\Delta G = -285800J - (298K)(-163,2J / K) = -273200J$$

και επομένως για την τάση ΔE έχουμε

$$\Delta E = -\left(\frac{-273200J}{2 \cdot 96487J}\right) = 1,42 V$$

Σε θερμοκρασία 80 °C η οποία και χαρακτηρίζει τη λειτουργία της κυψέλης τα ΔH και ΔS μεταβάλλονται πολύ λίγο κι έτσι έχουμε τελικά $\Delta E=1,18 V$. Αν επιπλέον επαναλάβουμε τους υπολογισμούς όχι για καθαρό οξυγόνο αλλά για αέρα βρίσκουμε μια νέα τιμή για την τάση ίση με 1,16 V.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

5.1 ΓΕΝΙΚΕΣ ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΤΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ

Η ενεργειακή αποθήκευση είναι μια γρήγορα μεταβαλλόμενη και αυξανόμενη τεχνολογία. Έχει τη δυνατότητα της αλλαγής του παραδοσιακού τρόπου με τα συστήματα ισχύος να προγραμματίζονται και να χρησιμοποιούνται. Τα κύρια πλεονεκτήματα από την ενεργειακή αποθήκευση θεωρούνται και προέρχονται από τη δυνατότητα της να εκμεταλλευθεί τις παραλλαγές φορτίων/τιμών.

- Βελτίωση της ποιότητας και της αξιοπιστίας (έλεγχος τάσης/συχνότητας, υποστήριξη και συστήματα έκτακτης ανάγκης).
- Βελτίωση της ικανότητας στην παραγωγή και τη διανομή.
- Ενσωμάτωση στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (ενίσχυση πλέγματος που απαλώνει την παραγωγή).

Παραδοσιακά η ενεργειακή αποθήκευση έχει χρησιμοποιηθεί για περισσότερο από 100 έτη στην ενέργεια του συστήματος ανεφοδιασμού. Η ενεργειακή αποθήκευση στην αρχή ολοκληρώθηκε με τη χρησιμοποίηση υδροαντλητικών εγκαταστάσεων με χαμηλότερο κόστος ή με χαμηλή διατιμημένη ηλεκτρική ενέργεια και πώληση ή χρησιμοποίηση εκείνης της ενέργειας όταν κόστιζε σε πραγματικό χρόνο παραγωγής, η τιμή της ενέργειας πολύ υψηλά.

Ο άλλος τύπος τεχνικής αποθήκευσης εν μέρει σε χρήση ήταν lead-acid μπάταριες ως υποστήριξη του κοντινού εξοπλισμού υποσταθμών υπερφόρτωσης, ή να παρέχουν την ικανότητα "μαύρης-έναρξης". Η χρήση της ενεργειακής αποθήκευσης δεν έχει μέχρι σήμερα επεκταθεί σημαντικά πέρα από αυτές τις εφαρμογές κυρίως για τρεις λόγους:

- Η χαμηλή τιμή των πηγών αρχικής ενέργειας και των συνεχών βελτιώσεων στον εξοπλισμό παραγωγής σημαίνει την οικονομικώς αποδοτική ηλεκτρική παραγωγή.
- Οι τεχνολογίες παραγωγής είναι γνωστές στους χειριστές και τους αρμόδιους για το σχεδιασμό, αλλά η αποθήκευση μπορεί να μην είναι.
- Οι παραγωγοί ηλεκτρικής ενέργειας είχαν, καθορισμένους με σαφήνεια, μακροπρόθεσμους στόχους και αγορές.

Με τη φιλελευθεροποίηση της ενεργειακής βιομηχανίας και με την εισαγωγή στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, ο ρόλος της ενεργειακής αποθήκευσης αναμένεται να κινηθεί από τον κεντρικό σύστημα παροχής στις πιο διανεμημένες ή τοπικές εφαρμογές. Αυτή η ευκαιρία προκύπτει εν μέρει επειδή οι τεχνολογίες αποθήκευσης έχουν γίνει πιο προηγμένες, μορφωτικός, και ευκολότερες να τις χρησιμοποιήσεις, και εν μέρει επειδή διαφορετικές οντότητες θα λειτουργήσουν στην παραγωγή, μετάδοση, διανομή, και στα κομμάτια τελικής χρήσης της ενεργειακής επιχείρησης, και κάθε μια μπορούν να χρησιμοποιήσουν την αποθήκευση που συναντιέται στις ανάγκες των πελατών και μεγιστοποιούν την επιστροφή τους στις επενδύσεις. Η αποδυνάμωση του μονοπωλίου οι δυνάμεις και ο αυξανόμενος ανταγωνισμός πιθανώς επίσης θα οδηγήσουν σε περισσότερη εστίαση πελατών.

Η οικονομική αξία και τα οφέλη της ενεργειακής αποθήκευσης μπορούν κατά προσέγγιση να διαιρεθούν σε τέσσερις κατηγορίες:

- Οφέλη ικανότητας (αποφύγετε ή αναβάλετε την επένδυση στις νέες παραγωγές και τη μετάδοση).
- Δυναμικά λειτουργούντα οφέλη (βελτιώστε τη ισχύς ποιότητας και αξιοπιστίας),
- Τακτικά και στρατηγικά οφέλη (προσθέστε την ευελιξία και μειώστε τον κίνδυνο στις εμπορικές συναλλαγές).
- Περιβαλλοντικά οφέλη (η λογική ενσωμάτωση των ανανεώσιμων ενεργειών, μπορεί να τρέξει εγκαταστάσεις παραγωγής ενέργειας στους βέλτιστους όρους που ελαχιστοποιούν τις εκπομπές).

Γενικά, η δυνατότητα αγοράς για τις συσκευές ενεργειακής αποθήκευσης εξαρτάται από έξι κύριες εκτιμήσεις:

- Ικανότητα παραγωγής (εκτίμηση ισχύος (πραγματική και αντιδραστική), περίοδος απαλλαγής, ποσοστά δαπανών/απαλλαγής, ποσοστά κεκλιμένων ραμπών)
- Ικανότητα αποθήκευσης
- Αποδοτικότητα
- Κύριες δαπάνες λειτουργίας/συντήρησης.
- Ζωή συσκευών (κύκλος)
- Ευκολία της εγκατάστασης, απαιτήσεις καθίσματος (ίχνος)

Κατά τη διάρκεια της τελευταίας δεκαετίας, εκτός από τις υδροαντλήσεις και lead-acid μπαταρίες, διάφορες νέες τεχνολογίες ενεργειακής αποθήκευσης έχουν διατεθεί (ή είναι σε προηγμένη κατάσταση της ανάπτυξης).

Τα κύρια συστήματα ενεργειακής αποθήκευσης είναι σήμερα

- Ηλεκτροχημικά
- μπαταρίες (οξύ μόλυβδου, NiCd)
- προηγμένες μπαταρίες (VRLA, NA s, λι)
- μπαταρίες ροής (BR ZN, V/V, NA Br/S)
- Μηχανικά
- Υδροαντληοταμίευση αποθήκευσης
- συμπιεσμένος αέρας ο (συμπεριλαμβανομένου μικροϋπολογιστής- caes)
- σφόνδυλοι (δυναμικοί)
- Ηλεκτρικά
- υπεραγωγικά μαγνητικά μέσα αποθήκευσης ο (συμπεριλαμβανομένων των μικροϋπολογιστής-MME)
- πυκνωτές (εξαιρετικά - ή έξοχος-πυκνωτές)
- Υδρογόνο
 - που συμπιέζεται
 - που υγροποιείται
- υδρίδια μετάλλων
- άνθρακας Nanotubes

Σε ένα πλέγμα ηλεκτρικής ενέργειας, μια συσκευή ενεργειακής αποθήκευσης μπορεί να εξυπηρετήσει διάφορες εφαρμογές και έχει έτσι τις διαφορετικές απαιτήσεις που ικανοποιούν. Στο απλούστερο επίπεδο, η ενεργειακή αποθήκευση χρησιμοποιείται για να ισορροπήσει τις διακυμάνσεις στην προσφορά και τη ζήτηση. Κατά τη διάρκεια των μικρών χρονικών περιόδων η απαίτηση είναι ουσιαστικά η συχνότητα και η τάση ελέγχου, ενώ στην άλλη μεριά η διαχείριση της ενέργειας

Οι εφαρμογές ενεργειακής αποθήκευσης αναμένονται καταρχήν να δημιουργήσουν τις ευκαιρίες ισχύος στις εμπορικές συναλλαγές, στη διαχείριση φορτίων, στη μετάδοση και διανομή, και στη ποιοτική υπηρεσία ισχύος.

Βασικά ζητήματα κατά την εξέταση θέσης είναι:

- Το μέγεθος των εγκαταστάσεων παραγωγής.
- Σχεδιαγράμματα παραγωγής και απαίτησης.
- Η ικανότητα και ο βαθμός χρησιμοποίησης του δικτύου μετάδοσης.
- Παραλλαγή του κόστους ως λειτουργία του μεγέθους των εγκαταστάσεων αποθήκευσης.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΣΕ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΠΕ/H₂/FC ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

Τα προγράμματα για τα ενσωματωμένα συστήματα ΑΠΕ/H₂/FC συνεχίζονται παγκοσμίως σε διαφορετικό βαθμό εφαρμογής. Μερικά από αυτά τα προγράμματα περιγράφονται σύντομα κατωτέρω.

6.1 UTSIRA ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ (ΝΟΡΒΗΓΙΑ)

Το νορβηγικό νησί Utsira είναι ανοικτό, από τον Ιούλιο του 2004, μια αποδεικτική περιοχή για μόνο σύστημα αέρας-υδρογόνου στάσεων. Αυτό το σύστημα θα παράσχει τη συνολική ηλεκτρική ενέργεια έτους για 10 σπίτια στο νησί. Το σύστημα αποτελείται από δύο ανεμοστροβίλους Enercon 600 kW, ένα σύστημα ηλεκτρόλυσης που παρέχονται από Norsk Hydro 48 kW (10 Nm³/h) και ένας σφόνδυλος 5 kW από Enercon. Η ηλεκτρική ενέργεια παραχθείσα θα εισαχθεί άμεσα στο πλέγμα του νησιού.

Η ηλεκτρική ενέργεια πλεονάσματος παραχθείσα θα αποθηκευτεί ως υδρογόνο που λαμβάνεται από το ύδωρ μέσω ενός συστήματος ηλεκτρόλυσης. Για την αποθήκευση υδρογόνου υπάρχει μια δεξαμενή πίεσης 20 MPa (φραγμός 200) με 2.400 Nm³. Όταν η ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας είναι υψηλότερη από την παραγωγή αέρα, τα κύτταρα 10 kWe (ή επίσης μηχανές καύσης υδρογόνου 55 kWe) είναι διαθέσιμα. ο σφόνδυλος τα σταθεροποιεί. Είναι απαραίτητο για την αποφυγή των ασταθειών τάσης που εισάγονται το αποδεικτικό πλέγμα για αυτά τα 10 σπίτια, όταν αρχίζει ένας στρόβιλος.

6.2 ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΕΠΙΔΕΙΞΗΣ. HYDROGEN U.K: ΚΑΘΑΡΟΣ - ΠΡΟΑΓΟΝΤΑΣ UNST ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ

Το πρόγραμμα θα εγκαταστήσει 2 ανεμοστροβίλους 15 kW κάθε ένας, σύστημα ηλεκτρόλυσης, εγκαταστάσεις αποθήκευσης υδρογόνου, και ένα kW σύστημα κύτταρων καυσίμων υδρογόνου σε 5 βιομηχανικές μονάδες, σε βιομηχανική περιοχή στο νησί Unst στο Shetland. Το πρόγραμμα έχει εξασφαλίσει οικονομική υποστήριξη από το ERDF, την επιχείρηση ορεινών περιοχών & νησιών, Shetland Enterprise και Shetland συμβούλιο νησιών. Το πρόγραμμα παρέχει τα στοιχεία των μακρινών νησιών για την υποστήριξη, με καινοτόμους τρόπους, της ανάπτυξης της οικονομίας υδρογόνου. Παρέχει ένα τρόπο για το πώς η τοπική κοινότητα μπορεί να πάρει τον έλεγχο σε ενεργειακές πρωτοβουλίες. Αυτό είναι το πρώτο κοινοτικό-κύριο πρόγραμμα υδρογόνου που καθιερώνεται.

6.3 ΑΝΤΑΡΚΤΙΚΗΣ ΕΜΠΕΙΡΙΑ: ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΥΔΡΟΓΟΝΟΥ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΣΕ MAWSON

Το πρόγραμμα επίδειξης Mawson θα ερευνήσει την ασφάλεια και τις λειτουργικές πτυχές της χρησιμοποίησης του υδρογόνου στο σταθμό, καθώς επίσης και τη βιωσιμότητά του ως σημαντικό ενεργειακό μεταφορέα. Το υδρογόνο θα παραχθεί χρησιμοποιώντας την ενέργεια από τους ανεμοστροβίλους Mawson, που αποθηκεύονται και χρησιμοποιούνται σε ένα κύτταρο καυσίμων δοκιμής, ως καύσιμο σε μια θερμάστρα και σε ένα από τα οχήματα σταθμών. Για το πρόγραμμα επίδειξης, αυτό προγραμματίζεται να εγκαταστήσει το κύτταρο καυσίμων δοκιμής και τη θερμάστρα στο στρατόπεδο τομέων στο νησί Bechevaise. Θα παρέχουν την ηλεκτρική ενέργεια και τη θερμότητα στους επιστήμονες μέσα το πρόγραμμα ελέγχου penguin. Το υδρογόνο που χρησιμοποιείται από το γραφείο του προσωπικού μετεωρολογίας για τις καθημερινές πτήσεις καιρικών μπαλονιών παράγεται μέσω του προγράμματος. Οποιοδήποτε υπερβολικό υδρογόνο παραχθέν θα είναι αποθηκευμένο και χρησιμοποιημένο για το πρόγραμμα.

6.4 BUSES ΤΡΕΧΟΝΤΑΣ ΣΤΟ ΥΔΡΟΓΟΝΟ ΓΙΑ ΤΟ MACARONESIA (HYDROBUS)

Αποδεικτικό πρόγραμμα για την τεχνική και οικονομική μελέτη της αστικής μεταφοράς, της οποίας η χρησιμοποίηση των τεχνολογιών υδρογόνου, θα ενισχύσει τους πόρους στο αρχιπέλαγος Macaronesia μέσω των αυτόνομων συστημάτων παραγωγής υδρογόνου, όπως WECS που συνδέονται με το πλέγμα. Η παραγωγή, η αποθήκευση και η διανομή των εγκαταστάσεων θα ολοκληρωθούν με τα λεωφορεία χρησιμοποιώντας το υδρογόνο ως καύσιμο με ένα κύτταρο καυσίμων PEM. το πρόγραμμα περιλαμβάνει τέσσερις εγκαταστάσεις (στις -Αζόρες, tenerife, EL Hierro Y Gran Canaria - οι Κανάριες Νήσοι), και οι πρώτες φάσεις του προγράμματος θα αναπτύξουν όλες τις απαραίτητες μελέτες (περιβαλλοντικές, αγορά, μελέτες σκοπιμότητας και ασφάλεια των υποδομών) καθώς επίσης και απόκτηση στοιχείων και καθορισμό εξοπλισμού των συστημάτων, και το πρόγραμμα εφαρμοσμένης μηχανικής των εγκαταστάσεων.

6.5 INTEGRATING ΜΟΝΟΣ ΑΝΕΦΟΔΙΑΣΜΟΣ ΣΤΗΝ ΤΕΛΙΚΗ ΧΡΗΣΗ ΓΙΑ ΒΙΩΣΙΜΟ ΤΟΥΡΙΣΜΟΣ (ΠΡΑΣΙΝΟ ΞΕΝΟΔΟΧΕΙΟ)

Το πρόγραμμα στοχεύει στην ανάπτυξη μιας βιώσιμης κοινότητας στο νησί της Μαδέρας που βασίζεται στο ενσωματωμένο αποδοτικό σύστημα ενέργειας και

παραγωγής και διαχείρισης ύδατος, αποβλήτων διαχείριση και ένα σχέδιο κινητικότητας σε ένα νέο ξενοδοχείο 140 δωματίων και μια μαρίνα, κοντά σε μια κοινότητα 230 κατοίκων. Επίσης στην ενσωμάτωση προηγμένου βιώσιμου σχεδίου και κατασκευές βασισμένες σε παθητικούς, σε ηλιακούς με την καινοτόμο διανεμημένη ενέργεια συστήματος παραγωγής (αέρας, PV και ηλιακός συμπυκνωτής). Καύσιμα για να παραγάγει την ηλεκτρική ενέργεια και την θερμότητα θα χρησιμοποιηθούν στη μαρίνα. Θα περιλάβει την ολοκλήρωση ενός συστήματος κυττάρων καυσίμων σύμφωνα με τα νησιά που περιορίζει, όπου κανένα φυσικό αέριο δεν είναι διαθέσιμο.

6.6 ΥΒΡΙΔΙΚΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΥΔΡΟΓΟΝΟΥ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ (ΚΑΝΑΡΙΑ νησιά-Ισπανία)

Το ίδρυμα Κανάρια νήσων τεχνολογίας (ITC) αναπτύσσει έναν αποδεικτικό πρόγραμμα για το σχέδιο, την εγκατάσταση, την αξιολόγηση και τη βελτιστοποίηση ενός μικρής κλίμακας υδρογόνου συστήματος παραγωγής για την πιο πρόσφατη χρήση του ως καύσιμα για τη μεταφορά. Το σύστημα, το οποίο θα είναι σε λειτουργία στις εγκαταστάσεις ITC θα αποτελείται από μια εγκατάσταση PV 10 kWp, ένα ηλιακό θερμικό σύστημα με 10 m² συλλεκτών, 3 kW σύστημα ηλεκτρόλυσης, ένας συμπιεστής και ένα σύστημα αποθήκευσης υδρογόνου. Ο στόχος είναι να εξεταστεί και να βελτιστοποιηθεί η ηλεκτρική και η θερμική ενεργειακή συμβολή στο σύστημα. Το παραχθέν υδρογόνο θα χρησιμοποιηθεί για να εφοδιάσει μια μικρή μοτοσυκλέτα με το κύτταρο καυσίμων.

6.7 CLUSTER ΠΙΛΟΤΙΚΟ ΕΡΓΟ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΝΤΑΞΗ ΤΟΥ ΑΠΕ ΕΥΡΩΠΑΪΚΟΙ ΤΟΜΕΙΣ ΤΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΟΥΝ ΤΟ ΥΔΡΟΓΟΝΟ (ΑΠΕ2H2)

Προορίζεται να σχεδιαστούν, να εγκατασταθούν και να εξεταστούν οι τεχνολογίες για την παραγωγή υδρογόνου, αποθήκευση και χρήση σε δύο υπάρχοντα πάρκα αέρα, ένα στην Ελλάδα και ένα άλλο στην Ισπανία. Για την περίπτωση της Ελλάδας, μια 100 kW μονάδα ηλεκτρόλυσης θα συνδεθεί με 500 kW όλο τον χρόνο, ενός σύγχρονου, multipole E40 ανεμοστρόβιλου Enercon. Το υδρογόνο θα αποθηκευτεί σε δεξαμενές υδριδίων μετάλλων και θα βρίσκονται στους κυλίνδρους σε έναν σταθμό πλήρωσης. Αυτό το υδρογόνο θα μπορούσε ενδεχομένως να υπάρχει στην παραδοσιακή αγορά υδρογόνου, ως πρώτο βήμα στην άδεια της βιομηχανίας να εξοικειωθεί με τις τεχνολογίες υδρογόνου. Για την περίπτωση της Ισπανίας, υδρογόνο και ύδωρ θα παραχθεί και θα αποθηκευτεί, μέσω της άμεσης σύνδεσης μιας ανεμογεννήτριας kW 450 σε ένα σύστημα ηλεκτρόλυσης και μια μονάδα αντίστροφης όσμωσης, αντίστοιχα (αυτόνομο πλέγμα). Το υδρογόνο θα χρησιμοποιηθεί στη συνέχεια για την παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας μέσω των κυττάρων καυσίμων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

ΔΙΕΙΣΔΥΣΗ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΩΝ ΠΗΓΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΑ ΕΛΛΗΝΙΚΑ ΝΗΣΙΑ

Μέχρι το έτος 2006, η ΔΕΗ, οι ανεξάρτητοι παραγωγοί ηλεκτρικής ενέργειας και οι ιδιώτες θα έχουν εγκαταστήσει 50 πάρκα αέρα στα ελληνικά νησιά με μια συνολική ισχύς σχεδόν 1200 MW. Μέχρι το ίδιο έτος, 3000 KWp των φωτοβολταϊκών συστημάτων ισχύος θα είναι εγκατεστημένα στα ελληνικά νησιά. Επιπλέον, στην Κρήτη υπάρχει μια μικρή υδροηλεκτρική μονάδα (300 KW) και μια βιοαέριο μονάδα (166KW). Τα Υβριδικά συστήματα στην Ελλάδα καθορίζονται σύμφωνα με το άρθρο 2 οδηγία 2001/77/EC. Κατά συνέπεια, αυτές οι εγκαταστάσεις εκμεταλλεύονται την ευνοϊκή τιμολογιακή θέση όπως όλες τις άλλες εγκαταστάσεις ΑΠΕ, αν και στο μη-διασυνδεδεμένο σύστημα (π.χ. νησί) δεν απαλλάσσονται από τη διαδικασία ανταγωνισμού, η οποία είναι μια προϋπόθεση για έκδοση μιας άδειας παραγωγής, στο απομονωμένο ηλεκτρικό σύστημα του νησιού Ικαρία, η ΔΕΗ S.A. κατασκευάζει το πρώτο υβριδικό ενεργειακό σύστημα που αποτελείται από μια χαρακτηριστική υδροηλεκτρική μονάδα συνδεδεμένη με δύο αντλίες αποθηκεύοντας στις εγκαταστάσεις 3,8 MW, που υποστηρίζεται από ένα πάρκο αέρα 2,4 MW, για τη συνολική παραγωγή 0,014 Wh/έτος. Το ηλεκτρικό σύστημα του νησιού Ικαρία, το οποίο αναμένεται για να παράγει 23 GWh για το έτος 2008, περιλαμβάνει έναν σταθμό diesel 5,8 MW, το οποίο υποστηρίζεται από έναν κινητό, diesel - θερμική μονάδα 3,1 MW και ένα πάρκο αέρα 0,385 MW. Το πάρκο αέρα υπό την κατασκευή αποτελείται από 4 ανεμογεννήτριες με τη συνολική ισχύς 2,4 MW. Το ενεργειακό εισόδημα του εν μέρους αέρα πρόκειται να έρθει μέχρι 6.23 GWh (27.1%), ενώ το υδροηλεκτρικό μέρος θα παράγει 7,96 GWh (34.6%) και η υπόλοιπη ενέργεια 8,80 GWh (38.3%) θα προέλθει από τη συμβατικά παραχθείσα ενέργεια κατά τη διάρκεια οποιοδήποτε έτους χαρακτηριστικής πτώσης. Υπάρχουν πολλά νησιά με σημαντική διείσδυση ΑΠΕ που υπερβαίνει 10% (Κρήτη, Σύρος, Κύθνος, Λέσβος, Άγιος Ευστράτιος, Χίος, Σάμος), άλλα νησιά με μέτρια διείσδυση (Λήμνος, Ικαρία), και άλλα νησιά χωρίς διείσδυση ΑΠΕ καθόλου. Το σύνολο διείσδυσης ΑΠΕ από την άποψη της εγκατεστημένης ικανότητας υπερβαίνει 8% ενώ από την άποψη της ενέργειας στην παραγωγή αυτό υπερβαίνει το 5%.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8

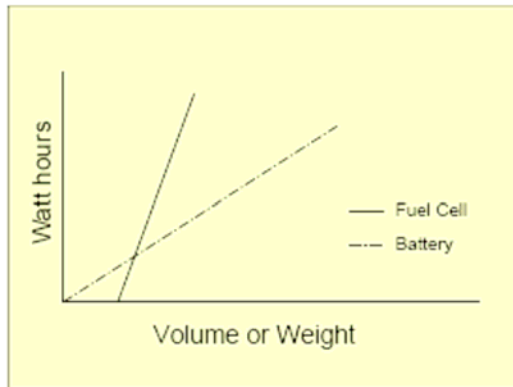
ΔΙΑΦΟΡΕΣ LEAD ACID ΜΠΑΤΑΡΙΑΣ – ΚΥΨΕΛΩΝ ΚΑΥΣΙΜΟΥ

| Lead Acid μπαταρίες | Κύτταρα καυσίμων |
|--|---|
| Αποδοτικότητα 70-80% αποθήκευσης ανάλογα με την ηλικία. | Αποδοτικότητα 75-98% αποθήκευσης ανάλογα με τη σχεδιασμένη εκτίμηση ισχύος |
| Η ικανότητα αποθήκευσης και η εκτίμηση ισχύος συσχετίζονται από τη χημική αποθήκευση στα ηλεκτρόδια. | Τα αμέτοχα ηλεκτρόδια επιτρέπουν στην ικανότητα αποθήκευσης και την εκτίμηση ισχύος να σχεδιαστούν ανεξάρτητα. |
| Εύκολα χαλασμένος με την πλήρη απαλλαγή ή την υπερφόρτωση. | Καμία ζημία από την πλήρη απαλλαγή, αλλά την υπερφόρτωση δεν πρέπει να αποτραπεί. |
| Χαλασμένος με τη γρήγορη απαλλαγή. | Χαλασμένος με τη γρήγορη απαλλαγή. |
| Η επαναφόρτιση πρέπει να είναι αργή. | Η επαναφόρτιση μπορεί να είναι στιγμιαία, επαναφόρτιση είναι δυνατή με την αντικατάσταση των ηλεκτρολυτών. |
| Διάρκεια ζωής που μειώνεται από τη δαπάνη/την απαλλαγή micro cycles όπως στις ηλιακές και εφαρμογές αέρα. | Επηρεασθείς από τη δαπάνη/την απαλλαγή micro cycles. |
| Απαιτεί την κανονική συντήρηση. | Πολύ χαμηλή συντήρηση αναμενόμενη. |
| Η κανονική διάρκεια ζωής υπερβαίνει σπάνια πέντε έτη. | Η διάρκεια ζωής ανέμεινε να υπερβεί σημαντικά 20 έτη. |
| Το κόστος και το μέγεθος της μπαταρίας ανά κιλοβάτ είναι σταθερά καθώς η ικανότητα αποθήκευσης αυξάνεται. | Το κόστος ανά κιλοβάτ μειώνεται καθώς η ικανότητα αποθήκευσης αυξάνεται και το μέγεθος είναι μικρότερο από τη lead-acid μπαταρία. |
| Αργός self-discharge εμφανίζεται από τις χημικές αντιδράσεις στα κύτταρα. | Ο χωρισμός των ηλεκτρολυτών αποτρέπει self-discharge, αλλά οι δεξαμενές ηλεκτρολυτών πρέπει να είναι αεροστεγείς. |
| Οι ογκώδεις εξωτερικοί διορθωτές και οι αναστροφείς απαιτούνται για την εισαγωγή και την παραγωγή εναλλασσόμενου ρεύματος. | Η εισαγωγή και η παραγωγή εναλλασσόμενου ρεύματος είναι δυνατές με τα συμπαγή ενσωματωμένα στοιχεία κυκλώματος Cellennium. |
| Η απόρριψη των παλαιών μπαταριών είναι ένας πιθανός περιβαλλοντικός κίνδυνος. | Περιορισμένη περιβαλλοντική επίδραση. |
| Μια παλαιά ώριμη τεχνολογία. Όχι άλλο σημαντικές πρόοδοι είναι δυνατές. | Μια νέα τεχνολογία με τη δυνατότητα για ποικίλες νέες σημαντικές προόδους. |

Πίνακας 2 Αναφορά διαφορών ανάμεσα σε μπαταρίες και κυψέλες καυσίμων

Τα κύτταρα καυσίμων έχουν ένα πεπερασμένο βάρος και έναν όγκο, για μηδέν βατώρες

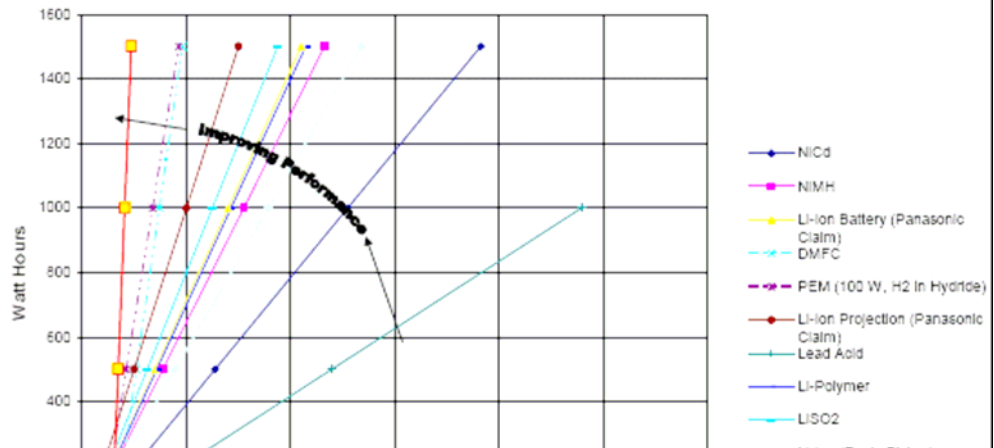
Επομένως οι βατώρες δεν είναι σταθερές για ένα κύτταρο καυσίμων



Σχήμα 14 Σχέση βατών / βάρους

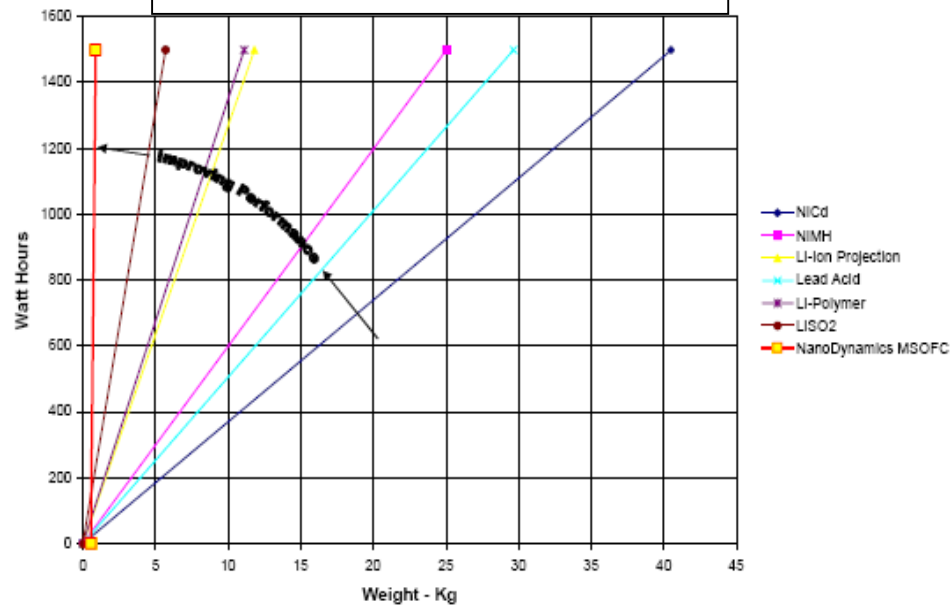
Fuel Cell vs Battery

Volume Comparison



Fuel Cell vs Battery

Σχήμα 15 Σύγκριση βατών / όγκου



Σχήμα 16 Σύγκριση μπατάρων / βάρους

| ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ | ΜΠΑΤΑΡΙΕΣ | ΚΥΨΕΛΕΣ ΚΑΥΣΙΜΟΥ |
|---------------------------------|------------------------|--|
| Χρόνος δαπανών/απαλλαγής | 1 έως 10 ώρες | Χαρακτηριστικά 10 έως 300 ώρες. Στιγμιαία δαπάνη (ανεφοδιάστε σε καύσιμα). |
| Λειτουργούσα θερμοκρασία | -20 + σε 65 γ | + 25 + σε 90 γ |
| Λειτουργούσα τάση | 1,25 έως 4,2 B/κύτταρο | 0,6 B/Κύτταρο |
| Ικανότητα | ΑΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΤΟΣ | ΑΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΤΟΣ |
| Ζωή | 150 έως 1500 κύκλοι | 1500 έως 10.000 ώρες |
| Βάρος | 1 γ σε πάνω από 10 κλ | 20 γ σε πάνω από 5 κλ |
| Πυκνότητα ισχύος | 0,005 έως 0,4 kW/kl | 0,001 έως 0,1 kW/kl |
| Ενεργειακή πυκνότητα | 8 έως 600 Wh/kl | 300 έως 3000 Wh/kl |
| Φορτίο σφυγμού | Μέχρι 5 A | Μέχρι 150 mA/t.ek |

Πίνακας 3 Συγκριτικά χαρακτηριστικά μπαταριών και κυψελών καυσίμων

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9

ΣΥΓΚΕΚΡΙΜΕΝΕΣ ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΡΕΜ – ΜΠΑΤΑΡΙΑΣ

Η αξιοπιστία του ευαίσθητου ηλεκτρονικού εξοπλισμού εξαρτάται πολύ από την αξιοπιστία του πλέγματος ισχύος. Τα συστήματα παροχής ηλεκτρικού ρεύματος (UPS) χρησιμοποιούνται για να γεφυρώσουν τις διακοπές λειτουργίας ισχύος, που κατά συνέπεια έχει τη βελτίωση της αξιοπιστίας.

Οι μελέτες δείχνουν ότι η αξιοπιστία 99% των κυττάρων καυσίμων τις καθιστά ταιριασμένες για να επιτύχει μια αυξανόμενη διαθεσιμότητα των προστατευμένων συστημάτων από τις μπαταρίες, οι οποίες είναι μόνο 20% αξιόπιστες. Και οι αριθμοί για τις μπαταρίες επιδεινώνονται δραστικά ανάλογα με τον τρόπο της ηλεκτρικής καλωδίωσης.

Επομένως, τα περιττά - και ως εκ τούτου ακριβά - συστήματα μπαταριών χρησιμοποιούνται στις κρίσιμες εφαρμογές που απαιτούν τη μέγιστη πιθανή αξιοπιστία για να αποζημιώσουν αυτές τις ανεπάρκειες. Αντίθετα, τα συστήματα καύσιμο-κυττάρων μπορούν να παρέχουν αξιοπιστία 99,99995%, που τα κάνει μία άριστη νέα εναλλακτική λύση των μπαταριών.

9.1 Συγκρίσεις

Τα συστήματα τηλεπικοινωνιών, οι τεχνολογίες Διαδικτύου, και οι τεχνολογίες δικτύων αποτελούν ένα κρίσιμο ίδρυμα για πολλές επιχειρήσεις. Η διαθεσιμότητα τέτοιων συστημάτων αποδεικνύεται. Ένα έτος έχει 365 ημέρες, ή 8760 ώρες, ή 210.240 λεπτά. Η αξιοπιστία 99% αυτό σημαίνει ότι ο εξοπλισμός αποτυγχάνει περίπου 88 ώρες ετησίως. Για πολλές εταιρικές εφαρμογές, αυτή η κατάσταση θα ήταν ανυπόφορη. Για αυτό υπάρχουν απαιτήσεις για την υψηλή διαθεσιμότητα περίπου 99,99995% σήμερα - με άλλα λόγια, ολόκληρος ο ετήσιος ο χρόνος διακοπής είναι περίπου 10 λεπτά.

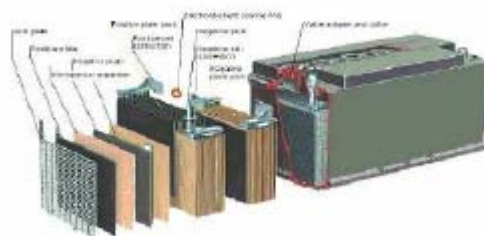
Μια σημαντική πηγή δυσλειτουργιών είναι η παροχή ηλεκτρικού ρεύματος. Εδώ, οι περισσότερες δυσλειτουργίες δεν οφείλονται στην παραγωγή της ισχύος, αλλά μάλλον στις διαταραχές στα ηλεκτροφόρα καλώδια που προκαλούνται από άλλες ηλεκτρονικές συσκευές, ανθρώπινο λάθος, ή τον καιρό. Αλλά ανεξάρτητα από το λόγο, ο ηλεκτρονικός εξοπλισμός αποτυγχάνει κατά συνέπεια, ακόμα κι αν η ισχύς βγαίνει μόνο για ένα μέρος ενός δευτερολέπτου.

Επομένως, οι διαφορετικές στρατηγικές έχουν αναπτυχθεί για να αποτρέψουν τις δυσλειτουργίες και να περιορίσουν τη ζημία. Μία από τις περισσότερο κοινές μεθόδους, χρησιμοποιούμενες, είναι συστήματα παροχής ηλεκτρικού ρεύματος, αποκαλούμενα επίσης εφεδρικές μονάδες ή γεννήτριες έκτακτης ανάγκης. Εδώ, ο

στόχος είναι πάντα να γεφυρωθούν οι διακυμάνσεις ή οι διακοπές λειτουργίας ισχύος για τον πιο πιθανό μακροχρόνιο χρόνο.

Η αξιοπιστία ενός συστήματος για την ισχύ εξαρτάται από την αξιοπιστία κάθε ενιαίου συστατικού και καθορίζεται από την ποιότητα των χρησιμοποιούμενων εξαρτημάτων και του εφαρμοσμένου σχεδίου συστημάτων. Για εκείνο τον λόγο, η αξιοπιστία ενός βασισμένου στην μπαταρία συστήματος για την ισχύ τώρα συγκρίνεται με αυτό ενός βασισμένου συστήματος κυττάρων καυσίμων PEM.

Τα συστατικά που έχουν την περισσότερη επιρροή στην αξιοπιστία του γενικού συστήματος λαμβάνονται στην εκτίμηση για την αξιολόγηση της γενικής αξιοπιστίας του συστήματος. Για τα συστήματα μπαταριών, όλοι οι φραγμοί μπαταριών όλα τα κύτταρα - που απαιτούνται για να προβλέψουν τη ισχύ λαμβάνονται υπόψη. Από "την μπαταρία", αναφερόμαστε σε VRLA (ρυθμισμένο βαλβίδα οξύ μόλυβδου) μπαταρίες κατωτέρω. Αυτές οι μπαταρίες πωλούνται συχνά όπως συντήρηση - ελεύθερες, μπαταρίες 10-ετών.



Σχήμα 17
Απεικόνιση
τιμημάτων
μπαταρίας

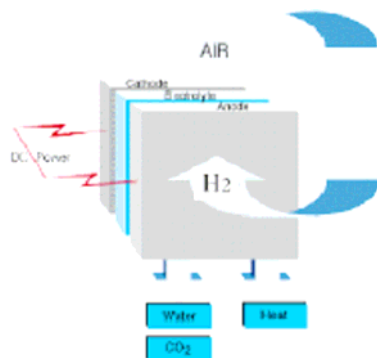
Για τα κύτταρα καυσίμων, όλα τα μέρη (μηχανικός, ηλεκτρονικός, και ηλεκτροχημικός) που παίζουν το μεγαλύτερο μέρος στην παραγωγή της ισχύος (σωρός κυττάρων) ή ότι απαιτείται για τη γενική διαδικασία (εξαεριστήρες, βαλβίδες, εξοπλισμός ελέγχου) λαμβάνονται υπόψη. Υπάρχουν βασικές διαφορές με τον τρόπο που τα δύο συστήματα λειτουργούν.

Πώς δουλεύουν;

Ηλεκτροχημικά, τα κύτταρα μιας μπαταρίας είναι πάντα σε λειτουργία. Η εσωτερική ροή της ισχύος συνεχώς πραγματοποιείται, απαλλάσσοντας βαθμιαία την μπαταρία. Για αυτό οι μπαταρίες πρέπει να είναι τακτικά επαναφορτισμένες. Επιπλέον, οι περιβαλλοντικές συνθήκες έχουν επιπτώσεις στην απόδοση του συστήματος αρκετά, π.χ. η περιβαλλοντική θερμοκρασία που είναι κύρια μεταξύ πολλών. Εάν η περιβαλλοντική θερμοκρασία αυξάνεται 10 °C επάνω από τη βέλτιστη λειτουργούσα θερμοκρασία 20 °C, η ζωή υπηρεσιών των μπαταριών έχει πτώση κατά 50%. Επιπλέον, η σταθερή φόρτιση και η εκφόρτιση της μπαταρίας κονταίνουν επίσης τη ζωή υπηρεσιών της.

Όλοι αυτοί οι παράγοντες μπορούν να συνοψιστούν σε μια απλή φράση: "Οι μπαταρίες είναι πάντα σε λειτουργία"

Αντίθετα, ένα σύστημα κυττάρων καυσίμων είναι ένας συνδυασμός μηχανικών και ηλεκτροχημικών εξαρτημάτων, που μπορεί να ελεγχθεί ηλεκτρονικά. Η κύρια διαφορά μεταξύ ενός τέτοιου συστήματος και μιας μπαταρίας είναι η καρδιά του συστήματος: ο σωρός. Όπως μια μπαταρία, είναι ένα ηλεκτροχημικό συστατικό - με μια σημαντική διαφορά: "Καμία αντίδραση δεν εμφανίζεται όταν δεν είναι σε λειτουργία!"



Σχήμα 18
Απεικόνιση
τμημάτων
κυψέλης
καυσίμων

Ο λόγος είναι ότι το υδρογόνο και το ατμοσφαιρικό οξυγόνο εισάγονται στο σωρό και παράγουν την ηλεκτρική ενέργεια όταν είναι σε λειτουργία. Με άλλα λόγια: "Ένα κύτταρο καυσίμων είναι μόνο σε λειτουργία όταν παράγει τη ισχύ!"

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 10

10.1 ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΗΣ ΑΞΙΟΠΙΣΤΙΑΣ ΕΝΟΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΜΠΑΤΑΡΙΩΝ

Η αξιολόγηση της αξιοπιστίας ενός συστήματος μπαταριών είναι βασισμένη σε μελέτες που περιγράφουν την απάντηση των μπαταριών VRLA σε μια μεγάλη δοκιμή τομέων στις ΗΠΑ που περιέλαβαν 742.587 κύτταρα. Εδώ, οι μπαταρίες χρησιμοποιήθηκαν σε όλα τα είδη στάσιμων εφαρμογών (UPS, Τηλεπικοινωνίες, και φωτοβολταϊκά). Η μελέτη διαπίστωσε ότι, στο μέσο όρο, οι μπαταρίες είναι μόνο 67% αξιόπιστες στα πρώτα τέσσερα έτη – μέσα από άλλες λέξεις, δυσλειτουργίες είναι αναγκασμένες να συμβούν.

"Η συγκεκριμένη αξιοπιστία των μπαταριών συστήματος μπορεί να καθοριστεί βασισμένη στη ισχύ παραγωγής της και στην ηλεκτρική καλωδίωση! "Παραδείγματος χάριν, για 12V οι μπαταρίες συνδέονται συνήθως στη σειρά σε ένα σύστημα 48V. Η γενική αξιοπιστία αυτής της αλυσίδας είναι $0,674 = 0,20$ δηλαδή 20%.

"Μετά από τα πρώτα τέσσερα έτη, μόνο 20% όλων των συστημάτων μπαταριών παρέχουν ακόμα την πλήρη ικανότητα και παραγωγή!"

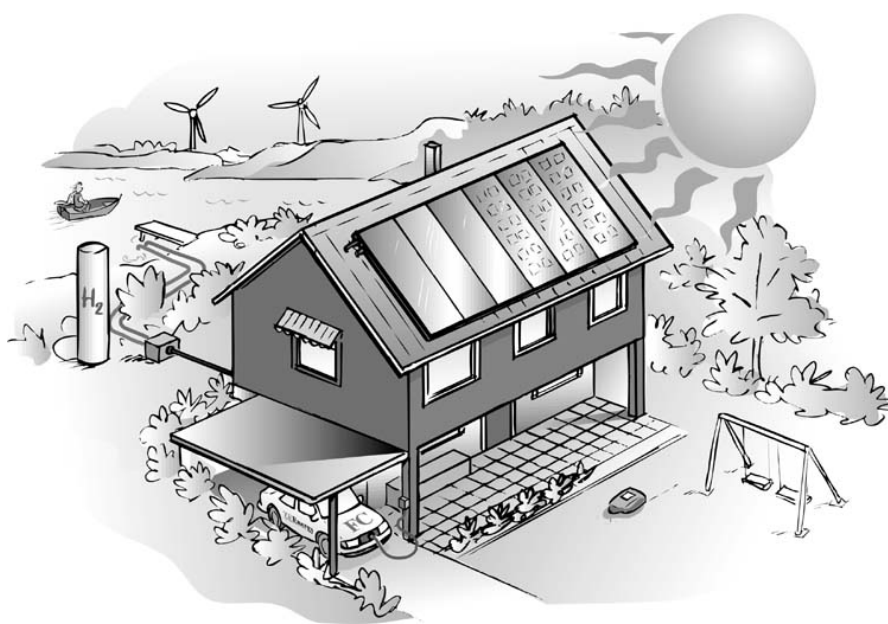
10.2 ΜΙΑ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΗΣ ΑΞΙΟΠΙΣΤΙΑΣ ΕΝΟΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΚΥΤΤΑΡΩΝ ΚΑΥΣΙΜΩΝ

Ένας άλλος τύπος υπολογισμού απαιτείται για τα συστήματα καύσιμο-κυττάρων, που αποτελούνται από έναν μεγάλο αριθμό υποσυστημάτων. Εδώ, τα αποτελέσματα των περιβαλλοντικών συνθηκών και των λειτουργούντων όρων πρέπει να αντιμετωπισθούν χωριστά για κάθε υποσύστημα. Όπως αναφέρεται ανωτέρω, όλα τα τμήματα συστημάτων που έχουν σημαντική επίδραση στην αξιοπιστία του γενικού συστήματος πρέπει να προσδιοριστούν. Για τα μηχανικά και ηλεκτρονικά αισθητήρια, οι εκτιμήσεις που παρέχονται από τους κατασκευαστές χρησιμοποιούνται. Η σημαντικότερη παράμετρος είναι το MTBF (σημαίνει το χρόνο

μεταξύ των αποτυχιών). Για έναν σωρό κυττάρων, ο υπολογισμός είναι βασισμένος σε μια δοκιμή αντοχής που διαρκεί περισσότερο από 600 ώρες σε λειτουργία. Τα στοιχεία MTBF που παρέχονται από τους κατασκευαστές παρέχονται πάντα για το εν λόγω συστατικό. Εντούτοις, είναι σημαντικό να λάβει υπόψη κανείς ότι αυτά τα συστατικά είναι μόνο σε λειτουργία μέσα σε κύτταρο καυσίμων όταν το σύστημα είναι ενεργό, δηλ. κατά τη διάρκεια των δοκιμών ή όταν παράγεται η ισχύς. Με άλλες λέξεις, η ζωή υπηρεσιών των εξαρτημάτων στο σύστημα πρέπει να είναι πολύ υψηλότερες από τις εκτιμήσεις που προτείνει. Εάν προσπαθούμε τώρα να κάνουμε έναν υπολογισμό από αυτήν την διορατικότητα, θα διαιρούσαμε το σύνολο ζωή υπηρεσιών που δίνεται στις ώρες από τον αριθμό λειτουργικών ωρών ετησίως για να πάρουμε τη μέγιστη υπηρεσία ζωής για την παροχή ηλεκτρικού ρεύματος.

Ένας δεύτερος υπολογισμός θα αφορούσε την αξιοπιστία ως ποσοστό του ποσού του MTBF. Καθώς κάθε κατασκευαστής παρείχε αυτόν τον αριθμό, έτσι μια απαισιόδοξη αξία 90% υποτέθηκε. Με βάση τις υποθέσεις ανωτέρω, η αξιοπιστία είναι περίπου 0,99 κατά τη διάρκεια τεσσάρων ετών.

"Μετά από 4 χρόνια το 99% των μελών ακόμα λειτουργούν!" Αυτή η αξία αυξάνεται ακόμα περαιτέρω με την προσθήκη των πυκνωτών στα συστήματα κυττάρων καυσίμων που επιτυγχάνουν αξιοπιστία 99,99995%. Τα συστήματα κυττάρων καυσίμων είναι έτσι μια άριστη νέα εναλλακτική λύση στις μπαταρίες.



Σχήμα 19 Εξωτερική Άποψη Υβριδικής Εγκατάστασης

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 11

ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΥΒΡΙΔΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

Μια οικονομική αξιολόγηση ενός υβριδικού συστήματος παραγωγής κυττάρων (FC) για ένα χαρακτηριστικό σπίτι παρουσιάζονται παρακάτω. Σε αυτήν την διαμόρφωση ο συνδυασμός ενός FC, ενός μηχανήματος ηλεκτρόλυσης, και οι δεξαμενές αποθήκευσης υδρογόνου χρησιμοποιούνται ως σύστημα ενεργειακής αποθήκευσης. Αυτό το σύστημα είναι έναντι ενός παραδοσιακού υβριδικού ενεργειακού συστήματος με την αποθήκευση μπαταριών. Ένα πρόγραμμα υπολογιστών είναι αναπτυγμένο στα τμήματα συστημάτων μεγέθους προκειμένου να ταιριάζει το σύστημα με το φορτίο της περιοχής με τον οικονομικώς πιο αποδοτικό τρόπο. Ένα κόστος της ηλεκτρικής ενέργειας, ένα γενικό κόστος συστημάτων, και μια ισορροπημένου προϋπολογισμού ανάλυση απόστασης είναι επίσης υπολογισμένο για κάθε διαμόρφωση.

Τα υβριδικά αέρας /φωτοβολταϊκά συστήματα ηλεκτρικής παραγωγής (PV) έχουν μελετηθεί εκτενώς. Η ενεργειακή αποθήκευση απαιτείται σε αυτά τα συστήματα λόγω της φύσης του αέρα και της ηλιακής ενέργειας. Παραδοσιακά, οι μπαταρίες μολύβδου βαθέων-κύκλων έχουν χρησιμοποιηθεί ως μέσα της ενεργειακής αποθήκευσης. Εντούτοις, υπάρχουν περιβαλλοντικές ανησυχίες που συνδέονται με τη χρήση των μπαταριών κατά συνέπεια άλλες εναλλακτικές λύσεις επιδιώκονται για αυτήν την εφαρμογή. Κύτταρα καυσίμων (FCs) σε συνδυασμό με ένα μηχάνημα ηλεκτρόλυσης (για την παραγωγή υδρογόνου) και οι δεξαμενές αποθήκευσης υδρογόνου έχουν εξεταστεί για την ενεργειακή αποθήκευση και έχουν εφαρμοστεί

Εντούτοις, μια λεπτομερής οικονομική ανάλυση δεν έχει πραγματοποιηθεί για αυτά τα συστήματα. αυτή η ταξινόμηση μονάδων και η οικονομική ανάλυση εκτελούνται για ένα wind/ PV με FC/μηχάνημα ηλεκτρόλυσης και τα αποτελέσματα συγκρίνονται με ένα wind/ PV με αποθήκευση μπαταριών.

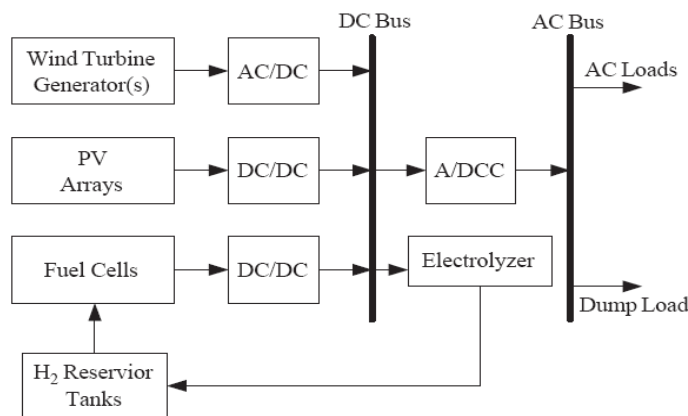
Το σχέδιο 1 παρουσιάζει μια διαμόρφωση συστημάτων χρησιμοποιούμενη. Όταν υπάρχει υπερβολικός αέρας ή ηλιακή παραγωγή, το μηχάνημα ηλεκτρόλυσης ανοίγει για να αρχίσει να παράγει το υδρογόνο, το οποίο αποθηκεύεται στις δεξαμενές αποθήκευσης υδρογόνου. Εάν οι H₂ δεξαμενές αποθήκευσης γίνονται πλήρεις, η ισχύς θα εκτραπεί σε ένα άλλο φορτίο απορρίψεων. Όταν υπάρχει ένα έλλειμμα στην ηλεκτρική παραγωγή, το FC θα αρχίσει να παράγει την ενέργεια για το φορτίο χρησιμοποιώντας το υδρογόνο από τις δεξαμενές αποθήκευσης. Για τον αέρα/ σύστημα PV με αποθήκευση μπαταριών, ο συνδυασμός του FC/μηχάνημα ηλεκτρόλυσης, H₂ οι δεξαμενές αποθήκευσης, και ο DC/DC μετατροπέας αντικαθίστανται με τις μπαταρίες.

Το σχέδιο 2 παρουσιάζει διάγραμμα ροής του αλγορίθμου απόφασης για τον αέρα/ συστήματος PV με FC/μηχάνημα ηλεκτρόλυσης σύστημα αποθήκευσης υδρογόνου. Το διάγραμμα ροής για το σύστημα αποθήκευσης μπαταριών μπορεί να αντικατασταθεί.

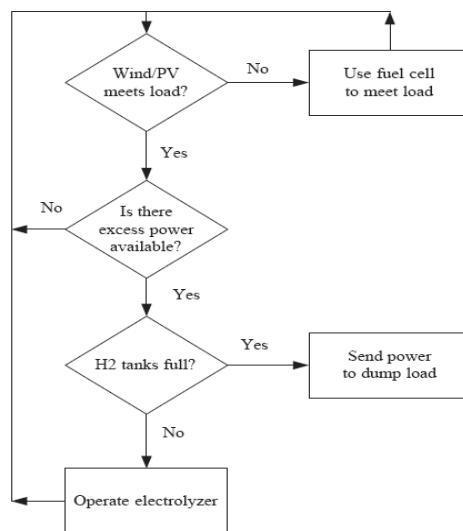
Ο αριθμός ανεμογεννητριών χρησιμοποιείται ως ελεύθερη παράμετρος εισαγωγής στο πρόγραμμα υπολογιστών, και ο αριθμός επιτροπών PV υπολογίζεται χρησιμοποιώντας την απώλεια πιθανότητας παροχής ηλεκτρικού ρεύματος (LISP)

τεχνική , για να ταιριάζει με την παραγωγή το φορτίο. Η τεχνική LPSP χρησιμοποιείται για να ταξινομήσει και το συμβατικό σύστημα αποθήκευσης μπαταριών και το σύστημα FC/μηχάνημα ηλεκτρόλυσης αποθήκευσης.

Το κόστος της ηλεκτρικής ενέργειας (COE), και το συνολικό ετήσιο κόστος υπολογίζονται έπειτα και για τις δύο διαμορφώσεις. Μια ισορροπημένου προϋπολογισμού ανάλυση απόστασης εκτελείται επίσης για κάθε σύστημα. Αυτή η ανάλυση καθορίζει πόσο μακριά, η περιοχή του αυτόνομου συστήματος εναλλακτικής ενέργειας πρέπει να είναι από υπάρχουσα γραμμή χρησιμότητας , ώστε το σύστημα να είναι οικονομικώς αποδοτικό όταν συγκρίνεται με χρησιμοποίηση της συμβατικής ισχύος πλέγματος.



Σχέδιο 20. προτεινόμενο σύστημα αέρα/ PV με αποθήκευση σε FC/μηχάνημα ηλεκτρόλυσης



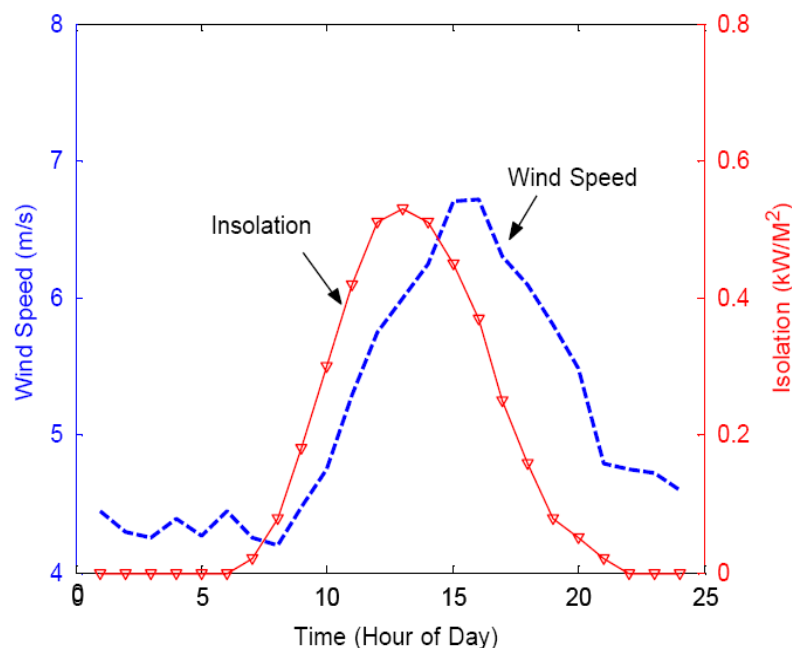
Σχήμα 21 Διάγραμμα ροής του αλγοριθμικού ελέγχου για το σύστημα wind/PV/FC/μηχάνημα ηλεκτρόλυσης.

11.1 ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΩΝ ΠΟΡΩΝ ΚΑΙ ΤΩΝ ΦΟΡΤΙΩΝ

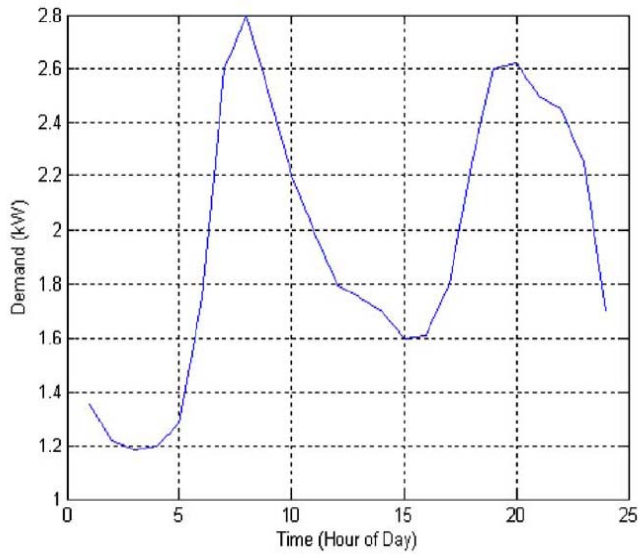
Η ωριαία μέση ταχύτητα αέρα και ηλιακά στοιχεία έκθεσης στην ηλιακή ακτινοβολία κατά τη διάρκεια μιας περιόδου τριών ετών, φαίνεται στο Γράφημα 1, και το μέσο ωριαίο φορτίο, απαίτησης για ένα χαρακτηριστικό σπίτι όπως φαίνεται στο Γράφημα 2. Αυτά τα στοιχεία χρησιμοποιούνται στο σύστημα μονάδας ταξινόμησης, ώστε η παραγωγή και το φορτίο υποτίθενται να βρίσκονται σε επαφή σε κάθε διάστημα ώρας.

Τα στοιχεία απόδοσης της ανεμογεννήτριας και των PV που χρησιμοποιούνται σε αυτήν την αξιολόγηση είναι παρεχόμενα στους πίνακες 1 και 2, αντίστοιχα. Ένα Bergey BWC XL.1 1 kW και ένα PV SX- 120S (120W) επιλέχτηκαν για τη μελέτη. Η εκτιμημένη ισχύς του αέρα ο στρόβιλος και το PV, ο αριθμός χρησιμοποιούμενων ανεμογεννητριών είναι ελεύθερης εισαγωγής στο πρόγραμμα και μπορούν να αλλαχτούν. Οι κύριες δαπάνες που απαριθμούνται στους ανωτέρω πίνακες περιλαμβάνουν όλη την εγκατάσταση και την ισορροπία των δαπανών των εγκαταστάσεων.

Οι ετήσιες δαπάνες συντήρησης για τον ανεμοστρόβιλο το PV και το συνολικό κύριο κόστος των δεξαμενών υδρογόνου είναι παράμετροι. Στην τρέχουσα μελέτη ένα ετήσιο κόστος συντήρησης 3% του κύριου κόστους χρησιμοποιείται για τον ανεμοστρόβιλο, αλλά το ετήσιο κόστος για το σύστημα PV έχει παραμεληθεί.



Γράφημα 1 Ηλιακή ακτινοβολία και ταχύτητα ανέμου ανά ώρα κατά τη διάρκεια της ημέρας



Γράφημα 2 Μέσο ωριαίο φορτίο για ένα τυπικό σπίτι κατά τη διάρκεια της ημέρας

11.2 ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΙΣΧΥΟΣ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΑΣ

Το μέσο ωριαίο στοιχείο ταχύτητας αέρα αξιολογείται και μετατρέπεται στη ισχύ ανεμογεννητριών. Εάν η ταχύτητα είναι μεταξύ της παρέμβασης και της εκτιμημένης ταχύτητας του ανεμοστροβίλου, έπειτα η ισχύς παραγωγής ορίζεται από την 11.1

$$P_{Wind}(t) = \frac{1}{2} \rho A v(t)^3 C_p Eff_{ad},$$

Σχέση 11.1

όπου το ρ είναι η πυκνότητα αέρα (kg/m^3), το A είναι η επιφάνεια του στροφέα (τετρ.μέτρο), το v είναι η ταχύτητα αέρα (m/s), το C_p είναι η αποδοτικότητα του ανεμοστροβίλου, και Eff_{ad} είναι η αποδοτικότητα του μετατροπέα εναλλασσόμενου / συνεχούς ρεύματος (που υποτίθεται ότι ήταν 95% σε αυτήν την μελέτη). Εάν η ταχύτητα αέρα είναι μεταξύ της εκτιμημένης ταχύτητας αέρα και της ταχύτητας της ονομαστικής τιμής της ανεμογεννήτριας, η παραγωγή ισχύος θα είναι ίση με την εκτιμημένη ισχύς του ΑΓ Τέλος, εάν η ταχύτητα αέρα είναι λιγότερο από την ταχύτητα παρεμβάσεων ή μεγαλύτερη από την μέγιστη, δεν θα υπάρξει καμία ισχύς παραγωγής από το στρόβιλο.

Wind turbine parameters

| | |
|----------------------------------|-------|
| Rated output (kW) | 1 |
| Cut-in speed (m/s) | 2.5 |
| Rated speed (m/s) | 11 |
| Cut-out speed (m/s) | 13 |
| Rotor diameter (m) | 2.5 |
| Air density (kg/m ³) | 1.225 |
| Total capital cost (\$) | 3200 |
| Annual maintenance cost (\$) | 100 |

Πίνακας 4
Παράμετροι
ανεμογεννητριώ
ν και
φωτοβολταϊκών
στοιχείων

Table 2
PV panel parameters

| | |
|------------------------------|------|
| Maximum power (W) | 120 |
| Efficiency (%) | 12 |
| Area (m ²) | 1.07 |
| Annual maintenance cost (\$) | 0 |
| Total capital cost (\$) | 614 |

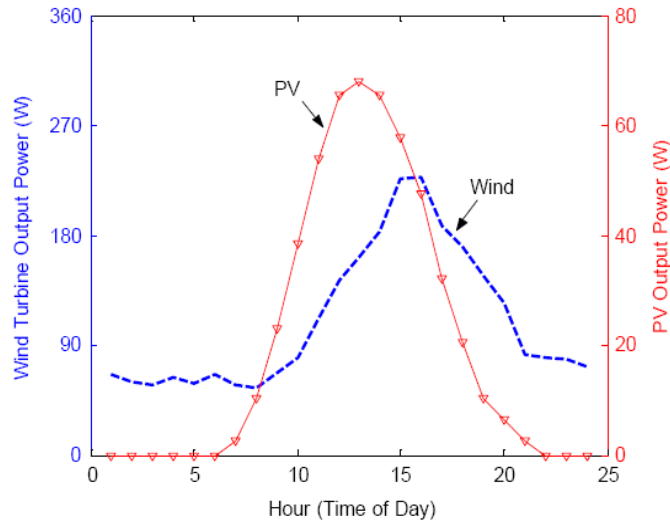
Η ισχύς που υπολογίζεται για κάθε ώρα πολλαπλασιάζεται μέχρι μια ώρα για να καθοριστεί η ενέργεια παραχθείσα σε (kWh) για την ιδιαίτερη ώρα. Το στοιχείο έκθεσης στην ηλιακή ακτινοβολία μετατρέπεται σε παραγωγή ισχύος από τη σειρά PV χρησιμοποιώντας την 11.2

$$P_{PV}(t) = Ins(t)A Eff_{pv},$$

Σχέση 11.2

όπου το INS (τ) είναι το στοιχείο έκθεσης στην ηλιακή ακτινοβολία στο χρόνο t (kW/m²), το A είναι η περιοχή μιας ενιαίας επιτροπής PV (τετρ.μέτρο), και Eff_{pv} είναι η γενική αποδοτικότητα των πάνελ PV και του μετατροπέα DC/DC. υποθέτουμε ότι η σειρά PV έχει ένα σύστημα ακολουθίησης. υποθέτουμε ότι τα αποτελέσματα θερμοκρασίας (στα κύτταρα PV) αγνοούνται.

Η παραγωγή ισχύος από τον ανεμοστρόβιλο και ένα ενιαίο PV παρουσιάζονται στο Γράφημα 3. το στοιχείο που χρησιμοποιείται σε αυτήν την μελέτη είναι ωριαίος μέσος όρος, ο οποίος είναι χρήσιμος για την ταξινόμηση μονάδων, αλλά δεν παρουσιάζει τους χρόνους που υπάρχουν ακίδες στην ταχύτητα αέρα. Η παραγμένη ισχύς του αέρα είναι ανάλογη με τον κύβο της ταχύτητας αέρα. Επομένως, περισσότερη ισχύς θα μπορούσε να είναι παραχθεί σε αυτούς τους χρόνους από τι προβλέπεται εδώ. Αυτό μπορεί να οδηγήσει ελαφρώς σε έναν μεγάλο μεγέθους σύστημα, το οποίο είναι αποδεκτό. Ομοίως τα στοιχεία δεν παρουσιάζουν τους χρόνους όταν κανένας αέρας ή/και ηλιακή ισχύς είναι διαθέσιμη. Επομένως, η αυξανόμενη ικανότητα αποθήκευσης μπορεί να απαιτηθεί να εξασφαλίσει την διαθεσιμότητα της ισχύος κατά τη διάρκεια τέτοιων χρόνων.



Γράφημα 3 Παραγωγή ισχύος ανεμογεννητριών και φωτοβολταϊκών

11.3 ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΤΕΧΝΙΚΗΣ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ LPSP

Ο συνολικός αέρας και η PV ισχύς κατά τη διάρκεια κάθε ώρας υπολογίζονται αρχικά από την 11.3

$$P_{Gen}(t) = N_{Wind} P_{Wind}(t) + N_{PV} P_{PV}(t), \quad \text{Σχέση 11.3}$$

όπου N_{Wind} και N_{PV} είναι ο αριθμός ανεμογεννητριών και πάνελ PV, και $P_{Wind}(t)$ και $P_{PV}(t)$ είναι η ισχύς από τον αέρα και το ηλιακό PV στο χρόνο t , αντίστοιχα. Το $P_{Gen}(t)$ είναι ισοδύναμο στην ενέργεια που παράγεται σε μια ιδιαίτερη ώρα (δεδομένου ότι υπάρχει ένα χρονικό βήμα μιας ώρας).

Ο πίνακας 3 συνοψίζει τις παραμέτρους των διαφορετικών εξαρτημάτων που χρησιμοποιούνται στο FC/μηχάνημα ηλεκτρόλυσης και στα συστήματα αποθήκευσης μπαταριών. Οι κύριες δαπάνες που παρουσιάζονται σε αυτόν τον πίνακα περιλαμβάνουν τις δαπάνες εγκαταστάσεων.

11.4 ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ FC/ΜΗΧΑΝΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΥΣΗΣ

Η διαδικασία για τον αριθμό δεξαμενών αποθήκευσης υδρογόνου προσαρμόζεται από την διαδικασία LPSP για ένα παραδοσιακό σύστημα αποθήκευσης μπαταριών. Εδώ μια αποδοτικότητα χρέωσης για το μηχάνημα ηλεκτρόλυσης και μια αποδοτικότητα απαλλαγής για FC χρησιμοποιούνται στον υπολογισμό της αποδοτικότητας του συστήματος αποθήκευσης, Εάν η ισχύς που παράγεται από το σύστημα αέρα/ PV είναι μεγαλύτερη από το φορτίο για μια ιδιαίτερη ώρα, το μηχάνημα ηλεκτρόλυσης θα γεμίσει τις δεξαμενές υδρογόνου. Το ποσό υδρογόνου αποθηκευμένο στις δεξαμενές (που υπολογίζονται ως ισοδύναμο kWh) μπορεί να γραφτεί όπως την 11.4

$$E_{stor}(t) = E_{stor}(t - 1) + (E_{Gen}(t) - E_{load}(t)/Eff_{inv})Eff_{elect}$$

Σχέση 11.4

όπου $E_{stor}(t)$ και $E_{stor}(t-1)$ είναι η ενέργεια που αποθηκεύεται στις δεξαμενές υδρογόνου στις ώρες t και $t-1$, αντίστοιχα, $E_{Gen}(t)$ είναι η ενέργεια που παράγεται από το σύστημα αέρα/ PV στην ώρα t , $E_{load}(t)$ είναι η ενεργειακή απαίτηση για την ιδιαίτερη ώρα, Eff_{inv} είναι η αποδοτικότητα του inverter, και Το Eff_{fuel_cell} είναι η αποδοτικότητα του μηχανήματος ηλεκτρόλυσης.

| Component parameters | |
|---|--------|
| Fuel cell | |
| Rated power (kW) | 3 |
| Efficiency (%) | 50 |
| Lifetime of individual cells (yrs) | 5 |
| Capital cost (\$) | 20,000 |
| Replacement cost (\$) | 1400 |
| Electrolyser | |
| Rated power (kW) | 3 |
| Efficiency (%) | 74 |
| Lifetime of individual cells (yrs) | 5 |
| Capital cost (\$) | 20000 |
| Replacement cost (\$) | 1400 |
| Total capital cost of hydrogen tanks (\$) | 2000 |
| Power converter | |
| Rated power (kW) | 3 |
| Efficiency (%) | 95 |
| Capital cost (\$) | 2000 |
| Battery | |
| Voltage (V) | 12 |
| Capacity (kWhr) | 1.35 |
| Roundtrip efficiency (%) | 85 |
| Minimum charge (%) | 30 |
| Capital cost (\$) | 130 |
| Lifetime (yrs) | 5 |

Πίνακας 5
Παράμετροι
αποτελούμεν
ων στοιχείων
των κυψελών
καυσίμων

Όταν η ενεργειακή απαίτηση του φορτίου είναι μεγαλύτερη από τη διαθέσιμη ενέργεια που παράγεται από το σύστημα αέρα/ PV, το FC θα χρησιμοποιηθεί για να βοηθήσει στην κάλυψη του φορτίου. Σε αυτήν την περίπτωση, το ποσό του υδρογόνου στις δεξαμενές στην ώρα t είναι όπως την 11.5

$$E_{stor}(t) = E_{stor}(t-1) - (E_{load}(t)/Eff_{inv} - E_{Gen}(t))/Eff_{fuel_cell}$$

Σχέση 11.5

Eff_{fuel_cell} είναι η γενική αποδοτικότητα του FC και του αντίστοιχου DC/DC μετατροπέα. Για τις δύο τελευταίες σχέσεις υπάρχει ένας λογικός περιορισμός όπως φαίνεται στην 11.6:

$$0 \leq E_{stor}(t) \leq E_{stor_max}$$

Σχέση 11.6

όπου E_{stor_max} είναι η μέγιστη ικανότητα αποθήκευσης των δεξαμενών υδρογόνου. Όταν το άθροισμα της ενέργειας που παράγεται από το σύστημα αέρα/ PV και τη διαθέσιμη ενέργεια από την αποθήκευση, είναι ανεπαρκής να καλύψει το φορτίο, η απώλεια παροχής ηλεκτρικού ρεύματος (LPS) θα δίνεται από τη σχέση 11.7:

$$LPS(t) = E_{load}(t) - (E_{Gen}(t) + E_{stor}(t - 1)Eff_{fuel_cell})Eff_{inv}.$$

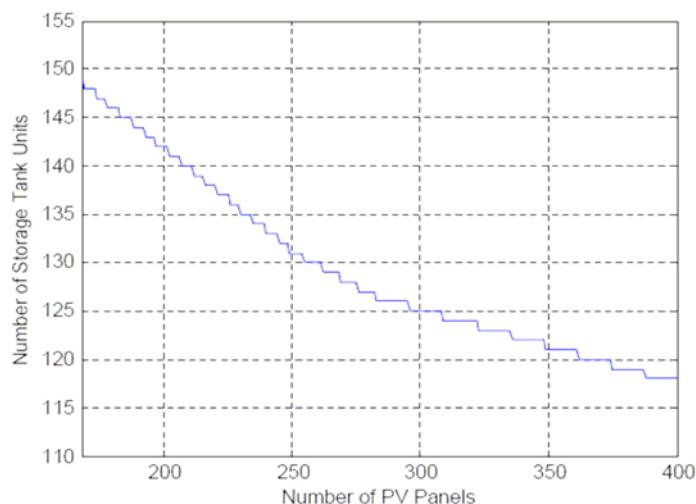
Σχέση 11.7

Το LPSP μπορεί να υπολογιστεί κατά τη διάρκεια ενός δεδομένου χρονικού διαστήματος T όπως την 11.8

$$LPSP = \frac{\sum_{t=1}^T LPS(t)}{\sum_{t=1}^T E_{load}(t)}.$$

Σχέση 11.8

Με τον αριθμό αεροστρόβιλων ως πρώτο χαρακτηριστικό, υπολογίζεται ο αριθμός πάνελ PV και ο αριθμός δεξαμενών αποθήκευσης υδρογόνου που θα ικανοποιήσουν ένα ιδιαίτερο επιθυμητό LPSP. Το αποτέλεσμα για την περίπτωση παρουσιάζεται στο σχέδιο. Είναι σαφές ότι από αυτόν τον αριθμό πολλοί διαφορετικοί συνδυασμοί δεξαμενών αποθήκευσης και πάνελ PV θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για να λάβουμε το επιθυμητό LPSP. Το αριστερό άκρο της γραφικής παράστασης αντιπροσωπεύει τον απόλυτο ελάχιστο αριθμό πάνελ PV που θα απαιτούνταν στο σύστημα για να λάβει το επιθυμητό LPSP, και η δεξιά ακραία πλευρά της γραφικής παράστασης αντιπροσωπεύει τον ελάχιστο αριθμό δεξαμενών αποθήκευσης που θα απαιτούνταν. Η γραφική παράσταση θα μπορούσε να πήγαινε περαιτέρω αλλά πλησιάζει μια επίπεδη οριζόντια γραμμή. Οποιαδήποτε διαμόρφωση της γραμμής της γραφικής παράστασης θα οδηγούσε σε ένα αποδεκτό LPSP. Λόγω του υψηλού κόστους των πάνελ PV έναντι του κόστους των δεξαμενών αποθήκευσης υδρογόνου, η βέλτιστη διαμόρφωση βρίσκεται επάνω στην ακραία αριστερή πλευρά της παράστασης, με συνέπεια 168 πάνελ PV και 148 δεξαμενές αποθήκευσης υδρογόνου (που αντιστοιχούν σε 44.4kWh).



Γράφημα 4 Αποτελέσματα του LPSP για FC/Μηχανισμό Ηλεκτρόλυσης

Αυτός ο ελάχιστος αριθμός επιτροπών PV καθορίζεται από σχεδιαγράμματα παραγωγής και απαίτησης συστημάτων. Για τον ανωτέρω ελάχιστο αριθμό (168) των πάνελ PV η διαφορά μεταξύ της συνολικής παραγομένης ενέργειας και της απαίτησης κατά τη διάρκεια μιας περιόδου 24ωρών είναι μηδέν. Εάν εκείνος ο αριθμός χαμηλώσει, το ΔΕ θα είναι αρνητικό δείχνοντας την ανεπάρκεια παραγωγής. Για να βρεθεί το μέγεθος της δεξαμενής στα λίτρα, το πρώτο βήμα είναι να βρεθούν

τα γραμμάρια υδρογόνου μέσα σε 44.4kWh αποθήκευσης. Παρουσιάζεται ο υπολογισμός 11.9

$$G_{H_2} = (E_{tank}/LHV)1000,$$

Σχέση 11.9

όπου G_{H_2} είναι τα γραμμάρια υδρογόνου που απαιτούνται, E_{tank} είναι η ενέργεια αποθήκευσης που απαιτείται, και LHV είναι η χαμηλότερη αξία θέρμανσης του υδρογόνου (33kWh/kg). Ο αριθμός γραμμαρίων υδρογόνου μετατρέπεται σε moles με τη διαίρεση του 2.016 (g/mol.). Το μέγεθος της δεξαμενής στα λίτρα βρίσκεται χρησιμοποιώντας τον ιδανικό νόμο αερίου που δίνεται κατωτέρω από την 11.10

$$V_t = (T R n)/P,$$

Σχέση 11.10

όπου το V_t είναι ο όγκος της δεξαμενής (λίτρο), το T είναι η θερμοκρασία (298 K), R είναι η σταθερά αερίου [0.0821 l * ATM/(mol * K)], n είναι ο αριθμός moles, και το P είναι η πίεση δεξαμενών (13,6 ATM). Αυτό οδηγεί σε ένα μέγεθος δεξαμενών 1200.6 λίτρα

11.5 ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ ΜΠΑΤΑΡΙΩΝ

Υπάρχουν μερικές διαφορές στην ταξινόμηση ενός συστήματος μπαταριών και της τεχνικής που χρησιμοποιούνται για το FC/μηχάνημα ηλεκτρόλυσης. το σύστημα. FC/ηλεκτρόλυση έχει μια πολύ χαμηλότερη γενική αποδοτικότητα έναντι των μπαταριών. Επιπλέον, η προσθήκη των μπαταριών είναι ακριβή και το κόστος θα αυξηθεί γραμμικά ως το μέγεθος από τις αυξήσεις μπαταριών (γραμμική καμπύλη δαπανών), αυξάνοντας το μέγεθος (ή τον αριθμό) της δεξαμενής αποθήκευσης υδρογόνου έχει μια σχεδόν επίπεδη μη γραμμική καμπύλη δαπανών. Παραδείγματος χάριν, το αυξανόμενο μέγεθος αποθήκευσης υδρογόνου κατά 30% μπορεί να οδηγήσει μόνο σε μια αύξηση 5% στο συνολικό κόστος.

Μια άλλη διαφορά είναι ότι οι μπαταρίες δεν εκφορτίζονται πέρα από ένα κατώτατο επίπεδο 30% , αλλά στην αποθήκευση υδρογόνου μπορεί να πάει στο μηδέν. Τα αποτελέσματα (αριθμός μπαταριών εναντίον του αριθμού πάνελ PV) για το σύστημα μπαταριών είναι παρουσιασμένο στο σχέδιο 7. Δεδομένου ότι υπάρχει μια ομοιότητα στις δαπάνες των μπαταριών και των πάνελ PV, δεν είναι προφανής (όπως για το FC/μηχάνημα ηλεκτρόλυσης) όπου στη γραφική παράσταση η βέλτιστη λύση βρίσκεται.

Προκειμένου να καθοριστεί η βέλτιστη διαμόρφωση η ακόλουθη εξίσωση 11.11 χρησιμοποιείται:

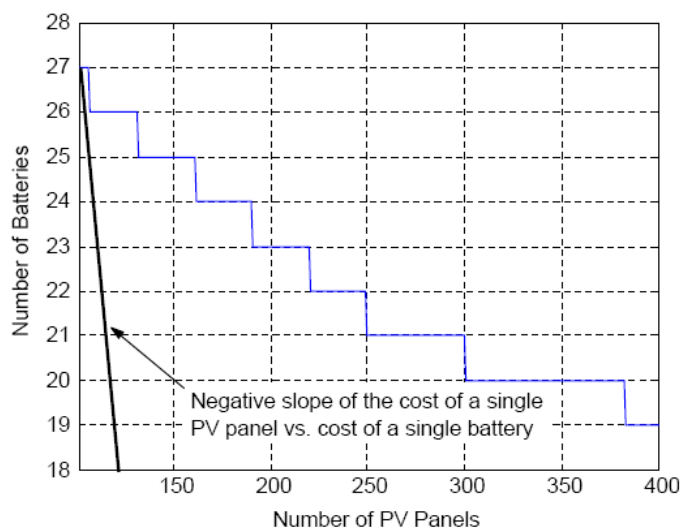
$$\frac{\partial N_{pv}}{\partial N_{batt}} = -\frac{C_{PV}}{C_{Batt}},$$

Σχέση 11.11

όπου C_{PV} είναι το κόστος ενός πάνελ PV και C_{Batt} είναι το κόστος μιας μπαταρίας.

Το σημείο όπου η γραμμή είναι εφαπτομένη στη γραφική παράσταση του LPSP (σχέδιο 7) είναι πού η βέλτιστη λύση βρίσκεται. Λόγω του υψηλού κόστους των PV σε σύγκριση με αυτό των μπαταριών, διαπιστώνεται ότι το αποτέλεσμα βρίσκεται πάλι μακριά στο αριστερό σημείο της γραφικής παράστασης. Κατά συνέπεια, η ελαχιστοποίηση του αριθμού PV είναι αυτήν την περίοδο η βέλτιστη λύση, όπως ήταν στο σύστημα αποθήκευσης FC/ηλεκτρόλυσης. Από το σχέδιο 7, η βέλτιστη λύση επιτυγχάνεται (μακριά στο αριστερό τέλος της καμπύλης) όταν χρησιμοποιούνται 27 μπαταρίες και 101 πάνελ PV. Σημείωση των εικόνων 6 και 7 είναι ότι, ο απαραίτητος ελάχιστος αριθμός PV θα μειώνονταν εάν το μέγεθος ή ο αριθμός ανεμογεννητριών αυξηθεί, ή ο αέρας ή το ηλιακό σχεδιάγραμμα έκθεσης στην ηλιακή ακτινοβολία της περιοχής είναι βέλτιστο

Μια περίληψη της διαδικασίας που συζητείται σε αυτό το τμήμα της ταξινόμησης μονάδων δίνεται στον πίνακα 4.



Γράφημα 6 Αποτελέσματα του LPSP με σύστημα αποθήκευσης μπαταριών

11.6 ΑΝΑΛΥΟΜΕΝΟ ΚΟΣΤΟΣ

Η διάρκεια ζωής του συστήματος υποτίθεται ότι ήταν 20 έτη. Το ετήσιο κόστος για όλα τα εξαρτήματα που δεν χρειάζονται ορισμένα στοιχεία που αντικαθίστανται συχνότερα από τη συστατική διάρκεια ζωής βρίσκονται με τον πολλαπλασιασμό του συνολικού αρχικού κόστους με τον κύριο παράγοντα αποκατάστασης (CRF). Το CRF καθορίζεται από τη σχέση 11.12

$$CRF = [i_r(1 + i_r)^{ny}]/[(1 + i_r)^{ny} - 1],$$

Σχέση 11.12

όπου i_r είναι το ετήσιο επιτόκιο (5% σε αυτήν την πτυχιακή) και το ny είναι η διάρκεια ζωής του εξαρτήματος. Για το FC και το μηχάνημα ηλεκτρόλυσης, τα μεμονωμένα κύτταρα θα χρειαστούν να αντικαθίσταται αρκετές φορές πέρα από τη διάρκεια ζωής προγράμματος, ενώ τα υπόλοιπα εξαρτήματα θα μπορέσουν να

διαρκέσουν όσο και η ζωή του προγράμματος. Το συνολικό κόστος αρχικού κεφαλαίου για το FC ($C_{fc}/elect.$) θα είναι όπως την 11.13

$$C_{FC/elect.} = C_{fix} + C_{cell} N_{cell},$$

Σχέση 11.13

όπου C_{fix} είναι οι δαπάνες που συνδέονται με την εγκατάσταση του FC (ή μηχανήμα ηλεκτρόλυσης), αποκλείονται οι δαπάνες των μεμονωμένων κυττάρων (που θα αντικατασταθούν περιοδικά), αλλά συμπεριλαμβανομένης όλης της ισορροπίας από τις δαπάνες του σχεδιασμού και τις δαπάνες εγκαταστάσεων. Το C_{cell} είναι το κόστος κάθε μεμονωμένου FC, και N_{cell} είναι ο αριθμός μεμονωμένων κυττάρων στην εγκατάσταση FC. Ο αριθμός του μεμονωμένου FCs χρησιμοποιούμενος μπορεί λαμβάνεται από την 11.14

$$N_{cell} = P/(V i A_{cell}),$$

Σχέση 11.14

όπου το P είναι η εκτιμημένη ισχύς του FC ή μηχανήμα ηλεκτρόλυσης, το V είναι η ονομαστική τάση κυττάρων (0,6 V), το i είναι η πυκνότητα ρεύματος (1,8 A/τ.εκ.), και A_{cell} είναι η ενεργός περιοχή κυττάρων (100 τ.εκ.).

Ο κύριος παράγοντας αποκατάστασης για το FC και του μηχανήματος ηλεκτρόλυσης υπολογίζεται χρησιμοποιώντας τον πρώτο τύπο της ενότητας, εκτός από το n_y είναι τώρα η διάρκεια ζωής των μεμονωμένων κυττάρων. Οι ετήσιες κύριες δαπάνες (ACC) του FC και του μηχανήματος ηλεκτρόλυσης υπολογίζεται από την 11.15

$$ACC = C_{fix} CRF_1 + C_{rep} CRF_2,$$

Σχέση 11.15

όπου $C_{rep} = C_{cell} * N_{cell}$ είναι το κόστος αντικατάστασης του FC και μηχανήμα ηλεκτρόλυσης στο τέλος της διάρκεια ζωής των κυττάρων. Και CRF_1 και CRF_2 καθορίζονται για CRF_1 , $n_y = 20$ (χρόνος ζωής εγκατάσταση), και για CRF_2 , $n_y = 5$ (χρόνος ζωής των μεμονωμένων κυττάρων).

11.7 ΚΟΣΤΟΣ ΤΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Το πρώτο βήμα σε αυτή τη διαδικασία πρόκειται να υπολογίσει μια ετήσια ενεργειακή απαίτηση (AED), η οποία είναι το άθροισμα της ενεργειακής απαίτησης του φορτίου για κάθε ώρα κατά τη διάρκεια μιας ημέρας που πολλαπλασιάζετε μέχρι 365 ημέρες/έτος. Η πραγματική ενέργεια που παράγεται από κάθε διαμόρφωση είναι μεγαλύτερη από την ενεργειακή απαίτηση λόγω των απωλειών και της ενέργειας συστημάτων που ίσως καταναλωθούν.

Εντούτοις, το AED που υπολογίζεται, χρησιμοποιείται στους υπολογισμούς COE. Το COE (\$/kWh) κάθε διαμόρφωσης βρίσκεται με την προσθήκη των συνολικών ετήσιων δαπανών κάθε εξαρτήματος (ACC_{total}) και οι ετήσιες δαπάνες συντήρησής τους (AMC_{total}) μαζί και η διαίρεση του ποσού με το AED. Όπως την 11.16

$$COE = (ACC_{total} + AMC_{total})/AED.$$

Σχέση 11.16

11.8 ΙΣΟΡΡΟΠΗΜΕΝΟΥ ΠΡΟΫΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΑΠΟΣΤΑΣΗ ΕΠΕΚΤΑΣΗΣ ΓΡΑΜΜΩΝ (BELED)

Το BELED βρίσκεται προκειμένου να καθοριστεί εάν το φορτίο θα μπορούσε να συνεισφέρει περισσότερο αποτελεσματικά σε κόστος από το πλέγμα, αγνοώντας όλες τις πρακτικές εκτιμήσεις. Παραδοσιακά, αυτόνομα συστήματα εναλλακτικής ενέργειας (υβριδικά) εγκαθίστανται στις μακρινές θέσεις μακριά από το πλέγμα ηλεκτρικής ενέργειας. Αν και το COE του υβριδικού συστήματος είναι μεγαλύτερο από το COE του πλέγματος, χρησιμοποιείται για μια επέκταση πλέγματος. Επομένως, αν η απόσταση από το πλέγμα αυξηθεί, το COE της ισχύος πλέγματος θα αυξηθεί επίσης. Προκειμένου να καθοριστεί η απόσταση από το πλέγμα, που οδηγεί σε ένα ίσο COE και για το υβριδικό σύστημα και για τη ισχύς πλέγματος, η ακόλουθη εξίσωση 11.17 χρησιμοποιείται

$$BELED = (ACC - COE_{grid} AED) / (C_{ext} CRF), \quad \left| \quad \boxed{\text{Σχέση 11.17}} \right.$$

όπου BELED είναι η απόσταση (ft) επέκτασης γραμμών σπασιμάτων, COE_{grid} είναι το COE από τη χρήση (\$/kWh), και C_{ext} είναι το κόστος μιας επέκτασης γραμμών από τη χρησιμότητα. Το κόστος της γραμμής επέκτασης σε μια περιοχή εξαρτάται από ένα μέσο κόστος 6 \$/ft

Το σχέδιο 8 παρουσιάζει ένα σχεδιάγραμμα του προγράμματος GUI που αναπτύσσεται για να εκτελέσει τις αναλύσεις που συζητούνται ανωτέρω.

11.9 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

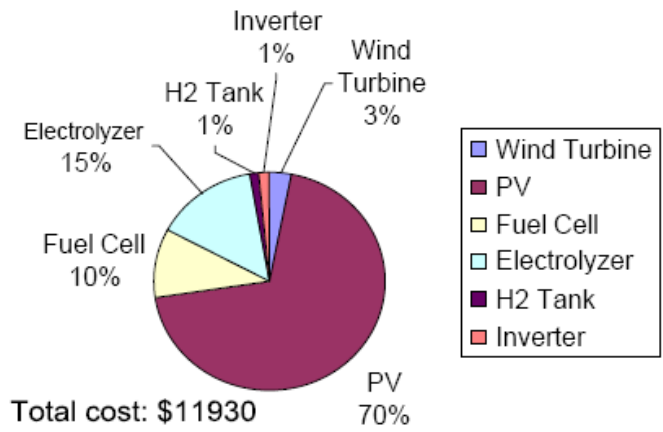
Ο πίνακας 5 δίνει μια σύγκριση του COE, αναλυόμενου κόστους, αριθμός πάνελ PV και BELED για το FC/μηχάνημα ηλεκτρόλυσης και τα συστήματα αποθήκευσης μπαταριών για αυτήν την μελέτη. Είναι σαφές από αυτό τον πίνακα ότι οικονομικά η μπαταρία είναι μια καλύτερη επιλογή για την ενεργειακή αποθήκευση. Ο αρχικός λόγος για αυτό είναι η χαμηλή αποδοτικότητα του FC/μηχάνημα ηλεκτρόλυσης του συστήματος. Στην πραγματικότητα, βρέθηκε ακόμα κι αν το FC και το μηχάνημα ηλεκτρόλυσης είχε μηδενικές κύριες δαπάνες, το σύστημα μπαταριών ήταν ακόμα μια ανώτερη διαμόρφωση. Αυτό δείχνει ότι σημαντικές βελτιώσεις στην αποδοτικότητα και των δύο, FC και μηχανήματος ηλεκτρόλυσης θα πρέπει να πραγματοποιηθούν προτού να μπορέσουν να είναι οικονομικά ανταγωνιστικοί όπως οι συσκευές ενεργειακής αποθήκευσης.

Summary of results for the FC/electrolyser generation system

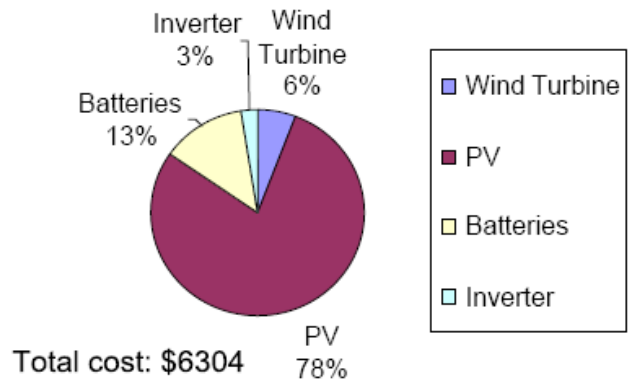
| | FC/electrolyser | Battery storage |
|----------------------|-----------------|-----------------|
| COE (\$/kWh) | 0.70 | 0.37 |
| Annualized cost (\$) | 11,930 | 6304 |
| Number of PV panels | 168 | 101 |
| BELED (mile) | 4.22 | 1.98 |

Πίνακας 6 Συγκεντρωτικά στοιχεία Συστήματος FC

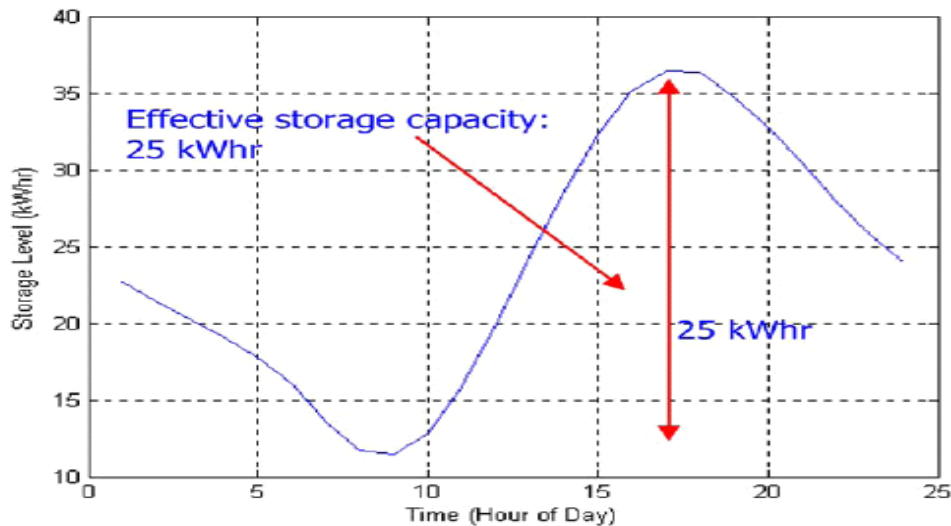
Τα Γραφήματα. 7 και 8 παρουσιάζουν την κατανομή των δαπανών του προτεινόμενου αέρα/του PV σύστημα παραγωγής με FC/μηχάνημα ηλεκτρόλυσης αποθήκευσης και με την αποθήκευση μπαταριών, αντίστοιχα.



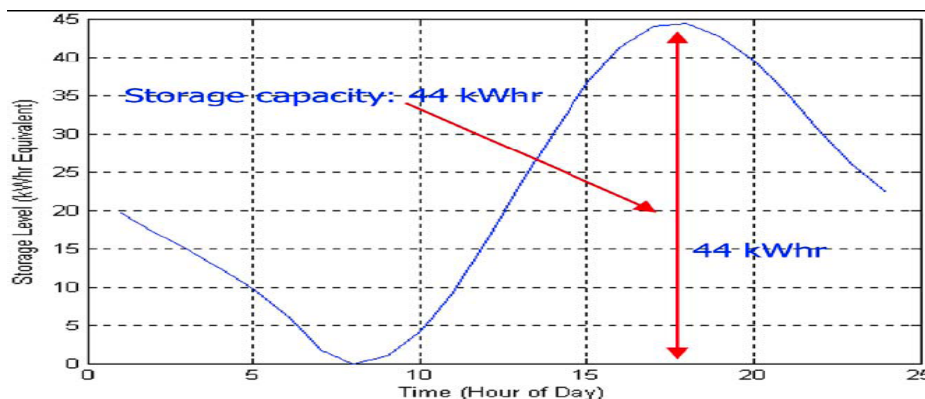
Γράφημα 7. Κόστος των κυψελών καυσίμου και του μηχανήματος ηλεκτρόλυσης



Γράφημα 8. Κόστος των μπαταριών



Γράφημα 9 Επίπεδα αποθήκευσης μπαταριών



Γράφημα 10. Επίπεδα αποθήκευσης των δεξαμενών υδρογόνου

Για τα δύο συστήματα, τα πάνελ PV έχουν το μεγαλύτερο τμήμα δαπανών. Ένα άλλο ενδιαφέρον είναι η σύγκριση του AED με την ετήσια ενέργεια που παράγεται (AEG) από κάθε διαμόρφωση. Το AED της περιοχής βρέθηκε να είναι 17.0MWh/yr. Το AEG για το σύστημα μπαταριών (για να ικανοποιήσει το ανωτέρω AED) βρέθηκε να είναι 19.6MWh/yr ενώ το AEG για τα FC/μηχάνημα ηλεκτρόλυσης για να ικανοποιήσουν το ίδιο AED ήταν 31.9MWh/yr. Αυτά τα αποτελέσματα χαμηλής αποδοτικότητας είναι σε μια σημαντική αύξηση στον αριθμό πάνελ PV που απαιτούνται για αυτό το σύστημα.

Από τον αέρα/το PV η ηλεκτρική παραγωγή με την αποθήκευση FC/μηχάνημα ηλεκτρόλυσης υδρογόνου θεωρείται το πράσινο σύστημα παροχής ηλεκτρικού ρεύματος, ένα περιβαλλοντικό όφελος (αποταμίευση) μπορεί να εξεταστεί με τους συνυπολογισμούς αυτού του οφέλους που θα χαμήλωνε το κόστος της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από το σύστημα.

Τα αποτελέσματα του επιπέδου αποθήκευσης καθ' όλη τη διάρκεια μιας χαρακτηριστικής ημέρας προβλέπονται επίσης και από τα δύο συστήματα

αποθήκευσης. Τα Γραφήματα 9 και 10 παρουσιάζουν ένα ωριαίο μέσο επίπεδο αποθήκευσης (kWh ισοδύναμο) του συστήματος αποθήκευσης υδρογόνου και του συστήματος μπαταριών, αντίστοιχα.

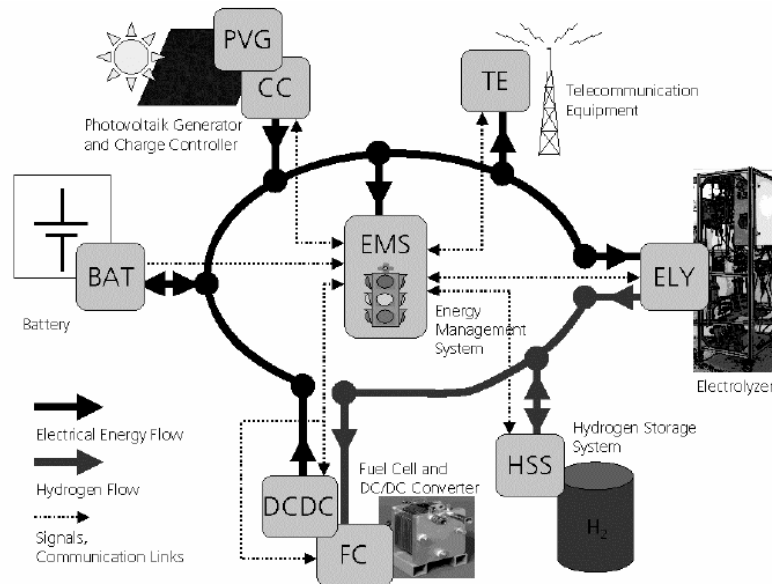
Τα σχεδιαγράμματα είναι παρόμοια και για τα δύο συστήματα δεδομένου ότι η παραγωγή και το φορτίο είναι οι ίδιες και στις δύο περιπτώσεις. Το επίπεδο αποθήκευσης των μπαταριών δεν πηγαίνει τόσο χαμηλά όσο αυτό των δεξαμενών υδρογόνου επειδή το επίπεδο αποθήκευσης για τις μπαταρίες δεν επιτρέπεται να πάει κάτω από 30%. Η διαφορά είναι οι ελάχιστες και μέγιστες αιχμές του επιπέδου αποθήκευσης του συστήματος υδρογόνου που είναι πολύ μεγαλύτερες από αυτό του συστήματος αποθήκευσης μπαταριών, που σημαίνει ότι περισσότερη αποθήκευση υδρογόνου απαιτείται.

Αυτή η υψηλότερη ανάγκη αποθήκευσης οφείλεται στη χαμηλή αποδοτικότητα του FC/μηχάνημα ηλεκτρόλυσης του συστήματος έναντι του συστήματος μπαταριών. Σε κάθε περίπτωση, η ελάχιστη ικανότητα αποθήκευσης μπορεί να είναι υπολογισμένη από την απόσταση (σε kWh) από την ελάχιστη αιχμή στη μέγιστη αιχμή του καθημερινού μέσου όρου αποθήκευσης

Χρησιμοποιώντας αυτό το κριτήριο, από το γράφημα 10, 44 ισοδύναμες kWh της αποθήκευσης υδρογόνου (που αντιστοιχεί σε 147 δεξαμενές υδρογόνου) απαιτείται για το FC/μηχάνημα ηλεκτρόλυσης στο σύστημα. Επίσης, από το γράφημα 9, η ελάχιστη αποτελεσματική αποθήκευση μπαταριών είναι 25 kWh. Δεδομένου ότι στις μπαταρίες επιτρέπεται μόνο το 70% της πληρότητας τους να εκφορτιστεί εκτιμάται ότι ο πραγματικός αριθμός μπαταριών που απαιτούνται είναι $27 \left[\frac{25\text{kWh}}{0.7 \cdot 1.35\text{kWh}} \right]$ ανά μπαταρία]. Ο ανωτέρω αριθμός δεξαμενών υδρογόνου και οι μπαταρίες συγκρίνονται με τις τιμές απόκτησης χρησιμοποιώντας τα κριτήρια LPSP που προτείνονται.

ΕΠΙΛΟΓΟΣ

Αυτή η πτυχιακή παρουσίασε την ταξινόμηση μονάδων και μια οικονομική αξιολόγηση ενός υβριδικού wind/PV/FC συστήματος παραγωγής και μια σύγκριση δαπανών με ένα σύστημα wind/PV/battery για έναν χαρακτηριστικό σπίτι. Οι τρέχουσες δαπάνες καθώς επίσης και ο ισορροπημένος προϋπολογισμός της γραμμής απόστασης παρουσιάζουν ένα σαφές οικονομικό πλεονέκτημα του παραδοσιακού wind/PV/battery συστήματος σε σύγκριση με το σύστημα wind/PV/FC/μηχάνημα ηλεκτρόλυσης, που δείχνει μια ανάγκη για την έρευνα και τις τεχνολογικές προόδους στο FC/μηχάνημα ηλεκτρόλυσης. Με τη βελτίωση στην αποδοτικότητα του FC και του μηχανήματος ηλεκτρόλυσης, είναι δυνατό το FC/μηχάνημα ηλεκτρόλυσης να είναι οικονομικά ανταγωνιστικό στο μέλλον.



Σχήμα 22 Εφαρμογές Συστημάτων

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

A. Jossen, J. Garche, H. Doering, M. Goetz, W. Knaupp, L. Joerissen, «Hybrid systems with lead–acid battery and proton-exchange membrane fuel cell», *Journal of Power Sources* 144 (2005) 395–401

Fengzhen Chen, Neven Duic, Luis Manuel Alves, Maria da Grac-a Carvalho, «Renewislands—Renewable energy solutions for islands», *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, December 2005

P. Spath, M. Mann, «Life Cycle Assessment of Renewable Hydrogen Production via Wind/Electrolysis», *Milestone Completion Report*, February 2004

E.I. Zouliasa, R. Glocknerb, N. Lymberopoulou, T. Tsoutsosa, I. Vosseler, O. Gavaldac, H.J. Mydske, P. Taylor, « Integration of hydrogen energy technologies in stand-alone power systems analysis of the current potential for applications», *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 10 (2006) 432–462

M.J. Khan, M.T. Iqbal, « Dynamic modeling and simulation of a small wind–fuel cell hybrid energy system», *Renewable Energy* 30 (2005) 421–439

L. Ntziachristos, C. Kouridis, Z. Samaras, K. Pattas, «A wind-power fuel-cell hybrid system study on the non-interconnected Aegean islands grid», *Renewable Energy* 30 (2005) 1471–1487

Thanaa F. El-Shatter, Mona N. Eskander, Mohsen T. El-Hagry, « Energy flow and management of a hybrid wind/PV/fuel cell generation system», *Energy Conversion and Management* 47 (2006) 1264–1280

D.B. Nelson, M.H. Nehrir, C. Wang, « Unit sizing and cost analysis of stand-alone hybrid wind/PV/fuel cell power generation systems», *Renewable Energy* August 2005

E. Kasseris, Z. Samaras, D. Zafeiris, «Optimization of a wind-power fuel-cell hybrid system in an autonomous electrical network environment», *Renewable Energy* December 2005

Dae-Kyu Choi, Byoung-Kuk Lee, Se-Wan Choi, Chung-Yuen Won, Dong-Wook Yoo, «A novel power conversion circuit for cost-effective battery-fuel cell hybrid systems» *Journal of Power Sources* 152 (2005) 245–255

<http://www.hydrogennow.org>

<http://www.hydrogenus.org>

<http://www.eere.energy.gov/RE/hydrogen.html>

<http://www.eere.energy.gov/hydrogenandfuelcells>

<http://www.hydrogenenergycenter.org>

<http://www.eyeforfuelcells.com>

<http://www.fuelcelltoday.com>

<http://www.hfcletter.com>

<http://www.nrel.gov/hydrogen>