

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ	3
ΕΙΣΑΓΩΓΗ	4
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1	6
1.1 ΓΕΝΙΚΑ ΓΙΑ ΤΟ ΥΔΡΟΓΟΝΟ	6
1.1.1 ΦΥΣΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΥΔΡΟΓΟΝΟΥ	6
1.1.2 ΧΗΜΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΥΔΡΟΓΟΝΟΥ	7
1.2 ΟΙΚΟΝΟΜΙΑ ΥΔΡΟΓΟΝΟΥ	8
1.3 ΤΟ ΥΔΡΟΓΟΝΟ ΩΣ ΦΟΡΕΑΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ	11
1.3.1 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΕΝΑΝΤΙ ΣΥΜΒΑΤΙΚΩΝ ΠΗΓΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ	13
1.3.2 ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΕΝΑΝΤΙ ΣΥΜΒΑΤΙΚΩΝ ΠΗΓΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ	13
1.4 ΜΕΘΟΔΟΙ ΠΑΡΑΣΚΕΥΗΣ ΥΔΡΟΓΟΝΟΥ	14
1.4.1 ΘΕΡΜΟΧΗΜΙΚΕΣ	14
1.4.2 ΗΛΕΚΤΡΟΛΥΤΙΚΕΣ	15
1.4.3 ΦΩΤΟΛΥΤΙΚΕΣ	17
1.5 ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΥΔΡΟΓΟΝΟΥ	19
1.5.1 ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ ΥΔΡΟΓΟΝΟΥ ΣΕ ΑΕΡΙΑ ΦΑΣΗ	19
1.5.2 ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ ΥΔΡΟΓΟΝΟΥ ΣΕ ΥΓΡΗ ΦΑΣΗ	20
1.5.3 ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ ΥΔΡΟΓΟΝΟΥ ΣΕ ΜΕΤΑΛΛΑ ΚΑΙ ΥΔΡΙΔΙΑ ΜΕΤΑΛΛΩΝ	21
1.6 ΔΙΑΝΟΜΗ ΥΔΡΟΓΟΝΟΥ	25
1.7 ΧΡΗΣΕΙΣ ΥΔΡΟΓΟΝΟΥ	26
1.7.1 ΜΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΕΣ ΧΡΗΣΕΙΣ ΥΔΡΟΓΟΝΟΥ	27
1.7.2 ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΕΣ ΧΡΗΣΕΙΣ ΥΔΡΟΓΟΝΟΥ	27
1.8 Η ₂ & ΑΣΦΑΛΕΙΑ	28
1.8.1 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΥΔΡΟΓΟΝΟΥ - ΜΕΘΑΝΙΟΥ - ΠΡΟΠΑΝΙΟΥ	34
1.8.2 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑ	34
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2	35
2.1 ΚΛΙΜΑΤΙΚΕΣ ΑΛΛΑΓΕΣ	35
2.2 ΤΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΤΟΥ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ	37
ΠΩΣ ΔΗΜΙΟΥΡΓΕΙΤΑΙ ΤΟ ΠΡΟΒΛΗΜΑ ΜΕ ΕΙΚΟΝΕΣ	40
2.3 Η ΟΞΙΝΗ ΒΡΟΧΗ ΚΑΙ ΟΙ ΕΠΠΤΩΣΕΙΣ	44
2.4 Η ΤΡΥΠΑ ΣΤΟ ΣΤΡΩΜΑ ΤΟΥ ΟΖΟΝΤΟΣ	48
2.5 Η ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ	52
2.6 ΣΤΡΟΦΗ ΣΕ ΚΑΘΑΡΕΣ ΜΟΡΦΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ	53
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3	56
3.1 ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ & ΥΔΡΟΓΟΝΟ	56
3.2 ΗΛΙΑΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ	58
3.2.1 ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ	59
3.2.2 ΠΩΣ ΠΑΡΑΓΕΤΑΙ ΤΟ ΥΔΡΟΓΟΝΟ ΑΠΟ ΤΑ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ	61
3.3 ΑΙΟΛΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ	70
3.3.1 ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΕΣ	71
3.3.2 ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΥΔΡΟΓΟΝΟΥ ΣΤΟ ΑΙΟΛΙΚΟ ΠΑΡΚΟ ΤΟΥ Κ.Α.Π.Ε.	74
3.4 ΒΙΟΜΑΖΑ	75

3.4.1 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΑΠΟ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΤΗΣ ΒΙΟΜΑΖΑΣ.....	75
3.4.2 ΜΕΘΟΔΟΙ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΥΔΡΟΓΟΝΟΥ ΑΠΟ ΒΙΟΜΑΖΑ.....	76
3.4 ΟΙ ΕΝΕΡΓΕΙΕΣ ΤΗΣ ΘΑΛΑΣΣΑΣ	85
3.4.1 ΘΕΡΜΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΤΩΝ ΩΚΕΑΝΩΝ	85
3.4.2 Η ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΤΩΝ ΚΥΜΑΤΩΝ	86
3.4.3 ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΩΚΕΑΝΙΟΥ ΥΔΡΟΓΟΝΟΥ.....	87
3.5 ΜΕΤΑΤΡΟΠΗ ΤΩΝ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΩΝ ΠΗΓΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ	88
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4	89
4.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΙΣ ΚΥΨΕΛΕΣ ΚΑΥΣΙΜΟΥ	89
4.2 ΑΡΧΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΚΥΨΕΛΗΣ ΚΑΥΣΙΜΟΥ	90
4.3 ΤΥΠΟΙ ΚΥΨΕΛΩΝ ΚΑΥΣΙΜΟΥ.....	91
4.3.1. ΚΥΨΕΛΗ ΚΑΥΣΙΜΟΥ ΦΩΣΦΟΡΙΚΟΥ ΟΞΕΟΣ (PAFC).....	91
4.3.2 ΚΥΨΕΛΗ ΚΑΥΣΙΜΟΥ ΠΟΛΥΜΕΡΙΣΜΕΝΗΣ ΜΕΜΒΡΑΝΗΣ (PEM).....	92
4.3.3 ΚΥΨΕΛΗ ΚΑΥΣΙΜΟΥ ΤΗΓΜΕΝΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ (MCFC)	92
4.3.4 ΚΥΨΕΛΗ ΚΑΥΣΙΜΟΥ ΣΤΕΡΕΟΥ ΟΞΕΙΔΙΟΥ (SOFC).....	92
4.3.5 ΚΥΨΕΛΗ ΚΑΥΣΙΜΟΥ ΜΕΘΑΝΟΛΗΣ (DMFC)	93
4.4 ΑΠΟΔΟΣΗ ΚΥΨΕΛΩΝ ΚΑΥΣΙΜΟΥ.....	93
4.4.1 ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ.....	93
4.4.2 ΠΡΑΚΤΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ	94
4.5 ΑΝΑΜΟΡΦΩΤΕΣ	94
4.5.1 ΡΟΛΟΣ ΑΝΑΜΟΡΦΩΤΩΝ	94
4.5.2 ΕΝΔΟΘΕΡΜΗ ΑΝΑΜΟΡΦΩΣΗ ΑΤΜΟΥ.....	95
4.5.3 ΕΞΩΘΕΡΜΗ ΜΕΡΙΚΗ ΟΞΕΙΔΩΣΗ	96
4.5.4 ΑΥΤΟΘΕΡΜΙΚΗ ΑΝΑΜΟΡΦΩΣΗ.....	96
4.5.5 ΑΠΟΜΑΚΡΥΝΣΗ ΜΟΝΟΞΕΙΔΙΟΥ ΤΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ	97
4.6 ΑΝΑΛΥΤΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΚΥΨΕΛΗΣ PEM.....	97
4.7 ΘΕΩΡΗΤΙΚΟΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΜΕΓΙΣΤΗΣ ΤΑΣΗΣ ΚΑΙ ΡΥΘΜΟΥ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ	105
4.8 ΤΟ ΜΕΛΛΟΝ ΤΩΝ FUEL CELL	107
4.8.1 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΩΝ ΚΥΨΕΛΩΝ ΚΑΥΣΙΜΩΝ ΥΔΡΟΓΟΝΟΥ	109
4.8.2 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΤΩΝ ΚΥΨΕΛΩΝ ΚΑΥΣΙΜΟΥ ΥΔΡΟΓΟΝΟΥ.....	109
4.9 Η ΙΣΤΟΡΙΑ ΤΩΝ ΚΥΨΕΛΩΝ ΚΑΥΣΙΜΟΥ	110
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5	115
5.1 ΤΟ ΜΕΛΛΟΝ ΤΟΥ ΥΔΡΟΓΟΝΟΥ	115
5.2 ΕΡΕΥΝΑ ΚΑΙ ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΠΑΓΚΟΣΜΙΩΣ	116
5.3 Η ΕΤΟΙΜΟΤΗΤΑ ΤΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ	118
5.4 ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΑ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΑ ΥΔΡΟΓΟΝΟΥ ΠΟΥ ΕΞΕΛΙΣΣΟΝΤΑΙ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ	118
5.4.1 ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ ΚΑΙ ΠΡΩΤΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΑΠΟ ΜΟΝΑΔΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΥΔΡΟΓΟΝΟΥ ΑΠΟ ΑΙΟΛΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ.....	119
5.4.2 ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΝΗΣΙ ΥΔΡΟΓΟΝΟΥ.....	128
5.4.3 ΥΔΡΟΓΟΝΟ «MADE IN GREECE»	133
5.4.4 ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΛΕΩΦΟΡΕΙΟ ΥΔΡΟΓΟΝΟΥ	134
5.5 ΘΕΣΜΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ ΓΙΑ Α.Π.Ε. ΚΑΙ ΥΔΡΟΓΟΝΟ	135
ΕΠΙΛΟΓΟΣ.....	137
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	138

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Δεδομένου των ενεργειακών προβλημάτων που υπάρχουν στον πλανήτη και με αφορμή την ανάγκη προστασίας του περιβάλλοντος, δημιουργήθηκε η παρούσα εργασία. Στόχος της εργασίας αυτής είναι να αναδείξει και να ενισχύσει προτάσεις εναλλακτικής διαχείρισης φυσικών μορφών ενέργειας που θα αποσκοπούν στη βέλτιστη αξιοποίηση αυτών μέσω της παραγωγής υδρογόνου. Στην ουσία ο στόχος αυτός είναι διττός. Υπάρχει η επιθυμία αφ' ενός, να αυξηθεί όσο το δυνατόν περισσότερο η χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και αφ' ετέρου, η άμεση αντικατάσταση των ορυκτών καυσίμων που χρησιμοποιούνται μέχρι σήμερα.

Η εργασία είναι χωρισμένη σε κεφάλαια τα οποία βοηθούν στην καλύτερη κατανομή των ζητημάτων του θέματος και προσπαθούν κυρίως να καλύψουν το ζήτημα παραγωγής υδρογόνου από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Ξεκινώντας την ανάγνωση της συναντά κανείς τις πρώτες και γενικές πληροφορίες για το υδρογόνο που κάνουν κατανοητό σε τι αυτό χρησιμεύει σήμερα και πώς μπορεί να αξιοποιηθεί.

Σε επόμενα κεφάλαια αναφέρονται και εξετάζονται ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα κάθε μιας εξ' αυτών και παράλληλα γίνεται προσπάθεια να συσχετισθούν με την παραγωγή υδρογόνου ως φορέας ενέργειας. Σε περαιτέρω κεφάλαια γίνεται μια περιγραφή των κυψελών καυσίμου, ένα σύστημα, δηλαδή, το οποίο χρησιμοποιεί το υδρογόνο ως καύσιμο.

Τέλος, θα ήταν χρήσιμο να γίνει και μία αναφορά για το μέλλον εφόσον και αν αυτές οι τεχνολογίες λαμβάνουν ισχύ σε παγκόσμιο επίπεδο. Ενδιαφέρον, παράλληλα, έχει αν και η Ελλάδα είναι έτοιμη να αντικαταστήσει έστω και σε κάποιο βαθμό τα ορυκτά καύσιμα με το υδρογόνο και με ποιόν τρόπο θα μπορούσε κάτι τέτοιο να επιτευχθεί.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Φανταστείτε να ζείτε στο κέντρο μιας μεγάλης πόλης με δρόμους γεμάτους αυτοκίνητα, φορτηγά, λεωφορεία και να αναπνέετε έναν τελείως καθαρό αέρα σαν να είμαστε στην εξοχή. Είναι όνειρο; Προς το παρόν ναι, αλλά στο μέλλον μπορεί να γίνει πραγματικότητα. Όλα εξαρτώνται από τον προγραμματισμό και την πολιτική βούληση των κυβερνήσεων. Μέχρι σήμερα η κύρια πηγή ενέργειας ήταν τα ορυκτά καύσιμα. Υπάρχουν μεγάλα αποθέματα ανθράκων που μπορούν να μας τροφοδοτούν για 200 ακόμη χρόνια, ως τώρα το πετρέλαιο και το φυσικό αέριο ρέουν άφθονα και παρέχονται σε αρκετά χαμηλές τιμές. Εδώ και 30 χρόνια περίπου εμφανίστηκαν οι εξής δυσάρεστες προοπτικές: Πρώτον, φάνηκε πως τα αποθέματα του πετρελαίου δεν θα ήταν ανεξάντλητα, συγκεκριμένα υπολογίζεται πως θα εξαντληθούν μέσα σε 40 χρόνια. Δεύτερον και σοβαρότερο, η ρύπανση του περιβάλλοντος έχει ανέλθει σε πολύ επικίνδυνα όρια

Άμεσα η υγεία μας βλέπεται από τις εκπομπές καπνού και δηλητηριωδών αερίων, διοξειδίου του θείου, οξειδίων του θείου, μονοξειδίου του άνθρακα και όζοντος, αλλά και η θερμοκρασία της γης ανεβαίνει από την μεγάλη συγκέντρωση διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα (φαινόμενο του θερμοκηπίου). Η καθαρή ενέργεια που δίνουν οι υδατοπτώσεις δεν καλύπτει παρά μόνο μικρό ποσοστό αναγκών. Η πυρηνική ενέργεια, που δεν συνεπάγεται εκπομπές ρυπογόνων ουσιών, εκτός από τα πιθανά ολέθρια ατυχήματα, δημιουργεί μεγάλες ποσότητες πυρηνικών αποβλήτων, που δεν υπάρχει τρόπος να εξουδετερωθούν ασφαλώς και υπάρχει μεγάλος κίνδυνος διαρροών μεγάλων ποσοτήτων ραδιενέργειας.

Εμπρός σε αυτά τα τεράστια προβλήματα οι επιστήμονες στράφηκαν στην ανεύρεση καθαρών, ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Έτσι αναπτύχθηκαν πολύ οι ανεμογεννήτριες και τα φωτοβολταϊκά στοιχεία, για την εκμετάλλευση της αιολικής και της ηλιακής ενέργειας. Η τεχνολογία τους συνεχώς εξελίσσεται, και ενώ αρχικά το κόστος τους ήταν απαγορευτικό, τώρα η απόδοση τους συνεχώς αυξάνεται και οι τιμές τους ολοένα και μειώνονται.

Έτσι σε περιοχές με δυνατούς ανέμους εγκαθίστανται ανεμογεννήτριες που διοχετεύουν την ηλεκτρική ενέργεια που παράγουν στα δίκτυα ηλεκτροδότησης και σε πολλά μέρη εγκαθίστανται φωτοβολταϊκά πάρκα, κυρίως για ηλεκτροδότηση απομονωμένων περιοχών. Το πρόβλημα με αυτές τις λύσεις είναι ότι δεν υπάρχει συνεχής παραγωγή ενέργειας. Γι' αυτό είναι απαραίτητο να υπάρχει δυνατότητα αποθήκευσης της ενέργειας. Η αποθήκευση της ενέργειας γίνεται κυρίως με μπαταρίες. Για την αποθήκευση όμως μεγάλων ποσοτήτων ενέργειας απαιτούνται μεγάλες και βαριές μπαταρίες που κοστίζουν αρκετά ακριβά και καταλαμβάνουν μεγάλο χώρο. Άλλος τρόπος είναι η ανύψωση μιας ποσότητας νερού σε μια δεξαμενή που βρίσκεται ψηλά όταν υπάρχει περίσσεια ηλεκτρικού ρεύματος και η χρησιμοποίηση της ενέργειας της πτώσης του νερού σε δεξαμενή που βρίσκεται σε κατώτερο ύψος για την παραγωγή ηλεκτρισμού όταν η κατανάλωση είναι μεγάλη. (Αντλιοσταμειυτήρες)

Αντί για αυτούς τους τρόπους αποθήκευσης υπάρχει η λύση του υδρογόνου ,που διερευνάται πολύ εντατικά τα τελευταία 25 χρόνια και ήδη έχει τεθεί σε εφαρμογή σε πολλές χώρες, κυρίως στις Η.Π.Α., στον Καναδά, στην Γερμανία και στην Ιαπωνία. Το υδρογόνο είναι καύσιμο με πολύ μεγάλη θερμοαντική αξία, το προϊόν της καύσης του είναι μόνο νερό και μπορεί να μεταφέρεται σε μεγάλες αποστάσεις χωρίς απώλειες. Εκτός από την παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος , θα ήταν ιδανικό να χρησιμοποιείται το υδρογόνο για την κίνηση των οχημάτων αντί των προϊόντων του πετρελαίου.

Το υδρογόνο είναι όμως δευτερογενές καύσιμο, δεν υπάρχει ελεύθερο στη φύση παρά μόνο στα ανώτερα στρώματα της ατμόσφαιρας, για αυτό πρέπει να καταναλωθεί ενέργεια για την παραγωγή του, ή και άλλα πρωτογενή καύσιμα Ένας μεγάλος τομέας στην έρευνα και ανάπτυξη για την χρήση του υδρογόνου ως καύσιμου είναι η βελτιστοποίηση των μεθόδων παραγωγής του ώστε το κόστος να κατέβει σε ανταγωνιστικά επίπεδα σε σύγκριση με τα άλλα καύσιμα. Παράλληλα, γίνεται έρευνα και ανάπτυξη για τους τρόπους αποθήκευσης και μεταφοράς του, καθώς και για τις χρήσεις του.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

1.1 ΓΕΝΙΚΑ ΓΙΑ ΤΟ ΥΔΡΟΓΟΝΟ

Προκειμένου να μελετήσουμε το υδρογόνο στο ρόλο του καυσίμου πρέπει να έχουμε καλή γνώση της ίδια της φύσης του. Παρακάτω αναφέρονται συνοπτικά κάποιες βασικές ιδιότητες του.

Το υδρογόνο σε θερμοκρασία δωματίου, βρίσκεται σε αέρια φάση. 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 συναντάται 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.

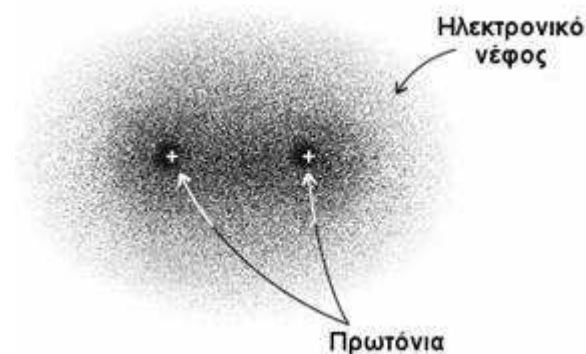
Βαρύτερα στοιχεία προκύπτουν από τη σύντηξη του υδρογόνου, όπως το ήλιο (He). Βάση αυτής της διαδικασίας πιστεύεται ότι σχηματίστηκε το ίδιο το σύμπαν ενώ η ίδια διαδικασία είναι επίσης υπεύθυνη για την έκλυση ενέργειας από τα άστρα όπως γίνεται στον ήλιο.

1.1.1 ΦΥΣΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΥΔΡΟΓΟΝΟΥ

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/m³ 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. 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 τρίτιο είναι ραδιενεργό με χρόνο ημίσειας ζωής τα 12,4 χρόνια. Μέχρι σήμερα, εκτός των παραπάνω ισωτόπων τα οποία μπορούν να βρεθούν στη φύση, έχουν παραχθεί εργαστηριακά μέχρι και ισότοπα 6 νετρονίων.

Κατά τη κβαντομηχανική προσέγγιση, συνοπτικά, τα πρωτόνια των μορίων υδρογόνου περιβάλλονται από το ηλεκτρονικό νέφος 2 ηλεκτρονίων. Η πυκνότητα πιθανότητας αυτού του νέφους είναι αυξημένη στον χώρο μεταξύ των πρωτονίων έτσι ώστε το καθένα να θωρακίζεται από το ομόσημο φορτίου του άλλου. Η κατάσταση αυτή προκύπτει από άρτια (συμμετρική) κυματοσυνάρτηση να περιγράφει την ηλεκτρονική κατανομή στο μόριο. Όμως η ολική κυματοσυνάρτηση του συστήματος του μορίου του υδρογόνου (ως γινόμενο της χωρικής και αυτής των σπινς) πρέπει να είναι αντισυμμετρική σαν συνέπεια της αρχής του Pauli. Η κυματοσυνάρτηση των σπινς επομένως πρέπει να είναι αντισυμμετρική δηλαδή τα σπινς των ηλεκτρονίων του μορίου να είναι αντιπαράλληλα.



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

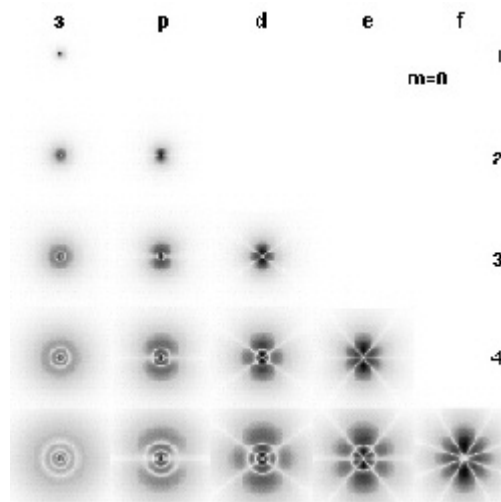
1.1.2 ΧΗΜΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΥΔΡΟΓΟΝΟΥ

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. Ωστόσο θερμαινόμενο με φλόγα αντιδρά βίαια με το οξυγόνο του αέρα ώστε να δώσει νερό σύμφωνα με την αντίδραση :

$2\text{H}_2 + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{H}_2\text{O}$ εκλύοντας ταυτόχρονα ενέργεια ίση με 285.83kj ανά mol παραγόμενου νερού.

Τα άτομα υδρογόνου σχηματίζουν ομοιοπολικούς δεσμούς τόσο μεταξύ τους όσο και με τα άλλα στοιχεία, όπως στις ενώσεις του μεθανίου (CH_4) και του νερού. Οι δεσμοί αυτοί δεν είναι πάντα ισχυροί αλλά σπάνε εύκολα όπως στην περίπτωση των οξέων. Παράδειγμα αυτού είναι το μεθανικό οξύ (CH_3COOH), 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 .

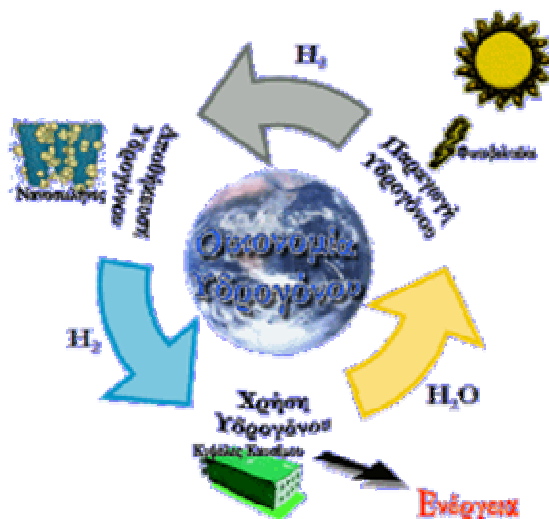
Τέλος, το υδρογόνο μπορεί να σχηματίσει το λεγόμενο δεσμό υδρογόνου (hydrogen bond). Ο δεσμός αυτός γίνεται μόνο μεταξύ υδρογόνου και ενός από τα στοιχεία O , S , N , F ή Cl . Η ενέργεια του δεσμού αυτού είναι μικρή. Χαρακτηριστικότερο παράδειγμα αυτού αποτελεί το νερό όπου κάθε μόριο του (σε μη υψηλές θερμοκρασίες) συνδέεται με 4 γειτονικά δημιουργώντας συμπλέγματα πολλών μορίων H_2O . Ο δεσμός υδρογόνου κατά ένα μέρος οφείλεται σε δυνάμεις Van Der Waals ενώ έχουμε επιπρόσθετη δύναμειν 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.



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

1.2 ΟΙΚΟΝΟΜΙΑ ΥΔΡΟΓΟΝΟΥ

Με τον όρο "οικονομία υδρογόνου" ονομάζουμε την υποδομή για την κάλυψη ενεργειακών αναγκών βασισμένη στο υδρογόνο και περιλαμβάνει τις έννοιες της παραγωγής, της αποθήκευσης και της χρήσης του. Επιπλέον, αν η παραγωγή του βασιστεί σε ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, οι παραπάνω διαδικασίες αποτελούν μέρη μίας καθαρής από ρίπους, κυκλικής διαδικασίας, το λεγόμενο κύκλο του υδρογόνου (**Σχήμα**).



Το θέμα της οικονομίας υδρογόνου προσελκύει όλο και περισσότερη προσοχή πείθοντας για την καταλληλότητα του υδρογόνου ως μελλοντικό φορέα ενέργειας. Αυτό είναι αναμενόμενο σε κάποιο βαθμό καθώς μόνο πρόσφατα το επίπεδο των εμπλεκόμενων επιστημών έχει ωριμάσει αρκετά για τη σωστή προσέγγιση του θέματος της οικονομίας υδρογόνου, χωρίς όμως αυτό να σημαίνει πως δεν απαιτείται περαιτέρω ανάπτυξη. Αντιθέτως, πολλά πρέπει να γίνουν σε επιστημονικό και τεχνολογικό επίπεδο πριν οι τεχνολογίες υδρογόνου θεωρηθούν ώριμες για μαζική χρήση. Εξίσου σημαντικός παράγοντας είναι επίσης, η αποδοχή του κοινού μια όχι και τόσο ταχεία διαδικασία. Επιπλέον, ας μη ξεχνάμε ότι το υδρογόνο δεν αποτελεί τη μοναδική εναλλακτική όσον αφορά την επίλυση των ενεργειακών αναγκών.

Σε κάθε περίπτωση όμως, η οικονομία υδρογόνου είναι μία ιδέα η οποία ακόμα κι αν δεν υιοθετηθεί ποτέ θα έχει συντελέσει σε μεγάλο βαθμό στην κίνηση προς την εκμετάλλευση ανανεώσιμων και φιλικών προς το περιβάλλον πηγών ενέργειας και στην ανάπτυξη ανάλογων νέων τεχνολογιών.

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 οξειδία 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.

Ωστόσο, υπάρχουν και 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. Πρόβλημα επίσης αποτελεί η έλλειψη οργανωμένου δικτύου διανομής του.

Η οικονομία υδρογόνου αποτελεί την πιο ελκυστική λύση όσον 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. Ιδιάζουσας σημασίας είναι η κατανόηση των διεργασιών οι οποίες λαμβάνουν χώρα σε ατομικό και μοριακό επίπεδο στη διεπιφάνεια υδρογόνου και διαφόρων υλικών για τη χρήση των δευτέρων στη ενέργεια υδρογόνου. Νέα υλικά χρειάζονται για τη χρήση τους σε 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 κ.ο.κ.

Επίσης ένα τομέας του οποίου η εξέλιξη αποτελεί καθοριστικό παράγοντα στην εξέλιξη της οικονομία 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 καταλύτες 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 στιγμής. 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 ΤΟ ΥΔΡΟΓΟΝΟ ΩΣ ΦΟΡΕΑΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Κατά τα πρώιμα στάδια της ανθρώπινης δραστηριότητας η κάλυψη των ενεργειακών αναγκών γινόταν αποκλειστικά με εκμετάλλευση της βιομάζας. Στα τέλη του 18ου αιώνα με την ανακάλυψη της ατμομηχανής δημιουργήθηκε η ανάγκη εύρεσης ενέργειας υπό τη μορφή κάρβουνου. Το κάρβουνο αργότερα συμπληρώθηκε με τη χρήση πετρελαίου και φυσικού αερίου, όλα μεγάλης περιεκτικότητας σε άνθρακα



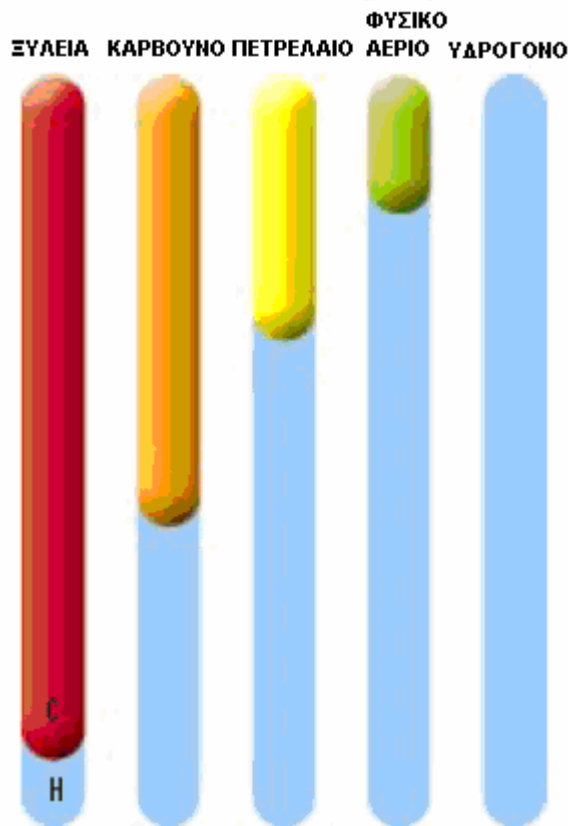
Το CO₂ το οποίο παράγεται όπως γνωρίζουμε είναι υπεύθυνο για το φαινόμενο του θερμοκηπίου με αποτέλεσμα την αύξηση της μέσης θερμοκρασίας του πλανήτη. Αυτή η αύξηση της θερμοκρασίας έχει ως συνέπεια την απελευθέρωση ακόμα περισσότερου CO₂ το οποίο βρίσκεται διαλυμένο στο νερό των ωκεανών, καθώς η διαλυτότητα του είναι

αντιστρόφως ανάλογη της θερμοκρασίας. Επιπλέον, μέσα στον τελευταίο αιώνα ο πληθυσμός της γης αυξήθηκε κατά ένα παράγοντα 6 ενώ η ενεργειακή κατανάλωση κατά ένα παράγοντα 80 ενώ υπολογίζεται πως σύντομα η ζήτηση θα υπερκαλύψει την προσφορά στα καύσιμα. Δε θα πρέπει να ξεχνάμε ότι τα ορυκτά καύσιμα της σύγχρονης εποχής μας δεν είναι ανεξάντλητα και θα πρέπει να στραφούμε προς κάποια νέα πηγή ενέργειας, κατά το ιδανικό, ανανεώσιμη.

Το υδρογόνο έχει επιπλέον μία χρήση λοιπόν. 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 σε επόμενο κεφάλαιο.

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.



Περιεκτικότητες καυσίμων σε άνθρακα και υδρογόνο

1.3.1 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΕΝΑΝΤΙ ΣΥΜΒΑΤΙΚΩΝ ΠΗΓΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

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 °C (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.

1.3.2 ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΕΝΑΝΤΙ ΣΥΜΒΑΤΙΚΩΝ ΠΗΓΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Όσον 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 κυψελών 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.

1.4 ΜΕΘΟΔΟΙ ΠΑΡΑΣΚΕΥΗΣ ΥΔΡΟΓΟΝΟΥ

Η μη ύπαρξη καθαρού αερίου 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 $2H_2O + \text{ενέργεια} \rightarrow 2H_2 + O_2$. Οι μέθοδοι παρασκευής, ενδεικτικά, χωρίζονται σε 3 κατηγορίες:

- Τις θερμοχημικές,
- Τις ηλεκτρολυτικές
- Τις φωτολυτικές.

1.4.1 ΘΕΡΜΟΧΗΜΙΚΕΣ

1. ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΦΥΣΙΚΟΥ ΑΕΡΙΟΥ

Στις θερμοχημικές μεθόδους συγκαταλέγεται η επεξεργασία του φυσικού αερίου. Το χαμηλό κόστος επεξεργασίας του και η αφθονία του είναι κυρίως οι λόγοι για τους οποίους αυτή η μέθοδος χρησιμοποιείται περισσότερο από οποιαδήποτε άλλη αυτή τη στιγμή για την παραγωγή υδρογόνου. Το φυσικό αέριο χρησιμοποιείται για το 45% της συνολικής παραγωγής του υδρογόνου. Το υπόλοιπο ποσοστό μοιράζεται άνισα. 30% έχουμε από επεξεργασία πετρελαίου, 15% από κάρβουνο και το υπόλοιπο 5% από ηλεκτρόλυση.

Το κύριο μέρος της διαδικασίας αποτελείται από την επεξεργασία και μετατροπή του αερίου μεθανίου του φυσικού αερίου (αναμόρφωση ατμού μεθανίου). Στα προϊόντα αυτής συγκαταλέγεται και διοξείδιο του άνθρακα το οποίο απελευθερώνεται στην ατμόσφαιρα. Για την αποφυγή αυτού του γεγονότος γίνεται έρευνα πάνω στη βελτίωση της διαδικασίας ώστε το CO₂ αυτό να απορροφάται κατά τη διαδικασία μετατροπής, κάτι το οποίο με τη σειρά του θα οδηγήσει σε παραγωγή μεγαλύτερης ποσότητας υδρογόνου, σε χαμηλότερες θερμοκρασίες και σε μειωμένο κόστος κατά ένα ποσοστό 25%-30%.

2. ΑΕΡΙΟΠΟΙΗΣΗ ΚΑΙ ΠΥΡΟΛΥΣΗ ΒΙΟΜΑΖΑΣ

Δεύτερη μέθοδος στην κατηγορία των θερμοχημικών είναι αυτή που στηρίζεται στην εκμετάλλευση της βιομάζας, την αποθηκευμένη δηλαδή χημική ενέργεια στα φυτά και στα ζώα.

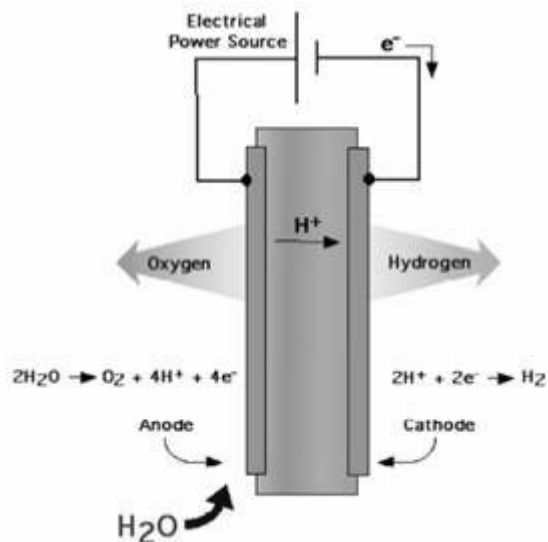
Με πυρόλυση της βιομάζας, η οποία προκαλείται με θέρμανση της απουσία οξυγόνου και αποτελεί μη αντιστρεπτή χημική μεταβολή, λαμβάνουμε ανάλογα με τις ακριβείς συνθήκες θερμοκρασίας και πίεσης, πλήθος προϊόντων, αέριας, υγρής ή στερεάς μορφής. Τα υγρής μορφής προϊόντα στην ουσία είναι ένα είδος λαδιού, το οποίο όπως και το πετρέλαιο, περιέχει ένα ευρύ φάσμα συστατικών τα οποία μπορούν να διαχωριστούν σε χρήσιμες χημικές ουσίες και καύσιμα με κατάλληλη επεξεργασία, συμπεριλαμβανομένου και του υδρογόνου.

Επίσης, με θέρμανση της βιομάζας παρουσία περιορισμένων ποσοτήτων οξυγόνου, κατά τη λεγόμενη δηλαδή αεριοποίηση της βιομάζας έχουμε άμεση παραγωγή CO και H₂. Το μίγμα αυτό ονομάζεται αέριο συνθέσεως (synthesis gas).

1.4.2 ΗΛΕΚΤΡΟΛΥΤΙΚΕΣ

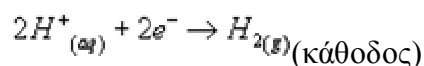
ΗΛΕΚΤΡΟΛΥΣΗ ΝΕΡΟΥ

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.

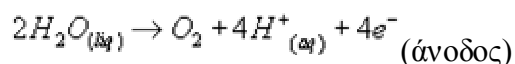


Αναπαράσταση ηλεκτρολυτικού στοιχείου

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

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

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_{*} οι ενεργότητες 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.

1.4.3 ΦΩΤΟΛΥΤΙΚΕΣ

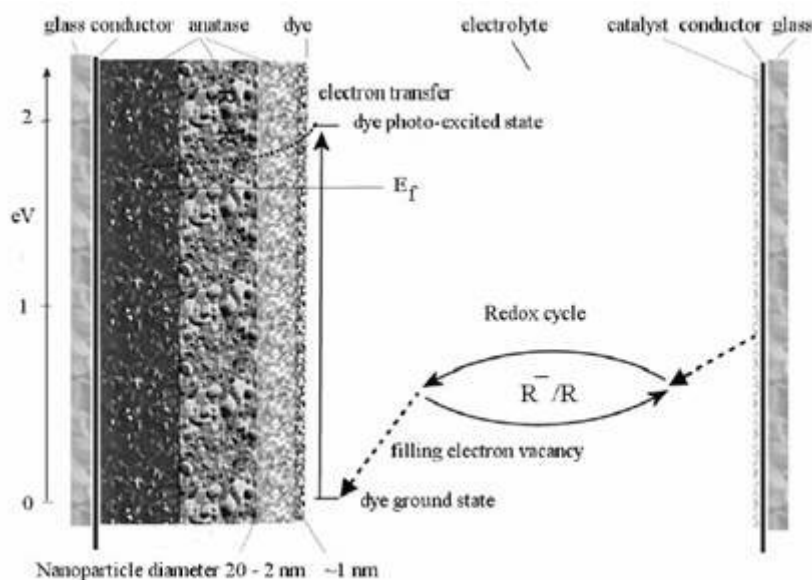
1. ΦΩΤΟΒΙΟΛΟΓΙΚΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗ

Συνεχίζουμε με τις φωτολυτικές μεθόδους. Ορισμένοι φωτοσυνθετικοί μικροοργανισμοί παράγουν υδρογόνο ως μέρος του μεταβολικού τους κύκλου με τη βοήθεια ενέργειας από φως. Με σωστή εκμετάλλευση τους μπορούν να επιτευχθούν ποσοστά απόδοσης κοντά στο 25%. Μειονέκτημα αυτής της μεθόδου είναι ότι την παραγωγή υδρογόνου συνοδεύει και παραγωγή οξυγόνου όπου σε μεγάλες ποσότητες δρα καταστρεπτικά πάνω στο συνήθως αναερόβιο βιολογικό σύστημα. Αυτός είναι και ο λόγος για τον οποίο γίνονται προσπάθειες για τη δημιουργία νέων γενετικών μορφών περισσότερο ανθεκτικών στο οξυγόνο. Είναι ενδιαφέρον να παρατηρήσουμε ότι η βίοςφαιρα χρησιμοποιεί ένα πολύ μικρό ποσοστό της ηλιακής ακτινοβολίας για την παραγωγή υδρογόνου (μικρότερο του 0,5% της συνολικής φωτοσυνθετικής διαδικασίας) σε ποσά τα οποία είναι συγκρίσιμα με αυτά που χρειάζονται για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών μας.

2. ΦΩΤΟΗΛΕΚΤΡΟΛΥΣΗ

Παρόμοια απόδοση παρουσιάζουν συστήματα ηλιακών συλλεκτών συνδεδεμένων σε σειρά έτσι ώστε να παράγεται αρκετή τάση για να διαχωριστεί νερό στα συστατικά του. Η θεωρητική τιμή για ένα τέτοιο σύστημα όσον αφορά την απόδοση του είναι 40%. Ωστόσο πρακτικά η τιμή αυτή πέφτει στο 20% με 25%. Με χρήση υλικών χαμηλού κόστους όπως της άμορφης σιλκόνης η αποδοτικότητα μειώνεται ακόμα περισσότερο, στο 5% με 10%, όμως αποτελεί τη χρυσή τομή κόστους - απόδοσης και κάνει τη μέθοδο οικονομικά συμφέρουσα σχετικά.

Μία σχετικά νέα τεχνολογία στην μετατροπή ηλιακής ενέργειας είναι η χρήση φωτοηλεκτροχημικών στοιχείων ή αλλιώς στοιχείων Gr a tzel (photoelectrochemical cells , PEC cells). Τα στοιχεία αυτά αποτελούνται από ένα πορώδες λεπτό υμένιο TiO_2 μεγέθους σωματιδίων περίπου 2 με 20 nm σε διάμετρο. Το υμένιο αυτό επικαλύπτεται με βαφή (dye) και έρχεται σε επαφή με υγρό ηλεκτρολύτη. Το σύστημα αυτό βρίσκεται ανάμεσα σε δύο διαφανή ηλεκτρόδια, συνήθως γυαλί επικαλυμμένο με αγωγίμο στρώμα. Όταν φως προσπίπτει στην βαφή, δημιουργούνται ζεύγη ηλεκτρονίων - οπών. Τα ηλεκτρόνια μεταπηδούν στη ζώνη αγωγιμότητας του λεπτού φιλμ του TiO_2 και από αυτό στο ηλεκτρόδιο (άνοδος) το οποίο είναι συνδεδεμένο με εξωτερικό κύκλωμα. Στην ουσία η παραγομένη τάση είναι αυτή που θα ηλεκτρολύει το νερό. Τα ηλεκτρόνια ολοκληρώνουν το κύκλο τους με το να μεταφερθούν στην κάθοδο και μέσω του ηλεκτρολύτη πίσω στη βαφή. Παρόλο που το TiO_2 από μόνο του μπορεί να αποβάλλει ηλεκτρόνια κατά την απορρόφηση φωτονίων η βαφή εξυπηρετεί στη διεύρυνση του φάσματος απορρόφησης και στην περιοχή του ορατού φάσματος αυξάνοντας έτσι την απόδοση. Προσμίξεις άνθρακα στο TiO_2 έχουν παρόμοιο αποτέλεσμα. Τις οξειδοαναγωγικές αντιδράσεις στις οποίες συμμετέχει ο ηλεκτρολύτης επιταχύνει καταλύτης που βρίσκεται στην κάθοδο.



Σχηματική αναπαράσταση φωτοηλεκτροχημικού στοιχείου

Ένα στοιχείο PEC κατασκευάζεται από φτηνά υλικά. Η απόδοση του είναι περίπου 10% αλλά μπορεί να αυξηθεί μειώνοντας το κόστος κατασκευής ακόμα περισσότερο ή διευρύνοντας το φάσμα απορρόφησης του. Επιπλέον, υπερτερεί των φωτοβολταϊκών στοιχείων λόγω της μικρότερης υπέρτασης η οποία εμφανίζεται στην άνοδο κατά την ηλεκτρόλυση του νερού.

1.5 ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΥΔΡΟΓΟΝΟΥ

Η αποθήκευση υδρογόνου υπονοεί ουσιαστικά τη μείωση ενός πολύ μεγάλου όγκου αερίου υδρογόνου. 1 kg υδρογόνου σε θερμοκρασία περιβάλλοντος και ατμοσφαιρική πίεση καταλαμβάνει 11m³. 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. Προσοφημένο σε υλικά με μεγάλη ειδική επιφάνεια
4. Ροφημένο σε ενδοπλεγματικές θέσεις σε μέταλλα
5. Με χημικούς δεσμούς (ιοντικής ή ομοιοπολικής φύσης)

1.5.1 ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ ΥΔΡΟΓΟΝΟΥ ΣΕ ΑΕΡΙΑ ΦΑΣΗ

Το πιο κοινό σύστημα αποθήκευσης υδρογόνου είναι οι φιάλες αερίου πίεσης 5000 psi (1 psi = 6,894 kPa = 0,0680 atm). Σε τέτοιες πιέσεις η ογκομετρική πυκνότητα των περίπου 36 kg/m³, περίπου η μισή του υγρού υδρογόνου σε θερμοκρασία εξατίσεως. Πολύ μεγαλύτερες πιέσεις είναι εφικτές ενώ μπορούν να φτάνουν και τα 10000 psi. Τέτοιες φιάλες αποτελούνται από πολλαπλά στρώματα. Για την ενίσχυση της ανθεκτικότητας τους στις υψηλές πιέσεις μπορούν να χρησιμοποιηθούν και στρώματα νανοσωλήνων άνθρακα.

Από την τύπο:

$$\Delta G = RT \ln \left(\frac{P}{P_0} \right)$$

υπολογίζεται, υποθέτοντας ισόθερμη συμπίεση, θεωρητικά το έργο το οποίο απαιτείται για τη συμπίεση του αερίου υδρογόνου μέσα στη φιάλη. Η τελική πίεση συμβολίζεται στον παραπάνω τύπο ως p και η αρχική ως P_0 . Το υπολογιζόμενο έργο συνοδεύεται από κάποιο σφάλμα, μικρότερο ωστόσο από 6% για τις περιοχές πιέσεων από 0,1 έως 100 MPa. Για την ισόθερμη συμπίεση υδρογόνου από 0,1 MPa σε 80 MPa απαιτείται σύμφωνα με τον τύπο ενέργεια 2,21 kWh / kg. Σε πραγματικές διεργασίες το έργο είναι μεγαλύτερο καθώς η συμπίεση δεν είναι ισόθερμη.

Τα μειονεκτήματα αυτής της μεθόδου είναι η χαμηλή πυκνότητα του υδρογόνου καθώς και οι υψηλές πιέσεις που απαιτούνται. Επίσης, οι περισσότερες φιάλες σήμερα χρησιμοποιούν κράματα χαλκού ή αλουμινίου. Φιάλες από ανοξείδωτα υλικά μετάλλων, ο σίδηρος ή το τιτάνιο δεν είναι κατάλληλα καθώς το υδρογόνο μπορεί να προκαλέσει μέχρι και την ολική θραύση της φιάλης.

Το υδρογόνο σε χαμηλές πιέσεις διαχέεται μέσω των πόρων ενός στερεού και συγκεντρώνεται σε χώρους όπου υπάρχουν ατέλειες στη κρυσταλλική δομή. Τότε, αναφερόμενοι σε ανοξείδωτα υλικά, το υδρογόνο αντιδρά με τις προσμίξεις του υλικού και σχηματίζει κάποιο υδρίδιο. Το υδρίδιο αυτό παραμένει στο χώρο όπου σχηματίζεται και αυξανόμενο σε συγκέντρωση ασκεί πιέσεις στο γύρω όγκο του στερεού. Αυτές οι πιέσεις από ένα όριο και πάνω ανάλογα το υλικό μπορούν να προκαλέσουν την θραύση του. Μέχρι το σημείο της θραύσης το φαινόμενο είναι αντιστρεπτό στην περίπτωση που απομακρυνθεί το υδρογόνο. Σε υψηλές πιέσεις, όπως αυτές που μας ενδιαφέρουν για την αποθήκευση του υδρογόνου, τα πράγματα αλλάζουν λίγο. Το υδρογόνο συσσωρεύεται κυρίως στα όρια των κόκκων του μετάλλου και η θραύση του υλικού ξεκινάει από αυτές τις περιοχές. Το φαινόμενο της προκαλούμενης από υδρογόνο ευθραυστότητας (hydrogen induced embrittlement) πρέπει να ληφθεί σοβαρά υπόψη στην κατασκευή φιαλών με προορισμό την αποθήκευση υδρογόνου.

1.5.2 ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ ΥΔΡΟΓΟΝΟΥ ΣΕ ΥΓΡΗ ΦΑΣΗ

Το υγρό υδρογόνο αποθηκεύεται σε κρυογονικές δεξαμενές. Η πυκνότητα του υγρού υδρογόνου είναι $70,8 \text{ kg/m}^3$ ενώ είναι λίγο μεγαλύτερη από αυτή του στερεού υδρογόνου $70,6 \text{ kg/m}^3$. Η θερμική μόνωση της δεξαμενής παίζει πολύ σημαντικό ρόλο στην πρακτικότητα αυτής της μεθόδου.

Το μόριο του υδρογόνου συνίσταται από δύο πρωτόνια και δύο ηλεκτρόνια. Λαμβάνοντας υπόψη εκτός από τα ηλεκτρονικά σπινς και τα πυρηνικά οδηγούμαστε στο διαχωρισμό των μορίων υδρογόνου σε δύο ομάδες. Ανάλογα με το ολικό πυρηνικό σπιν έχουμε και δύο διαφορετικά είδη υδρογόνου. Αν $I=0$ (αντιπαράλληλα πυρηνικά σπινς) έχουμε το λεγόμενο παρά-υδρογόνο και για $I=1$ (παράλληλα πυρηνικά σπινς) το όρθο-υδρογόνο. Σε θερμοκρασίες δωματίου 25% του υδρογόνου βρίσκεται στην πάρα μορφή του και το υπόλοιπο 75% στην όρθο. Οι δύο αυτές μορφές διαφέρουν στην ενέργεια κι επομένως στις φυσικές ιδιότητες τους. Η θερμοκρασία τήξης και βρασμού του παρά-υδρογόνου διαφέρουν κατά $0,1 \text{ }^\circ\text{K}$ από αυτές του όρθο-υδρογόνου. Όταν το υδρογόνο ψύχεται από τη θερμοκρασία δωματίου στη θερμοκρασία βρασμού ($21,2 \text{ }^\circ\text{K}$) το όρθο-υδρογόνο από το αρχικό ποσοστό του 75% μειώνεται σε 50% αρχικά σε θερμοκρασία $77 \text{ }^\circ\text{K}$ και σε 0,2% στους $21,2 \text{ }^\circ\text{K}$. Η μετατροπή από τη μια μορφή στην άλλη είναι εξαιρετικά αργή, με χρόνο ημιζωής της μετατροπής μεγαλύτερο από έτος για τη θερμοκρασία των $77 \text{ }^\circ\text{K}$. Η μετατροπή αυτή είναι εξώθερμη και η θερμότητα η οποία παράγεται εξαρτάται από τη θερμοκρασία. Μέχρι τους $77 \text{ }^\circ\text{K}$ αυξάνεται όσο η θερμοκρασία μειώνεται ενώ για ακόμα χαμηλότερες θερμοκρασίες παραμένει σταθερή.

Η συνέπεια των παραπάνω είναι ότι αν αρχικά αποθηκευτεί υγρό υδρογόνο σε κάποια δεξαμενή κατά τη μετατροπή από το ένα είδος υδρογόνου στο άλλο θα εκλυθεί θερμότητα η οποία θα προκαλέσει την εξάτμιση του υγρού υδρογόνου. Για να αποφευχθεί αυτό η μετατροπή επιταχύνεται καταλυτικά από κατάλληλες επιφάνειες παραμαγνητικών υλικών (όπως βολφράμιο, νικέλιο, οξείδιο του χρωμίου). Η διαδικασία μπορεί να κρατήσει μέχρι και μερικά λεπτά ενώ ο δεσμός μεταξύ των ατόμων του υδρογόνου παραμένει ανεπηρέαστος.

Το μειονέκτημα αυτής της μεθόδου είναι τα μεγάλα ποσά ενέργειας που πρέπει να καταναλωθούν για την υδροποίηση του υδρογόνου. Για αυτό και αυτή η μέθοδος χρησιμοποιείται σε εφαρμογές όπου δεν τίθεται θέμα κόστους ενώ παράλληλα χρειάζεται να γίνει κατανάλωση του υδρογόνου σε μικρό χρονικό διάστημα, όπως σε διαστημικές εφαρμογές.

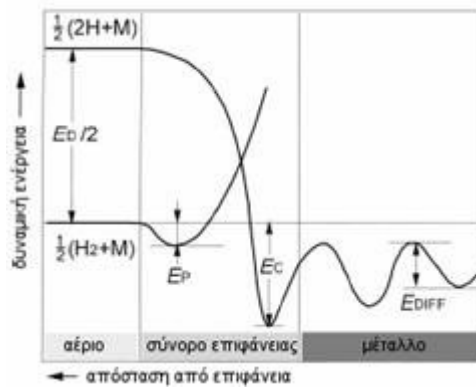
1.5.3 ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ ΥΔΡΟΓΟΝΟΥ ΣΕ ΜΕΤΑΛΛΑ ΚΑΙ ΥΔΡΙΔΙΑ ΜΕΤΑΛΛΩΝ

Η αποθήκευση υδρογόνου σε ένα μέταλλο γίνεται με την εισχώρηση του ατομικού υδρογόνου στο πλέγμα του μετάλλου. Η διαδικασία αυτή προκειμένου να έχει πρακτική αξία πρέπει να είναι αντιστρεπτή.

ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΣ ΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗΣ ΥΔΡΟΓΟΝΟΥ ΑΠΟ ΤΟ ΜΕΤΑΛΛΟ

Θέλοντας να προσεγγίσουμε αναλυτικότερα τη διαδικασία της απορρόφησης του υδρογόνου από μια καθαρή επιφάνεια μετάλλου μπορούμε να τη χωρίσουμε σε επιμέρους στάδια, έχοντας ως σημείο αναφοράς το παρακάτω διάγραμμα που εκφράζει τη σχέση δυναμικής ενέργειας του ατομικού και μοριακού υδρογόνου σε συνάρτηση με την απόσταση του από την επιφάνεια του μετάλλου.

1. Η δυναμική ενέργεια του ατομικού υδρογόνου έχει μια τιμή, ενώ η ανάλογη του μοριακού βρίσκεται υψηλότερα τόσο όσο υποδεικνύει η ενέργεια διάσπασης του στα 2 άτομα που το αποτελούν.
2. Πλησιάζοντας στην επιφάνεια έχουμε τη φυσική προσρόφηση του μοριακού υδρογόνου από το μέταλλο στο ελάχιστο της καμπύλης. Αυτή η ελκτική αλληλεπίδραση στηρίζεται στις αναπτυσσόμενες δυνάμεις Van Der Waals .
3. Για μικρότερες αποστάσεις το δυναμικό που βλέπει το μοριακό υδρογόνο λόγω της επιφάνειας απειρίζεται ενώ οι καμπύλες ατομικού και μοριακού τέμνονται σε κάποιο μεταβατικό σημείο αμέσως μετά το οποίο παρατηρείται η χημειορρόφηση του ατομικού. Όσο μικραίνουν οι αποστάσεις, το μόριο χάνει συνεχώς κινητική ενέργεια ενώ ο διατομικός δεσμός γίνεται όλο και πιο ασθενής λόγω της παράλληλης κίνησης των ατόμων.
4. Πάνω στην επιφάνεια τα άτομα υδρογόνου αλληλεπιδρούν και σχηματίζουν μια επιφανειακή φάση. Καθώς τα άτομα αυτά βρίσκουν κατάλληλα σημεία, εισχωρούν βαθύτερα στο μέταλλο.
5. Συνέπεια του παραπάνω βήματος είναι η διάχυση (diffusion) του υδρογόνου στο εσωτερικό του μέταλλο.



Δυναμική ενέργεια υδρογόνου συναρτήσει της απόστασης του από καθαρή επιφάνεια μετάλλου

Οι διαδικασίες αυτές ταυτόχρονα περιγράφουν την εκρόφιση υδρογόνου ακολουθώντας τα παραπάνω βήματα από το τέλος προς την αρχή. Στο σημείο αυτό πρέπει να αναφέρουμε ότι η ίδια ακριβώς διαδικασία χαρακτηρίζει την προσρόφιση όχι μόνο του υδρογόνου από κάποιο μέταλλο αλλά και άλλων στοιχείων όπως του οξυγόνου. Ωστόσο, μόνο το υδρογόνο απορροφάται από τα μέταλλα (ή τα κράματα τους) σε ικανοποιητικές ταχύτητες σε θερμοκρασία δωματίου. Στο αντίθετο άκρο βρίσκονται τα ευγενή αέρια, τα οποία είναι αδιάλυτα στα μέταλλα.

Παραπάνω θεωρήσαμε την επιφάνεια του μετάλλου καθαρή για το λόγο ότι στην αντίθετη περίπτωση όπου διάφορα οξειδία ή λοιπές προσμίξεις έχουν σχηματιστεί πάνω σε αυτήν η διαδικασία της απορρόφησης γίνεται πολύπλοκότερη. Σε μια τέτοια περίπτωση μιλάμε για ενεργοποίηση (activation) του μετάλλου, τη διάσπαση δηλαδή του στρώματος των προσμίξεων αυτών τα οποία εμποδίζουν τόσο την εισχώρηση του υδρογόνου στο μέταλλο όσο και τη διαδικασία διάσπασης του μοριακού υδρογόνου σε ατομικό στην επιφάνεια του. Το σπάσιμο του επιφανειακού αυτού στρώματος απαιτεί υψηλότερες θερμοκρασίες και πιέσεις. Η ταχύτητα της όλης διαδικασίας επηρεάζεται από αρκετούς παράγοντες, όπως τη δομή του μετάλλου (όπως θα δούμε παρακάτω μελετώντας τη βελτίωση της με χρήση νανοκρυσταλλικών μετάλλων), την καθαρότητα της επιφάνειας (όπως ήδη αναφέραμε), την παρουσία καταλυτών (εκτελώντας διάφορες λειτουργίες, όπως παράκαμψη της διαδικασίας ενεργοποίησης της επιφάνειας) κτλ.

Επίσης σημαντικό παράγοντα αποτελεί η μεταφορά θερμότητας δεδομένου του ότι ο σχηματισμός του υδριδίου είναι εξώθερμη διαδικασία. Επόμενο είναι πως σε περίπτωση που η θερμότητα αυτή δεν διοχετεύεται αρκετά γρήγορα μακριά από το υδρίδιο να μειώνεται η ταχύτητα σχηματισμού του.

ΜΕΤΑΒΑΣΗ ΣΤΗΝ ΚΛΙΜΑΚΑ ΤΟΥ ΝΑΝΟΜΕΤΡΟΥ

Ένας λόγος ο οποίος κάνει τα υδρίδια μετάλλου μη πρακτικά για την αποθήκευση υδρογόνου είναι ότι όσα από αυτά είχαν υψηλή ικανότητα αποθήκευσης, χαρακτηρίζονταν από χαμηλούς κινητικούς μηχανισμούς παρά σε υψηλές θερμοκρασίες οι οποίες δεν είναι πρακτικές. Επιπλέον, τα περισσότερα είναι αρκετά δραστικά, σχηματίζοντας στρώματα οξειδίων στην επιφάνεια τους με συνέπεια την ανάγκη ενεργοποίησης.

Γενικά, έχοντας υπόψη μας τα παραπάνω, ένα υδρίδιο μετάλλου προκειμένου να εξυπηρετήσει επαρκώς την αποθήκευση υδρογόνου πρέπει να έχει τα ακόλουθα χαρακτηριστικά:

- Υψηλή χωρητικότητα σε υδρογόνο
- Υψηλή κινητική υδρογόνωσης και αφυδρογόνωσης
- Εύκολη ενεργοποίηση
- Ελάχιστη αλλοίωση στη σύσταση κατά συνεχήs κύκλους υδρογόνωσης - αφυδρογόνωσης

Μόνο τα τελευταία χρόνια το ενδιαφέρον για τα υδρίδια μετάλλου ανανεώθηκε ως μέσο για την αποθήκευση υδρογόνου, πράγμα το οποίο οφείλεται συν τοις άλλοις και στα βελτιωμένα χαρακτηριστικά τους τα οποία προκύπτουν πετυχαίνοντας δομικούς λίθους σε διαστάσεις νανομέτρων. Η παρουσίαση επομένως των αποθηκευτικών ικανοτήτων των υδριδίων παρακάτω θα γίνει κάτω από αυτό το πλαίσιο.

ΜΙΓΜΑΤΑ ΥΔΡΙΔΙΩΝ

Με τη μίξη δύο ή περισσότερων υδριδίων μετάλλου μπορούμε να επιτύχουμε ένα τελικό σύστημα με ιδιότητες βελτιωμένες σε σύγκριση με αυτές των αρχικών συστατικών. Η μίξη αυτή έχει νόημα μόνο όταν αναφερόμαστε σε συστατικά δομών μεγέθους της τάξεως των νανομέτρων. Εξετάζουμε το σύστημα το οποίο προέρχεται από μίξη Mg το οποίο απαιτεί υψηλές θερμοκρασίες για τη απορρόφηση υδρογόνου και του FeTi (ή του LaNi₅) το οποίο απαιτεί για τον ίδιο σκοπό χαμηλές θερμοκρασίες. Κατά την αποδέσμευση σε θερμοκρασία δωματίου το FeTi αποβάλλει το απορροφημένο υδρογόνο του οποίου το ένα μέρος μπορεί να χρησιμοποιηθεί ώστε να θερμανθεί το Mg κατάλληλα για να συνεχιστεί η αποδέσμευση.

Επιπλέον, προσανατολιζόμαστε σε συστήματα των οποίων τα συστατικά μπορούν να δράσουν καταλυτικά το ένα για το άλλο όπως μίγμα MgH₂ και MgNiH₄. Σε αυτό το σύστημα παρατηρούμε πως η ικανότητα απορρόφησης του είναι άθροισμα των επιμέρους (περίπου 5% κ.β.) ενώ ταυτόχρονα οι ταχύτητες αποδέσμευσης είναι αυξημένες και η απαιτούμενη θερμοκρασία σχετικά χαμηλή (περίπου 220 °C).

Ο ρόλος ενός δεύτερου υλικού, ωστόσο, μπορεί να μην περιορίζεται στην αύξηση της χωρητικότητας του συστήματος ή στη βελτίωση της κινητικής των αντιδράσεων που λαμβάνουν χώρα (με το ρόλο του καταλύτη). Δεδομένου ότι η διαδικασία της αποδέσμευσης είναι ενδόθερμη, καταλαβαίνουμε ότι αρκετά σημαντικός παράγοντας είναι ο ρυθμός με τον οποίο διοχετεύεται θερμότητα εντός του συστήματος. Αν αυτό ο ρυθμός δεν είναι υψηλός, ο χρόνος που απαιτείται για την ολοκλήρωση της διαδικασίας αυξάνεται. Αυτός ο περιορισμός παρακάμπτεται με τη χρήση ενός δεύτερου υλικού που παίζει το ρόλο αγωγού της θερμότητας. Το σύστημα Mg - Al αποτελεί ένα τέτοιο σύστημα. Συγκεκριμένα, στο συγκεκριμένο παράδειγμα το Al παίζει διπλό ρόλο. Εκτός δηλαδή του αγωγού θερμότητας κατά τη διαδικασία της αποδέσμευσης, το Al παίρνει μέρος στο μηχανισμό της απορρόφησης με την ακόλουθη αντίδραση:



Μετά από κάποιο σημείο όπου το μεγαλύτερο μέρος του υδρογόνου έχει απομακρυνθεί από το σύστημα και η απαγωγή θερμότητας δεν είναι πια πρωτεύουσας σημασίας, το Al αλλάζει ρόλο αντιδρώντας όπως φαίνεται από το δεξί μέλος της αντίδρασης με το Mg έτσι ώστε να απελευθερωθεί το υδρογόνο.

ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΜΟΡΦΩΝ ΑΝΘΡΑΚΑ

Το διαμάντι και ο γραφίτης είναι δύο πολύ γνωστές μορφές άνθρακα. Το διαμάντι σχηματίζεται από άτομα άνθρακα κάθε ένα από τα οποία χαρακτηρίζεται από 4 υβριδικά τροχιακά sp^3 κι έτσι σχηματίζεται ένα τρισδιάστατο δίκτυο ατόμων. Στο γραφίτη τα άτομα άνθρακα ενώνονται μεταξύ τους μέσω τριών sp^2 υβριδικών τροχιακών σχηματίζοντας έτσι επίπεδα φύλλα από εξαμελείς δακτυλίους. Τα φύλλα αυτά είναι συγκρατημένα μεταξύ τους μέσω δυνάμεων Van Der Waals .

Εκτός όμως από τις δύο αυτές μορφές άνθρακα υπάρχουν κι άλλες, όπως οι νανοϊνες άνθρακα, τα φουλερένια και οι νανοσωλήνες άνθρακα, όλες αυτές οι ενώσεις χαρακτηρίζονται από νανοκρυσταλλική δομή. Το ενδιαφέρον για αυτές όσων αφορά την οικονομία υδρογόνου έγκυται στο ότι είναι ελαφρά και μπορούν να χρησιμοποιηθούν (όπως και τα υδρίδια μετάλλων) ως μέσα αποθήκευσης υδρογόνου, με περισσότερη ασφάλεια από αυτή των μεθόδων αέριας ή υγρής αποθήκευσης του. Δεν μπορούμε όμως να μιλήσουμε συγκεκριμένα για το πώς γίνεται η αποθήκευση σε αυτά χωρίς πρώτα να αναφερθούμε στις σημαντικότερες ιδιότητες τους.

ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΙ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΥΔΡΟΓΟΝΟΥ ΣΕ ΝΑΝΟΣΩΛΗΝΕΣ ΑΝΘΡΑΚΑ

Το υδρογόνο αποθηκεύεται στις νανοϊνες άνθρακα ανάμεσα στα επίπεδα του γραφίτη όπου την αποτελούν και συγκρατείται με δυνάμεις Van Der Waals . Ανάλογα με τον προσανατολισμό των επιπέδων αλλάζει και η μέγιστη ποσότητα που μπορεί να αποθηκευτεί. Ωστόσο, αν και οι νανοϊνες άνθρακα παρουσιάζουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον για την αποθήκευση υδρογόνου, εμείς παρακάτω θα αναφερθούμε αποκλειστικά στην αποθήκευση υδρογόνου σε νανοσωλήνες άνθρακα καθώς η περισσότερη έρευνα, πειραματικά και θεωρητικά, σήμερα εστιάζεται σε αυτούς.

Η αποθήκευση στους νανοσωλήνες γίνεται με δύο τρόπους, ή με φυσική προσρόφηση του υδρογόνου σε αυτούς ή με χημική προσρόφηση. Όπως γνωρίζουμε, στην πρώτη περίπτωση αυτό γίνεται με το υδρογόνο να διατηρεί τη μοριακή του δομή και να "δένεται" στην επιφάνεια με δυνάμεις Van Der Waals . Στη δεύτερη γίνεται με το ατομικό υδρογόνο να δημιουργεί χημικούς δεσμούς με τους άνθρακες των νανοσωλήνων.

Οι ακριβείς μηχανισμοί ωστόσο όπου κατευθύνουν το πώς γίνεται η ρόφηση του υδρογόνου στους νανοσωλήνες δεν είναι εξακριβωμένοι ακόμα. Συχνά υπάρχει ασυμφωνία μεταξύ πειράματος και θεωρητικών προβλέψεων. Αυτό μπορεί να οφείλεται στην όχι ιδανική καθαρότητα των δειγμάτων αλλά επίσης σημαντικό ρόλο παίζει η δυσκολία να πραγματοποιηθούν ακριβείς μετρήσεις σε ατομικό επίπεδο. Εξάλλου τα μοντέλα στα οποία στηρίζεται η θεωρία (κυρίως μέσω εξομοιώσεων)

είναι ιδανικά και η παραμετροποίηση τους (όπου αυτή απαιτείται) πολλές φορές μη ρεαλιστική. Επομένως είναι δύσκολο να καθορίσουμε πότε το υδρογόνο προσροφάται αποκλειστικά φυσικά ή λαμβάνουν χώρα και χημικές διεργασίες.

Το υδρογόνο μπορεί να αποθηκευτεί στους νανοσωλήνες με διάφορους τρόπους :

1. Στο εσωτερικό τους. Το υδρογόνο σε αυτή τη περίπτωση μπορεί να σχηματίζει μονόστρωμα κυλινδρικής μορφής είτε αν μιλάμε για μεγαλύτερες ποσότητες αλληπάλληλα κυλινδρικά στρώματα, ομοκεντρικά αν δεν αναφερόμαστε σε πολύ μεγάλες ποσότητες (οι οποίες επιτρέπονται από νανοσωλήνες μεγάλης διαμέτρου).
2. Στην επιφάνεια των μονοφλοιϊκών ή στην εξωτερική επιφάνεια των πολυφλοιϊκών.
3. Μεταξύ των εσωτερικών επιφανειών των πολυφλοιϊκών. Τότε, η ποσότητα του ροφημένου υδρογόνου δεν επηρεάζεται από τη διάμετρο του νανοσωλήνα.
4. Μεταξύ των νανοσωλήνων όταν αυτοί βρίσκονται υπό τη μορφή συστοιχίας. Αυτό είναι αρκετά σημαντικό διότι η συγκεκριμένη ιδιότητα κυρίως δίνει στους νανοσωλήνες καλύτερες αποθηκευτικές ιδιότητες από ότι τα απλά στρώματα γραφίτη. Για το διαχωρισμό των νανοσωλήνων της συστοιχίας απαιτούνται υψηλές πιέσεις. Τότε, το υδρογόνο εισχωρεί μέσα σε αυτή και προσροφάται από όλες τις εκτεθειμένες επιφάνειες άνθρακα.

ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ ΣΕ ΝΑΝΟΣΩΛΗΝΕΣ ΑΝΘΡΑΚΑ ΠΡΟΣΜΙΞΕΩΝ ΑΛΚΑΛΙΩΝ

Οι νανοσωλήνες θεωρούνται ιδανικά υλικά για την αποθήκευση υδρογόνου. Ωστόσο, μέχρι στιγμής, τα ποσά υδρογόνου αποθηκευμένα σε νανοσωλήνες τα οποία έχουν επιβεβαιωθεί πειραματικά απέχουν από αυτά τα οποία θα χαρακτηρίζονταν σαν πρακτικά, τουλάχιστον σε θερμοκρασία περιβάλλοντος και σε χαμηλές πιέσεις. Ενθαρρυντικά όμως, είναι τα αποτελέσματα τα οποία δίνουν πειράματα σε τέτοιες συνθήκες με νανοσωλήνες άνθρακα προσμίξεων αλκαλίων, όπως Li ή K (alkali - metal - doped carbon nanotubes). Το αλκαλικό άτομο βρίσκεται σε κάποια απόσταση πάνω από το κέντρο ενός εξαγωνικού δακτυλίου. Μία πιθανή εξήγηση για αυτό το φαινόμενο αποτελεί το εξής. Το μεταλλικό σωματίδιο πολώνεται θετικά καθώς λαμβάνει χώρα μεταφορά φορτίου από αυτό στο νανοσωλήνα. Το θετικά φορτισμένο αυτό σωματίδιο με τη σειρά του πολώνει το μοριακό υδρογόνο και τελικά δημιουργείται ένας ασθενής δεσμός μεταξύ των δύο

1.6 ΔΙΑΝΟΜΗ ΥΔΡΟΓΟΝΟΥ

Ένας από τους παράγοντες που δρα παρεμποδιστικά στην ανάπτυξη και εδραίωση της οικονομίας υδρογόνου είναι η παρούσα υποδομή των δικτύων ανεφοδιασμού. Αυτή είναι προσαρμοσμένη στα σύγχρονα συμβατικά καύσιμα τα οποία κατά κύριο λόγο είναι σε υγρή μορφή και δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη διανομή υδρογόνου τουλάχιστον προς το παρόν λόγω της υψηλής επικινδυνότητας. Οι συνθήκες εξάλλου που το υδρογόνο βρίσκεται σε υγρή μορφή θέτουν υψηλά τεχνικά εμπόδια.

Από την άλλη, η υπάρχουσα υποδομή για την εκμετάλλευση του φυσικού αερίου, το οποίο είναι και αυτό σε αέρια μορφή, επίσης δεν είναι κατάλληλη λόγω των πολύ υψηλών πιέσεων που απαιτείται για τη διαχείριση του υδρογόνου. Μία νέα υποδομή επομένως θα πρέπει να αναπτυχθεί. Υπάρχουν αρκετές διαφορετικές προσεγγίσεις αυτή τη στιγμή για τη μορφή του δικτύου το οποίο θα κατανέμει το υδρογόνο. Από αυτές θα αναφέρουμε δύο βασικές αν και διαφορετικής νοοτροπίας μεταξύ τους.

Η πρώτη προσέγγιση έχει μορφή παρόμοια με αυτή των σημερινών ηλεκτρικών δικτύων. Πολλές μονάδες παραγωγής υδρογόνου ικανές να παράγουν μεγάλες ποσότητες υδρογόνου είναι συνδεδεμένες μεταξύ τους με κατάλληλους αγωγούς. Μέρος του δικτύου θα αποτελούν και κέντρα ελέγχου διανομής του υδρογόνου. Αυτά τα κέντρα με τη σειρά τους θα αναλαμβάνουν την τροφοδότηση με υδρογόνο μικρότερων σταθμών ανεφοδιασμού.

Η δεύτερη προσέγγιση είναι μη κεντροποιημένη σε αντίθεση με τη προηγούμενη. Το υδρογόνο σε αυτή τη περίπτωση παράγεται τοπικά στα κέντρα ανεφοδιασμών με κάποια κατάλληλη μέθοδο σε ποσότητες αρκετές για να καλυφθεί η τοπική ζήτηση. Ένα βήμα παραέρα είναι η παραγωγή κατευθείαν στο σημείο ζήτησης αν μιλάμε για οικιακή χρήση. Καταλαβαίνουμε πως σημαντικό πλεονέκτημα της δεύτερης προσέγγισης ως προς την πρώτη είναι η ανεξαρτησία που αυτή προσφέρει. Δυσλειτουργία σε κάποιο σημείο του δικτύου δε θα επηρεάσει την ομαλή λειτουργία σε άλλα. Συνεπώς, ένα τέτοιο σύστημα θα συνεχίσει να λειτουργεί ικανοποιητικά και σε περιπτώσεις έκτακτης ανάγκης όπως κάποια φυσική καταστροφή. Εξάλλου, ανεξαρτησία στην κάλυψη των ενεργειακών αναγκών ενός κράτους συνεπάγεται και την οικονομική ανεξαρτησία του στο τομέα αυτό. Ένας επιπλέον λοιπόν λόγος όπου μεγάλα ποσά χρημάτων επενδύονται από κράτη για την ανάπτυξη της οικονομίας υδρογόνου είναι η οικονομική ανεξαρτητοποίηση τους από τον μικρό αριθμό κρατών - παραγωγών όπου ελέγχουν σήμερα την παραγωγή και τη διακίνηση των καυσίμων.

Όσον αφορά τα κέντρα ανεφοδιασμού αρκετά ζητήματα θα πρέπει να ληφθούν υπόψη. Θα πρέπει να εξασφαλίζεται η ασφάλεια κατά τη μεταφορά του καυσίμου με ειδικούς ανιχνευτές διαρροής καθώς πιθανή διαρροή μπορεί να μη γίνει άμεσα αντιληπτή. Καθώς ο ανεφοδιασμός γίνεται κάτω από πολύ υψηλές πιέσεις, τις πιέσεις όπου το υδρογόνο αποθηκεύεται σε αέρια ή υγρή μορφή ο μηχανισμός ανεφοδιασμού θα πρέπει να αντέχει στις ανάλογες πιέσεις. Εξάλλου, προκειμένου να εξασφαλίζεται ο γρήγορος ανεφοδιασμός θα πρέπει να γίνεται χρήση συμπίεστη ώστε οι πιέσεις αυτές να συγκρατούνται σε υψηλά επίπεδα καθώς τα αποθηκευμένα καύσιμα των δεξαμεμών θα μειώνονται.

1.7 ΧΡΗΣΕΙΣ ΥΔΡΟΓΟΝΟΥ

Το υδρογόνο έχει πληθώρα χρήσεων, τόσο σε ενεργειακού περιεχομένου όσο και σε μη ενεργειακού περιεχομένου. Στη συνέχεια παρατίθενται αρκετές από αυτές και στις δύο κατηγορίες που μας αφορούν.

1.7.1 ΜΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΕΣ ΧΡΗΣΕΙΣ ΥΔΡΟΓΟΝΟΥ

Η βασική χρήση του υδρογόνου είναι για την παραγωγή αμμωνίας (NH_3), το οποίο με την σειρά της χρησιμοποιείται ως επί το πλείστον για την παραγωγή λιπασμάτων.

Στα διωλιστήρια, το υδρογόνο χρησιμοποιείται σε πλήθος διαδικασιών, όπως την αποθείωση του αργού πετρελαίου, τον καθαρισμό και βελτίωση της ποιότητας του πετρελαίου και των παραγώγων καυσίμων ή λιπαντικών. Οι ανάγκες ενός διωλιστηρίου σε υδρογόνο ανέρχονται στο 1% του βάρους του αργού πετρελαίου που διωλίζεται.

Η διαδικασία που ακολουθείται είναι βασικά η ίδια για την επεξεργασία με υδρογόνο, όπου το υλικό τροφοδοσίας θερμαίνεται και οδηγείται με υδρογόνο σε αέρια μορφή σε ένα πύργο αντίδρασης παρουσία καταλυτών.

Στην πετροχημική βιομηχανία το υδρογόνο χρησιμοποιείται στην παραγωγή μεθανόλης, που παράγεται από υδρογόνο και CO ή CO_2 . Υδρογόνο χρησιμοποιείται και στην βιομηχανία πλαστικών (παραγωγή και ανακύκλωση πλαστικού).

Το υδρογόνο χρησιμοποιείται και από την βιομηχανία τροφίμων για την παραγωγή και στερεοποίηση λιπαντικών ουσιών, κυρίως μαγειρικού λίπους, φυτίνης και μαργαρίνης. Αυτό επιτυγχάνεται μέσα από τον κορεσμό των διπλών δεσμών. Η υδρογόνωση ελαίων και λιπών αυξάνει την αντίσταση στην οξείδωση και αυξάνει τον χρόνο διατήρησης.

Στον τομέα της μεταλλουργίας και των ηλεκτρονικών, το υδρογόνο χρησιμοποιείται σαν αναγωγικό υλικό στην παραγωγή μη-σιδηρούχων μετάλλων και στην παραγωγή πυριτίου, που χρησιμοποιείται στα κυκλώματα των υπολογιστών και στα φωτοβολταϊκά στοιχεία. Υδρογόνο επίσης χρησιμοποιείται στην παραγωγή υαλοπινάκων, όπου το γυαλί επιπλέει πάνω σε υγρό κασσίτερο, για την αποφυγή της οξείδωσης του οποίου χρησιμοποιείται ένα διάλυμα 4% υδρογόνου σε άζωτο.

Χρήσεις του υδρογόνου που προκύπτουν από τις φυσικές του ιδιότητες είναι η λίπανση (ελαχιστοποίηση απωλειών τριβής) σε περιστρεφόμενες ηλεκτρομηχανές (γεννήτριες / κινητήρες) και η άνοση, μια και είναι το ελαφρύτερο των στοιχείων. Χρησιμοποιείται για την ανύψωση κυρίως μετεωρολογικών μπαλονιών. Και τέλος με τη μορφή υγρού βρίσκει χρήση στη μελέτη της υπεραγωγιμότητας.

1.7.2 ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΕΣ ΧΡΗΣΕΙΣ ΥΔΡΟΓΟΝΟΥ

Μέχρι σήμερα, ο μεγαλύτερος καταναλωτής υδρογόνου σαν καύσιμο στον κόσμο είναι η NASA, που το χρησιμοποιεί για την εκτόξευση διαστημοπλοίων και την προώθησή τους σε τροχιά. Πέρα από αυτή όμως την χρήση, υπάρχουν και άλλες που με την εξέλιξη της τεχνολογίας γίνονται όλο και πιο κοινές.

Ένας λέβητας φυσικού αερίου μπορεί εύκολα να μετατραπεί ώστε να χρησιμοποιηθεί με υδρογόνο, με μοναδική αλλαγή την ελάττωση του ανοίγματος του στομίου και την ρύθμιση της ταχύτητας της ροής του καύσιμου. Η θερμοαντική αξία του υδρογόνου είναι ανά μονάδα βάρους μεγαλύτερη από το φυσικό αέριο, ενώ εκμηδενίζονται οι εκπομπές οξειδίων του άνθρακα και υδρογονανθράκων. Οι εκπομπές οξειδίων του αζώτου μπορούν να μειωθούν με τεχνικές βελτιώσεις.

Το υδρογόνο μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί όπως οποιοδήποτε άλλο αέριο στους αεριοστροβίλους. Η καύση είναι καθαρή, χωρίς να αφήνει ιζήματα, ενώ περιορίζεται η διάβρωση των πτερυγίων. Το τελευταίο έχει ως αποτέλεσμα την δυνατότητα αύξησης της θερμοκρασίας εισόδου του καυσίμου και κατά συνέπεια την αύξηση της απόδοσης του συστήματος.

Με λίγες μετατροπές στον θάλαμο καύσεως, το υδρογόνο μπορεί να αντικαταστήσει την κηροζίνη στα αεροπλάνα. Επίσης, με τα κατάλληλα μέτρα ώστε να αποφευχθεί η προανάφλεξη, το υδρογόνο είναι πολύ καλό καύσιμο στους κινητήρες εσωτερικής καύσεως, με απόδοση κατά 22% υψηλότερη από τον αντίστοιχο βενζινοκινητήρα.

Τέλος, μια εφεύρεση του 1839, οι κυψελίδες καυσίμου, αναμένεται να είναι η βέλτιστη τεχνολογία για χρήση υδρογόνου στο προσεχές μέλλον. Η τεχνολογική πρόοδος και μείωση του κόστους, τις έφερε πάλι στο προσκήνιο πριν μερικά χρόνια και ήδη πολλές αυτοκινητοβιομηχανίες εξετάζουν την χρήση τους στις μεταφορές

1.8 Η₂ & ΑΣΦΑΛΕΙΑ

Η κύρια πηγή ενέργειας που προτείνεται, η ηλιακή ενέργεια, είναι από περιβαλλοντική άποψη η πιο ακίνδυνη – είναι η ζωογόνος δύναμη του πλανήτη μας. Κάθε φορά όμως που εξετάζεται η ασφάλεια του ενεργειακού μεταφορέα, του υδρογόνου, η συζήτηση σχεδόν πάντα επικεντρώνεται στο ατύχημα του Hindenburg. Συνηθίζεται να λέγεται ότι το υδρογόνο προκαλεί εκρήξεις και μεγάλες φωτιές και ότι στην ουσία είναι ένα εξαιρετικά επικίνδυνο καύσιμο. Η αλήθεια παρόλα αυτά είναι ότι σύμφωνα με μελέτες και αντίθετα με την κοινή εντύπωση το υδρογόνο είναι ένα, σχετικά, ασφαλές καύσιμο.

Για αρχή μπορεί να αναφερθεί ότι η NASA, ο μεγαλύτερος παγκόσμιος καταναλωτής υδρογόνου, έχει χρηματοδοτήσει αναρίθμητες μελέτες που συγκρίνουν το υδρογόνο με άλλα καύσιμα όπως λ.χ. το πετρέλαιο. Όλες αυτές οι μελέτες αποδεικνύουν ότι όταν λαμβάνονται τα σωστά μέτρα το υδρογόνο είναι το ασφαλέστερο δυνατό καύσιμο.

ΤΟ ΑΤΥΧΗΜΑ ΤΟΥ HINDENBURG

Το 1937, το Hindenburg ήταν το μεγαλύτερο επιβατικό αερόπλοιο της εποχής του. Δεδομένου ότι το υδρογόνο είναι το ελαφρύτερο υπαρκτό στοιχείο, το μπαλόνι τον είχε γεμιστεί με υδρογόνο ώστε να επιτυγχάνεται επαρκής άνωση. Υπήρχε ακόμη ένα αέριο διαθέσιμο γι' αυτό το σκοπό, το ήλιο. Το ήλιο είναι το δεύτερο ελαφρύτερο στοιχείο και είναι ένα ευγενές αέριο, ένα αέριο δηλαδή που δεν καίγεται. Υπάρχει στη φυσική του κατάσταση σε πολύ μικρές ποσότητες, συνήθως ως μέρος του μίγματος του φυσικού αερίου. Ακόμη και τόσο παλιά όσο το 1937, το ήλιο θα μπορούσε να είχε χρησιμοποιηθεί στη θέση του υδρογόνου για την ανύψωση του Hindenburg όμως την εποχή εκείνη η μοναδική χώρα που παρήγαγε ήλιο ήταν οι ΗΠΑ. Δεδομένου ότι η σημασία του ηλίου εκείνη την εποχή θεωρούνταν στρατηγική, η εξαγωγή του εκτός συνόρων ήταν απαγορευμένη και το Hindenburg έπρεπε τελικά να γεμίσει με τη δεύτερη καλύτερη επιλογή, με υδρογόνο.

Το 1937, κατά τη διάρκεια της ενδέκατης πτήσης του πάνω από τον Ατλαντικό Ωκεανό, από την Ευρώπη προς το Lakehurst του New Jersey των ΗΠΑ, στο Hindenburg επέβαιναν περίπου 100 επιβάτες και το απαραίτητο προσωπικό. Καθώς άρχιζε η αποβίβαση των επιβατών, στο μπαλόνι ξέσπασε, φωτιά. Κανένας δε γνωρίζει επακριβώς τα αίτια της φωτιάς: ορισμένοι την αποδίδουν σε δυσλειτουργία κάποιας ηλεκτρικής επαφής και άλλοι αναφέρουν ότι επρόκειτο για δολιοφθορά (υπενθυμίζεται ότι το ατύχημα συνέβη ακριβώς πριν το Δεύτερο Παγκόσμιο Πόλεμο και ότι το Hindenburg ήταν αερόπλοιο της Γερμανίας). Σε κάθε περίπτωση, το αερόπλοιο έπιασε φωτιά ενώ η πλειονότητα των επιβατών ήταν ακόμη σε αυτό.

Οι επιβάτες πανικοβλήθηκαν, 35 από αυτούς πήδηξαν και σκοτώθηκαν όμως οι υπόλοιποι παρέμειναν στο εσωτερικό της γόνδολας. Τέσσερα άτομα πέθαναν από τη φωτιά, όμως η φωτιά που τους σκότωσε ήταν στις μηχανές diesel. Κατά θαυμαστό τρόπο, κανένας επιβάτης δε σκοτώθηκε από τη φωτιά του φλεγόμενου μπαλονιού. Η αιτία της διάσωσής τους είναι το γεγονός ότι οι φλόγες της καύσης του υδρογόνου ακτινοβολούν πολύ λίγη θερμότητα. Αντίθετα, οι φλόγες των ορυκτών καυσίμων (λ.χ. τον καυσίμου diesel) ακτινοβολούν έντονα θερμότητα εξαιτίας της ικανότητας του άνθρακα να θερμαίνεται και να διατηρείται θερμός. Εάν οι επιβαίνοντες του Hindenburg έρχονταν σε επαφή με τις φλόγες του υδρογόνου είναι σίγουρο ότι θα καίγονταν. Ευτυχώς, ήταν σε θέση να επιδιώξουν μια βεβιασμένη εκκένωση του φλεγόμενου αερόπλοιου πριν τους φτάσουν οι φλόγες και διασώθηκαν.



ΕΛΑΦΡΥΤΕΡΟ ΑΠΟ ΤΟΝ ΑΕΡΑ

Οι πρώτες από τις μελλοντικές εφαρμογές χρήσης του υδρογόνου, εκτός από αυτές στα διαστημικά προγράμματα (στα οποία όπως αναφέρθηκε το υδρογόνο χρησιμοποιείται ήδη ως καύσιμο), θα αφορούν τη λειτουργία αεροπλάνων και ιδιαίτερα υπερηχητικών αεροπλάνων που θα είναι σε θέση να διανύουν τους μεγάλους ωκεανούς μέσα σε δυο τρεις ώρες. Δυστυχώς, ανεξάρτητα από τη λήψη των απαραίτητων μέτρων ασφάλειας, θα υπάρξουν σίγουρα απρόοπτα ατυχήματα τόσο στο έδαφος όσο και κατά την πτήση.

Ας θεωρηθεί ένα ατύχημα στο έδαφος. Το 1977, 40 χρόνια έπειτα από το ατύχημα του Hindenburg συνέβη η μεγαλύτερη αεροπορική τραγωδία της ιστορίας στη Santa Cruz της Τενερίφης, στα Κανάρια νησιά, όταν ένα αεροπλάνο Boeing 747 της εταιρίας KLM συγκρούστηκε στον αεροδιάδρομο με ένα άλλο Boeing 747 της εταιρίας Pan American. Και τα δύο αεροπλάνα τυλίχθηκαν στις φλόγες και το αεροπορικό τους καύσιμο καιγόταν βίαια σκορπώντας παντού φλόγες και καπνό. Περίπου 583 άνθρωποι σκοτώθηκαν, κυρίως εξαιτίας της έντονης παραγωγής θερμότητας και από ασφυξία λόγω εισπνοής καπνού. Στην περίπτωση που τα αεροπλάνα αυτά λειτουργούσαν με υδρογόνο, το αποτέλεσμα της σύγκρουσης πιθανότατα δε θα ήταν τόσο εφιαλτικό. Δε θα υπήρχαν οι αναπνευστικές δυσκολίες των επιβατών εξαιτίας του παραγόμενου καπνού καθώς το υδρογόνο δεν έχει τοξικά προϊόντα καύσης και οι περισσότεροι επιβάτες, με εξαίρεση εκείνους που βρέθηκαν σε άμεση έκθεση στις φλόγες, θα είχαν διασωθεί.

Ας θεωρηθεί επίσης μια ανωμαλία κατά τη διάρκεια της απογείωσης που αποτελεί το πιο επικίνδυνο στάδιο μιας πτήσης. Σήμερα, εάν υπάρξει κάποιο επείγον περιστατικό αμέσως μετά την απογείωση, το αεροπλάνο είναι αναγκασμένο ή να περιφέρεται για ώρες μέχρι να αδειάσουν οι δεξαμενές των καυσίμων τον ή να απορρίψει το καύσιμο πριν προσγειωθεί. Αυτό είναι απαραίτητο δεδομένου ότι η προσγείωση του αεροπλάνου με πλήρες φορτίο και γεμάτες δεξαμενές καυσίμου θα καταστρέψει τον μηχανικό μηχανισμό προσεδάφισης (στις μεγάλες πτήσεις περίπου το 60% τον βάρος του αεροπλάνου κατά την απογείωση οφείλεται στο καύσιμο). Στην περίπτωση όμως των αεροπλάνων που χρησιμοποιούν υδρογόνο, το βάρος του καυσίμου θα αποτελεί μόλις το 20% τον συνολικού βάρους του αεροπλάνου κατά την απογείωση, γεγονός που ισοδυναμεί με την εξοικονόμηση του 40% του συνολικού βάρους. Εάν κατά συνέπεια υπάρξει κάποιο επείγον περιστατικό αμέσως μετά την απογείωση, ο πιλότος θα είναι σε θέση να προσγειώσει το αεροπλάνο αμέσως, αποφεύγοντας την πιθανότητα εμφάνισης επιπρόσθετων επιπλοκών. Ακόμη και στην περίπτωση όπου επιλεγεί η απόρριψη μέρους του καυσίμου υδρογόνου, η ποσότητα που θα απορριφθεί θα εξατμιστεί στον αέρα χωρίς επιβλαβείς συνέπειες, σε αντίθεση με τις περιπτώσεις απόρριψης των σημερινών αεροπορικών καυσίμων που μολύνουν την ατμόσφαιρα, τις θάλασσες και τη ξηρά. Συμπερασματικά, τα αεροπλάνα υδρογόνου θα είναι από πολλές απόψεις ασφαλέστερα από τα σημερινά αεροπλάνα ορυκτών αεροπορικών καυσίμων.

ΣΤΟ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΟ

Κάθε χρόνο, χιλιάδες άνθρωποι βρίσκουν τραγικό θάνατο από ατυχήματα που βρίσκονται σε άμεση σχέση με τη χρήση των σημερινών καυσίμων των αυτοκινήτων, της βενζίνης και του πετρελαίου diesel.

Τα οχήματα που λειτουργούν με τα σημερινά καύσιμα, όπως αναφέρθηκε ήδη, παράγουν ένα επιβλαβές μίγμα χημικών ρύπων. Ένας από αυτούς τους ρύπους είναι το μονοξειδίο του άνθρακα, η εισπνοή του οποίου είναι δηλητηριώδης. Κάθε χρόνο, η ακούσια ή εσκεμμένη εισπνοή μονοξειδίου του άνθρακα αποτελεί αιτία πρόκλησης μεγάλου αριθμού θανάτων. Για παράδειγμα, το πλήθος αυτών των θανατηφόρων περιστατικών μόνο στις ΗΠΑ ανέρχεται κάθε χρόνο στα 1800. Εάν αντίθετα τα αυτοκίνητα λειτουργούσαν με υδρογόνο δε θα μπορούσε να συμβεί καμία από αυτές τις τραγωδίες καθώς το μοναδικό προϊόν της καύσης του υδρογόνου είναι ο υδρατμός. Ο υδρατμός δεν είναι δηλητηριώδης και δε προκαλεί το θάνατο, δεν προσβάλλει το νευρικό σύστημα και επομένως οι άνθρωποι δε μπορούν να βρεθούν σε αναισθησία εξαιτίας του.

Στην περίπτωση της σύγκρουσης οχημάτων που λειτουργούν με βενζίνη ή diesel, οι γραμμές τροφοδοσίας του καυσίμου συχνά σπάνε προκαλώντας την έκχυση του καυσίμου σε ολόκληρο το χώρο του ατυχήματος. Σε αρκετές περιπτώσεις ακολουθεί η εμφάνιση φωτιάς και συχνά η ένταση της θερμικής ακτινοβολίας και τα δηλητηριώδη αέρια αποδεικνύονται θανατηφόροι παράγοντες.

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, το σύστημα αποθήκευσης του υδρογόνου στα αυτοκίνητα θα μπορούσε να βασιστεί στη χρήση των υδριδίων, στη χρήση δεξαμενών υγρού υδρογόνου ή στη χρήση φιαλών συμπιεσμένου αερίου υδρογόνου. Από τις τρεις αυτές προτάσεις η ασφαλέστερη είναι η πρώτη. Ακόμη και σε συνθήκες εξαιρετικά βίαιης σύγκρουσης, η διάτρηση της δεξαμενής των υδριδίων δε θα προκαλέσει κάποια μεγάλη φωτιά αλλά μια μικρή φλόγα που θα συντηρείται από την αργή διεργασία αποδέσμευσης του υδρογόνου από τη σπογγώδη δομή του μετάλλου. Αρκετές πειραματικές επιδείξεις έχουν δείξει ότι ακόμη και ο πυροβολισμός των δεξαμενών υδριδίων προκαλεί μόνο την εμφάνιση μιας μικρής φλόγας στο σημείο της οπής της σφαίρας, την ίδια στιγμή που για άλλα καύσιμα η έκρηξη είναι δεδομένη.

Ορισμένα πρότυπα αυτοκίνητα που λειτουργούν με αποθήκευση υγρού υδρογόνου έχουν εμπλακεί στο παρελθόν σε ατυχήματα. Ένα τέτοιο ατύχημα συνέβη στην California όταν ένα αυτοκίνητο με γεμάτη δεξαμενή υγρού υδρογόνου συγκρούστηκε με συνέπεια τη διάτρηση της δεξαμενής του καυσίμου. Το κρύο υγρό υδρογόνο (θερμοκρασίας $-253\text{ }^{\circ}\text{C}$ – $423\text{ }^{\circ}\text{F}$) διαχύθηκε γρήγορα και εξατμίστηκε στην αέρα. Από τη σύγκρουση δεν προκλήθηκε ούτε φωτιά ούτε έκρηξη.

Τα αυτοκίνητα που λειτουργούν με συμπιεσμένο αέριο υδρογόνο αποθηκευμένο σε φιάλες παρουσιάζουν μεγαλύτερη επικινδυνότητα σε σχέση με τα οχήματα των υδριδίων ή των δεξαμενών υγρού υδρογόνου. Τα οχήματα αυτά εγκυμονούν την πρόκληση φωτιάς χωρίς κατ' ανάγκη να προκληθεί έκρηξη, δεδομένου ότι η έκρηξη πραγματοποιείται μόνο στις περιπτώσεις όπου το υδρογόνο και το οξυγόνο (ή ο αέρας) αναμιγνύονται εντός περιορισμένου χώρου όπως λ.χ. μέσα σε μια δεξαμενή. Εάν το υδρογόνο διαφύγει από κάποια σπασμένη σωλήνωση ή υπό τη διάτρηση της δεξαμενής, τότε είναι δυνατό να προκληθεί φωτιά από τη θερμή επιφάνεια της

μηχανής του αυτοκινήτου ή από κάποιο σπινθήρα, όμως οι άνθρωποι που θα βρίσκονται κοντά στη φωτιά και δε θα εκτίθενται στις φλόγες της δε θα καούν και δε θα χάσουν τις αισθήσεις λόγω αναθυμιάσεων. Φυσικά, παρόλα αυτά, όποιος εκτεθεί άμεσα στις φλόγες του υδρογόνου θα καεί.

Σαν συμπέρασμα μπορεί να αναφερθεί ότι όταν λαμβάνονται υπόψη όλοι οι απαραίτητοι παράγοντες το υδρογόνο αποδεικνύεται πολύ πιο ασφαλές ως καύσιμο των αυτοκινήτων σε σύγκριση με τη βενζίνη ή το πετρέλαιο.

ΣΤΟ ΣΠΙΤΙ ΚΑΙ ΤΗΝ ΚΟΥΖΙΝΑ

Στα σπίτια, ο ηλεκτρισμός, το φυσικό αέριο, το πετρέλαιο και το κάρβουνο χρησιμοποιούνται για όλες τις υπαρκτές ανάγκες, για θέρμανση, κλιματισμό και μαγείρεμα. Εάν για κάποιο λόγο υπάρξει η διαρροή φυσικού αερίου ή ατμών πετρελαίου με συνέπεια την εμφάνιση υψηλών συγκεντρώσεων τους οπουδήποτε μέσα στο χώρο διαβίωσης τα αποτελέσματα μπορεί να είναι θανατηφόρα. Επιπλέον, οι φωτιές που προκαλούνται από την καύση του φυσικού αερίου ή του πετρελαίου σχηματίζουν τοξικά προϊόντα καθώς και υψηλές ροές θερμότητας μέσω ακτινοβολίας. Πολλά τέτοια ατυχήματα είναι δυνατό να προξενήσουν σοβαρούς τραυματισμούς ή θάνατο.

Από την άλλη πλευρά, ένα σπίτι που τροφοδοτείται με υδρογόνο δεν κινδυνεύει από τέτοια προβλήματα. Ούτε το ίδιο το υδρογόνο αλλά ούτε και τα προϊόντα της καύσης του είναι δηλητηριώδη. Οι καταλυτικοί καυστήρες που κάνουν χρήση υδρογόνου αποτελούν την καλύτερη δυνατή επιλογή για τις ανάγκες του μαγειρέματος εφόσον δεν παράγουν φλόγα και συνεπώς δεν είναι σε θέση να προκαλέσουν φωτιά. Εάν το δάχτυλο ακουμπήσει ένα καταλυτικό καυστήρα θα υποφέρει ένα αρκετά ηπιότερο πόνο σε σχέση με τον πόνο που προκαλεί η επαφή με το καυστήρα του φυσικού αερίου ή του πετρελαίου ή η επαφή με μια ηλεκτρική αντίσταση. Το γεγονός αυτό οφείλεται στη θερμοκρασία της καταλυτικής καύσης που είναι κατά πολύ χαμηλότερη (περίπου 150°C, 300°F) από τη θερμοκρασία της φλόγας του φυσικού αερίου ή του πετρελαίου (1400°C, 2500°F). Ακόμη, η χρήση των καταλυτικών καυστήρων υδρογόνου για τη θέρμανση των δωματίων είναι κατά πολύ ασφαλέστερη από τη χρήση τζακιών ή εστιών θέρμανσης φυσικού αερίου, πετρελαίου ή κάρβουνου.

Είναι βέβαιο ότι όλα τα καύσιμα, μεταξύ των οποίων και το υδρογόνο, μπορούν να προκαλέσουν φωτιές. Παρόλα αυτά, η εμφάνιση μιας φωτιάς από χρήση υδρογόνου μέσα σε ένα σπίτι δεν προσβάλλει κανέναν εάν δεν έρχεται σε άμεση επαφή μαζί της. Επίσης κανείς δεν πρόκειται να ζαλιστεί ή να χάσει τις αισθήσεις του από την εισπνοή τοξικών καυσαερίων και όλοι θα είναι σε θέση να αντιδράσουν συνειδητά και γρήγορα για να διαφύγουν τον κίνδυνο. Θα είναι επίσης σε θέση να βοηθήσουν εκείνους που έχουν τραυματιστεί από τις φλόγες, εφόσον δε θα υφίστανται άμεσο κίνδυνο. Αντίθετα, στις περιπτώσεις φωτιών που προκαλούνται από τη χρήση φυσικού αερίου, πετρελαίου και κάρβουνου, η κατάσταση είναι πολύ διαφορετική. Οι φλόγες των ορυκτών καυσίμων ακτινοβολούν έντονα θερμότητα και είναι σε θέση να τραυματίσουν σοβαρά και να κάψουν οποιονδήποτε βρίσκεται σε κοντινή απόσταση με την εστία της φωτιάς, ενώ ο δηλητηριώδης καπνός και οι αναθυμιάσεις των ορυκτών καυσίμων μπορούν γρήγορα να προκαλέσουν την ασφυξία των ανθρώπων.

Συνοψίζοντας, ένα σπίτι που τροφοδοτείται και λειτουργεί με υδρογόνο είναι πιο ασφαλές από ένα σπίτι που κάνει χρήση ορυκτών καυσίμων και ακόμη και στην περίπτωση μιας φωτιάς οι ένοικοι ενός σπιτιού με υδρογόνο διαθέτουν περισσότερες πιθανότητες να αποφύγουν τον τραυματισμό ή το θάνατο.

ΔΙΑΡΡΟΕΣ

Όλα τα συστήματα αποθήκευσης και μεταφοράς καυσίμων υπόκεινται τον κίνδυνο των διαρροών και το υδρογόνο, ως το ελαφρύτερο και μικρότερο υπαρκτό χημικό στοιχείο, έχει την τάση να διαρρέει με μεγαλύτερη ευκολία σε σύγκριση με τα υπόλοιπα καύσιμα όπως λ.χ. το φυσικό αέριο. Παρόλα αυτά, το υδρογόνο είναι πιο "ογκώδες" καύσιμο. Για παράδειγμα, καταλαμβάνει τρεις φορές μεγαλύτερο όγκο από το φυσικό αέριο για την παραγωγή της ίδιας ποσότητας ενέργειας. Γι' αυτό αλλά και για άλλους λόγους, δεν είναι αμέσως αντιληπτό αν το υδρογόνο είναι περισσότερο ή λιγότερο επικίνδυνο από τα άλλα καύσιμα κάτω από παρόμοιες συνθήκες διαρροής.

Για παράδειγμα, προκειμένου να συγκριθεί το φυσικό αέριο με το υδρογόνο ως προς το δυνητικό κίνδυνο που εγκυμονούν κατά τη χρήση τους θα μπορούσε να θεωρηθεί η ποσότητα της ενέργειας που εκρέει από μια διαρροή τους: εάν τα αέρια που διαφεύγουν αναφλέγονταν, το ενεργειακό τους περιεχόμενο θα αποτελούσε μέτρο της έντασης της επικείμενης φωτιάς. Εφόσον όμως το υδρογόνο περιέχει λιγότερη ενέργεια από το φυσικό αέριο, μια διαρροή μεγαλύτερου όγκου υδρογόνου δε σημαίνει κατ' ανάγκη και διαφυγή μεγαλύτερης ενέργειας από τον χώρο αποθήκευσης ή από τον αγωγό.

Ένας άλλος παράγοντας πού πρέπει να ληφθεί υπόψη είναι ότι το υδρογόνο ρέει διαμέσου ενός μεγάλου ρήγματος τρεις φορές γρηγορότερα από το φυσικό αέριο, όμως η ροή του διαμέσου ενός μικρού ρήγματος είναι μόνο δύο φορές γρηγορότερη από τη ροή του φυσικού αερίου. Αυτό σημαίνει ότι η ανάφλεξη των αερίων που διαρρέουν από ένα μεγάλο ρήγμα θα προκαλούσε δυνάμεις καταστροφής εξαιτίας της φωτιάς που θα ήταν παρόμοιες μεταξύ τους τόσο στην περίπτωση του υδρογόνου όσο και στην περίπτωση του φυσικού αερίου.

Παρόλα αυτά, εάν ληφθεί υπόψη η μεγαλύτερη ένταση παραγωγής θερμότητας από την καύση του φυσικού αερίου και η συνακόλουθη παραγωγή επιβλαβών αερίων, το υδρογόνο ανακηρύσσεται ασφαλέστερο από το φυσικό αέριο για όλα τα είδη των διαρροών.

Κάθε χρόνο εκατομμύρια γαλόνια πετρελαίου diesel βενζίνης και πετρελαίου διαρρέουν από τις δεξαμενές αποθήκευσης και τους υπόγειους αγωγούς μεταφοράς. Οι ποσότητες που διαφεύγουν μπορούν στη συνέχεια να εισχωρήσουν στο νερό του υπεδάφους και να το καταστήσουν ακατάλληλο για πόση ενώ την ίδια στιγμή το μολυσμένο αυτό νερό μπορεί να δηλητηριάσει την υδρόβια ζωή ολόκληρων λιμνών και ποταμών. Το φαινόμενο αυτό είναι αδύνατο να υπάρξει με τη χρήση του υδρογόνου. Στην περίπτωση της διαρροής υδρογόνου από μια δεξαμενή αποθήκευσης ή από ένα αγωγό μεταφοράς, η ποσότητα που θα διαφύγει θα διαπεράσει το έδαφος και τελικά θα διαχυθεί στον αέρα της ατμόσφαιρας.

Η μεταφορά του υδρογόνου διαμέσου των ωκεανών έχει προταθεί να πραγματοποιείται με χρήση μεγάλων δεξαμενόπλοιων, όπως ακριβώς γίνεται σήμερα η μεταφορά του υγροποιημένου αερίου πετρελαίου (LPG) και του υγροποιημένου φυσικού αερίου (LNG). Η μεταφορά των LPG και LNG γίνεται με δεξαμενόπλοια που φέρουν τεράστιες μονωμένες σφαιρικές δεξαμενές και η μεταφορά του υδρογόνου θα πραγματοποιείται με τον ίδιο τρόπο. Στην περίπτωση που υπάρξει η καταστροφή μια, τέτοιας δεξαμενής, ή στην περίπτωση που υπάρξει κάποια διαρροή από αυτή, ένα μέρος του υδρογόνου θα εξατμιστεί προς την ατμόσφαιρα δίχως επιπτώσεις στους ζωντανούς οργανισμούς του πλανήτη.

Στην περίπτωση των ορυκτών καυσίμων δεν ισχύει το ίδιο. Αρκεί να υπενθυμιστεί η ξεχασμένη πλέον περίπτωση της διαρροής πετρελαίου από το δεξαμενόπλοιο Exxon Valdez τον Απρίλιο του 1989 στο Prince William Sound της Αλάσκα. Το δεξαμενόπλοιο προσέκρουσε σε ύφαλο και έκχυσε πάνω από 10 εκατομμύρια γαλόνια πετρελαίου στη Θάλασσα με τεράστιο κόστος σε φώκιες και πουλιά και με τεράστιες οικολογικές επιπτώσεις από την καταστροφή των αναπαραγωγικών εδαφών και υδάτων και των περιοχών εκκόλαψης πλήθους οργανισμών όπως οι σολομοί και άλλα ψάρια. Η πετρελαιοκηλίδα του Exxon Valdez μόλυνε τα νερά και τις ακτές του Prince William Sound και του κόλπου της Αλάσκα. Καμία από αυτές τις δυσάρεστες και καταστροφικές επιπτώσεις δεν θα μπορούσε να προκληθεί από υδρογόνο δεδομένου ότι στην περίπτωση της διαρροής του αυτό απλά θα εξατμιζόταν.

1.8.1 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΥΔΡΟΓΟΝΟΥ - ΜΕΘΑΝΙΟΥ - ΠΡΟΠΑΝΙΟΥ

Θα λέγαμε ότι το υδρογόνο δεν είναι πιο επικίνδυνο από το μεθάνιο ή το προπάνιο. Μάλλον λιγότερο. Έτσι ενώ το υδρογόνο έχει θερμοκρασία αυτόματης ανάφλεξης 585 °C και συγκεντρώσεις 13% - 65% στον αέρα για να προκληθεί έκρηξη, το μεθάνιο έχει αντίστοιχα 570 °C και 6.3% - 14%. Επί πλέον ο συντελεστής διάχυσης του υδρογόνου είναι 0,61 cm²/s, 4 φορές υψηλότερος από του μεθανίου. Γεγονός που σημαίνει ότι πολύ πιο δύσκολα δημιουργούνται οι απαιτούμενες συγκεντρώσεις υδρογόνου για έκρηξη. Και όμως το μεθάνιο το χρησιμοποιούμε άφοβα στο σπίτι μας, το αυτοκίνητό μας. Το δε προπάνιο έχει θερμοκρασία αυτόματης ανάφλεξης 487 °C και ενώ το υδρογόνο και το μεθάνιο ως ελαφρότερα του αέρα ανεβαίνουν ψηλά και ελαττώνεται η συγκέντρωσή τους, οι ατμοί προπανίου παραμένουν κοντά στο έδαφος με πιθανότητα έκρηξης πολύ μεγαλύτερη. Και όμως οι εταιρείες πετρελαίου εμπορεύονται ευρέως προπάνιο και η χρήση του γίνεται άφοβα.

1.8.2 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑ

Είναι επομένως το υδρογόνο ασφαλές; Λαμβάνοντας υπόψη όλα τα παραπάνω μπορεί να απαντηθεί ότι ναι, το υδρογόνο είναι ένα ασφαλές καύσιμο. Αρκεί να θυμόμαστε πάντα ότι όπως και η χρήση όλων των υπολοίπων καυσίμων έτσι και η χρήση του υδρογόνου απαιτεί προσοχή και λήψη μέτρων ασφαλείας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

2.1 ΚΛΙΜΑΤΙΚΕΣ ΑΛΛΑΓΕΣ

Η ατμόσφαιρα της Γης βρίσκεται σε κρίση. Ο πλανήτης μας θερμαίνεται. Το κλίμα της Γης, που παρέμεινε σχετικά σταθερό από την τελευταία εποχή παγετώνων, αλλάζει πλέον δραστικά. Τον 20^ο αιώνα η μέση θερμοκρασία αυξήθηκε κατά 0,4-0,8 °C γεγονός που κατατάσσει τον αιώνα αυτό ως τον θερμότερο τα τελευταία χίλια χρόνια (IPCC, 2001).

Η αύξηση της θερμοκρασίας που παρατηρείται τα τελευταία χρόνια δεν είναι τυχαία, ούτε αποτελεί φυσικό φαινόμενο. Οφείλεται εν πολλοίς στις ανθρώπινες δραστηριότητες και κυρίως στον τρόπο που παράγουμε και καταναλώνουμε την ενέργεια. Η καύση των ορυκτών καυσίμων (του πετρελαίου, του άνθρακα και του φυσικού αερίου) έχει ως αποτέλεσμα την έκλυση στην ατμόσφαιρα δισεκατομμυρίων τόνων ρύπων που παγιδεύουν σαν μια αέρινη κουβέρτα την ηλιακή ακτινοβολία, αυξάνοντας τη θερμοκρασία της Γης. Η διαδικασία αυτή είναι γνωστή ως φαινόμενο του θερμοκηπίου. Έτσι, τον τελευταίο αιώνα η μέση θερμοκρασία της Γης αυξήθηκε κατά 0,4-0,8 °C περίπου. Αυτό μπορεί να ακούγεται ασήμαντο, σε παγκόσμια κλίμακα όμως έχει απίστευτες επιπτώσεις. Ακόμα και μια μικρή αύξηση της μέσης θερμοκρασίας διαταράσσει την ισορροπία της ατμόσφαιρας με αποτέλεσμα να αλλάζει το καθεστώς των βροχοπτώσεων και των ανέμων και να αποσταθεροποιείται το κλίμα. Επιπλέον, η αύξηση της μέσης θερμοκρασίας οδηγεί σε διαστολή του νερού των ωκεανών και σε άνοδο της στάθμης της θάλασσας. Ήδη η μέση στάθμη της θάλασσας έχει ανέβει κατά 20 εκατοστά τον τελευταίο αιώνα. Αν αναλογιστεί κανείς ότι το 70% των ανθρώπων ζει κοντά στις ακτές και ότι μια άνοδος της στάθμης της θάλασσας θα πλημμυρίσει κτισμένες περιοχές πολύτιμες αγροτικές εκτάσεις, οικονομικά προσοδοφόρες παραλίες ή ευαίσθητους υγρότοπους τότε μπορεί να καταλάβει τη σοβαρότητα των φαινομένων αυτών.

Πλημμύρες, ξηρασίες, τυφώνες, μειωμένη αγροτική παραγωγή, επανεμφάνιση ασθeneιών όπως η ελονοσία, σημαντικές οικονομικές ζημιές καταστροφή οικοσυστημάτων, εξαφάνιση ειδών, είναι μερικές μόνο από τις συνέπειες των κλιματικών αλλαγών. Οι προβλεπόμενες καταστροφές περιλαμβάνουν σημαντικές απώλειες ανθρώπινων ζωών από τις άμεσες και έμμεσες επιπτώσεις των κλιματικών αλλαγών, απώλεια της βιοποικιλότητας ενώ (κάτω από εξαιρετικά αισιόδοξες εκτιμήσεις) 60 - 350 εκατομμύρια άνθρωποι θα αντιμετωπίσουν τον κίνδυνο της πείνας, κυρίως στις αναπτυσσόμενες χώρες. Άλλες μελέτες πιο δυσσιώωνες όπως μία που έγινε για λογαριασμό της Ευρωπαϊκής Ένωσης αναφέρουν πως ένας τυχόν διπλασιασμός των ρύπων στην ατμόσφαιρα τις επόμενες 2 - 3 δεκαετίες θα μπορούσε να στοιχίσει τη ζωή σε 900 εκατομμύρια ανθρώπους και να επιφέρει οικονομικές απώλειες ύψους 907 τρισεκατομμυρίων δολαρίων, ποσό δηλαδή πολλαπλάσιο όλου του ανθρώπινου πλούτου. Ποτέ στο παρελθόν, η ανθρωπότητα δεν βρέθηκε αντιμετώπι με ένα τόσο μεγάλο και σύνθετο πρόβλημα, που αγγίζει κάθε πτυχή της ζωής πάνω στον πλανήτη μας.

Οι επιπτώσεις αυτές δεν αφορούν μόνο το μακρινό μέλλον. Πολλές απ' αυτές είναι ήδη αισθητές από σήμερα. Οι καταστροφικές πλημμύρες στην Κεντρική Ευρώπη, το 2002, επέφεραν απώλειες δισεκατομμυρίων ευρώ. Μόνο το 1999, εκατόν πέντε χιλιάδες άνθρωποι έχασαν τη ζωή τους εξαιτίας φυσικών καταστροφών, οι περισσότεροι από τους οποίους λόγω ακραίων καιρικών φαινομένων. Οι οικονομικές απώλειες για τη χρονιά εκείνη υπολογίζονται σε 100 δισ. δολάρια. Αντίστοιχες ήταν οι ζημιές και το 1998, χρονιά στην οποία οι οικονομικές ζημιές που σχετίζονται με ακραία καιρικά φαινόμενα έφτασαν τα 90 δισ. δολάρια. Μόνο μέσα σ' εκείνη τη χρονιά, δεκάδες χιλιάδες άνθρωποι έχασαν τη ζωή τους από το πέρασμα του τυφώνα Mitch στη Λατινική Αμερική (όπου η οικονομία "γύρισε 20 χρόνια πίσω"), από τις καταστροφικές πλημμύρες του ποταμού Yangtze στην Κίνα, των Γάγγη και Βραχμαπούτρα στο Μπαγκλαντές, και από την χιονοθύελλα του αιώνα στον Καναδά.

Οι οικονομικές απώλειες λόγω φυσικών καταστροφών διπλασιάζονται πλέον κάθε δεκαετία, αγγίζοντας το αστρονομικό ποσό του 1 τρισεκατομμυρίου δολαρίων την τελευταία δεκαετία. Αν οι σημερινές τάσεις συνεχιστούν, εκτιμάται ότι οι απώλειες την ερχόμενη δεκαετία θα αγγίξουν τα 150 δισ. δολάρια ετησίως. Σήμερα, έχουμε ετησίως 4 φορές περισσότερες φυσικές καταστροφές που σχετίζονται με ακραία καιρικά φαινόμενα, απ' ότι 40 χρόνια πριν, ενώ το κόστος για την ασφαλιστική βιομηχανία λόγω των καταστροφών αυτών έχει αυξηθεί κατά 11 φορές .

Τα αίτια και οι υπεύθυνοι για τις δραματικές αλλαγές στο κλίμα είναι γνωστοί. Τα αέρια του θερμοκηπίου, που προέρχονται ως επί το πλείστον από την παραγωγή ενέργειας από πετρέλαιο, άνθρακα και φυσικό αέριο, έχουν αλλάξει την σύσταση της ατμόσφαιρας του πλανήτη. Από το 1750 (απαρχή της βιομηχανικής επανάστασης), οι συγκεντρώσεις διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα αυξήθηκαν κατά 30%, του μεθανίου κατά 100% και του υποξειδίου του αζώτου κατά 15%. Οι συγκεντρώσεις αυτών των αερίων ποτέ δεν υπήρξαν υψηλότερες στη διάρκεια των τελευταίων 420.000 ετών (IPCC, 2001). Σύμφωνα με το πόρισμα της Διακυβερνητικής Επιτροπής για τις Κλιματικές Αλλαγές (IPCC, ένα σώμα χιλιάδων επιστημόνων που έχει συσταθεί από τα Ηνωμένα Έθνη και τον Παγκόσμιο Μετεωρολογικό Οργανισμό) η μέση θερμοκρασία της επιφάνειας του πλανήτη αναμένεται να αυξηθεί από 1,4 έως 5,8 βαθμούς Κελσίου ως το 2100 αν συνεχίσει η εξάρτηση της ανθρωπότητας από τα ορυκτά καύσιμα

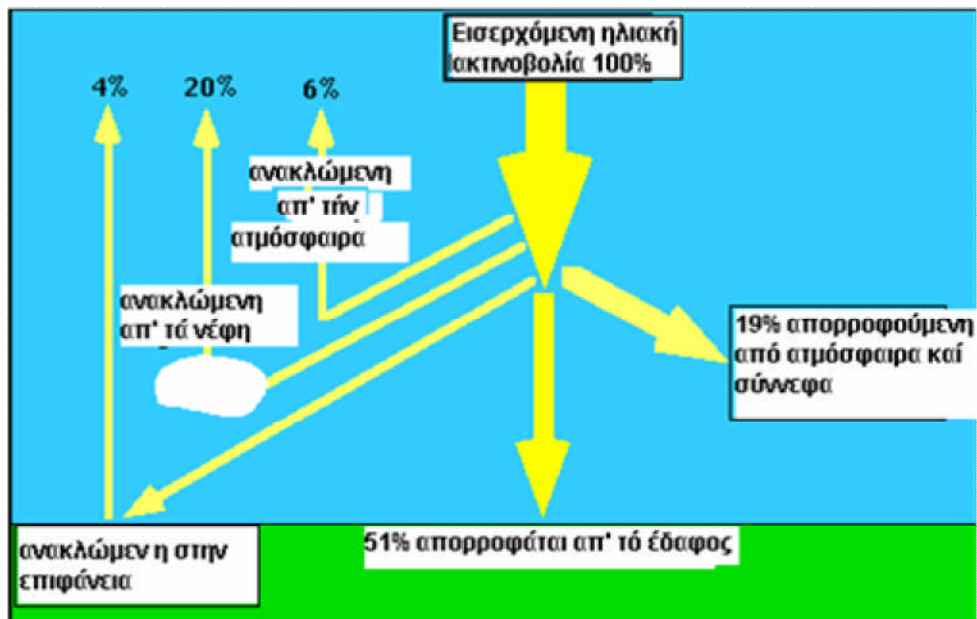
Σε αυτό το κεφάλαιο λοιπόν επιχειρείται μια συνοπτική αναφορά των προς αποφυγή φαινομένων που διαδραματίζονται στη βιόσφαιρα της γης και τις κλιματικές αλλαγές που έχουν εμφανισθεί λόγω της αλόγιστης χρήσης των ορυκτών καυσίμων και της κακής διαχείρισης ενέργειας από τον άνθρωπο.

Τέτοια φαινόμενα είναι τα παρακάτω:

- Φαινόμενο θερμοκηπίου
- Όξινη βροχή
- Η τρύπα στο στρώμα του όζοντος

Αδιαμφισβήτητα, το σημαντικότερο από αυτά τα φαινόμενα είναι ο σχηματισμός του στρώματος του διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) που προκαλεί το φαινόμενο του θερμοκηπίου - τη θέρμανση του πλανήτη εξαιτίας της παγίδευσης της ηλιακής θερμότητας στην ατμόσφαιρα.

2.2 ΤΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΤΟΥ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ



Το φαινόμενο του θερμοκηπίου είναι μια φυσική διαδικασία. Το χρειαζόμαστε για να διατηρούμε τη Γη μας ζεστή, ώστε να υπάρχει ζωή και ανάπτυξη. Δίχως αυτό, η Γη θα ήταν κρύα περίπου -20 °C, και δεν θα μπορούσε να υπάρχει ζωή. Αντιθέτως, η μέση θερμοκρασία της Γης διατηρείται στο επίπεδο των 15 °C, χάρις στο φαινόμενο αυτό.

Τα αέρια του θερμοκηπίου (που περιλαμβάνουν κυρίως το CO₂ και τους υδρατμούς) σχηματίζουν ένα 'στρώμα' πάνω από το έδαφος της Γης σε ένα ορισμένο ύψος, ώστε αφού επιτρέψουν να εισέλθει η υπέρυθη ακτινοβολία του ήλιου, αυτή απορροφάται κατά ένα μέρος από τη Γη και την ατμόσφαιρα.

Η Γη δέχεται συνολικά ηλιακή ακτινοβολία, που αντιστοιχεί σε ροή περίπου 1366Watt ανά τετραγωνικό μέτρο, στο όριο της ατμόσφαιρας. Ένα μέρος αυτής απορροφάται από το σύστημα Γης-ατμόσφαιρας, ενώ το υπόλοιπο διαφεύγει στο διάστημα. Περίπου το 30% της εισερχόμενης ηλιακής ακτινοβολίας ανακλάται, σε ποσοστό 6% από την ατμόσφαιρα, 3% από τα νέφη και 4% από την επιφάνεια της Γης.

Το 70% της ηλιακής ακτινοβολίας απορροφάται, κατά 16% από την ατμόσφαιρα (συμπεριλαμβανομένου και του στρατοσφαιρικού στρώματος του όζοντος), κατά 3% από τα νέφη και κατά το μεγαλύτερο ποσοστό (51%) από την επιφάνεια και τους ωκεανούς.

Ένα μέρος λοιπόν της ηλιακής ακτινοβολίας κατά την είσοδο της, περνά αναλλοίωτη στην ατμόσφαιρα, φτάνει στην επιφάνεια του εδάφους και ακτινοβολείται προς τα πάνω με μεγαλύτερο μήκος κύματος. Ένα μέρος αυτής απορροφάται από την ατμόσφαιρα, τη θερμαίνει και επανεκπέμπεται στην επιφάνεια του εδάφους. Το στρώμα των αερίων λοιπόν, επιτρέπει τη διέλευση της ακτινοβολίας αλλά ταυτόχρονα την εγκλωβίζει, μοιάζει με τη λειτουργία ενός θερμοκηπίου και ο Γάλλος μαθηματικός Fourier το ονόμασε το 1822 φαινόμενο του θερμοκηπίου.

Περίπου το 86% της κατακρατούμενης από την ατμόσφαιρα γήινης ακτινοβολίας, οφείλεται στην παρουσία υδρατμών (H₂O), διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) και νεφών. Οι υδρατμοί αποτελούν το πλέον ενεργό συστατικό, κατά ποσοστό 60%, ενώ μικρότερη συνεισφορά έχουν και τα αέρια μεθανίου (CH₄), οξειδίου του νατρίου (N₂O) και όζοντος (O₃) (περίπου 8%).

Αποτελεί λοιπόν μια φυσική διεργασία που εξασφαλίζει στη Γη μια σταθερή θερμοκρασία επιφάνειας εδάφους γύρω στους 15°C. Όμως τα τελευταία χρόνια λέγοντας φαινόμενο θερμοκηπίου δεν αναφερόμαστε στη φυσική διεργασία, αλλά στην έξαρση αυτής, λόγω της ρύπανσης της ατμόσφαιρας από τις ανθρωπογενείς δραστηριότητες.

Οι τελευταίες, συμβάλλουν στην αύξηση της συγκέντρωσης των αερίων του θερμοκηπίου καθώς και στην έκλυση άλλων ιχνοστοιχείων, όπως οι χλωροφθοράνθρακες (CFC's). Τα τελευταία χρόνια, καταγράφεται μία αύξηση στη συγκέντρωση αρκετών αερίων του θερμοκηπίου, ενώ ειδικότερα στην περίπτωση του διοξειδίου του άνθρακα, η αύξηση αυτή ήταν 31% την περίοδο 1998. Τα τρία τέταρτα της ανθρωπογενούς παραγωγής διοξειδίου του άνθρακα, οφείλεται σε χρήση ορυκτών καυσίμων, ενώ το υπόλοιπο μέρος προέρχεται από αλλαγές που συντελούνται στο έδαφος, κυρίως μέσω της αποδάσωσης.

<u>Αέρια θερμοκηπίου με τη μεγαλύτερη αύξηση συγκέντρωσης</u>			
(Πηγή: IPCC)			
<u>Αέριο</u>	<u>Επίπεδα 1998</u>	<u>Αύξηση από το 1750</u>	<u>Ποσοστό αύξησης</u>
Διοξείδιο του άνθρακα	365 ppm	87 ppm	31%
Μεθάνιο	1,745 ppb	1,045 ppb	150%
Οξείδιο του Αζώτου	314 ppb	44 ppb	16%

ΧΡΟΝΟΛΟΓΙΚΟΣ ΠΙΝΑΚΑΣ ΤΗΣ ΙΣΤΟΡΙΑΣ ΤΟΥ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟΥ

Χρονολογικά γεγονότα του φαινομένου θερμοκηπίου

1824 - Ο Ζοζέφ Φουριέ θέτει το θέμα του ρόλου που παίζει η ατμόσφαιρα της Γης στη θερμοκρασία του πλανήτη, καθώς και της επιπτώσεις της βιομηχανίας στο κλίμα

1896 - Ο Σουηδός Σβάντε Αρρένιους υποστηρίζει ότι η θερμοκρασία του εδάφους επηρεάζεται από τα αέρια που συγκρατούν τη θερμότητα.

1941 - Ο Σέρβος Μιλουτίν Μιλάνκοβιτς υποστηρίζει ότι η μεταβολή της τροχιάς της Γης, μας φέρνει κάθε 40.000 χρόνια την εποχή των παγετώνων.

1957 - Ο Τσαρλς Ντέιβιντ Κίλινγκ μετράει την συγκέντρωση του διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα, από ένα παρατηρητήριο στη Χαβάη. Σε περίοδο έξι ετών, φαίνεται καθαρά η αύξηση της συγκέντρωσης του ποσοστού του διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα.

1980 - Ο Σουηδός Μπερτ Μπολίν διαπιστώνει πως η θερμοκρασία της Γης αυξάνεται εδώ και ένα αιώνα.

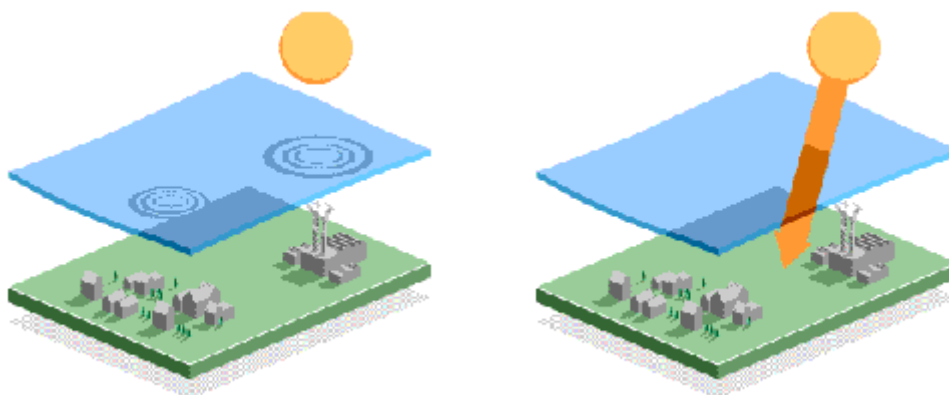
1988 - Ο ΟΗΕ και ο Παγκόσμιος Οργανισμός Μετεωρολογίας συστήνουν την Διακυβερνητική Ομάδα Ειδικών για την εξέλιξη του κλίματος (IPCC).

1992 - Στη σύνοδο του Ρίο 167 κράτη υπογράφουν τη μη δεσμευτική συνθήκη-πλαίσιο για τις κλιματικές αλλαγές.

1997 - Στο Κιότο της Ιαπωνίας 38 βιομηχανικές χώρες δεσμεύονται να μειώσουν ως το 2010 τις εκπομπές αερίων που προκαλούν το φαινόμενο του θερμοκηπίου κατά 5.2% (μέσος όρος) σε σχέση με το 1990. Το πρωτόκολλο αυτό δεν έχει επικυρωθεί.

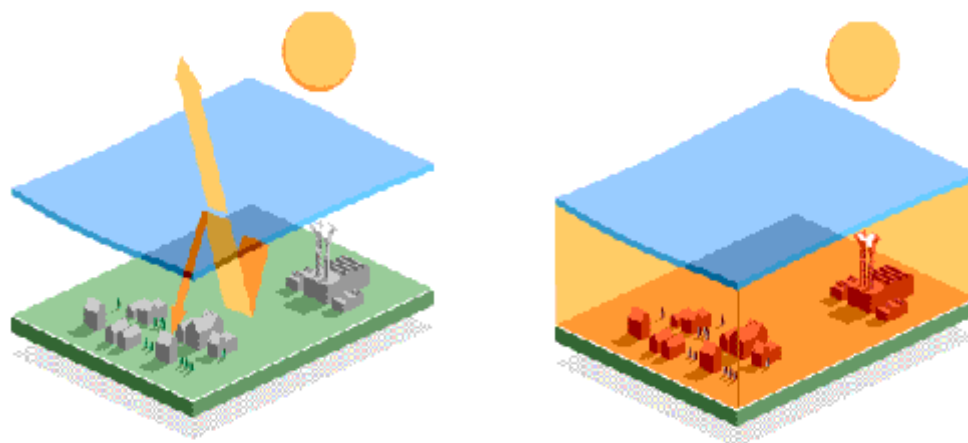
2001 - Στη Βόννη της Γερμανίας, γίνεται το πρώτο βήμα για την επικύρωση του πρωτοκόλλου του Κιότου, χωρίς τη συμμετοχή των ΗΠΑ, αλλά με την συμμετοχή της Ιαπωνίας, Ρωσίας, των χωρών της ΕΕ, συνολικά 178 χώρες.

Πως δημιουργείται το πρόβλημα με εικόνες



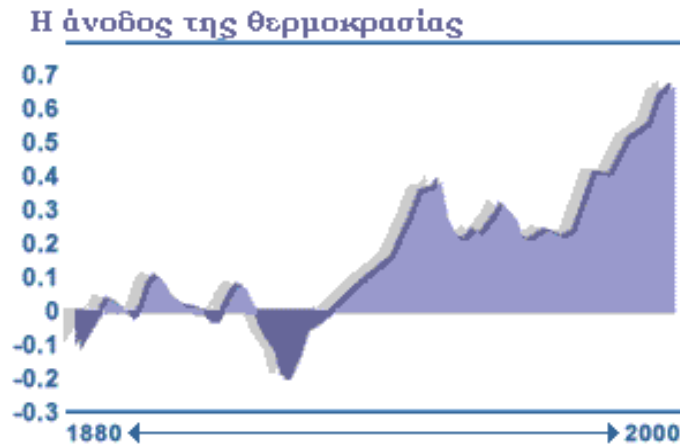
Οι υδρατμοί, το διοξείδιο του άνθρακα και μεθάνιο σχηματίζουν ένα φυσικό διαχωριστικό γύρω από τη Γη. Πάντως η καύση ορυκτών καυσίμων έχει οδηγήσει στην αύξηση του ποσού του CO₂ αλλά και άλλων αερίων όπως το μεθάνιο και οξείδια του αζώτου, που εκλύονται στην ατμόσφαιρα.

Η επιφάνεια της Γης θερμαίνεται από τον ήλιο. Καθώς θερμαίνεται ανακλά πίσω προς την ατμόσφαιρα θερμότητα.



Περίπου το 70% της ενέργειας του ήλιου ακτινοβολείται προς τα πίσω στο διάστημα. Αλλά κάποιο πόσο της υπέρυθρης ακτινοβολίας παγιδεύεται από τα αέρια του θερμοκηπίου, που θερμαίνουν ακόμη περισσότερο την ατμόσφαιρα.

ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ



Τα τελευταία χρόνια οι ανθρωπογενείς δραστηριότητες (βιομηχανίες, αυτοκίνητα κ.ά.) έχουν αυξήσει σημαντικά τις συγκεντρώσεις των αερίων των κατώτερων στρωμάτων της ατμόσφαιρας (αέρια θερμοκηπίου) με αποτέλεσμα την αύξηση της απορροφούμενης ακτινοβολίας και την επακόλουθη θερμοκρασιακή μεταβολή. Υπολογίζεται ότι η μέση θερμοκρασία της Γης έχει αυξηθεί κατά 0,5 με 0,6°C από το 1880, λόγω της έξαρσης του φαινομένου και μέχρι το έτος 2100, εάν δεν ληφθούν μέτρα, η αύξηση της θερμοκρασίας θα είναι από 1,5 έως 4,5°C.

Τα αέρια του θερμοκηπίου είναι περίπου 20 και έχουν όγκο μικρότερο από 1% του συνολικού όγκου της ατμόσφαιρας. Τα σημαντικότερα είναι οι υδρατμοί (H₂O), το διοξείδιο του άνθρακα (CO₂), το μεθάνιο (CH₄), το υποξείδιο του αζώτου (N₂O), οι χλωροφθοράνθρακες (CFC's) και το τροποσφαιρικό όζον (O₃). Κάθε μεταβολή στις συγκεντρώσεις αυτών των αερίων, διαταράσσει το ενεργειακό ισοζύγιο, προκαλεί μεταβολή της θερμοκρασίας και ως εκ τούτου κλιματικές αλλαγές. Οι υδρατμοί, αν και απορροφούν το 65% της υπέρυθρης ακτινοβολίας, δεν φαίνεται να έχουν επηρεαστεί άμεσα από την ανθρώπινη δραστηριότητα. Αντίθετα, οι συγκεντρώσεις των υπόλοιπων αερίων έχουν μεταβληθεί σημαντικά με σημαντικότερη τη μεταβολή του CO₂, καθώς αποτελεί αέριο που διαφεύγει στην ατμόσφαιρα με την καύση του πετρελαίου, του κάρβουνου και άλλων ορυκτών καυσίμων.

Οι ανθρώπινες δραστηριότητες όχι μόνο εκπέμπουν υψηλές συγκεντρώσεις CO₂ στην ατμόσφαιρα, αλλά βλάπτουν και την ικανότητα της γης να απορροφά το CO₂ και να το ενσωματώνει στους φυσικούς κύκλους ροής ενέργειας και ύλης με την καταστροφή των δασών και του φυτοπλαγκτού των ωκεανών. Το πλαγκτόν αποτελεί τον κύριο «απορροφητή» CO₂ του πλανήτη, καθώς πρόκειται για φυτικού οργανισμούς που χρησιμοποιούν το CO₂ κατά τη φωτοσύνθεση.

ΟΙ ΑΛΛΑΓΕΣ ΣΤΟ ΓΗΙΝΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΒΑΣΕΙ ΜΟΝΤΕΛΩΝ

Πολύπλοκα μαθηματικά μοντέλα, γνωστά ως GCM (General Circulation Models), τα οποία επεξεργάζονται όλες τις διαθέσιμες πληροφορίες για να προβλεφθούν οι μελλοντικές κλιματικές αλλαγές, δείχνουν ότι η μέση θερμοκρασία της Γης θα αυξάνεται κατά μέσο όρο περίπου $0,3^{\circ}\text{C}$ ανά δεκαετία για τα επόμενα 100 χρόνια. Αν συμβεί όμως μια τέτοια αύξηση, που φαινομενικά είναι μικρή, μπορεί να οδηγήσει σε σημαντικές κλιματικές αλλαγές με απρόβλεπτες συνέπειες. Οι προβλέψεις των μοντέλων -βασισμένων στους υπολογιστές- λένε επίσης πως μέχρι το τέλος του αιώνα θα ανυψωθεί η θερμοκρασία μέχρι 5.8°C .

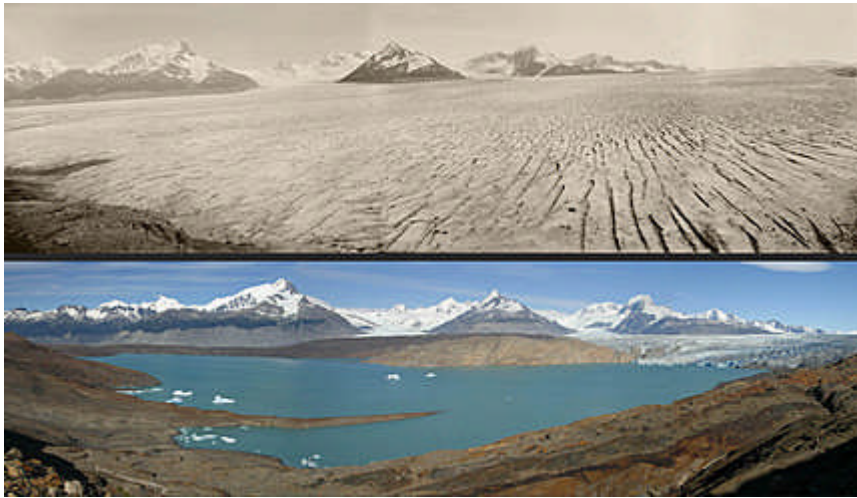
Ένα σημαντικό θέμα είναι η επίδραση που θα έχει η αύξηση της θερμοκρασίας στο επίπεδο της θάλασσας. Αναμένεται άνοδος της επιφάνειας που θα οφείλεται στη θερμική διαστολή των ωκεανών και στο λιώσιμο των πάγων των οροσειρών και σε μικρότερο ποσοστό σε λιώσιμο των πάγων της Γροιλανδίας. Παράλληλα η κατανομή και η συχνότητα των βροχοπτώσεων θα μεταβληθούν. Θα αυξηθούν οι πλημμύρες, οι καταιγίδες και γενικά οι ακραίες καιρικές συνθήκες θα είναι συχνότερες και εντονότερες.

ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΤΟΥ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟΥ

Ως προς τις συνέπειες, οι πιο συζητημένες επιπτώσεις του φαινομένου είναι η ανύψωση της στάθμης των θαλασσών λόγω τήξεως των πάγων των πόλων και η ερημοποίηση εκτεταμένων περιοχών της εύκρατης ζώνης με μετακίνηση των ζωνών βροχόπτωσης από τον ισημερινό προς βορρά. Η σημαντική ανύψωση της στάθμης των θαλασσών (μερικά μοντέλα την εκτιμούν στα 65 εκατοστά μέχρι το τέλος του αιώνα) αυτονόητο είναι ότι θα οδηγήσει σε καταβύθιση ολόκληρων παράκτιων περιοχών συμπαράσύροντας και ολόκληρες πόλεις.

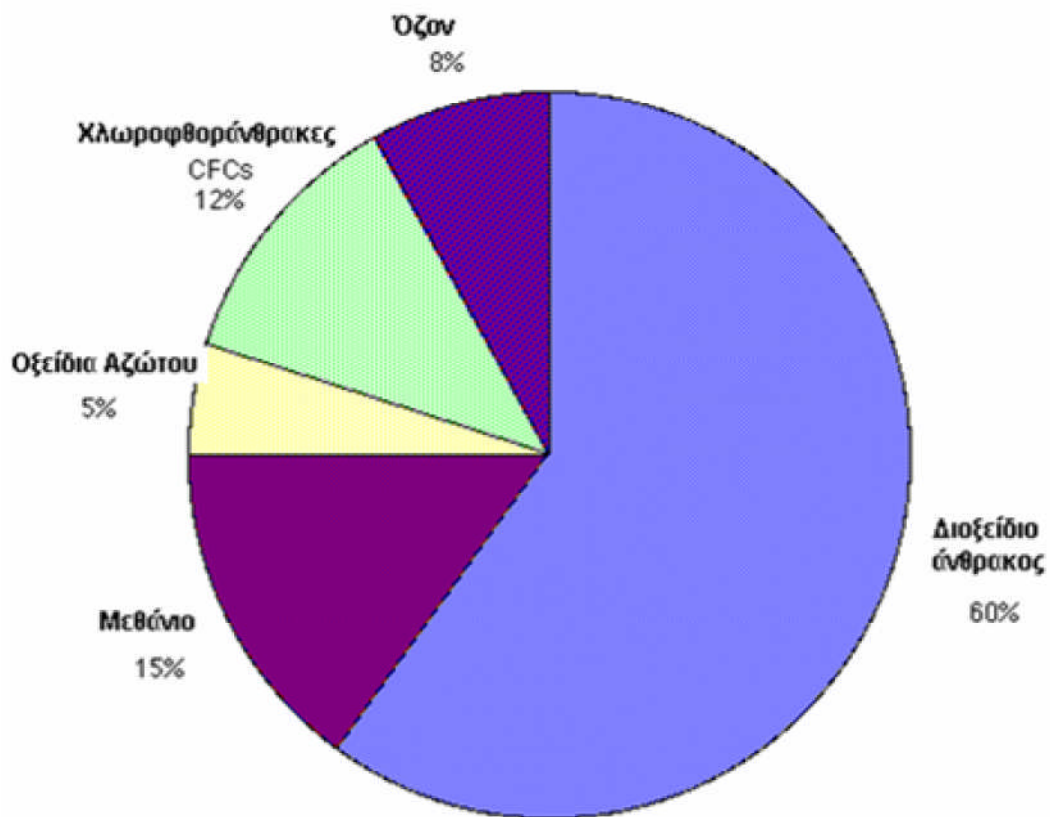
Η ερημοποίηση, όπως και η λέξη δηλώνει, θα καταστήσει το έδαφος ακατοίκητο, αφού η λειψυδρία θα είναι φοβερή. Πέραν αυτών όμως οι επιπτώσεις της παγκόσμιας θέρμανσης ενδεχομένως θα είναι απρόβλεπτες τόσο στις κλιματικές επιπτώσεις όσο και στην ανακατανομή της ποιότητας των εδαφών. Άγνωστος επίσης είναι και ο τρόπος και βαθμός προσαρμογής του ζωικού και φυτικού βασιλείου στις νέες συνθήκες. Όλα αυτά βεβαίως θα οδηγήσουν σε αλυσιδωτά προβλήματα που θα αφορούν όλους τους τομείς της ανθρώπινης δραστηριότητας αφού όλα είναι συνυφασμένα με το περιβάλλον, το οποίο θα αλλάξει δραστικά.

Συγκριτική φωτογραφία του παγετώνα της Ουψάλα, στην Παταγονία της Χιλής, το 1928 και σήμερα.



18 Ιανουαρίου 2001, Παταγονία, Χιλή

Στο παρακάτω διάγραμμα φαίνεται η συμμετοχή των ρύπων με ανθρωπογενή προέλευση στην ενίσχυση του φαινομένου του θερμοκηπίου.



2.3 Η ΟΞΙΝΗ ΒΡΟΧΗ ΚΑΙ ΟΙ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ

Όταν οι υδρατμοί των σύννεφων συμπυκνώνονται με τη μορφή σταγονιδίων νερού ή νιφάδων χιονού, πέφτουν διαμέσου τη ατμόσφαιρας και αναμιγνύονται με τα μολυσματικά αέρια όπως τα οξείδια του θείου, τον αζώτου και του άνθρακα σχηματίζοντας αραιά οξέα - το θειικό οξύ, το νιτρικό οξύ και το ανθρακικό οξύ αντίστοιχα. Τα πρώτα δύο από αυτά τα οξέα είναι ισχυρά διαβρωτικά και στη βιβλιογραφία αναφέρονται ως οι κύριες υπεύθυνες ενώσεις για το σχηματισμό των όξινων βροχών. Παρόλα αυτά, το τρίτο από αυτά τα οξέα, το ανθρακικό οξύ, παρά το γεγονός ότι είναι λιγότερο ισχυρό από τα άλλα δύο είναι δυνατό στην πραγματικότητα να προξενήσει σημαντικότερες καταστροφές επειδή παράγεται σε πολύ μεγαλύτερες ποσότητες.

Η βροχή που περιέχει αυτά τα οξέα πάφτει παντού: μέσα σε λίμνες, ποτάμια και ωκεανούς, πάνω σε δάση, πάνω σε χωράφια και φάρμες, πάνω σε κτίρια και κατασκευές. Οτιδήποτε έρχεται σε επαφή με το νερό της βροχής υφίσταται τη διαβρωτική δράση των οξέων. Αυτά τα οξέα είναι επιβλαβή για τα πάντα, από τον ίδιο τον ανθρώπινο οργανισμό μέχρι τα υλικά αντικείμενα. Καθώς μάλιστα αυξάνεται η συγκέντρωση των οξέων τόσο καταστροφικότερη είναι η δράση τον νερού της όξινης βροχής. Η αύξηση της συγκέντρωσης των οξέων είναι φυσικό επακόλουθο της αύξησης της κατανάλωσης ορυκτών καυσίμων.

ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΣΤΟΝ ΥΔΡΟΦΟΡΟ ΟΡΙΖΟΝΤΑ

Ο συνολικός ρυθμός οξέοποίησης μιας υδάτινης περιοχής επηρεάζεται από πολύπλοκες αλληλεπιδράσεις ανάμεσα στην όξινη βροχή, τη χημική σύσταση του νερού της θάλασσας, τον ποταμού ή της λίμνη, από τις ιδιότητες τον χώματος και από τον τρόπο χρήσης των υδάτων και της γης. Καθώς τα νερά μιας λίμνης γίνονται ολοένα και πιο όξινα εξαιτίας των όξινων βροχών και χιονοπτώσεων επηρεάζεται σημαντικά η υδάτινη χλωρίδα και πανίδα. Αρχικά υποφέρουν οι οργανισμοί εκείνοι που είναι λιγότερο ανθεκτικοί στο όξινο περιβάλλον όπως οι πέρκες, οι σολομοί και οι πέστροφες, ενώ στη συνέχεια αρχίζουν να τείνουν προς εξαφάνιση και οι ανθεκτικότεροι οργανισμοί όπως τα υδρόβια σκαθάρια.

Κάθε φορά που ένα ζώο ή ένα φυτό πεθαίνει εξαιτίας της αύξησης της οξύτητας μέσα σε μια λίμνη ή μια υδάτινη δεξαμενή, αρχίζει να αποσυντίθεται. Η οργανική ύλη της αποσύνθεσης αυτών των οργανισμών ενώνεται με το οξυγόνο του νερού και το αποτέλεσμα είναι η μείωση του επιπέδου του οξυγόνου τον υδάτινου περιβάλλοντος που γίνεται περισσότερο αφιλόξενο για άλλες μορφές ζωής. Επιπλέον, η οργανική ύλη επαυξάνει την ανάπτυξη ορισμένων ανεπιθύμητων άλγεων που καλύπτουν την επιφάνεια της λίμνης εμποδίζοντας την είσοδο του οξυγόνου και του ηλιακού φωτός. Το γεγονός αυτό συμβάλλει επίσης στη μείωση και καταστροφή της ζωογόνου χωρητικότητας των υδάτινων περιοχών.

Μελέτες έχουν δείξει ότι οι όξινες βροχές έχουν ήδη προκαλέσει μεγάλη αύξηση του επιπέδου της οξύτητας πολλών υδάτινων οικοσυστημάτων των νοτιοανατολικών περιοχών των ΗΠΑ, στον Καναδά, στη Νορβηγία, στη Σουηδία και στο Ηνωμένο Βασίλειο. Για παράδειγμα, έχει αναφερθεί ότι περίπου 4000 λίμνες έχουν νεκρωθεί από ψάρια στη Σουηδία και συνολικά περίπου 14000 λίμνες έχουν οξέοποιηθεί. Στις Ηνωμένες Πολιτείες, περισσότερες από 200 λίμνες των περιοχών υψηλού υψομέτρου των Adirondacks στην πολιτεία της Νέας Υόρκης έχουν νεκρώσει εξαιτίας των όξινων βροχοπτώσεων. Η συνολική βλάβη των υδάτινων οικοσυστημάτων είναι προφανής όμως η εκτίμηση της σε οικονομική βάση δεν είναι εύκολη.

Για παράδειγμα, έχουν αναφερθεί διάφορες εκτιμήσεις των οικολογικών επιπτώσεων για τις λίμνες των Adirondacks. Οι εκτιμήσεις των φυσικών φαινομένων που αποτελούν σημαντικές παραμέτρους προσδιορισμού της οικολογικής βλάβης εκφράζονται ως μεταβολές των εκτάσεων των αλιεύσιμων εκταρίων. Έτσι, η ποσοστιαία μείωση των αλιεύσιμων εκτάσεων (των εκτάσεων δηλαδή που φιλοξενούν ψάρια) έχει εκτιμηθεί ότι αντιστοιχεί σε αξία 13 εκατομμυρίων δολαρίων ΗΠΑ. Επεκτείνοντας αυτή την τιμή κόστους και στις υπόλοιπες περιοχές των ΗΠΑ όπου έχει προκληθεί οξεοποίηση των λιμνών, η συνολική οικονομική απώλεια των ΗΠΑ από τη μείωση των αλιεύσιμων λιμνών αγγίζει το 1 δισεκατομμύριο δολάρια ανά έτος. Παρόλα αυτά, οι προηγούμενες εκτιμήσεις είναι ατελείς, δεδομένου ότι δε συυπολογίζονται το κόστος αντιστροφής των δυσμενών επιπτώσεων και την απώλεια τουριστικού εισοδήματος στις συγκεκριμένες περιοχές. Μια ολοκληρωμένη εκτίμηση είναι δυνατό να οδηγήσει σε διπλασιασμό τον προαναφερθέντος συνολικού κόστους.

Μια άλλη προσέγγιση για την εκτίμηση της βλάβης των λιμνών εξαιτίας των όξινων βροχών υπολογίζει το κόστος ίασης τους. Μια τεχνική που αναπτύχθηκε για τη διόρθωση της οξεοποίησης προτείνει την προσθήκη ασβέστη στο νερό των λιμνών. Δεδομένου ότι ο ασβέστης είναι αλκαλικός και επομένως μπορεί να ουδετεροποιήσει την οξύτητα, η τεχνική αυτή θεωρείται ότι μπορεί να συντελέσει την επιστροφή της ζωής σε αυτές τις λίμνες, το ετήσιο κόστος του ασβέστη εκτιμήθηκε το 1985 για την περίπτωση της Σουηδίας στα 40 εκατομμύρια δολάρια. Εάν επλεγεί η προσθήκη ασβέστη στις λίμνες των νοτιοανατολικών ΗΠΑ, τότε στο συνολικό ετήσιο κόστος είναι απαραίτητο να προστεθούν περίπου 500 εκατομμύρια δολάρια. Δε πρέπει φυσικά να αγνοείται ότι η συγκεκριμένη διορθωτική πολιτική είναι εφικτή μόνο εφόσον υπάρχουν αποθέματα ασβεστόλιθου. Οι όξινες βροχές δεν πέφτουν μόνο στις λίμνες αλλά εξίσου στα ποτάμια και στους ωκεανούς. Πολλά από τα ποτάμια του Καναδά και της Σκανδιναβίας αδυνατούν πλέον να υποστηρίξουν την αναπαραγωγή τον σολομού. Επιπλέον, η οξύτητα των ωκεανών αυξάνεται με ρυθμό που σύμφωνα με εκτιμήσεις θα έχει σαν αποτέλεσμα τα ανώτερα 60 μέτρα (200 πόδια) να είναι πλήρως αφιλόξενα για υδρόβιους οργανισμούς στα μέσα του 21^{ου} αιώνα. Γι' αυτές τις επιπτώσεις δεν υπάρχουν ακόμη εκτιμήσεις οικονομικού κόστους.

ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΗ ΤΩΝ ΔΑΣΩΝ ΚΑΙ ΤΩΝ ΕΛΔΑΦΩΝ

Οι όξινες βροχοπτώσεις δεν επηρεάζουν μόνο τον υδάτινο κόσμο τον πλανήτη αλλά και το χώμα. Ειδικότερα, η επίπτωση των όξινων βροχών στα δάση είναι εξαιρετικά καταστροφική. Καθώς η όξινη βροχή εισχωρεί στο χωμάτινο έδαφος προκαλεί τη διάλυση κανονικά αδιάλυτων μεταλλικών στοιχείων και ενώσεων διαταράσσοντας την οργανική Θρεπτική ισορροπία μέσα στο χώμα. Τα διαλυμένα άλατα και ιδιαίτερα εκείνα του αλουμινίου είναι τοξικά προς τις νεαρές ρίζες των δέντρων. Επιπρόσθετα, οι όξινες βροχές καίνε τα τρυφερά νέα φύλλα των δέντρων και μειώνουν τη συνολική αντοχή τους ενάντια σε ασθένειες.

Η αυξημένη καταστροφή των παγκόσμιων δασών αποδίδεται γενικότερα στο φαινόμενο των όξινων βροχοπτώσεων. Μια εκτενής μελέτη και ανάλυση της καταστροφής των δασών πραγματοποιήθηκε πρόσφατα στην Ευρώπη. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι περίπου το 15% του συνολικού αναπτυσσόμενου δασικού αποθέματος φραγματίζεται σοβαρά ή πεθαίνει, γεγονός που αποτελεί 3 φορές μεγαλύτερο κίνδυνο από την ετήσια κοπή δέντρων για υλοτομία. Άλλες μελέτες δείχνουν ότι στην Ομοσπονδιακή Δημοκρατία της Γερμανίας, το 50% του Μέλανος Δρυμού υποφέρει την επιβλαβή δράση των όξινων βροχών καθώς τα δέντρα ασθενούν και πεθαίνουν καθημερινά από την ποιοτική αλλοτρίωση τον αέρα και του χώματος. Πλήθος μελετών υποδεικνύει επίσης ότι στην Πολωνία, την Τσεχοσλοβακία και σε άλλες χώρες τις κεντρικής Ευρώπης η βλάβη των δασών είναι πολύ μεγαλύτερη εξαιτίας της μεγαλύτερης εξάρτησής τους από το καύσιμο λιγνίτη.

Οι εκτιμήσεις του 1978 ανέφεραν ότι περίπου το 5% των δασών των ΗΠΑ υπέφερε εξαιτίας των όξινων βροχοπτώσεων. Το γεγονός αυτό αντανάκλουσε σε μια απώλεια 600 εκατομμυρίων δολαρίων για εκείνη τη χρονιά ως απώλεια εσόδων. Αν σε αυτό το ποσό προστεθεί το κόστος αναφυγής και η απώλεια τουριστικού εισοδήματος που εκτιμήθηκαν συνολικά στο μέγεθος των ενός δισεκατομμυρίου δολαρίων ανά έτος, τότε το συνολικό επίσης κόστος της οικολογική επίπτωσης των όξινων βροχών προς τα δάση των ΗΠΑ ανέρχεται στα 1.6 δισεκατομμύρια δολάρια. Όμως, από το 1978 και έπειτα, η κατανάλωση πετρελαίου και λιγνίτη αυξήθηκε με συνέπεια τη συνακόλουθη αύξηση και της ποσότητας των όξινων βροχοπτώσεων. Με αυτή την αλλαγή υπό σκέψη, η προβλεπόμενη ζημιά των δασών των ΗΠΑ το 1990 εκτιμάται στα 5 εκατομμύρια δολάρια.

Οι όξινες βροχές δεν προκαλούν μόνο ζημιές στα φυτά και τα δέντρα αλλά επιπλέον επηρεάζουν την ποιότητα και την ποσότητα της αγροτικής παραγωγής. Τα λαχανικά και τα φρούτα είναι μικρότερα, συχνότερα άμορφα (σε σχέση με το φυσιολογικό τους σχήμα) και λιγότερο θρεπτικά. Επιπλέον, οι συνολικές παραγωγές είναι μικρότερες εξαιτίας της εξασθένησης των φυτών ενάντια στις αρρώστιες. Το αποτέλεσμα είναι η έλλειψη αγαθών και οι υψηλότερες τελικές τιμές αγοράς για προϊόντα φτωχότερης ποιότητας. Σύμφωνα με εκτιμήσεις, οι απώλειες της αγροτικής παραγωγής του 1984 εξαιτίας των όξινων βροχών στις ΗΠΑ ήταν 8.2 εκατομμύρια δολάρια. Λαμβάνοντας υπόψη την αύξηση της ζήτησης και του πληθωρισμού, τότε οι συνολικές απώλειες παραγωγής το 1990 εκτιμώνται στα 12 εκατομμύρια δολάρια.

ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΣΤΑ ΚΤΙΡΙΑ ΚΑΙ ΤΙΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ

Η πτώση των όξινων βροχών στις πόλεις προκαλεί σημαντικές επιπτώσεις στα κτίρια και τις τεχνολογικές κατασκευές. Η όξινη βροχή διαβρώνει τη λιθοδομή των κτιρίων μεταξύ των οποίων ορισμένα είναι αξιοθέατα ιστορικής σημασίας. Ορισμένοι τέτοιοι ανεκτίμητοι θησαυροί που επιδεικνύουν την καταστροφική δράση των όξινων βροχών είναι ο Παρθενώνας στην Αθήνα, το Κολοσσαίο της Ρώμης και ο Καθεδρικός ναός της Παναγίας των Παρισίων στο Παρίσι. Η Γερμανία ξοδεύει περίπου 4 εκατομμύρια δολάρια ανά έτος για να αντικαθιστά το ιστορικό λιθόκτιστο ανάγλυφο του καθεδρικού της Κολωνίας, μια εργασία που απαιτεί ειδικές πέτρες, ειδικευμένους λαξευτές και τεχνίτες, χρόνο και κόπο. Συγκεκριμένα απαιτούνται λίγα χρόνια για την αντικατάσταση του επηρεασμένου λιθόκτιστου της μιας πλευράς του κτιρίου και στη συνέχεια το συνεργείο συνεχίζει να εργάζεται στην άλλη κ.ο.κ. Με την ολοκλήρωση της εργασίας στην τελευταία πλευρά του κτιρίου το συνεργείο των τεχνιτών πρέπει να αρχίσει την αντικατάσταση από την αρχή καθώς το ανάγλυφο της πρώτης πλευράς έχει ήδη αρχίσει να διαβρώνεται. Φυσικά, πολλά ιστορικά κτίρια δεν χαίρουν τέτοιας ιδιαίτερης αντιμετώπισης και καταστρέφονται πλήρως εξαιτίας των όξινων βροχών δίχως να επιδέχονται επισκευή.

Οι μεταλλικές κατασκευές όπως λ.χ. οι γέφυρες, οι σιδηροτροχιές και τα συρμάτινα καλώδια επηρεάζονται εξίσου σημαντικά από την όξινη βροχή. Για το λόγο αυτό, τα μέταλλα απαιτείται να προστατεύονται από τη διάβρωση και την επερχόμενη αστοχία. Με τον ίδιο τρόπο απαιτείται η προστασία των κτιρίων και των υπολοίπων κατασκευών με συχνούς καθαρισμούς και με εφαρμογή επικαλύψεων από πλαστικά χημικά ή χρώμα. Η όξινη βροχή είναι ακόμη σε θέση να καταστρέφει τις προστατευτικές επικαλύψεις του χρώματος, και των μεταλλικών εξωτερικών εξαρτημάτων των αυτοκινήτων και των υπολοίπων

οχημάτων, γεγονός που θέτει την απαίτηση για συχνότερο καθαρισμό τους προκειμένου να διατηρούνται σε ικανοποιητική κατάσταση.

Η επίπτωση των όξινων βροχοπτώσεων στις κατασκευές αποτέλεσε αντικείμενο αρκετών μελετών. Το 1984 εκτιμήθηκε ότι το συνολικό κόστος επιδιόρθωσης των ιστορικών κτιρίων ανερχόταν παγκοσμίως στα 20 δισεκατομμύρια δολάρια. Η ζημιά των υπολοίπων δημοσίων κτιρίων και κατασκευών εκτιμήθηκε στα 80 δισεκατομμύρια και τα έξοδα για την επισκευή των ιδιωτικών σπιτιών υπολογίστηκε ίσο με 40 δισεκατομμύρια δολάρια. Με άλλα λόγια, το 1984 το συνολικό κόστος της επίπτωσης της όξινης βροχής σε κτίρια και κατασκευές υπολογιζόταν ίσο με 140 δισεκατομμύρια δολάρια το έτος. Εάν ληφθούν υπόψη η αύξηση της κατανάλωσης των ορυκτών καυσίμων και η αύξηση των πλήθους των δημοσίων κτιρίων, των κατασκευών και των σπιτιών, το αντίστοιχο ποσό για το 1990 εκτιμάται στα 200 δισεκατομμύρια δολάρια.

ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΣΤΟΝ ΑΝΘΡΩΠΟ ΚΑΙ ΤΑ ΖΩΑ

Οι όξινες βροχές αυξάνουν την οξύτητα του πόσιμου νερού. Η ροή αυτού του νερού διαμέσου μεταλλικών σωληνώσεων από μόλυβδο, χαλκό ή αλουμίνιο προκαλεί τη διαβρωτική φθορά του μετάλλου με τελικό αποτέλεσμα το νερό που φτάνει στον καταναλωτή να αποτελεί στην ουσία μια θανατηφόρα "σούπα" από οξέα, δηλητηριώδη μέταλλα και χημικές ενώσεις. Το φαινόμενο αυτό έχει παρατηρηθεί για παράδειγμα στη Σουηδία όπου το όξινο νερό θεωρήθηκε αιτία πρόκλησης σημαντικών ασθενειών σε βρέφη και παιδιά.

Το όξινο νερό επηρεάζει όμως εκτός από τα βρέφη και τα παιδιά και τους ενήλικες. Το νερό αυτό, με την παρουσία των τοξικών μετάλλων των αλλοιωμένων σωληνώσεων, είναι δυνατό να προκαλέσει σημαντικές οργανικές ανωμαλίες, ιδιαίτερα στα νεφρά και στην ουροδόχο κύστη. Το όξινο νερό έχει απολέσει το κανονικό περιεχόμενο σε νάτριο (το νερό αποτελεί τη γενικότερη πηγή νατρίου προς τον ανθρώπινο οργανισμό) με συχνό επακόλουθο την πρόκληση σημαντικών καρδιαγγειακών ασθενειών. Έχει εκτιμηθεί ότι με οικονομικούς όρους η δυσμενής επίπτωση των όξινων βροχών στον ανθρώπινο οργανισμό το 1985 στις ΗΠΑ ήταν 180 εκατομμύρια δολάρια (το 1990 εκτιμάται στα 200 εκατομμύρια δολάρια). Σε αυτή την εκτίμηση φυσικά δε συνυπολογίζεται ο ανθρώπινος πόνος και η δυστυχία εξαιτίας των ασθενειών.

Όπως λοιπόν φαίνεται, είναι δυνατό να εκτιμηθεί η επίπτωση της όξινης βροχής στον άνθρωπο και να ληφθούν με κάποιο κόστος μέτρα καθαρισμού του πόσιμου νερού. Παρόλα αυτά, τέτοια μέτρα δε μπορούν να ισχύσουν στην περίπτωση των φυτών και των ζώων που είναι καταδικασμένα να υφίστανται τις μεταβολές ή να αλλάζουν τις περιοχές διαβίωσης τους. Αυτές όμως οι περιοχές γίνονται ολοένα και μικρότερες καθώς αυξάνεται ο ανθρώπινος πληθυσμός και ο ζωικός κόσμος γίνεται ολοένα και περισσότερο άστεγος καθώς συνεχίζεται η μόλυνση του περιβάλλοντος με τη χρήση των ορυκτών καυσίμων.

Εκατοντάδες είδη φυτών και ζώων αφανίζονται κάθε χρόνο λόγω της περιβαλλοντικής μόλυνσης και των όξινων βροχών που προκαλούνται από τις εκπομπές των ρύπων των διεργασιών καύσης των ορυκτών καυσίμων, όμως δεν υπάρχουν εκτιμήσεις αυτής της ζημιάς με οικονομικούς όρους. Απομένει ακόμη να κατανοήσουμε τη συνολική επίπτωση των όξινων βροχοπτώσεων ή, για παράδειγμα, τον τρόπο με τον οποίο η απώλεια ενός είδους ενός ψαριού, ενός φυτού ή ενός ζώου επηρεάζει την ισορροπία της φύσης.

ΤΡΟΠΟΙ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗΣ ΤΟΥ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟΥ

Οι ειδικοί έχουν προβλέψει για αρκετά χρόνια τις ενδεχόμενες επιπτώσεις της συσσώρευσης των παραπροϊόντων της καύσης των ορυκτών καυσίμων στην ατμόσφαιρα, της περιβαλλοντικής μόλυνσης και της όξινης βροχής. Το μεγαλύτερο όμως μέρος του ανθρώπινου πληθυσμού είναι τόσο απασχολημένο με τη σύγχρονη λογική της "στιγμιαίας ευχαρίστησης" ώστε η διορατική ανησυχία για τα επόμενα 20 ή 30 χρόνια δεν ανήκει στα ενδιαφέροντά του.

Η αλήθεια όμως είναι ότι οι προβλέψεις που έχουν γίνει για τα επόμενα 10, 20 ή 30 χρόνια έχουν αρχίσει να επιβεβαιώνονται. Το τρισέγγονό μας ενδέχεται να μην έχει ποτέ την ευκαιρία να μάθει το πώς μοιάζει ένα άγριο ελάφι ή ένα δάσος παρά μόνο μέσα από φωτογραφίες του παρελθόντος και ολόκληρες γενιές ανθρώπων ενδέχεται να μη μπορέσουν ποτέ να δουν τον Παρθενώνα των Αθηνών. Η δυσοίωση αυτή διαδικασία μπορεί παρόλα αυτά να αναστραφεί ξεθάβοντας τους εαυτούς μας από τη λογική της "στιγμιαίας ευχαρίστησης", αρχίζοντας να σχεδιάζουμε από τώρα για το μέλλον, με στόχο να παραδώσουμε στα παιδιά και τα εγγόνια μας έναν καλύτερο τόπο διαβίωσης.

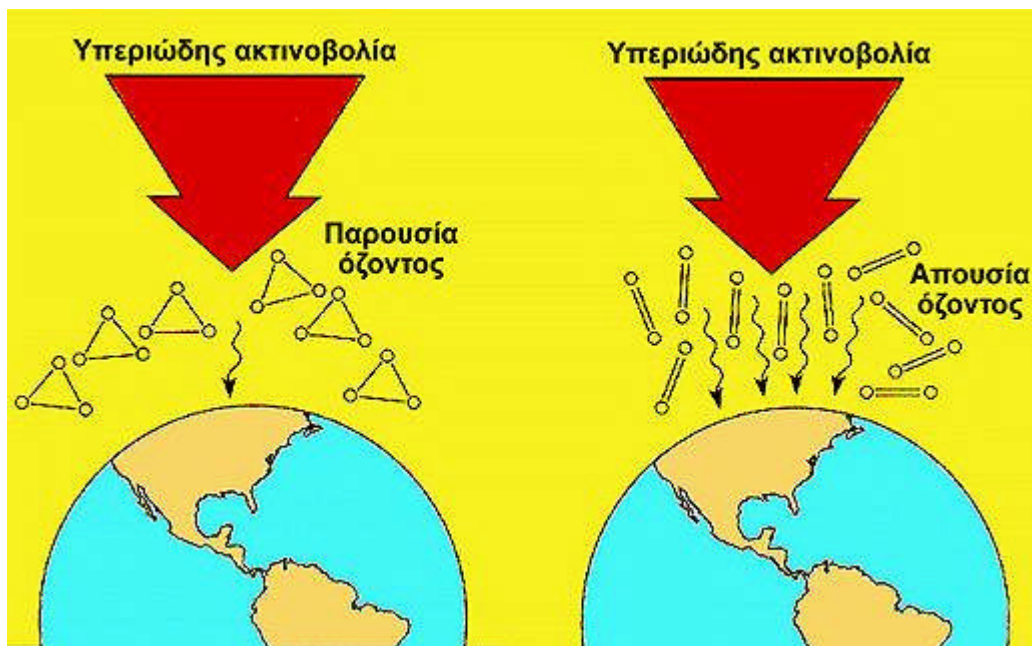
2.4 Η ΤΡΥΠΑ ΣΤΟ ΣΤΡΩΜΑ ΤΟΥ ΟΖΟΝΤΟΣ

Το όζον είναι στην ουσία ένα μόριο που σχηματίζεται από τη συνένωση τριών ατόμων οξυγόνου. Έτσι η επιστημονική του γραφή είναι η O_3 (το οξυγόνο που αναπνέουμε αποτελείται από δύο άτομα οξυγόνου ενωμένα και συμβολίζεται ως O_2).

Το όζον συναντάται παντού στη γήινη ατμόσφαιρα, από το επίπεδο των εδάφους μέχρι 25 μίλια πάνω από τη γη. Στο επίπεδο του εδάφους συναντάται ως συστατικό των νέφους και επομένως η ύπαρξη του δεν είναι επιθυμητή, όμως στα εξωτερικά στρώματα της ατμόσφαιρας - στο στρώμα εκείνο που είναι γνωστό ως στρατόσφαιρα - η ύπαρξη του μας προστατεύει από τις επιβλαβείς ακτίνες του ήλιου απορροφώντας και επομένως εμποδίζοντας την υπερϊώδη ηλιακή ακτινοβολία να φτάσει στο έδαφος της γης και να προκαλέσει καρκίνο του δέρματος.

Έχοντας διέλθει από τη στρατόσφαιρα, οι ηλιακές ακτίνες πρέπει στη συνέχεια να διέλθουν από το οξυγόνο, το άζωτο, το διοξείδιο του άνθρακα, από το όζον του επιπέδου του εδάφους και από τους υδρατμούς του αέρα που όλα αυτά μαζί φιλτράρουν την ηλιακή ακτινοβολία πριν φτάσει στη γη. Μπορεί κανείς τελικά να αναρωτιέται πως τελικά φτάνει η ηλιακή ακτινοβολία στη γη μετά από τόσο φιλτράρισμα, αλλά η απάντηση πολύ απλά είναι ότι η ηλιακή ακτινοβολία που εισέρχεται στην ατμόσφαιρα είναι εξαιρετικά έντονη. Στην πραγματικότητα, ένα μεγάλο μέρος της ηλιακής ακτινοβολίας που εκπέμπεται από τον ήλιο δε φτάνει ποτέ στα μάτια μας. Ο ήλιος είναι τόσο τεράστιος (με διάμετρο 800.000 μιλίων) ώστε το ένα δεκάκις εκατομμυριοστό ($1/10^7$) της εκπεμπόμενης ηλιακής ακτινοβολίας αρκεί για τη συντήρηση της ζωής στη γη.

Ακόμη και αυτό το εξαιρετικά μικρό ποσοστό του ενός δεκάκις εκατομμυριοστού της ηλιακής ακτινοβολίας θα μπορούσε να είναι επικίνδυνο εάν δεν υφίστατο το φιλτράρισμα στην ατμόσφαιρα και ειδικότερα στη ζώνη τον όζοντος της στρατόσφαιρας.



Η ΑΝΑΚΑΛΥΨΗ ΤΗΣ ΤΡΥΠΑΣ

Το 1985, τα δεδομένα ενός δορυφόρου της NASA που είχε τεθεί σε τροχιά γύρω από τη γη επιβεβαίωσε τους φόβους ορισμένων επιστημόνων αναφέροντας την ύπαρξη μιας τρύπας στο προστατευτικό στρώμα του όζοντος πάνω από την περιοχή της Ανταρκτικής. Επιστημονικές αποστολές από διάφορες χώρες στάλθηκαν στην Ανταρκτική για την πραγματοποίηση μετρήσεων του πάγου και των υπεριωδών ακτίνων του ηλίου. Όλες οι ομάδες ομόφωνα επιβεβαίωσαν ότι η ύπαρξη της τρύπας στο στρώμα του όζοντος είναι δεδομένη.

Η ανακάλυψη αυτή δεν προκάλεσε σημαντική κινητοποίηση. Δεν επρόκειτο φυσικά για κάποια μεγάλη καταστροφή δεδομένου ότι στην Ανταρκτική ο υπάρχον πληθυσμός είναι λίγος, όμως τι θα συνέβαινε αν η τρύπα του όζοντος εξαπλωνόταν; Προκειμένου να απαντηθεί αυτό το ερώτημα ζητήθηκε η γνώμη άλλων επιστημονικών ομάδων και γιατρών. Η τελική ετυμηγορία ήταν ότι για τους ανθρώπους η εξάπλωση της τρύπας του όζοντος ισοδυναμεί με εξάπλωση του καρκίνου του δέρματος.

Όπως ήταν φυσικό, οι επιστήμονες και οι γιατροί παρατηρούσαν έκτοτε την πορεία του φαινομένου της τρύπας του όζοντος με προσοχή. Τα ανησυχητικά νέα είναι ότι παρά το γεγονός ότι η τρύπα του όζοντος αυξάνεται και μικραίνει ακολουθώντας τις κλιματολογικές εποχές, σταδιακά παρατηρείται η αύξηση της. Και ακριβώς όπως είχε προβλεφθεί, έχουν αυξηθεί επίσης τα κρούσματα του καρκίνου του δέρματος. Από το 1985 και έπειτα έχουν καταγραφεί τόσα κρούσματα θυμάτων του καρκίνου του δέρματος όσα δεν είχαν καταγραφεί σε όλα τα προηγούμενα χρόνια μαζί. Ορισμένα μάλιστα από τα είδη του καρκίνου του δέρματος είναι θανατηφόρα εάν δεν αντιμετωπιστούν άμεσα και κατάλληλα.



Εικόνα του στρώματος του όζοντος από την Ανταρκτική

Πηγή:NASA

ΑΙΤΙΑ ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑΣ ΤΡΥΠΑΣ ΤΟΥ ΟΖΟΝΤΟΣ

Η αιτία της τρύπα του όζοντος πρέπει να είναι ανθρωπογενής. Το στρώμα του όζοντος πρέπει να προϋπήρχε για δισεκατομμύρια χρόνια, δεδομένου ότι στην αντίθετη περίπτωση θα ήταν αδύνατη η ανάπτυξη των πράσινων φυτών με τη γνωστή τους μορφή. Επιπλέον, το γεγονός ότι η τρύπα του όζοντος προκλήθηκε τα σχετικά τελευταία χρόνια υποδηλώνει ότι η εμφάνισή της είναι συνέπεια του τεχνολογικά ανεπτυγμένου σύγχρονου κόσμου που αποτελεί την αιτία του προβλήματος.

Οι χημικοί γνωρίζουν καλύτερα από κάθε άλλο τον τρόπο με τον οποίο οι ουσίες αντιδρούν μεταξύ τους. Έτσι είναι γνωστό ότι πολύ λίγες ουσίες είναι σε θέση να αντιδράσουν με το όζον τόσο δραστικά ώστε στην ουσία να το εξαφανίσουν. Οι υποψίες πέσανε γρήγορα σε μια ανθρωπογενή ομάδα χημικών ενώσεων που είναι γνωστές με την κοινή ονομασία Φρέον. Οι ενώσεις αυτές ονομάζονται επίσης χλωροφθοράνθρακες και συμβολίζονται με τη συντομογραφία CFC's. Η ονομασία τους αυτή οφείλεται στο γεγονός ότι τα μόρια τους απαρτίζονται από άτομα χλωρίου, φθορίου και άνθρακα. Οι CFC's χρησιμοποιούνται εκτενώς στη βιομηχανία κατασκευής πολυστερίνης και αφρώδους ελαστικού (αξίζει να αναρωτηθεί κανείς πόσες φορές έρχεται σε επαφή με αυτά τα δυο υλικά καθημερινά), όμως οι περισσότεροι άνθρωποι γνωρίζουν αυτές τις ενώσεις από τη χρήση τους στα ψυγεία και τα κλιματιστικά. Παλαιότερα, οι χλωροφθοράνθρακες έβρισκαν χρήση ως προωθητικά των φιαλών προϊόντων ψεκασμού όπως οι λακ και τα αποσμητικά δωματίου, όμως σταδιακά ολόένα και περισσότερες χώρες απαγορεύουν τη χρήση τους για αυτούς τους σκοπούς.

Οι CFC's διαφεύγουν από διαρροές των κλιματιστικών και των ψυγείων ή από πεταμένες φιάλες εκτονωμένης πολυστερίνης και συνεχίζουν το ταξίδι τους μέχρι τα εξωτερικά στρώματα της ατμόσφαιρας που φιλοξενούν το στρώμα του όζοντος. Με την άφιξή τους εκεί στην ουσία εξαφανίζουν το όζον δεδομένου ότι κάθε μόριο χλωροφθοράνθρακα είναι σε θέση να "καταβροχθίσει" έως και 100000 μόρια όζοντος κατά τη διάρκεια των 150 ετών ζωής του και σημειώνεται επίσης ότι κάθε φιάλη εκτονωμένης πολυστερίνης περιέχει ένα δισεκατομμύριο δισεκατομμύρια μόρια χλωροφθορανθράκων.

Η αιτία για την οποία η τρύπα τον όζοντος πρωτοεμφανίστηκε πάνω από την περιοχή της Ανταρκτικής δεν έχει γίνει πλήρως κατανοητή. Ορισμένοι θεωρούν ότι οι χλωροφθοράνθρακες συγκεντρώθηκαν εκεί εξαιτίας των ανώτερων ατμοσφαιρικών ροών και της περιστροφής της γης περί τον άξονα της. Άλλοι πιστεύουν ότι η αιτία οφείλεται στην θερμοκρασία του Νοτίου Πόλου. Στην πραγματικότητα, η αιτία μπορεί να είναι ένας συνδυασμός όλων των παραπάνω δεδομένου ότι σύμφωνα με πρόσφατες ενδείξεις αρχίζει να εξασθενεί το στρώμα του όζοντος πάνω και από το Βόρειο Πόλο.

Αρχικά, οι επιστήμονες θεωρούσαν ότι το στρώμα του όζοντος θα λεπτύνει πάνω από ολόκληρο τον πλανήτη και όχι πάνω από κάποια συγκεκριμένη περιοχή με ρυθμό ίσο με 2% ανά δεκαετία που δεν είναι ανησυχητικός. Σήμερα όμως, οι κώδωνες του κινδύνου έχουν αρχίσει να χτυπάνε. Εκτός από το μέγεθος της τρύπας του όζοντος, οι επιστήμονες ανησυχούν επιπλέον και για την έλλειψη σαφούς εξήγησης για τον τόπο στον οποίο εμφανίζεται εντονότερα το φαινόμενο.

ΜΕΤΡΑ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗΣ ΤΟΥ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟΥ

Το πρώτο μεγάλο μέτρο λήφθηκε στην παγκόσμια διάσκεψη του Καναδά. Πλήθος χωρών από ολόκληρο τον κόσμο δέχθηκαν να υπογράψουν ένα κείμενο που σήμερα είναι γνωστό ως το "Πρωτόκολλο του Μόντρεαλ", σύμφωνα με το οποίο δεσμευθήκανε να μειώσουν την παραγωγή των χλωροφθορανθράκων κατά 50% έως το 2000. Παρόλα αυτά, πολλοί περιβαλλοντολόγοι ισχυρίζονται ότι η μείωση θα πρέπει να αγγίξει το 75-80% προκειμένου να υπάρξουν ρεαλιστικά αποτελέσματα.

Ένα «χέρι βοήθειας» προς το στρώμα του όζοντος δόθηκε από την κολοσσιαία χημική βιομηχανία DuPont των ΗΠΑ, η οποία και εφηύρε τις ενώσεις του Φρέον. Οι χλωροφθοράνθρακες δεν είναι οι μοναδικές ουσίες που μπορούν να χρησιμοποιούνται για την ψύξη στα κλιματιστικά και τα ψυγεία. Υπάρχει μια ολόκληρη τεχνολογία γνωστή από παλιά που ονομάζεται ψύξη θερμοζεύγους και λειτουργεί ως εξής: με την έλευση ηλεκτρικού ρεύματος διαμέσου ειδικά σχεδιασμένων αγωγών, το ένα άκρο του αγωγού θερμαίνεται και το άλλο κρυώνει. Στην περίπτωση των κλιματιστικών και των ψυγείων, το κρύο άκρο του αγωγού μπορεί να τοποθετηθεί στο χώρο όπου απαιτείται η ψύξη τον αέρα ενώ το θερμό άκρο μπορεί να αφηθεί σε κάποιο εξωτερικό χώρο. Με αυτό τον τρόπο, όχι μόνο είναι δυνατή η κατασκευή αθόρυβων (χωρίς το θόρυβο του συμπιεστή) ψυγείων και κλιματιστικών αλλά επιπλέον αποφεύγεται τελείως η διαφυγή χλωροφθορανθράκων στην ατμόσφαιρα και η εξάπλωση της τρύπας του όζοντος.

Παρόλα αυτά, ενδεχομένως η μεγαλύτερη βοήθεια για την αντιμετώπιση της τρύπας τον όζοντος να βρίσκεται στα δικά μας χέρια. Ο καθένας από εμάς οφείλει να ενημερώσει και να εκπαιδεύσει τους γύρω του σχετικά με τα χαρακτηριστικά και τη σοβαρότητα του προβλήματος.

Αξίζει να θυμόμαστε πάντα ότι στη συγκεκριμένη περίπτωση ο χρόνος παίζει πολύ σημαντικό ρόλο. Ενδέχεται να περάσουν χρόνια μέχρι την εύρεση κάποιον υποκατάστατου των CFC's που δεν αξίζουν το κόστος οποιασδήποτε περιβαλλοντικής καταστροφής. Στο μεσοδιάστημα, πρέπει να σταματήσουμε τη χρήση των CFC's και όλων των προϊόντων που παράγονται από αυτούς, πρέπει δηλαδή να αναγκάσουμε τη

λήψη μέτρων που αυτή τη στιγμή δε φαίνεται να συζητούνται. Ανεξάρτητα από τι μπορεί να θεωρεί ο καθένας, ζούμε όλοι σε έναν κόσμο όπου οι κυβερνήσεις υπάρχουν εκ των ανθρώπων και για τους ανθρώπους. Οφείλουμε όλοι να χρησιμοποιήσουμε τη δύναμη που διαθέτουμε.

2.5 Η ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ

Στο Κιότο, η Ευρωπαϊκή Ένωση δεσμεύτηκε ότι το 2010 θα έχει μειώσει κατά 8% τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου σε σχέση με τα επίπεδα του 1990. Στα πλαίσια του καταμερισμού των ευθυνών ανάμεσα στις ευρωπαϊκές χώρες, η Ελλάδα πίεσε και πέτυχε να της επιτραπεί να αυξήσει τις εκπομπές της κατά 25% ως το 2010 (σε σχέση πάντα με τα επίπεδα του 1990). Σύμφωνα όμως με εκθέσεις που συνέταξε το Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών (ΕΑΑ) για λογαριασμό του ΥΠΕΧΩΔΕ, τα στοιχεία δείχνουν ότι θα ξεπεράσει κατά πολύ αυτόν τον, απαράδεκτο ούτως ή άλλως, στόχο. Χωρίς επιπλέον μέτρα, το ΕΑΑ εκτιμά ότι θα υπάρξει μία αύξηση που θα αγγίξει το 35,8% ως το 2010 και η οποία θα εκτιναχθεί στο 56,4% το 2020. Οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου στην Ελλάδα αυξήθηκαν την περίοδο 1990-2000 κατά 23,4%. Συγκεκριμένα, από 106,1 εκατ. τόνους το 1990, έφθασαν τα 133,8 εκατ. τόνους το 2000. Ειδικότερα για το διοξείδιο του άνθρακα (CO₂), το σημαντικότερο αέριο του θερμοκηπίου δηλαδή, η αύξηση στην ίδια περίοδο άγγιξε το 26%, οι δε εκπομπές CO₂ το έτος 2000 ήταν 107,8 εκατ. τόνους (ΥΠΕΧΩΔΕ, 2002).

Οι Greenpeace 5 δραστηριότητες που έχουν σχέση με την ενέργεια αποτελούν την μεγαλύτερη πηγή (77,9% περίπου) των αερίων του θερμοκηπίου. Αυτές περιλαμβάνουν κυρίως εκπομπές CO₂ από την καύση ορυκτών καυσίμων (95% περίπου του συνόλου των εκπομπών από τον τομέα της ενέργειας) και μικρότερα ποσοστά μεθανίου και υποξειδίου του αζώτου (1,5% και 3,5% αντίστοιχα).

Μια ματιά στο σύστημα ηλεκτροπαραγωγής της χώρας (που ευθύνεται για τις μισές περίπου εκπομπές CO₂) αρκεί για να ερμηνεύσει αυτή την περιβαλλοντική αποτυχία. Η Ελλάδα έχει μεγάλο βαθμό εξάρτησης από τον ρυπογόνο λιγνίτη στην ηλεκτροπαραγωγή, μια σημαντική εξάρτηση από το πετρέλαιο, και χαμηλή διείσδυση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (ΑΠΕ). Για να ικανοποιηθούν οι ανάγκες της κατανάλωσης σε ηλεκτρική ενέργεια, οι οποίες το 2002 ανήλθαν στις 52,6 TWh (δισεκατομμύρια κιλοβατώρες), η εγκατεστημένη ισχύς έφθασε στα 11,713 MW (μεγαβάτ) μονάδων της ΔΕΗ και τα 515 MW από αυτοπαραγωγούς και παραγωγούς ανανεώσιμης ενέργειας, ενώ εισαγωγές κάλυψαν μερικές αιχμές ζήτησης. Το κύριο καύσιμο είναι ο εγχώριος λιγνίτης μικρής θερμογόνου που καλύπτει σχεδόν τα 2/3 του συνόλου των αναγκών. Το πετρέλαιο, κυρίως για την κάλυψη νησιωτικών συστημάτων μη συνδεδεμένων με την ηπειρωτική χώρα, καθώς και το φυσικό αέριο, καλύπτουν το ένα τέταρτο περίπου των αναγκών σε ηλεκτρική ενέργεια. Οι ΑΠΕ (συμπεριλαμβανομένων των μεγάλων υδροηλεκτρικών) κάλυψαν το 2002 το 8,4% (ΥΠΙΑΝ, 2003).

Την ίδια στιγμή, η κοινοτική Οδηγία 2001/77/ΕΕ "Για την προαγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από ανανεώσιμες πηγές στην εσωτερική αγορά ηλεκτρικής ενέργειας" προβλέπει στο παράρτημά της για την Ελλάδα ενδεικτικό στόχο κάλυψης του 20,1% της ηλεκτροπαραγωγής από ΑΠΕ (περιλαμβανομένων των μεγάλων υδροηλεκτρικών έργων) ως το 2010. Είναι σαφές ότι από το ποσοστό διείσδυσης των ΑΠΕ που βρισκόμαστε σήμερα (8,4%) ως τα 20,1% το 2010, υπάρχει ένας μακρύς δρόμος. Κι αυτό παρόλο το εντυπωσιακό ενδιαφέρον που υπάρχει μεταξύ των επενδυτών για επενδύσεις σε καθαρές πηγές ενέργειας. Είναι χαρακτηριστικό ότι ως τις αρχές του 2003, υπήρξαν αιτήσεις για προώθηση σχεδόν 16.000 MW ΑΠΕ, εκ των οποίων πάνω από 14.000 MW αφορούσαν αιολικά πάρκα. Η ΡΑΕ εκτιμά ότι ως το 2010 θα έχουν εγκατασταθεί 3.500 MW ΑΠΕ (ΡΑΕ, 2003α), εκτίμηση όμως που δεν συμμερίζονται όλοι, μιας και τα εμπόδια (γραφειοκρατία, έλλειψη απαραίτητων δικτύων, αντιδράσεις, κ.λ.π.) είναι πολλά.

Να σημειωθεί εδώ ότι αν δεν πετύχουμε το στόχο για την απαιτούμενη διείσδυση των ΑΠΕ στο ενεργειακό ισοζύγιο, δεν θα μπορέσουμε να πιάσουμε και τον στόχο του Κιότο. Αν συνεπώς επιβεβαιωθεί το σενάριο αναμενόμενης εξέλιξης (Business as Usual) του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών (αύξηση αερίων του θερμοκηπίου 35,8% ως το 2010), τότε οι κυρώσεις που θα υποστεί η χώρα μας για μη τήρηση των διεθνών δεσμεύσεων της, ή τα χρήματα που θα απαιτηθούν για την εξαγορά δικαιωμάτων ρύπανσης μέσω του μηχανισμού της εμπορίας ρύπων, εκτιμάται ότι μπορεί να φτάσουν έως και 200 εκατ. € ετησίως

2.6 ΣΤΡΟΦΗ ΣΕ ΚΑΘΑΡΕΣ ΜΟΡΦΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Είναι σαφές πως αν θέλουμε να αντιμετωπίσουμε σοβαρά το μείζον περιβαλλοντικό (και όχι μόνο) πρόβλημα που αντιμετωπίζει ο πλανήτης μας, θα πρέπει να απαγκιστρωθούμε από το υπάρχον κυρίαρχο ενεργειακό μοντέλο. Η Ελλάδα σήμερα είναι δέσμια του εισαγόμενου πετρελαίου και του εγχώριου μεν, ρυπογόνου δε, λιγνίτη. Την τελευταία δεκαετία, και προκειμένου να ανατραπεί αυτή η κατάσταση, η χώρα παρασύρεται από τη γοητεία του φυσικού αερίου, φιλοδοξώντας να αποτελέσει η στροφή αυτή μια πιο ορθολογική απάντηση στα σημερινά ενεργειακά και περιβαλλοντικά αδιέξοδα. Αλίμονο όμως, η στροφή αυτή δημιουργεί νέες εξαρτήσεις και εγγυάται μόνο οριακές βελτιώσεις.

Μετά τις ενεργειακές κρίσεις της δεκαετίας του 1970, η Ελλάδα διαμόρφωσε ένα ενεργειακό δόγμα, το οποίο στον τομέα της ηλεκτροπαραγωγής είχε ως βασικό πυλώνα τον λιγνίτη. Σήμερα, την εποχή της κρίσης του κλίματος, επιβάλλεται η ανατροπή αυτού του δόγματος. Επιβάλλεται η ριζική στροφή σε ένα καινούργιο, φιλικό προς το περιβάλλον ενεργειακό δόγμα. ένα δόγμα που θα δίνει έμφαση στην εξοικονόμηση, τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και την ορθολογική χρήση των συμβατικών ενεργειακών πόρων.

Όπως αναφέρει η ΡΑΕ σε κείμενό της για τον μακροχρόνιο ενεργειακό σχεδιασμό της χώρας, η περιβαλλοντική διάσταση του ενεργειακού κλάδου, η απελευθέρωση των αγορών και διεθνοποίηση και ιδιωτικοποίηση του ενεργειακού εφοδιασμού, έχουν αναδειχθεί πλέον σε κυρίαρχες παραμέτρους για τον καθορισμό μιας μελλοντικής ενεργειακής πολιτικής (ΡΑΕ,2003b).

Η χώρα μας είναι ιδιαίτερα προικισμένη από ήλιο και αέρα και συνεπώς κατέχει ένα συγκριτικό πλεονέκτημα στην παραγωγή ενέργειας από αυτές τις πηγές. Το αιολικό δυναμικό της Ελλάδας παραμένει ανεκμετάλλευτο, με λίγες λαμπρές εξαιρέσεις. Ένα τέτοιο παράδειγμα είναι η Κρήτη όπου, το 2000, το 10% του ηλεκτρισμού παράχθηκε από αιολικά πάρκα. Το ποσοστό αυτό μάλιστα αναμένεται να αυξηθεί σύντομα, καθώς νέες επενδύσεις αιολικών πάρκων και άλλων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας βρίσκονται ήδη σε εξέλιξη. Το παράδειγμα της Κρήτης αποδεικνύει ότι η στροφή προς την αιολική ενέργεια, εκτός από επιθυμητή, είναι και εφικτή. Η αιολική ενέργεια είναι σήμερα μια τεχνολογικά ώριμη, οικονομικά ανταγωνιστική και φιλική προς το περιβάλλον ενεργειακή επιλογή. Συνοψίζουμε παρακάτω κάποια από τα πλεονεκτήματα που παρέχει η ανάπτυξη της αιολικής ενέργειας.

Ο άνεμος είναι μία ανεξάντλητη πηγή ενέργειας, η οποία μάλιστα παρέχεται δωρεάν. Η αιολική ενέργεια προστατεύει τον πλανήτη, καθώς αποφεύγονται οι εκπομπές των αερίων του θερμοκηπίου που αποσταθεροποιούν το παγκόσμιο κλίμα. Κάθε εγκατεστημένο μεγαβάτ (MW) αιολικής ενέργειας στην χώρα μας αποσοβεί την έκλυση περίπου 3 χιλιάδων τόνων διοξειδίου του άνθρακα ετησίως. Η λειτουργία ενός τυπικού αιολικού πάρκου, ισχύος 10 MW, προσφέρει ετήσια την ηλεκτρική ενέργεια που χρειάζονται 7.250 νοικοκυριά (με βάση τη μέση κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας το 2002) και εξοικονομεί περίπου 2.580 τόνους ισοδύναμου πετρελαίου. Στα σημεία υψηλού αιολικού δυναμικού (εκεί δηλαδή όπου κατά προτεραιότητα εγκαθίστανται αιολικά πάρκα), τα οφέλη αυτά μπορεί να είναι αυξημένα κατά 15% περίπου.

Έχοντας αναγνωρίσει λοιπόν το παγκόσμιο πρόβλημα των κλιματικών αλλαγών, είναι πλέον προφανές ότι επιβάλλεται η απεξάρτηση από τα ορυκτά καύσιμα και η άμεση στροφή στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Από τεχνολογική και οικονομική πλευρά, η πιο ώριμη μορφή καθαρής ενέργειας είναι σήμερα η αιολική, η οποία συμβάλλει στην αποτροπή των κλιματικών αλλαγών, προσφέροντας συγχρόνως ποικίλα περιβαλλοντικά, κοινωνικά και οικονομικά πλεονεκτήματα. Επιπλέον, ζούμε σε μία χώρα που είναι προικισμένη από τη φύση με ισχυρούς ανέμους, που έχει την εμπειρία της βιωσιμότητας της αιολικής ενέργειας και που παρουσιάζει πολιτική και επενδυτική βούληση για τη στροφή στην παραγωγή ενέργειας από τον άνεμο. Όμως όλα αυτά τα στοιχεία δεν επαρκούν για να εξασφαλίσουν το μέλλον της αιολικής ενέργειας στη χώρα μας. Υπάρχουν διάφορα εμπόδια, άλλα πραγματικά και άλλα μεθοδευμένα, που εμποδίζουν την ανάπτυξή της. Για να αρθούν τα εμπόδια αυτά, είναι υποχρέωση της Πολιτείας να βελτιώσει το θεσμικό πλαίσιο (απαλλάσσοντας τους επενδυτές από τη γάγγραινα της γραφειοκρατίας) και την τεχνική υποδομή (μέσω π.χ. της βελτίωσης των ηλεκτρικών δικτύων).

Χρειάζεται επίσης να ενημερωθούν όσοι πολίτες αντιδρούν στην εγκατάσταση αιολικών πάρκων στην περιοχή τους σχετικά με τα οφέλη που έχουν να αποκομίσουν οι ίδιοι αλλά και ο πλανήτης από τη στροφή στην καθαρή ενέργεια. Όπως κάθε έργο, η εγκατάσταση ενός αιολικού πάρκου αλλοιώνει σε κάποιο βαθμό το περιβάλλον. Υπάρχουν όμως κανόνες που στοχεύουν στη σωστή εγκατάσταση και λειτουργία των αιολικών πάρκων. Η τήρηση αυτών των κανόνων έχει σχεδόν πάντα μετατρέψει κατοίκους που αμφέβαλαν για την αιολική ενέργεια σε ένθερμους υποστηρικτές της.

Η αιολική ενέργεια φέρνει έναν άνεμο αλλαγής στα ενεργειακά και περιβαλλοντικά δεδομένα της χώρας. Έναν άνεμο απαραίτητο για να μπορέσουμε να αποτρέψουμε τις επικίνδυνες κλιματικές αλλαγές και να διασφαλίσουμε ένα βιώσιμο μέλλον για μας και τα παιδιά μας.



“Χωρίς μια αποφασιστική και συντονισμένη προσπάθεια κινητοποίησης των ενεργειακών δυνατοτήτων των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στην Ευρωπαϊκή Ένωση, θα χάσουμε την ευκαιρία ανάπτυξης αυτού του χώρου και θα αποτύχουμε στις προσπάθειες να μειώσουμε σημαντικά τα αέρια που προκαλούν το φαινόμενο του θερμοκηπίου.”

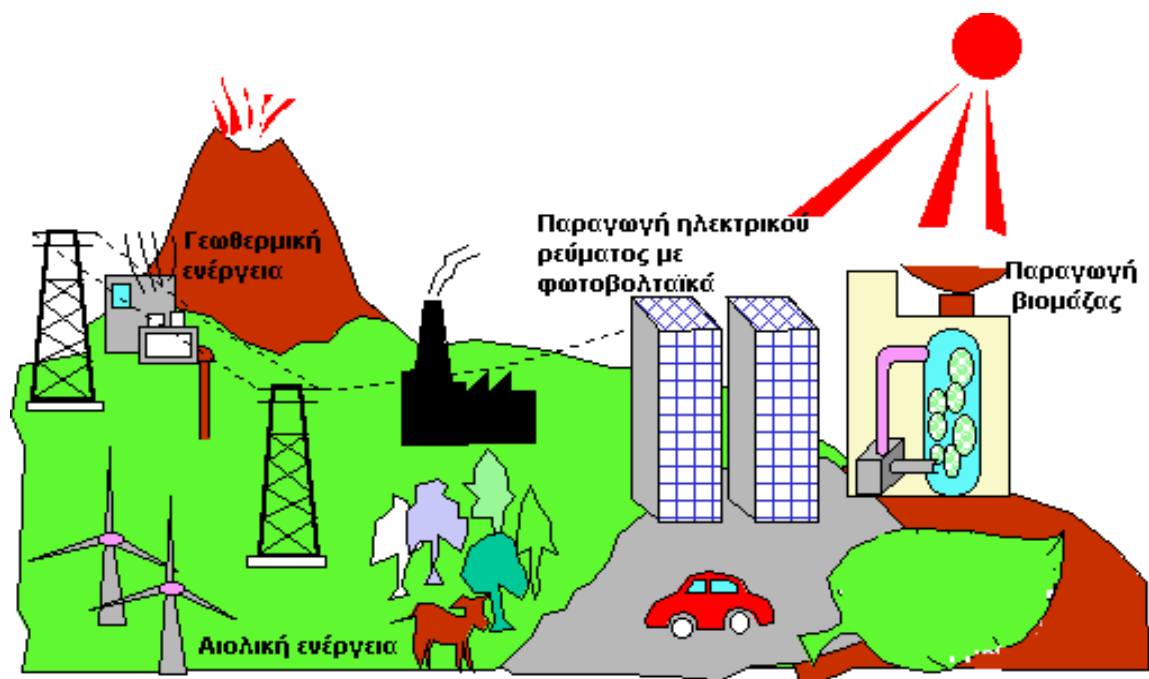
Από τη Λευκή Βίβλο της Ευρωπαϊκής Ένωσης για τις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

3.1 ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ & ΥΔΡΟΓΟΝΟ

Στη φύση υπάρχουν τεράστιες ποσότητες ενέργειας που προσφέρονται από πολλές πηγές και σε διάφορες μορφές. Πολλές από αυτές είναι εκμεταλλεύσιμες αρκεί να διαθέτουμε την κατάλληλη τεχνολογία. Οι πηγές ενέργειας ανάλογα με την διάρκεια της διαθεσιμότητας τους χαρακτηρίζονται σαν ανανεώσιμες (ανεξάντλητες) και μη ανανεώσιμες (εξαντλήσιμες) και φαίνονται στον παρακάτω πίνακα.

ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ-ΑΝΕΞΑΝΤΛΗΤΕΣ	ΜΗ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ-ΕΞΑΝΤΛΗΣΙΜΕΣ
1. ΗΛΙΑΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ 2. ΑΙΟΛΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ 3. ΒΙΟΜΑΖΑ 4. ΥΔΡΟΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ 5. ΕΝΕΡΓΕΙΕΣ ΤΗΣ ΘΑΛΑΣΣΑΣ 6. ΓΕΩΘΕΡΜΙΑ	1. ΣΤΕΡΕΑ ΚΑΥΣΙΜΑ-ΛΙΘΑΝΘΡΑΚΑΣ-ΓΑΙΑΝΘΡΑΚΕΣ-ΛΙΓΝΙΤΗΣ-ΤΥΡΦΗ 2. ΥΔΡΟΓΟΝΑΝΘΡΑΚΕΣ-ΠΕΤΡΕΛΑΙΟ-ΦΥΣΙΚΟ ΑΕΡΙΟ 3. ΟΥΡΑΝΙΟ
ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ	
<ul style="list-style-type: none">• ΑΝΕΞΑΝΤΛΗΤΕΣ• ΑΦΘΟΝΕΣ• ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΑ ΚΑΘΑΡΟΤΕΡΕΣ• ΜΙΚΡΟ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ• ΥΠΑΡΧΟΥΝ ΣΤΙΣ ΠΕΡΙΣΣΟΤΕΡΕΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΤΟΥ ΚΟΣΜΟΥ	<ul style="list-style-type: none">• ΠΥΚΝΕΣ ΜΟΡΦΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ• ΠΛΗΘΟΣ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ• ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΜΕΝΕΣ ΣΕ ΠΕΔΙΑ
ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ	
<ul style="list-style-type: none">• ΑΡΑΙΕΣ ΜΟΡΦΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ• ΜΕ ΥΨΗΛΟ ΚΟΣΤΟΣ ΑΝΑ ΜΟΝΑΔΑ ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΤΕΛΙΚΗΣ ΧΡΗΣΗΣ• ΔΙΑΚΟΠΤΟΜΕΝΕΣ, ΠΑΡΟΥΣΙΑΖΟΥΝ ΧΡΟΝΙΚΗ ΜΕΤΑΒΛΗΤΟΤΗΤΑ ΠΟΥ ΔΗΜΙΟΥΡΓΕΙ ΑΝΑΓΚΗ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ	<ul style="list-style-type: none">• ΕΞΑΝΤΛΗΣΙΜΕΣ• ΑΡΚΕΤΕΣ ΑΡΝΗΤΙΚΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΣΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ



Η παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας όπως η ηλιακή, αιολική, γεωθερμική και ενέργεια βιομάζας έχουν τη μικρότερη επίδραση στο περιβάλλον. Αυτές οι "φιλικές προς το περιβάλλον" πηγές ενέργειας δίνουν στον καταναλωτή ένα εναλλακτικό τρόπο παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από αυτόν με τη χρήση άνθρακα, πυρηνικής ενέργειας, φυσικού αερίου, πετρελαίου και μεγάλων υδροηλεκτρικών μονάδων.

Σήμερα οι μονάδες παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος που λειτουργούν με άνθρακα παράγουν το μεγαλύτερο ποσοστό ηλεκτρικής ενέργειας στον κόσμο. Όμως αυτή η φτηνή μέθοδος προκαλεί τη μεγαλύτερη καταστροφή στο περιβάλλον με την εκπομπή τοξικών αερίων. Αυτά τα τοξικά αέρια, διοξείδιο του θείου και οξείδια του αζώτου, σε συνδυασμό με το νερό της βροχής δημιουργούν την όξινη βροχή και συμβάλλουν στη αύξηση της θερμοκρασίας του πλανήτη.

3.2 ΗΛΙΑΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ



Η γη μας αποτελεί, πέρα από όλα τα άλλα μια τεράστια αποθήκη ενέργειας, την οποία ο άνθρωπος καλείται να χρησιμοποιήσει για την ανάπτυξη του πολιτισμού του και τα άλλα έμβια όντα για την επιβίωσή τους.

Μέχρι πριν τρεις αιώνες η ανθρωπότητα χρησιμοποιούσε κατά βάση ένα καύσιμο: το ξύλο. Όσο κι αν ακούγεται παράξενο ακόμη και σήμερα αποτελεί το πρώτο καύσιμο στις υπανάπτυκτες περιοχές της γης. Το ξύλο βέβαια είναι πολύ φτωχό καύσιμο και αυτό έγινε αντιληπτό όταν οι ανάγκες του ανθρώπου άρχισαν να αυξάνονται. Αναζήτησε άλλες πηγές ενέργειας και η πιο πρόσφατη ήταν ο άνθρακας. Έπαιξε και παίζει σημαντικό ρόλο στην βιομηχανική παραγωγή και στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας έχει όμως σημαντικά μειονεκτήματα. Η στροφή προς το πετρέλαιο ήταν φυσική και έγινε πριν από έναν αιώνα περίπου. Είναι εκπληκτικό πόσο έχει προσαρμοστεί ο πολιτισμός μας στην ανάλωση αυτών των καυσίμων, ανασταλτικός παράγοντας όμως για την ανάπτυξη άλλων ενεργειακών πηγών. Τα τελευταία χρόνια αναζητώντας λύση στο ενεργειακό πρόβλημα οι λαοί ξαναθυμήθηκαν κάποιες ξεχασμένες γνώσεις, κάποιες ενεργειακές πηγές τις ανανεώσιμες και εδώ θα εξετάσουμε την ηλιακή.

Ο ήλιος μας τροφοδοτεί με τεράστιες ποσότητες ενέργειας καθημερινά. Έχει μετρηθεί ότι η ενέργεια που φτάνει έξω από την ατμόσφαιρα είναι σταθερή και ίση με 1353 W/m^2 , περίπου η μισή από αυτή την ποσότητα φτάνει στην επιφάνεια της γης. Δυστυχώς αυτή η ποσότητα ενέργειας δεν είναι άμεσα απολήψιμη. Πέρα από το γεγονός ότι οι ηλιακοί συλλέκτες έχουν όρια στην αποδοτικότητά τους, υπάρχουν προβλήματα που σχετίζονται με τη φύση τους. Η ηλιακή ενέργεια δεν είναι σταθερή κατά τη διάρκεια της ημέρας και μεταβάλλεται κατά τη διάρκεια του έτους. Έτσι υπάρχει το πρόβλημα της ενεργειακής αποθήκης, που δεν έχει ακόμη επαρκώς λυθεί ιδίως όταν πρόκειται για μεγάλο χρόνο αποθήκευσης και μεγάλης ισχύος εγκαταστάσεις.

Αναφερθήκαμε στον ηλιακό συλλέκτη. Η πιο απλή περίπτωση είναι οι επίπεδοι συλλέκτες που απορροφούν ένα μεγάλο μέρος της ηλιακής ενέργειας που φτάνει σε αυτούς και τη μετατρέπουν σε θερμότητα χαμηλής θερμοκρασίας (μέχρι 100 °C). Οι συγκεντρωτικοί συλλέκτες για συλλογή θερμότητας σε μέσες θερμοκρασίες (από 100-300 °C), αποτελούνται από δυο τμήματα τον συγκεντρωτήρα και τον δέκτη. Τέλος υψηλότερες θερμοκρασίες μπορεί να επιτευχθούν σε συστήματα κινητών κατόπτρων αναπτυγμένων σε μεγάλη επιφάνεια που όλα ανακλούν την ηλιακή ακτινοβολία σε προκαθορισμένη εστία.

Όλα αυτά τα συστήματα μετατρέπουν την ηλιακή ενέργεια σε θερμική. Έχοντας θερμική ενέργεια μπορούμε να παράγουμε έργο με κατάλληλες συμβατικές μηχανές. Προσπάθειες προς αυτόν τον τομέα έχουν γίνει, μια μηχανή όμως που να παράγει έργο από τη συλλεγόμενη ηλιακή ενέργεια δεν μπορεί να είναι οικονομικά ελκυστική. Όμως προσπάθειες και με μεγάλη επιτυχία έχουν γίνει και προς μια άλλη κατεύθυνση. Τη μετατροπή της ηλιακής ενέργειας κατευθείαν σε ηλεκτρική. Τα φωτοβολταϊκά ή ηλιακά κύτταρα είναι σήμερα πολύ διαδεδομένα παρ' όλη τη μικρή απόδοσή τους και αντικαθιστούν τη συμβατική ηλεκτρική ενέργεια εκεί που η παραγωγή ή η μεταφορά της μέχρι το σημείο κατανάλωσης θα είχε μεγάλο κόστος.

3.2.1 ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

Τα φωτοβολταϊκά συστήματα (PV) μετατρέπουν την ελαφριά ενέργεια άμεσα στην ηλεκτρική ενέργεια. Ο όρος "φωτογραφία" προέρχεται από την ελληνική λέξη "φως". Το "βολτ" ονομάζεται μετά από τον Alessandro Volta (1745-1827), ένας πρωτοπόρος στη μελέτη της ηλεκτρικής ενέργειας. Τα φωτοβολταϊκά θα μπορούσαν κυριολεκτικά να σημαίνουν "η φωτεινή-ηλεκτρική ενέργεια". Συνήθως τα φωτοβολταϊκά είναι γνωστά ως ηλιακές κυψελίδες (solar cells). Τα φωτοβολταϊκά συστήματα έχουν γίνει πολύ σημαντικά. Η "ηλιακή ενέργεια" χρησιμοποιείται ως μέσο της ενέργειας για μικρούς υπολογιστές και ρολόγια καρπών. Τα περισσότερο περίπλοκα φωτοβολταϊκά συστήματα παρέχουν την ηλεκτρική ενέργεια για την άντληση του νερού, για την τροφοδότηση του εξοπλισμού επικοινωνιών, για τον φωτισμό σπιτιών και για κινούμενες συσκευές. Σε μια εκτενή χρήση αυτής της τεχνολογίας, είναι δυνατό να παραχθεί ένα μεγάλο ποσό ηλεκτρικής ενέργειας μέσω των φωτοβολταϊκών συστημάτων μεγάλης κλίμακας.

Ένα συνδεδεμένο πλέγμα (grid-connected) μεγάλης κλίμακας φωτοβολταϊκό σύστημα αποτελείται από τις φωτοβολταϊκές ενότητες, τους αντιστροφείς (με όλα τα απαραίτητα ηλεκτρονικά συστατικά), τις μπαταρίες (συσσωρευτές) για την αυτονομία του συστήματος, και άλλα συστατικά όπως τα καλώδια, τη δομή και τα θεμέλια υποστήριξης. Και στη συνέχεια η ηλεκτρική ενέργεια η οποία παράγεται, με την βοήθεια της ηλεκτρόλυσης παράγουμε το επιθυμητό υδρογόνο (Σχήμα 1).

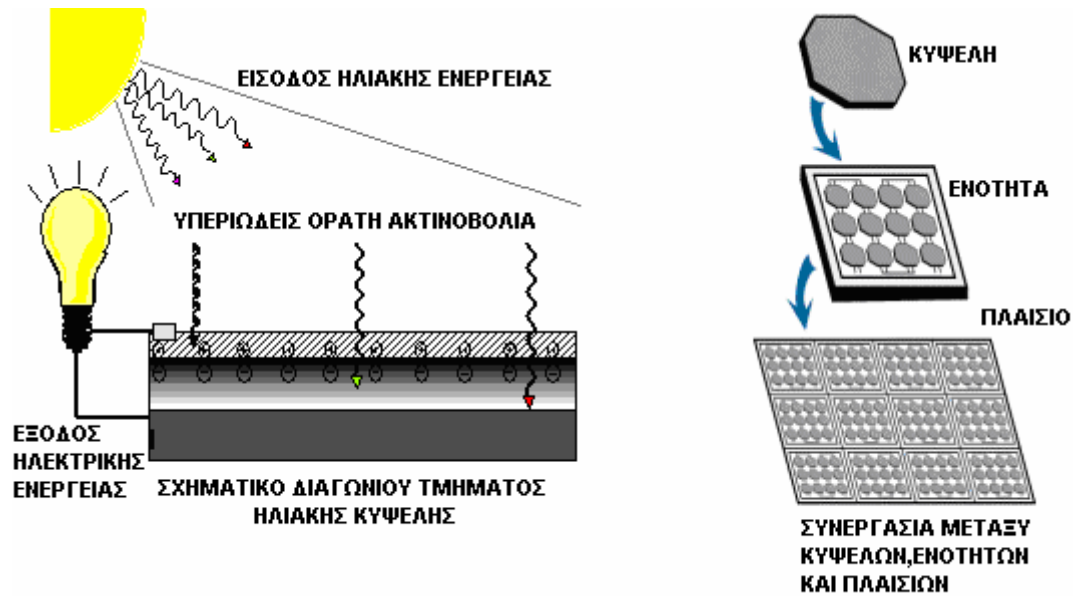


Σχήμα 1: Ένα συνδεδεμένο πλέγμα μεγάλης κλίμακας φωτοβολταϊκό σύστημα όπου έχει γίνει σχηματικός υπολογισμός ανά βάση πλαισίου.

Οι φωτοβολταϊκές ενότητες αποτελούνται από κάποιες ηλιακές κυψέλες. Το σημαντικότερο μέρος της ηλιακής κυψέλης είναι τα ημιαγωγικά στρώματα, όπου δημιουργείται ρεύμα από την κίνηση των ηλεκτρονίων. Όταν το φως χτυπά το υλικό (ηλιακή κυψέλη), μια ορισμένη ποσότητα απορροφάται μέσα στο υλικό των κυψελών. Αυτό σημαίνει ότι η ενέργεια του απορροφημένου φωτός (φωτόνια) μεταφέρεται στον ημιαγωγό. Αυτή η ενέργεια χτυπά τα ηλεκτρόνια, επιτρέποντας τα να μετακινηθούν ελεύθερα. Αυτή η ροή των ηλεκτρονίων είναι ένα ηλεκτρικό ρεύμα, και με την τοποθέτηση μεταλλικών επαφών στην κορυφή και στο κατώτατο σημείο του φωτοβολταϊκού κυττάρου, αυτό το ρεύμα μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να φορτίσει εξωτερικά μια μπαταρία, να τροφοδοτήσει μια συσκευή, ένα σπίτι ή μια πόλη. Υπάρχουν κάποια διαφορετικά υλικά κατάλληλα για αυτά τα ημιαγωγικά στρώματα, και κάθε ένα έχει τα οφέλη και τα μειονεκτήματά του. Δεν υπάρχει ένα ιδανικό υλικό για όλους τους τύπους κυψελών και εφαρμογών. Οι κύριοι τύποι των ηλιακών κυψελών είναι:

- 1) Πολυκρυσταλλικά κύτταρα πυριτίου (mc-Si)
 - 2) Κύτταρα άμορφου πυριτίου (α-Si)
 - 3) Κύτταρα Τελλουριούχου καδμίου (CdTe)
- και
- 4) Κύτταρα δισεληνίουχου ινδιούχου χαλκού (CuInSe₂)

Τα φωτοβολταϊκά συστήματα (PV) αποτελούνται από υλικά ημιαγωγών όπως το πυρίτιο, το οποίο είναι αυτήν την περίοδο το συνηθέστερο χρησιμοποιημένο υλικό. Όταν το φως χτυπά το υλικό (ηλιακή κύψέλη), μια ορισμένη ποσότητα απορροφάται μέσα στο υλικό. Αυτό σημαίνει ότι η ενέργεια του απορροφημένου φωτός (φωτόνια) μεταφέρεται στον ημιαγωγό. Αυτή η ενέργεια χτυπά τα ηλεκτρόνια, επιτρέποντας τα να μετακινηθούν ελεύθερα. Αυτή η ροή των ηλεκτρονίων είναι ένα ηλεκτρικό ρεύμα, και με την τοποθέτηση μεταλλικών επαφών στην κορυφή και στο κατώτατο σημείο της PV κυψέλης, αυτό το ρεύμα μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να φορτίσει εξωτερικά μια μπαταρία, να τροφοδοτήσει μια συσκευή, ένα σπίτι ή μια πόλη.



Τα φωτοβολταϊκά έχουν διάφορα πλεονεκτήματα όπως είναι η ελάχιστη συντήρηση, δεν έχουν κανένα κινούμενο μέρος, έχουν υψηλή αξιοπιστία, ανθεκτική και μακριά ζωή (30 + έτη), σιωπηλή λειτουργία, μηδενική εκπομπή και καμία ρύπανση, είναι φορητά και εύκολα στην εγκατάσταση και λειτουργία. Έχουν όμως και διάφορα μειονεκτήματα όπως το υψηλό κόστος και η διαλείπουσα διαθεσιμότητα του ηλιακού φωτός .



Φωτοβολταϊκή εγκατάσταση

3.2.2 ΠΩΣ ΠΑΡΑΓΕΤΑΙ ΤΟ ΥΔΡΟΓΟΝΟ ΑΠΟ ΤΑ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ

Ακόμα κι αν το υδρογόνο είναι το αφθονότερο στοιχείο στον κόσμο, δεν υπάρχει πραγματικά σε μια μορφή που να μπορεί να αποκτηθεί εύκολα. Υπάρχει ως τμήμα από κάτι άλλο (νερό, φυσικό αέριο, μεθανόλη κ.λπ....) κατά συνέπεια πρέπει να εξαχθεί από αυτές τις ουσίες και αυτό απαιτεί ενέργεια. Εάν χρησιμοποιούμε τα απαρχαιωμένα καύσιμα (πετρέλαιο, φυσικό αέριο, προπάνιο, μεθανόλη κ.λπ.) για να παράχουμε την ενέργεια ουσιαστικά δεν εξετάζουμε το πρόβλημα. Καίμε ακόμα τα

απαρχαιωμένα καύσιμα, μολύνουμε την ατμόσφαιρα, συνθέτουμε τα προβλήματα υγείας και καθυστερούμε την αναπόφευκτη μετάβαση στην οικονομία υδρογόνου. Η βέλτιστη λύση για την ενέργεια που απαιτείται για να εξαχθεί το υδρογόνο, είναι να προέλθει από μια ανανεώσιμη πηγή ενέργειας(αιολική ή/και ηλιακή) και να παραχθεί στον τόπο που θα χρησιμοποιηθεί. Αυτό θα απλοποιήσει πολύ την υποδομή και θα μειώσει τις δαπάνες. Όπως αναφερθήκαμε και παραπάνω τα φωτοβολταϊκά μετατρέπουν την ηλιακή ενέργεια σε ηλεκτρική. Έτσι μπορεί να χρησιμοποιηθεί η μέθοδος της ηλεκτρόλυσης για να παραχθεί το υδρογόνο παρέχοντας ηλεκτρική ενέργεια που προήλθε από ΑΠΕ.

Τα φωτοβολταϊκά θα διαδραματίσουν έναν σημαντικό ρόλο. Είναι η μόνη τεχνολογία που έχει την ευελιξία να χρησιμοποιείται οπουδήποτε. Ο αέρας θα χρησιμοποιηθεί σε μεγάλη κλίμακα και τα συγκεντρωμένα "αιολικά πάρκα", άλλα μόνο τα PV μπορούν να χρησιμοποιηθούν για έναν απεριόριστο αριθμό θέσεων, για έναν απεριόριστο αριθμό χρήσεων σε οποιαδήποτε κλίμακα

1. ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΥΔΡΟΓΟΝΟΥ ΑΠΟ ΤΗΝ ΑΜΕΣΗ ΗΛΙΑΚΗ ΘΕΡΜΙΚΗ ΑΠΟΣΥΝΘΕΣΗ ΤΟΥ ΝΕΡΟΥ

Μια αξιολόγηση εφαρμοσμένης μηχανικής των διάφορων διαδικασιών των σχεδίων εγκαταστάσεων για την παραγωγή υδρογόνου από την άμεση θερμική αποσύνθεση του νερού που χρησιμοποιεί την ηλιακή ενέργεια, πραγματοποιείται κυρίως με στόχο την αποδοτικότητα και ενδεχομένως τη μείωση του κόστους της διαδικασίας παραγωγής.

Οι διάφοροι τύποι διαδικασίας είναι οι εξής :

- μια διαδικασία που περιλαμβάνει τον διαχωρισμό του υδρογόνου σε χαμηλή θερμοκρασία,
- μια υβριδική εκδοχή αυτής της διαδικασίας με ηλεκτρόλυση του νερού,
- μια διαδικασία που περιλαμβάνει τον διαχωρισμό του υδρογόνου σε υψηλή θερμοκρασία,
- η ίδια διαδικασία με συμπαραγωγή ατμού και/ή ηλεκτρόλυση του νερού, και
- μια υβριδική εκδοχή αυτής της διαδικασίας με υψηλής θερμοκρασίας ηλεκτρόλυση.

Οι δύο τελευταίες διαδικασίες είναι θερμοδυναμικά αποδοτικότερες και οι δαπάνες παραγωγής του υδρογόνου με αυτές τις διαδικασίες είναι σχετικά χαμηλές.

Η φωτοβολταϊκή ηλεκτρόλυση του νερού είναι προς το παρόν η κύρια τεχνολογία για την παραγωγή υδρογόνου από το νερό. Εντούτοις, το υψηλό επίπεδο αποδοτικότητας στο οποίο έφθασε εξ' αιτίας των πρόσφατων προόδων στην ηλεκτρολυτική τεχνολογία αποθαρρύνεται. Λαμβάνοντας υπόψη τα επίπεδα αποδοτικότητας των εργοστασίων, το συνολικό ποσό του φωτοβολταϊκού υδρογόνου θα ήταν ακόμα χαμηλότερο από 30%. Επιπλέον, η φωτοβολταϊκή παραγωγή υδρογόνου είναι ακόμα, μια από τις ακριβότερες τεχνολογίες μεταξύ των νέων εναλλακτικών λύσεων, που χρησιμοποιούν την ηλιακή ενέργεια, συμπεριλαμβανομένων και της διαδικασίας του ενός σταδίου θερμικής αποσύνθεσης του νερού, τους θερμοχημικούς κύκλους και την αεριοποίηση του άνθρακα.

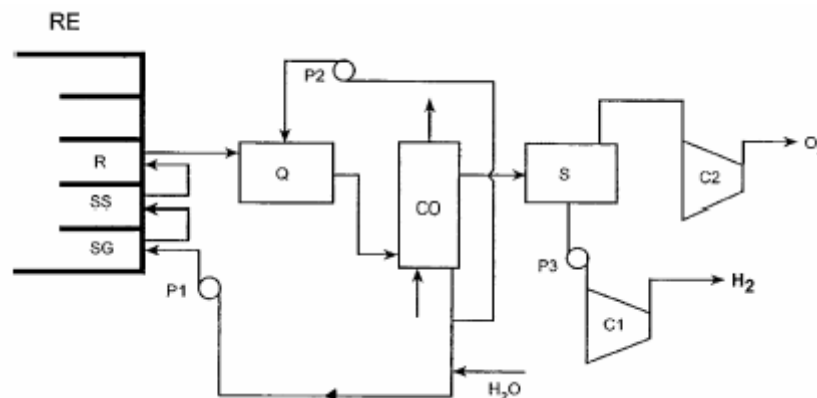
Η διαδικασία του ενός σταδίου θερμικής αποσύνθεσης του νερού με ηλιακή ενέργεια βεβαίως αξίζει την προσοχή ως επόμενη τεχνολογία. Εκτελώντας άμεση ηλιακή θερμική αποσύνθεση του νερού, υδρογόνο παράγεται, και ηλιακή ενέργεια (μια παροδική και τοπική πηγή ενέργειας) αποθηκεύεται χημικά και μετατρέπεται σε μια μεταδιδόμενη μορφή ενέργειας μέσω μιας περιβαλλοντικά ασφαλούς διαδικασίας. Καμία μείωση των φυσικών πόρων δεν περιλαμβάνεται. Αυτές οι ευνοϊκές πτυχές καθιστούν τη διαδικασία αντάξια της αναζήτησης, παρά τα επίπεδα χαμηλής αποδοτικότητας και τις σχετικά υψηλές δαπάνες παραγωγής υδρογόνου.

Το χαμηλό ποσοστό διαχωρισμού του νερού παρά την υψηλή θερμοκρασία και ο κίνδυνος επανασυνδυασμού του υδρογόνου και του οξυγόνου πίσω στο νερό δίνει έμφαση στη σημαντικότητα της αντίδρασης διαχωρισμού του αερίου ως το κύριο χαρακτηριστικό γνώρισμα της διαδικασίας.

Επιλογές διαδικασίας

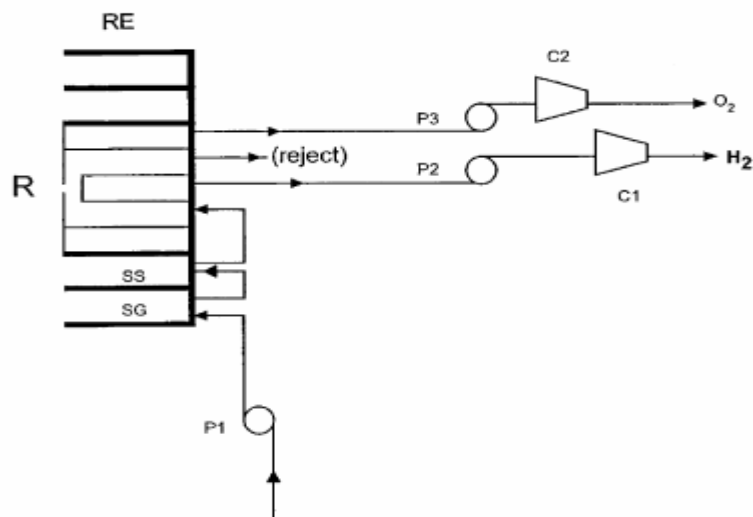
- Σχέδια διαδικασίας που βασίζονται στη θερμόλυση

Διαδικασία 1: Η σύσταση του αερίου μίγματος που αντιδρά στον αντιδραστήρα καθορίζεται διακόπτοντας πολύ γρήγορα την αντίδραση. Αυτό επιτυγχάνεται φέρνοντας το σε επαφή με ένα ρεύμα λεπτών σταγονιδίων νερού σε ένα ποσοστό 67,24 mol H₂O/mol H₂. Κατά τη διάρκεια αυτής της διαδικασίας μια απότομη πτώση εμφανίζεται στην θερμοκρασία του αερίου από τους 2500⁰K στους 450⁰K. Κατόπιν το αέριο ψύχεται περαιτέρω σε έναν συμπυκνωτή για να αφαιρεθούν οι υδρατμοί. Το προκύπτον μίγμα υδρογόνου και οξυγόνου επεξεργάζεται σε μια ενότητα διαχωριστών, όπου το υδρογόνο απομονώνεται με μια εκλεκτική διαδικασία διάχυσης μέσω μιας μεμβράνης παλλάδιου ή ενός κράματος από ασήμι-παλλάδιο, που λειτουργεί σε μια θερμοκρασία περίπου 650⁰K και μια πτώση πίεσης γύρω στις 10-30 atm. Η θερμοκρασία λειτουργίας μπορεί να μειωθεί αρκετά εάν επιλεγθεί αντ' αυτού μια πολυμερής μεμβράνη. Το υδρογόνο που παράγεται συμπιέζεται σε ατμοσφαιρική πίεση. Ένα απλουστευμένο διάγραμμα που αντιπροσωπεύει αυτήν την εκδοχή της διαδικασίας δίνεται στο **σχήμα 1a**.



Σχήμα 1(a): Co:condenser(συμπυκνωτής), C:compressor(συμπιεστής), E: electrolyser(ηλεκτρολύτης), P: pump(αντλία), Q: quencher(ψύκτης), RE: Solar receiver(ηλιακός δέκτης), R: reactor(αντιδραστήρας), S: separator(διαχωριστής), SG: steam generator(ατμογεννήτρια), SS: steam superheater(υπερθερμαντήρας ατμού), T: turbine(στρόβιλος).

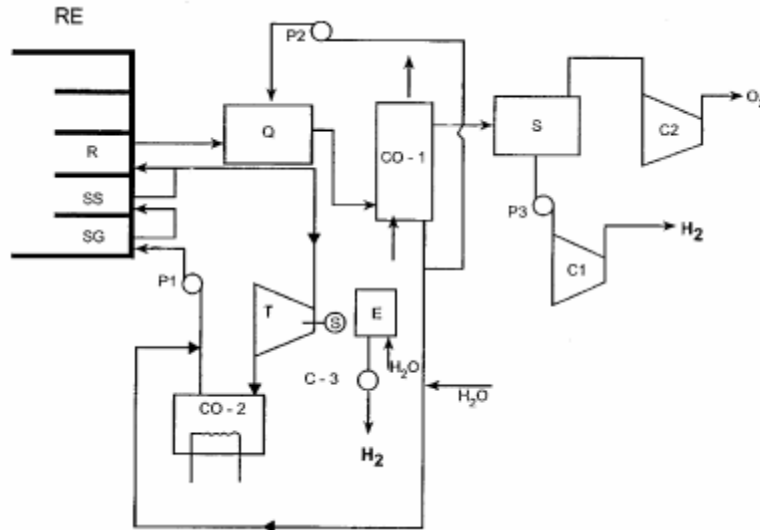
Διαδικασία 2: Το υδρογόνο χωρίζεται από το αέριο αντιδρών μίγμα στον αντιδραστήρα, στην θερμοκρασία της αντίδρασης μέσω μιας διαπερατής πορώδους κεραμικής μεμβράνης, π.χ. φτιαγμένης από ζirkόνιο. Οι υποενότητες όπως ο καταψύκτης, ο συμπυκνωτής, ο διαχωριστής, και ο σχετικός εξοπλισμός δεν υπάρχουν σε οποιαδήποτε εκδοχή της διαδικασίας 2. Στην εκδοχή 2a, μετά από την εκλεκτική διάχυση του υδρογόνου, το υπόλοιπο αέριο προϊόν, που περιέχει κυρίως τον ατμό που δεν έχει αντιδράσει απορρίπτεται από τον αντιδραστήρα. Στην εκδοχή 2b, εντούτοις, αυτό το καυτό ρεύμα απορριμμάτων μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως υπέρθερμος ατμός διαδικασίας. Αυτός ο τρόπος λειτουργίας μπορεί να έχει εμπορική αξία εάν π.χ. ένας χημικός σωλήνας θερμότητας βασισμένος στην αναμόρφωση του μεθανίου ή μια διαδικασία αποσύνθεσης του σουλφιδίου του υδρογόνου είναι στην άμεση εγγύτητα. Το βασικό διάγραμμα που αντιπροσωπεύει και τις δύο εκδοχές παρουσιάζεται στο **σχήμα 2 (a)**.



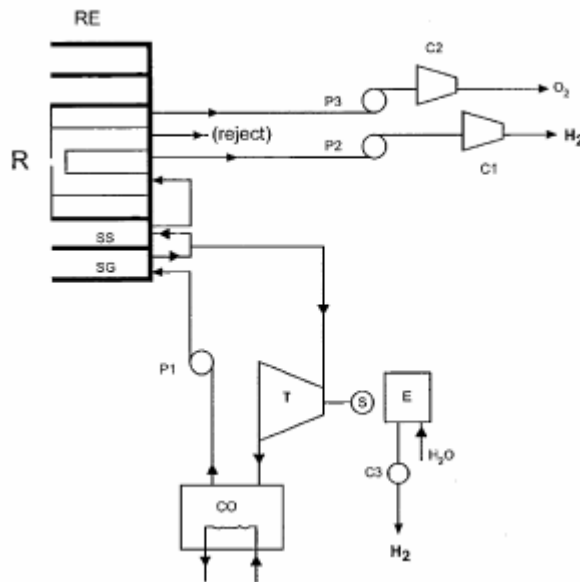
σχήμα 2(a): αναφέρεται στις διαδικασίες 2(a) και 2(b)

- **Σχέδια υβριδικής διαδικασίας**

Στις υβριδικές εκδοχές των διαδικασιών 1 και 2 με την κανονική ηλεκτρόλυση του εισερχόμενου νερού όπως φαίνεται στις διαδικασίες 1b και 2c(**Σχήματα 1 (b) και 2 (b)**) ο παραπανίσιος ηλιακός ατμός αυξάνεται στο δέκτη από την ηλιακή ενέργεια και στέλνεται σε έναν στρόβιλο ατμού για να παράγει την ηλεκτρική ενέργεια για τον ηλεκτρολύτη.

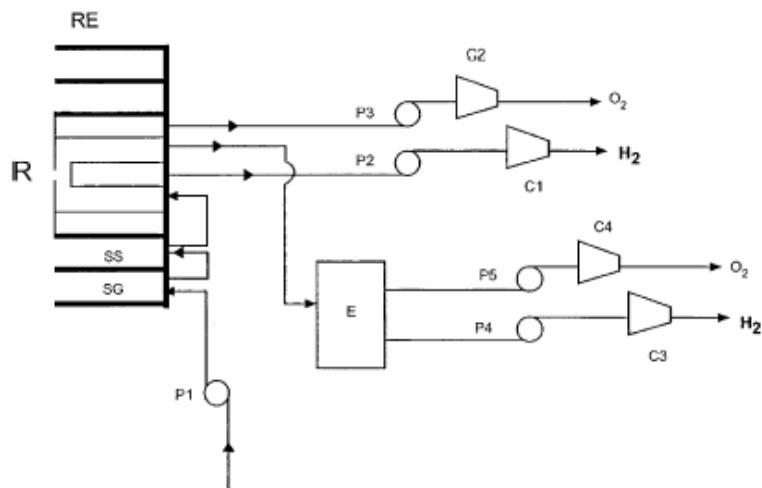


σχήμα 1 (b) :αναφέρεται στη διαδικασία 1b



σχήμα 2 (b):αναφέρεται στις διαδικασίες 2ac και 2bc

Ο περαιτέρω διαχωρισμός του καυτού ατμού απορριμμάτων από τον αντιδραστήρα στη διαδικασία 2d, πραγματοποιείται με την εφαρμογή υψηλής θερμοκρασίας ηλεκτρόλυσης χρησιμοποιώντας την εμπορική ηλεκτρική ενέργεια ή τα καύσιμα από τις εξωτερικές πηγές. Σε αυτήν την υβριδική εκδοχή, όλος ο ατμός που εισάγεται μετατρέπεται τελικά σε υδρογόνο(σχήμα 3). Η υψηλής θερμοκρασίας ηλεκτρόλυση του νερού, που πραγματοποιείται πάνω από τους 1000 °K, απαιτεί τη λιγότερη κατανάλωση ενέργειας σε σύγκριση με την κανονική ηλεκτρόλυση δεδομένου ότι η χημική δυνατότητα που είναι απαραίτητη για να διασπαστεί το νερό στο υδρογόνο και το οξυγόνο είναι χαμηλότερη. Επιπλέον, σε υψηλά επίπεδα θερμοκρασίας, η κινητική της αντίδρασης επιταχύνεται και η απώλεια ενέργειας λόγω της πόλωσης/πολικότητας των ηλεκτροδίων μειώνεται.



σχήμα 3: αναφέρεται στην διαδικασία 2d

Η ετήσια παραγωγική ικανότητα του υδρογόνου των εργοστασίων της καθαρής θερμόλυσης (διαδικασία 1a, 2a και 2b) είναι 172 GJ και αυτή των υβριδικών εκδοχών με την κανονική ηλεκτρόλυση (διαδικασία 1b και 2c) είναι 344 GJ. Η υβριδική περίπτωση με την υψηλής θερμοκρασίας ηλεκτρόλυση έχει μια ικανότητα 5160 GJ, η οποία βασίζεται στο ποσοστό παραγωγής του υδρογόνου.

Η παραγωγή του υδρογόνου με τη διαδικασία του άμεσου ηλιακού θερμικού διαχωρισμού του νερού και ο διαχωρισμός του αερίου στις συνθήκες της αντίδρασης, που υβριδοποιείται με ηλεκτρόλυση που πραγματοποιείται σε υψηλές θερμοκρασίες, εμφανίζεται να είναι η τελευταία επιλογή λόγω του κόστους παραγωγής (που μπορεί να είναι χαμηλότερο από αυτό του υδρογόνου που παράγεται από τη φωτοβολταϊκή ηλεκτρόλυση) και λόγω της θερμοδυναμικής αποδοτικότητας.

Η δεύτερη καλύτερη επιλογή είναι η ίδια διαδικασία θερμόλυσης όπου το υψηλής θερμοκρασίας ρεύμα υπολειμμάτων που βρίσκονται στον αντιδραστήρα χρησιμοποιείται σαν υπέρθερος ατμός διαδικασίας, σε μια γειτονική διαδικασία (π.χ χημικός σωλήνας θερμότητας) και όπου πρόσθετος ατμός σε μεσαία θερμοκρασία, αυξάνεται στον ηλιακό δέκτη για την παραγωγή θερμικής ηλεκτρικής ενέργειας, για να λάβει το πρόσθετο υδρογόνο από την κανονική ηλεκτρόλυση του νερού.

Λόγω της ικανότητας των εγκαταστάσεων να μπορούν να επεκταθούν απλά με την αύξηση του αριθμού των ενοτήτων των εγκαταστάσεων, θα ήταν δυνατό να παραχθεί υδρογόνο από νερό σε πολύ μεγαλύτερη κλίμακα στο εγγύς μέλλον, με την οργάνωση των τομέων τέτοιων ηλιακών εγκαταστάσεων σε κατάλληλες περιοχές, όσον αφορά την ηλιακή ενέργεια, την παροχή νερού και την απελευθέρωση του υδρογόνου από τη σωλήνωση.

2. ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗ ΤΩΝ ΕΡΗΜΩΝ ΓΙΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΥΔΡΟΓΟΝΟΥ

Παγκοσμίως υπάρχουν περίπου 1,9 εκατομμύρια km^2 απέραντων ερήμων αντιπροσωπεύοντας το 1,3% της σφαιρικής επιφάνειας του πλανήτη μας. Ανάλογα με το επίπεδο της τεχνολογίας που εφαρμόζεται (ηλιακές εγκαταστάσεις θερμικής παραγωγής ενέργειας ή φωτοβολταϊκές εγκαταστάσεις παραγωγής ενέργειας και η

αντίστοιχη ηλιακή ακτινοβολία αποδοτικότητας τους στην ηλεκτρική ενέργεια, η μεταφορά υδρογόνου μέσω σωληνώσεων σε αερίωδη ή σε υγρή μορφή, μεταφορές, η διανομή τελικής χρήσης και η διαθεσιμότητα του ολόκληρου συστήματος), στο υποτιθέμενο έδαφος που προαναφέρθηκε, θα μπορούσε να παραχθεί ηλιακό υδρογόνο μεταξύ 105.833 και 138.397 TWh / έτος. Η κάλυψη της παρούσας παγκόσμιας κατανάλωσης ενέργειας κατά προσέγγιση είναι 70.000 TWh / έτος. Για να καλυφθεί αυτή η κατανάλωση με το 'ηλιακό' υδρογόνο, θα απαιτούνταν μια κατάλληλη περιοχή όπως π.χ. στην βόρεια Αφρική έκτασης περίπου 850.000 km² (που αντιπροσωπεύουν περίπου 10% της Σαχάρας ή λίγο περισσότερο από το 1/3 της επιφάνειας της Αλγερίας). Υπάρχουν πολλές περιοχές παγκόσμια, αχρησιμοποίητων ερήμων και χερσαίων περιοχών (στην Ισπανία π.χ. υπάρχουν περίπου 20.000 km²) οι οποίες θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν κατάλληλα.

Υποθέτοντας ότι έχουμε μια φωτοβολταϊκή αποδοτικότητα μόνο 10%, τότε υπολογίζουμε τις ακόλουθες θεωρητικές δυνατότητες ηλεκτρικής παραγωγής :

- Αλγερία : 476 x 10¹² KWh / έτος
- Βόρεια Ευρώπη : 88 x 10¹² KWh / έτος
- Νότια Ευρώπη : 195 x 10¹² KWh / έτος
- Γερμανία : 25 x 10¹² KWh / έτος

Για όλες αυτές τις περιπτώσεις, η παρούσα κατανάλωση ενέργειας μπορεί να καλυφθεί τουλάχιστον 50 φορές από τη θεωρητικά υπάρχουσα δυνατότητα. Μεγάλο μέρος του εδάφους στην Αυστραλία, στη Βραζιλία, στη βόρεια Αφρική, στις Η.Π.Α. και στις νότιες περιοχές της πρώην Ε.Σ.Σ.Δ. μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την μεγάλη κλίμακα, εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας. Όλες αυτές οι εκτιμήσεις δείχνουν ότι η διαθεσιμότητα του εδάφους δεν αντιπροσωπεύει οποιοδήποτε πρόβλημα στην εκτενή ηλιακή παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και υδρογόνου σε πολλές περιοχές σε όλο τον κόσμο.

3. ΗΛΙΑΚΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΥΔΡΟΓΟΝΟΥ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΦΕΡΡΙΤΩΝ

Έχει μελετηθεί η παραγωγή υδρογόνου με το διαχωρισμό νερού, με χρήση φερρίτη Mn(II) και CaO (ή Na₂CO₃) στους 1273 K (ή 873 K). Η μικτή σκόνη που αποτελείται από MnFe₂O₄ και CaO (CaO / MnFe₂O₄ >3) (ή Na₂CO₃) παράγει H₂ μέσω της αντίδρασης με το H₂O στους 1273 K (ή 873 °K). Αυτή η έκλυση του H₂ προκαλείται από την οξειδωση του ιόντος του φερρίτη τύπου Mn(II) στο ιόν τύπου Mn(III). Όταν η αντίδραση πραγματοποιείται σε ηλιακές συσκευές (ηλιακούς φούρνους) που λειτουργούν κάτω από πολύ υψηλές θερμοκρασίες (μεγαλύτερες των 1273⁰K), (στάδιο απελευθέρωσης του O₂), κατά τη διαδικασία των δύο σταδίων διαχωρισμού του ύδατος (1500-2300 °K). Αυτή η χαμηλότερη θερμοκρασία και η οικονομική διαθεσιμότητα των απαραίτητων στοιχείων θα επέτρεπαν την περαιτέρω πρόοδο στην άμεση απορρόφηση ηλιακής ενέργειας/ μετατροπή H₂.

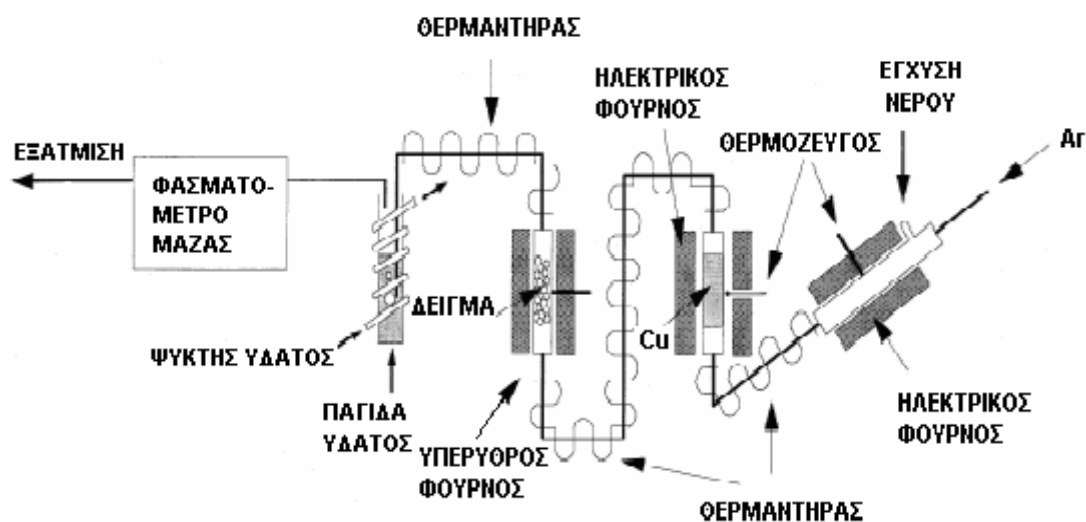
Δύο δείγματα φερριτών τύπου Mn (II) (MnFe₂O₄, Mn_{0.5}Fe_{2.5}O₄) συντέθηκαν από ένα μίγμα σκόνης, το οποίο αποτελούνταν από α- 5Fe_{2.5}O₃ και MnCO₃ στις απαραίτητες ποσότητες, με μια στερεάς κατάστασης διαδικασία. Η διαδικασία αυτή έγινε σε μια ροή μίγματος που αποτελείται από 5% O₂, 75% CO₂ και 20% N₂ στους 1375K για 3,5 ώρες για να παρασκευαστεί το MnFe₂O₄, και στην ατμόσφαιρα του CO₂ στους 1373⁰K για 7 ώρες για να παρασκευαστεί το Mn_{0.5}Fe_{2.5}O₄. Ο φερρίτης Ni (II) και τα

(Ni, Mn) φερριτικά δείγματα (NiFe_2O_4 , $\text{NiMn}_{0.5}\text{Fe}_{2.5}\text{O}_4$) παρασκευάστηκαν από ένα μίγμα σκόνης το οποίο αποτελούνταν από $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$, $\text{NiCO}_3 \cdot 2\text{Ni(OH)}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ ή/και MnCO_3 στις απαραίτητες ποσότητες κατά παρόμοιο τρόπο. Έχει μελετηθεί σύστημα φερριτών που λειτουργεί περίπου στους 1000°K , και έχει επιτευχθεί να δείξουν πειραματικά ότι η διαδικασία των δύο σταδίων διαχωρισμού του ύδατος έχει επιτευχθεί με τον φερρίτη (Ni,Mn) που χρησιμοποιεί έναν ηλιακό φούρνο, ο οποίος λειτουργεί περίπου στους 1000°K .

Οι αντιδράσεις που πραγματοποιούνται στους ηλιακούς φούρνους για την παραγωγή του H_2 που μελετάται μέχρι τώρα, περιορίζονται σε εκείνη της απελευθέρωσης του O_2 από τα στερεά υλικά, μέσω της διαδικασίας των δύο σταδίων διαχωρισμού του νερού.

4. ΔΙΑΣΠΑΣΗ ΤΟΥ ΝΕΡΟΥ

Η διάσπαση του νερού μελετήθηκε χρησιμοποιώντας μια πειραματική διάταξη όπως φαίνεται στο Σχήμα 4.



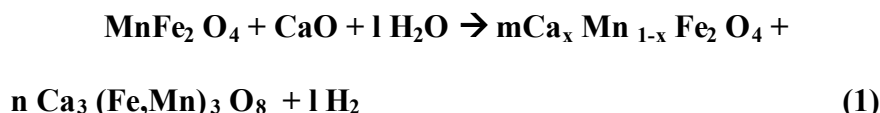
Σχήμα 4: διάσπαση νερού

Τα δείγματα φερριτών και το CaO (ή Na_2CO_3) αναμιγνύονται με το κονίαμα αχατών. Μια ποσότητα του μικτού δείγματος, $0.10\text{-}0.15\text{g}$, τοποθετείται στην κυψέλη αντίδρασης και το αέριο Ar εισήχθη μέσα στον ηλεκτρικό φούρνο, μέσω μιας ροής $50\text{ cm}^3/\text{min}$. Το μολυσμένο οξυγόνο που βρίσκεται στο αέριο Ar αποβάλλεται, από τη στήλη που συσκευάστηκε με τη σκόνη του Cu η οποία θερμάνθηκε στους 623°K . Το δείγμα προθερμαίνεται στους 1273°K για $10\text{-}20\text{ min}$ και έπειτα ένας όγκος νερού $0,1\text{ cm}^3$ αναμιγνύεται με το αέριο Ar για να επιτρέψει την αντίδραση με το δείγμα. Το υπολειπόμενο νερό αφαιρείται από μια παγίδα νερού και ψύχεται με πάγο. Το εκλύομενο αέριο H_2 ανιχνεύεται από ένα φασματομέτρο μάζας και ο όγκος του αερίου υπολογίζεται από τους τομείς των MS αιχμών.

5. ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΥΔΡΟΓΟΝΟΥ ΑΠΟ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΦΕΡΡΙΤΩΝ

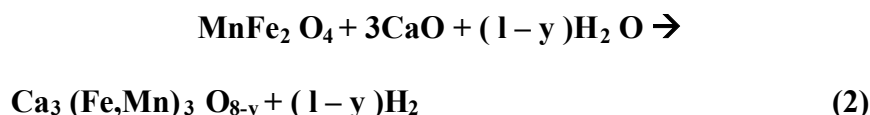
- Σύστημα MnFe₂O₄ – CaO

Η ικανότητα διαχωρισμού του νερού στο μίγμα σκόνης που αποτελείται από ένα δείγμα MnFe₂O₄ και CaO, μελετήθηκε για διαφορετικές αναλογίες moles του CaO στον φερρίτη, στους 1273⁰K. Ένα μεγάλο ποσοστό του υδρογόνου παράχθηκε από τα δείγματα αυτά με μια αναλογία moles του CaO/MnFe₂O₄ μεγαλύτερη από 3. Από την περίθλαση των ακτίνων X και την χημική ανάλυση, η χημική αντίδραση για το **calcium-poor condition** θα είναι:



όπου l, το m και το n είναι διευθετήσιμες παράμετροι για το αντιδρών.

Επίσης, για το **calcium-rich condition**, θα είναι:

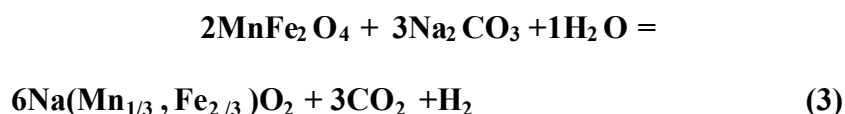


Η χημική σύνθεση του προϊόντος μετά από 3-time έγχυση του νερού καθορίστηκε να είναι $\text{Ca}_{3.00}^{2+}\text{Fe}_{2.02}^{3+}\text{Mn}_{0.96}^{2+}\text{Mn}_{0.02}^{3+}\text{O}_{7.02}$. Από αυτή τη χημική σύνθεση φαίνεται ότι η αντίδραση της έκλυσης του υδρογόνου προκαλείται από την οξείδωση του ιόντος του Mn(II) του δείγματος MnFe₂O₄ στο ιόν του Mn(III) σε συνδυασμό με τον σχηματισμό του Ca₃(Fe,Mn)₃O₈.

- Σύστημα MnFe₂O₄ –Na₂CO₃ –H₂O

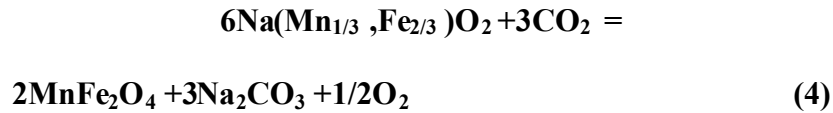
Η περίθλαση των ακτίνων X έδειξε ότι μια ένωση τύπου ABO₂ σχηματίστηκε μετά από την παραγωγή H₂ με το σύστημα MnFe₂O₄ / Na₂CO₃ στους 1273⁰K. Η μέτρηση αιχμών MS στα αέρια προϊόντα έδειξε ότι τα αέρια CO₂ και H₂ παρήχθησαν κατά τη διάρκεια της διάβασης του ατμού μέσω της μικτής σκόνης MnFe₂O₄/Na₂CO₃.

Η αντίδραση θα είναι:



Ο εκλυόμενος όγκος του H₂ ήταν πολύ κοντά στη θεωρητική τιμή της Εξ.(3). Κατά συνέπεια, η αντίδραση παραγωγής του H₂ πραγματοποιήθηκε από την οξειδωση των ιόντων του φερρίτη Mn(II) στα ιόντα του φερρίτη Mn(III) παρουσία των ιόντων του Na.

Αυτή η αντίδραση γράφεται:



Ο συνδυασμός των Εξ.(3) και (4) είναι η αντίδραση αποσύνθεσης του H₂O. Κατά συνέπεια, οι Εξ. (3) και (4) αποτελούν το βήμα διαχωρισμού του νερού και το βήμα απελευθέρωσης του O₂, αντίστοιχα, του συστήματος των δύο σταδίων διαχωρισμού του νερού.

3.3 ΑΙΟΛΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ

Η αιολική ενέργεια και ανεξάντλητη (αφού ο καλός μας ήλιος θα φροντίζει πάντα να υπάρχουν θερμοκρασιακές διαφορές μεταξύ των διάφορων περιοχών της γης, ώστε να προκαλούνται οι άνεμοι), δηλαδή ανανεώσιμη, αλλά και καθαρή, “φιλική” προς το περιβάλλον (αφού η μετατροπή της σε ηλεκτρική δεν το επιβαρύνει).....

Οι μετακινήσεις του αέρα, ο άνεμος, προέρχονται από τις μεταβολές και τις διαφορετικές από τόπο σε τόπο, τιμές της ατμοσφαιρικής πίεσης. Οι διαφορετικές αυτές τιμές της πίεσης οφείλονται στη διαφορετική θέρμανση (απορρόφηση ενέργειας) της ατμόσφαιρας κάθε τόπου από τον Ήλιο.



Ο άνεμος, όπως από παλιά έχει διαπιστώσει ο άνθρωπος, είναι δυνατό να περιστρέψει ανεμόμυλους ή ανεμοτροχούς, να προωθήσει ιστιοφόρα πλοία και οχήματα ή να κινήσει αντικείμενα, να μας δώσει δηλαδή ενέργεια.

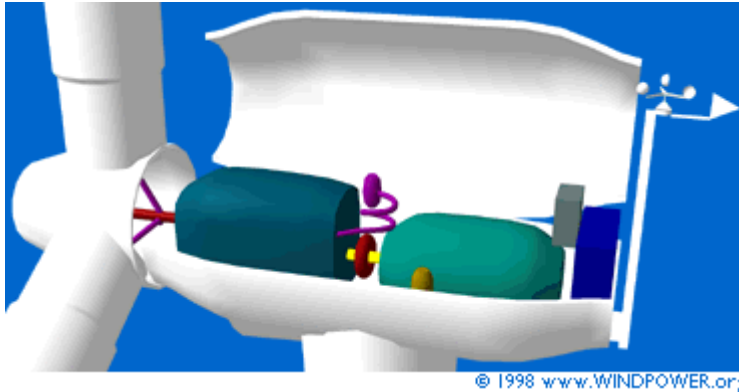


Αυτή η ενέργεια, η αιολική (ο Αίολος ήταν ο “διαχειριστής” των ανέμων, κατά τους αρχαίους Έλληνες), αξιοποιείται στις μέρες μας ολοένα και περισσότερο, σε περιοχές όπου συχνά φυσούν ισχυροί άνεμοι.

3.3.1 ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΕΣ

Για την αξιοποίηση της αιολικής ενέργειας χρησιμοποιούμε σήμερα τις ανεμογεννήτριες, με τις οποίες μετατρέπεται η κινητική ενέργεια του ανέμου σε ηλεκτρική.

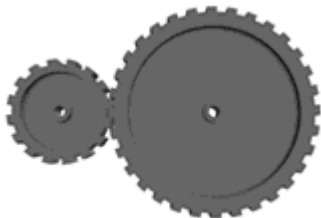
Μία ανεμογεννήτρια αποτελείται από:



1) Το κουβούκλιο (θάλαμος)

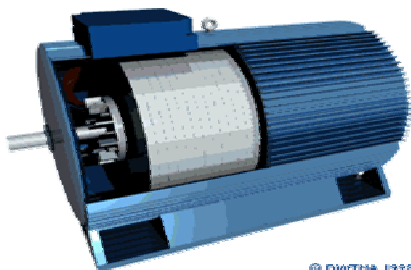
2) Τα πτερύγια

3) Το κομβικό σημείο του ρότορα (που εφαρμόζεται στον χαμηλής ταχύτητας, άξονα της ανεμογεννήτριας)



4) Τον άξονα χαμηλής ταχύτητας που συνδέει το κιβώτιο ταχυτήτων με το ρότορα. Επιπρόσθετα αποτελείται από σωλήνες ώστε να καθιστά ικανό το υδραυλικό σύστημα να λειτουργεί το αεροδυναμικό φρένο.

© 1998 www.WINDPOWER.dk 5) Το κιβώτιο ταχυτήτων το οποίο είναι ικανό να περιστρέψει τον άξονα (στην "έξοδό" του) 50 φορές ταχύτερα από ότι στην είσοδό του (άξονας χαμηλής ταχύτητας).



6) Τον άξονα υψηλής ταχύτητας ο οποίος περιστρέφεται περίπου με 1500 rpm και καθοδηγεί την ηλεκτρική γεννήτρια. Πάνω του είναι προσαρτημένο ένα μηχανικό δισκόφρενο σε περίπτωση που αποτύχει το αεροδυναμικό φρένο να τεθεί σε λειτουργία ή σε περίπτωση επισκευής της ανεμογεννήτριας.

7) Την ηλεκτρική γεννήτρια η οποία συνήθως είναι μια ασύγχρονη και στις περισσότερες ανεμογεννήτριες μπορεί να παράγει ηλεκτρική ισχύ από 600 – 3000 kW.

8) Τον μηχανισμό περιστροφής της ανεμογεννήτριας. Για την εκμετάλλευση όσο το δυνατόν πιο πολύ του ανέμου οι ανεμογεννήτριες αποτελούνται με έναν μηχανισμό περιστροφής, που περιστρέφεται ανάλογα την κατεύθυνση του ανέμου. Ο έλεγχος γίνεται ηλεκτρονικά και με το που ανιληφθεί την παραμικρή αλλαγή περιστρέφεται λίγες μοίρες προς την κατεύθυνση του ανέμου.



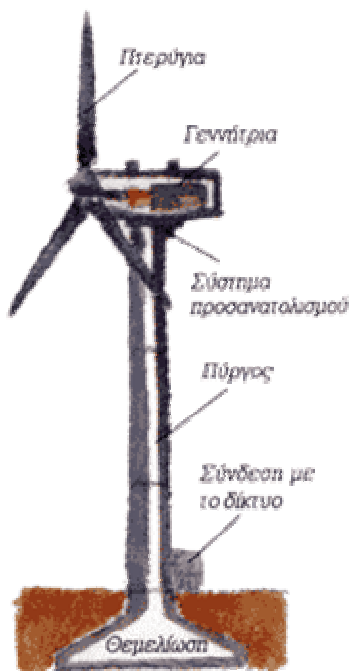
© 1998 www.WINDPOWER.org

9) Τον ηλεκτρονικό ελεγκτή ο οποίος αποτελείται από έναν υπολογιστή που επιβλέπει κάθε στιγμή τόσο την ανεμογεννήτρια όσο και τον μηχανισμό περιστροφής της. Σε περίπτωση υπερθέρμανσης του κιβωτίου ταχυτήτων ή της ίδιας της γεννήτριας σταματά αυτόματα την λειτουργία της και ειδοποιεί τον χειριστή.

10) Το υδραυλικό σύστημα το οποίο χρησιμεύει για να μηδενίζει το αεροδυναμικό φρένο.

11) Το σύστημα ψύξης το οποίο αποτελείται από έναν ανεμιστήρα για να ψύξει την γεννήτρια. Υπάρχουν περιπτώσεις που αποτελείται από μία μονάδα λαδιού για να ψύχει το λάδι του κιβωτίου ταχυτήτων και άλλες φορές που η ψύξη είναι υδρόψυκτη.

12) Το ανεμόμετρο και τον ανεμοδείκτη που χρησιμοποιούνται για να στέλνουν τα σήματα στον ηλεκτρονικό ελεγκτή.



Το πρώτο πράγμα που προσέχουμε σε μια ανεμογεννήτρια είναι τα πτερύγιά της, που περιστρέφονται όταν φυσάει. Οι α/γ του συστήματος μας είναι τρίπτερες. Οι τρίπτερες σε σύγκριση με τους άλλους τύπους μπορεί να 'ναι πιο ακριβές σε κόστος (παραπάνω πτερύγια) αλλά δεν χρειάζονται τόσο μεγάλη ταχύτητα ανέμου για να παράγουν το ίδιο ποσό ενέργειας. Η κίνηση αυτή των πτερυγίων μεταδίδεται σε έναν άξονα περιστροφής, ο οποίος χάρη σε ένα σύστημα προσανατολισμού, βρίσκεται πάντα παράλληλα προς την κατεύθυνση του ανέμου.

Η κινητική ενέργεια του άξονα περιστροφής μετατρέπεται από μια γεννήτρια σε ηλεκτρική ενέργεια. Όλο αυτό το σύστημα είναι τοποθετημένο πάνω σ' ένα ψηλό πύργο.

Η σπουδαιότερη εφαρμογή των ανεμογεννητριών είναι η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, η οποία μπορεί στη συνέχεια, να διοχετεύεται στο δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας της χώρας. Είναι επίσης δυνατό, παράλληλα με τις ανεμογεννήτριες, να γίνεται χρήση νηξελογεννητριών, που λειτουργούν όταν οι ανάγκες το απαιτούν. Πολλές ανεμογεννήτριες μαζί, συστοιχίες ανεμογεννητριών όπως τις λέμε, σχηματίζουν τα λεγόμενα αιολικά πάρκα, που επιτρέπουν τη μαζική εκμετάλλευση της αιολικής ενέργειας και τη διοχέτευση του συνόλου της παραγόμενης ενέργειας στο ηλεκτρικό σύστημα. Η εκμετάλλευση της αιολικής ενέργειας με συστηματικό τρόπο άρχισε παγκοσμίως στις αρχές της δεκαετίας του '80 και αυξήθηκε πολύ τα τελευταία χρόνια.

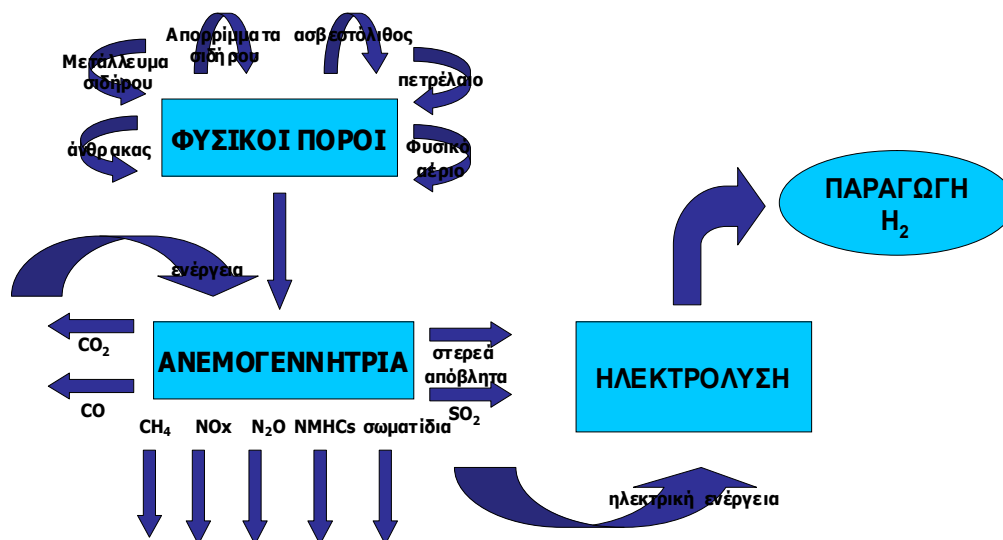
Η χώρα μας, με μεγάλη παράδοση στην εκμετάλλευση της αιολικής ενέργειας, προσφέρεται ιδιαίτερα για την αξιοποίηση αυτής της ανανεώσιμης και καθαρής πηγής αφού διαθέτει ισχυρούς ανέμους, βουνοκορφές και απομονωμένα νησιά. Μεμονωμένες ανεμογεννήτριες και αιολικά πάρκα λειτουργούν ήδη σε αρκετές περιοχές, με τάση να αυξηθούν τα επόμενα χρόνια.

Μια σημαντική μελέτη για την Ευρώπη, δείχνει ότι η ευρωπαϊκή ενεργειακή δυνατότητα του αέρα μπορεί να καλύψει τρεις φορές την ηλεκτρική κατανάλωση της Ευρώπης. Οι πιο πρόσφατες έρευνες υπολογίζουν τη θεωρητική ενεργειακή δυνατότητα του αέρα για ηλεκτρική παραγωγή σε περίπου 500.000 TWh/έτος (αποκλείοντας παράλια μέρη, τα περισσότερα νησιά, την Ανταρκτική και τη Γροιλανδία). Παγκοσμίως, περίπου 17.800 εμπορικά συστήματα μετατροπής αέρα σε ηλεκτρική ενέργεια με μια ικανότητα περίπου 1700MW έχουν εγκατασταθεί μέχρι τώρα. Τα 1500MW εξ' αυτών είναι στην Καλιφόρνια και περισσότερα από 100 MW στη Δανία. Στην Ευρώπη και στις Η.Π.Α., οι περισσότερες επενδύσεις στην ενεργειακή παραγωγή αέρα έχει επιχορηγηθεί από τις αντίστοιχες κυβερνήσεις προκειμένου να ξεπεραστεί το σημείο εξισορρόπησης έναντι της ανταγωνιστικής ηλεκτρικής παραγωγής. Από το 1985, 622 MW της ικανότητας μετατροπής του αέρα σε ηλεκτρική ενέργεια έχει εγκατασταθεί στη Καλιφόρνια, χωρίς την εκμετάλλευση της φορολογίας και αντιπροσωπεύει μια επένδυση σχεδόν 1.000.000.000 δολάρια.

Για να παραχθεί το υδρογόνο βάσει της αιολικής ενέργειας, απαιτούνται μεγάλοι μεγέθους συστήματα που θα πρέπει να ομαδοποιηθούν και να συνδεθούν μεταξύ τους για να επιτευχθούν υψηλά αποτελέσματα. Αυτή η ομαδοποίηση οδηγεί στη δημιουργία των γνωστών αιολικών πάρκων, τα οποία μπορούν να τοποθετηθούν σε απομακρυσμένες περιοχές.

Εντούτοις, η εύρεση των κατάλληλων περιοχών μπορεί να περιοριστεί επειδή η δύναμη του αέρα που θα παράγει την ενέργεια θα πρέπει κατά κύριο λόγο να είναι στις βιομηχανικές χώρες για να τις τροφοδοτεί με ηλεκτρική ενέργεια. Οι πιθανές περιοχές της παραγωγής υδρογόνου βάσει της δύναμης του αέρα βρίσκονται στη δυτική Αφρική, την Γροιλανδία, την Ισλανδία και το νότιο μέρος της Λατινικής Αμερικής.

Θα πρέπει τέλος να αναφέρουμε ότι υπάρχει μειονέκτημα όσο αφορά την παραγωγή υδρογόνου μέσω ηλεκτρόλυσης ως εναλλακτικό προϊόν της αιολικής ενέργειας εν συγκρίσει με άλλες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας καθώς οι ανεμογεννήτριες παρουσιάζουν παραγωγή ισχύος με μεγαλύτερες διακυμάνσεις, η οποία θεωρείται επίσης δύσκολη στην πρόβλεψή της. Παρόλα αυτά έχουν υλοποιηθεί κάποιες εγκαταστάσεις παραγωγής υδρογόνου από αιολική ενέργεια, σύντομη περιγραφή των οποίων παρουσιάζεται παρακάτω.



Σχήμα 5: Διάγραμμα ροής α/γ – παραγωγής υδρογόνου

3.3.2 ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΥΔΡΟΓΟΝΟΥ ΣΤΟ ΑΙΟΛΙΚΟ ΠΑΡΚΟ ΤΟΥ Κ.Α.Π.Ε.

Το ελληνικό Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (Κ.Α.Π.Ε.) μελετά εδώ και χρόνια πιθανούς τρόπους παραγωγής υδρογόνου με τη χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (κυρίως αιολικής). Στο αιολικό πάρκο του Κ.Α.Π.Ε. και σε έκταση μεγαλύτερη των 120m² σχεδιάζεται η εγκατάσταση μιας πιλοτικής μονάδας, όπου θα παράγονται περίπου πέντε κυβικά υδρογόνου ανά ώρα ενώ θα αποθηκεύονται περίπου 50m³ υδρογόνου με τη μέθοδο των μεταλλικών σφουγγαριών (μεταλλοϋδρίδια). Το παραγόμενο υδρογόνο θα διανέμεται σε βιομηχανίες που το χρησιμοποιούν είτε ως πρώτη ύλη είτε σε διάφορα στάδια παραγωγής. Επόμενη σκέψη είναι η τεχνογνωσία που θα αναπτυχθεί να αξιοποιηθεί και για την παραγωγή υδρογόνου που θα χρησιμοποιείται ως καύσιμο σε οχήματα.

Επίσης μία από τις πρώτες αντίστοιχες εγκαταστάσεις παραγωγής υδρογόνου από αιολικά λειτούργησε στη Ιταλία (ENEA) και αποτελούνταν από ανεμογεννήτρια 5,2 KW, συσκευή ηλεκτρόλυσης ονομαστικής ισχύος 2,25 KW, μετασχηματιστή DC – DC και σύστημα συσσωρευτών. Το ερευνητικό αυτό έργο επικεντρώθηκε στην παραγωγή υδρογόνου και όχι στην ευρείας κλίμακας αποθήκευση ή χρήση, επομένως τα παραγόμενα αέρια ελευθερώνονταν στην ατμόσφαιρα.

3.4 ΒΙΟΜΑΖΑ

Βιομάζα είναι, όπως δηλώνει το όνομά της, μάζα που προέρχεται από βιολογικές διαδικασίες. Ειδικότερα ως βιομάζα ορίζεται το σύνολο των οργανικών αποβλήτων που μετά από κατάλληλη επεξεργασία μπορεί να αποδώσει εκμεταλλεύσιμη ενέργεια. Μετά την ενεργειακή κρίση του 1973, η βιομάζα έδειξε ότι αποτελεί μια σπουδαία πηγή ενέργειας η οποία είναι δυνατό να συμβάλλει στην ενεργειακή επάρκεια μετά την εξάντληση των αποθεμάτων του αργού πετρελαίου, του ορυκτού άνθρακα και του φυσικού αερίου. Το τεράστιο ενεργειακό δυναμικό που μας παρέχει η βιομάζα παραμένει κατά το μεγαλύτερο μέρος ανεκμετάλλευτο, καθώς σύμφωνα με πρόσφατες εκτιμήσεις, παίρνουμε από αυτή μόνο το 1/7 της παγκόσμιας κατανάλωσης ενέργειας, που ισοδυναμεί με 3 εκ. τόνους πετρελαίου την ημέρα.

Η βιομάζα έχει τη δυνατότητα να ωθήσει το υδρογόνο ως ένα σημαντικό καύσιμο του μέλλοντος. Δεδομένου ότι η βιομάζα είναι ανανεώσιμη πηγή και καταναλώνει το ατμοσφαιρικό CO₂ κατά τη διάρκεια της ανάπτυξης της, επιφέρει πολύ μικρή καθαρή περιβαλλοντική επίπτωση CO₂ έναντι των ορυκτών καυσίμων. Ωστόσο οι προκλήσεις είναι πολλές αφού δεν υπάρχει καμιά ολοκληρωμένη τεχνολογία έως τώρα. Η απόδοση της παραγωγής υδρογόνου από βιομάζα είναι μικρή δεδομένου ότι η περιεκτικότητα σε υδρογόνο στη βιομάζα είναι χαμηλή (περίπου 6% ενώ 25% για το μεθάνιο) και το ενεργειακό περιεχόμενο είναι χαμηλό εξαιτίας της μεγάλης περιεκτικότητας σε οξυγόνο (40% οξυγόνο στη βιομάζα).

3.4.1 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΑΠΟ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΤΗΣ ΒΙΟΜΑΖΑΣ

Στα πλεονεκτήματά της, πρέπει να αναφερθεί πρώτα απ' όλα ότι είναι ανανεώσιμη. Ακόμη, η αξιοποίηση της μπορεί να γίνει με διάφορες μεθόδους μετατροπής, μερικές μάλιστα από τις οποίες χρησιμοποιούν σχετικά απλές τεχνολογίες, οι οποίες δίνουν στη συνέχεια μια μεγάλη ποικιλία προϊόντων. Στο ενεργητικό επίσης της βιομάζας καταλογίζεται το γεγονός ότι η παραγωγή και η μετατροπή της δεν δημιουργούν προβλήματα οικολογικά και περιβαλλοντολογικά.

Στα μειονεκτήματα της βιομάζας καταλογίζονται κυρίως η χαμηλή, μέχρι μέτρια απόδοση μετατροπής της, καθώς και η απαίτηση εδαφικών εκτάσεων για την παραγωγή της. Άλλα αρνητικά στοιχεία της βιομάζας είναι το εποχιακό της παραγωγής και η μεγάλη διασπορά της. Επίσης καταλαμβάνει αρκετά μεγάλο όγκο σε φυσική κατάσταση, πράγμα το οποίο οφείλεται συχνά και στη μεγάλη συγκράτηση ποσοτήτων του νερού. Το πρόβλημα όμως παραμένει και στην ξηρή κατάσταση λόγω μικρής πυκνότητας, δυσκολεύοντας έτσι τη μεταφορά, την αποθήκευση και την κάλυψη των αναγκών σε ενέργεια. Το κόστος επίσης αυτής της ενέργειας παραμένει σχετικά υψηλό, αν και το πρόβλημα σταδιακά εξαλείφεται με τη συνεχή άνοδο των τιμών των παραγωγών πετρελαίου.

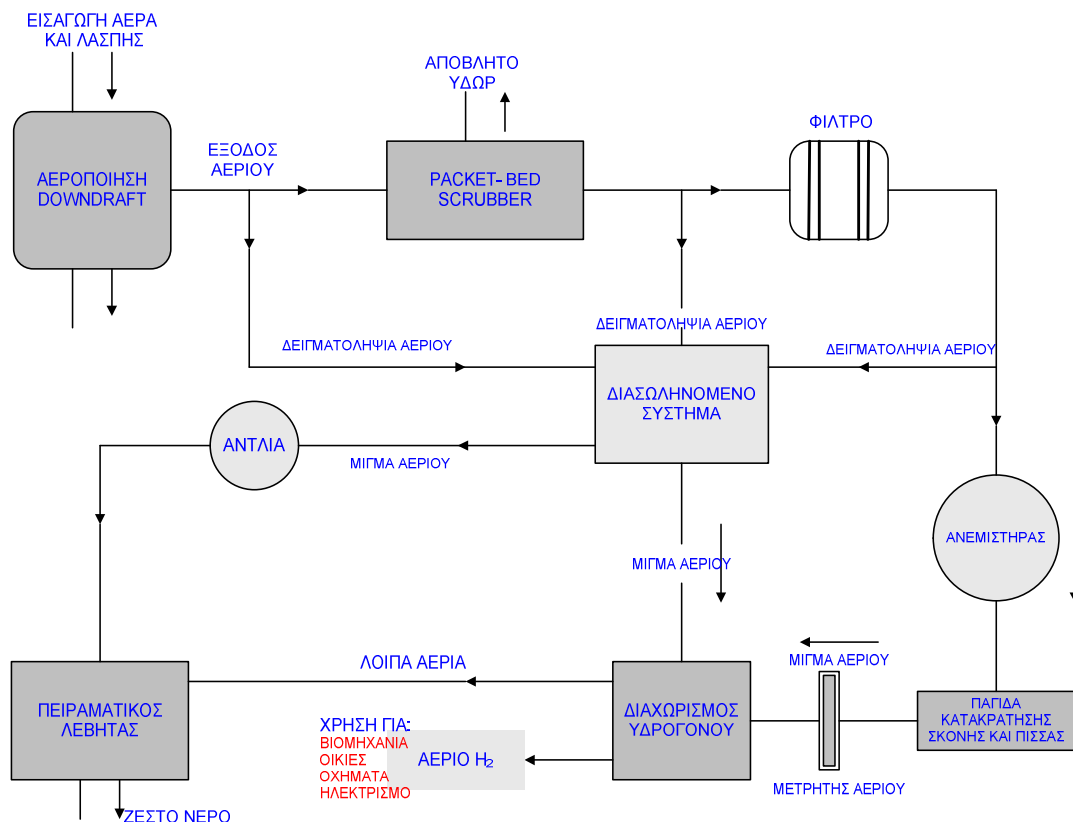
3.4.2 ΜΕΘΟΔΟΙ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΥΔΡΟΓΟΝΟΥ ΑΠΟ ΒΙΟΜΑΖΑ

Μέθοδοι παραγωγής του αερίου υδρογόνου είναι κάποιες εμπορικές και κάποιες που ακόμα ερευνώνται, δηλαδή είναι σε στάδιο πειραματικό. Κάποιες από τις μεθόδους όπου γίνεται προσπάθεια να ερευνηθούν και να αξιοποιηθούν για να γίνουν εμπορικές είναι αυτές που χρησιμοποιούν ως πρώτη ύλη τη βιομάζα, μέρος της οποίας αποτελούν τα ενεργειακά φυτά. Μπορούμε να τις κατατάξουμε σε δύο κατηγορίες ανάλογα με τις διεργασίες στις οποίες βασίζονται :

- Στις θερμοχημικές μεθόδους, και
- Στις βιοχημικές ή βιολογικές μεθόδους.

1. ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΥΔΡΟΓΟΝΟΥ ΜΕ ΘΕΡΜΟΧΗΜΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΥΣ

Όταν αναφερόμαστε στις θερμοχημικές μεθόδους μετατροπής της βιομάζας εννοούμε κατά κύριο λόγο την πυρόλυση (καύση) και την αεριοποίηση. Από τις παραπάνω εκείνη που μετατρέπει τη βιομάζα σε αέρια προϊόντα είναι η αεριοποίηση. Αυτή παράγει ένα μίγμα με βασικά συστατικά: H_2 , CO , CO_2 , CH_4 και N_2 (εάν πραγματοποιείται με αέρα). Από τα αέρια αυτά μπορεί να παραχθεί θερμική και ηλεκτρική ενέργεια καθώς και αέριο καύσιμο όπως το υδρογόνο.



Σχήμα 6: Απλοποιημένη απεικόνιση αεριοποίησης downdraft, για την παραγωγή υδρογόνου από την ηλύ καθαρισμού λυμάτων.

Το σύστημα ουσιαστικά αποτελείται από έναν αεριοποιητή downdraft, έναν packed-bed scrubber, ένα δοχείο φιλτραρίσματος, έναν αεροσυμπληρωματικό ανεμιστήρα και ένα καυστήρα. Το σύστημα αυτό έχει 4 ζώνες αντίδρασης, οι οποίες είναι: ξήρανση, πυρόλυση, ζώνες οξειδωσης και μείωσης. Ο κύριος στόχος που ακολουθείται σε αυτή την εργασία είναι να ερευνηθεί η δυνατότητα παραγωγής υδρογόνου από την ηλύ καθαρισμού λυμάτων με την τεχνική αεριοποίησης downdraft. Επομένως, συνήχθη το συμπέρασμα ότι ικανοποιητικό ποσό υδρογόνου θα μπορούσε να παραχθεί χρησιμοποιώντας ως μια πηγή ανανεώσιμης βιομάζας, όπως οι ξηροί και undigested σβόλοι ηλύος καθαρισμού λυμάτων με την αεριοποίηση downdraft. Το αέριο προϊόν που παράγεται αποτελείται κυρίως από H₂, CO, CO₂, CH₄ και N₂ με μέγιστη μέση ακαθάριστη θερμαντική αξία 4MJ/m³. Γύρω στα 10-11% (V/V) αυτού του αερίου υδρογόνου θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί στις κυψέλες καυσίμου. Η ηλύος καθαρισμού λυμάτων μπορεί να θεωρηθεί ως εναλλακτική ανανεώσιμη πηγή ενέργειας από τα απολιθωμένα καύσιμα και η περιβαλλοντική ρύπανση μπορεί να μειωθεί μερικώς.

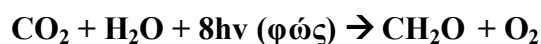
2. ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΥΔΡΟΓΟΝΟΥ ΜΕ ΒΙΟΛΟΓΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΥΣ

Η βιολογική παραγωγή του υδρογόνου ήταν γνωστή κατά την διάρκεια ενός αιώνα. Το χαμηλό ενεργειακό περιεχόμενο της ηλιακής ακτινοβολίας υπαγορεύει ότι οι φωτοσυνθετικές διαδικασίες λειτουργούν σε υψηλές μετατροπές αποδοτικότητας και τοποθετεί αυστηρούς περιορισμούς στα οικονομικά των φωτοβιοαντιδραστήρων. Η μετατροπή αποδοτικότητας για την άμεση βιοφωτόλυση είναι κάτω από 1% και για την έμμεση βιοφωτόλυση παραμένει να αποδειχτεί. Η ζύμωση χωρίς φως της βιομάζας ή των αποβλήτων παρουσιάζεται ως μια εναλλακτική μέθοδο της βιολογικής παραγωγής υδρογόνου η οποία έχει μελετηθεί ελάχιστα. Σε αυτήν την περίπτωση ο κρίσιμος παράγοντας είναι το ποσό του υδρογόνου που μπορεί να παραχθεί ανά γραμμομόριο του υποστρώματος. Οι γνωστές διαβάσεις και τα πειραματικά στοιχεία δείχνουν ότι το πολύ 2-3 mol του υδρογόνου μπορούν να ληφθούν από τα υποστρώματα όπως η γλυκόζη.

Η ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΤΗΣ ΦΩΤΟΣΥΝΘΕΣΗΣ

Η βιομάζα είναι δευτερογενής ηλιακή ενέργεια. Η ηλιακή ενέργεια μετασηματίζεται από τα φυτά μέσω της φωτοσύνθεσης. Οι βασικές πρώτες ύλες που χρησιμοποιούνται είναι το νερό και ο άνθρακας που είναι άφθονα στη φύση.

Η φωτοσυνθετική διαδικασία γίνεται στους χλωροπλάστες των πράσινων μερών των φυτών. Η διαδικασία καθώς και οι βιοχημικές αντιδράσεις είναι πολύπλοκες, αλλά τελικά μπορούν να παρασταθούν με τη γενική εξίσωση:

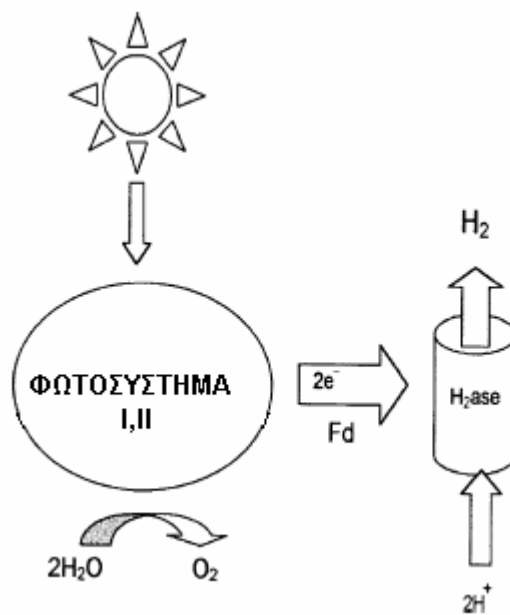


Η φωτοσύνθεση αρχίζει με την απορρόφηση των φωτονίων στους χλωροπλάστες που δρουν σαν “κεραίες” συλλογής της ενέργειας. Η φωτοσυνθετικά ενεργή ακτινοβολία αποτελεί περίπου το 43% της ολικής ηλιακής ακτινοβολίας. Ένα μέρος της ακτινοβολίας ανακλάται, κυρίως το πράσινο, ένα μέρος απορροφάται από μη φωτοσυνθετικό ιστό και ένα μέρος φθάνει στο έδαφος σαν διάχυτη ακτινοβολία. Στην καλύτερη περίπτωση οι απώλειες αυτές είναι τουλάχιστον 20%. Από τη συνολική

ηλιακή ενέργεια απομένει το πολύ 34%, για τη φωτοσυνθετική διαδικασία. Όμως τα φωτόνια που απορροφούνται, χρησιμοποιούνται ενεργειακά μόνο κατά ένα μέρος και η μέγιστη δυνατή θεωρητική φωτοσυνθετική απόδοση είναι 9,8%. Διάφοροι μηχανισμοί που μπορούμε να παράγουμε υδρογόνο από την φωτοσύνθεση μικροφυκών:

- **ΆΜΕΣΗ ΒΙΟΦΩΤΟΛΥΣΗ**

Στην άμεση βιοφωτόλυση η φωτοσυνθετική συσκευή συλλαμβάνει το φως και η ανακτημένη ενέργεια χρησιμοποιείται για να συνδέσει το διαχωρισμό ύδατος με την παραγωγή χαμηλού δυναμικού ενός reductant, ο οποίος μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να μειώσει την υδρογένεση του ενζύμου.



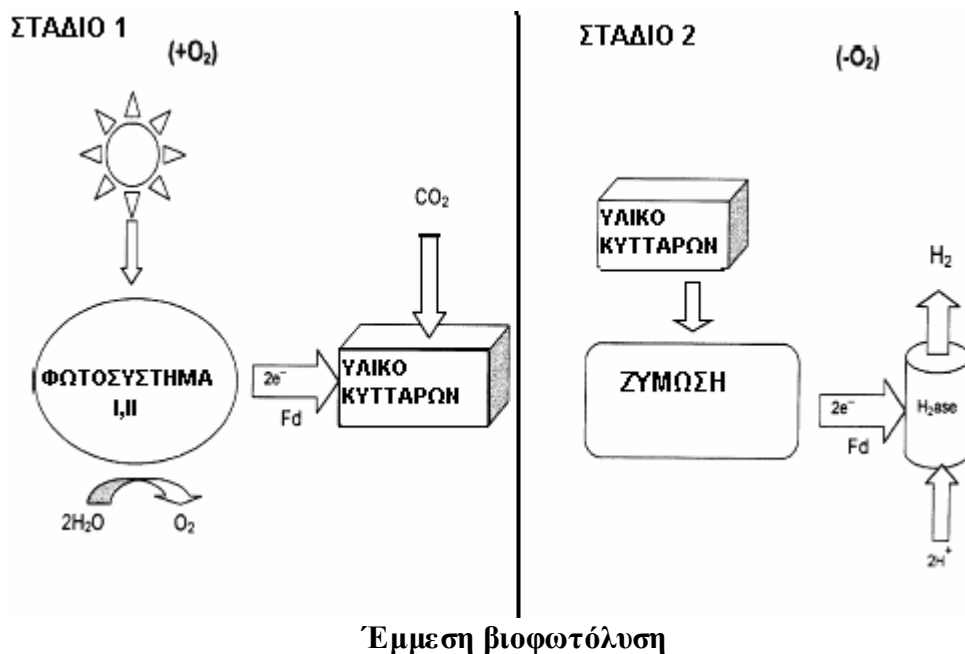
Άμεση βιοφωτόλυση

Αυτή είναι μια πολύ ελκυστική διαδικασία δεδομένου ότι η ηλιακή ενέργεια χρησιμοποιείται για να μετατρέψει το νερό στο οξυγόνο και στο υδρογόνο: $2\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{H}_2 + \text{O}_2$. Αυτή η αντίδραση ήταν η πρώτη που αποδείχτηκε, ωστόσο μια τέτοια αντίδραση στα πράσινα άλγη είχε προταθεί νωρίτερα. Μερικά φυσικά πράσινα άλγη κατέχουν αντιστρέψιμη υδρογένεση και θα μπορούσε σε γενικές γραμμές να χρησιμοποιηθεί σαν άμεση βιοφωτόλυση. Στην πραγματικότητα, μια ενεργειακή μετατροπή του φωτονίου έχει αποδοτικότητα περίπου 22% της ορατής light ενέργειας στο υδρογόνο από την διαδικασία της άμεσης βιοφωτόλυσης, αντίστοιχα σε μια ηλιακή μετατροπή η αποδοτικότητα είναι περίπου 10%. Αυτό έχει αποδειχτεί σε ζωντανούς οργανισμούς (πράσινα μικροάλγη) σε εργαστηριακά πειράματα κάτω από low-light εντάσεις και σε πολύ χαμηλές πιέσεις του οξυγόνου. Ενώ ταυτόχρονη παραγωγή υδρογόνου και οξυγόνου έχει αποδειχτεί ότι γίνεται μόνο κάτω από πολύ υψηλή θέρμανση αδρανούς αερίου, το οποίο οδηγεί όμως σε πολύ χαμηλές συγκεντρώσεις υδρογόνου (και οξυγόνου).

Η διαδικασία της άμεσης βιοφωτόλυσης πρέπει κατ' ανάγκην να λειτουργεί σε μερική πίεση πλησίον μιας ατμόσφαιρας του οξυγόνου. Κατά συνέπεια, η ευαισθησία του οξυγόνου για την υδρογενετική ενζυμική αντίδραση και η μειωμένη παραγωγικότητα παραμένει το βασικό πρόβλημα. Έγιναν κάποιες προσεγγίσεις για την υπερνίκηση αυτού του προβλήματος, αλλά δεν ήταν πρακτικές. Επομένως, οι άμεσες βιοφωτολυτικές διαδικασίες είναι πολύ επιζήμιες οικονομικά.

• **ΈΜΜΕΣΗ ΒΙΟΦΩΤΟΛΥΣΗ**

Στην έμμεση βιοφωτόλυση τα προβλήματα της ευαισθησίας του οξυγόνου στην εξελισσόμενη διαδικασία υδρογόνου παρακάμπτεται με το να χωρίσει χρονικά και χωρικά την εξέλιξη του οξυγόνου και του υδρογόνου.



Κατά συνέπεια οι διαδικασίες της έμμεσης βιοφωτόλυσης περιλαμβάνουν το χωρισμό των αντιδράσεων παραγωγής H₂ και O₂ σε χωριστά στάδια, που συνδέονται μέσω της σταθεροποίησης/εξέλιξης του CO₂.

Μια επεξεργασία αυτής της έννοιας περιλαμβάνει τέσσερα βήματα:

- Παραγωγή βιομάζας στις ανοικτές λίμνες με 10% ηλιακή αποδοτικότητα .
- Συγκέντρωση της βιομάζας από τις λίμνες.
- Αναερόβια ζύμωση χωρίς φως στην οποία παράγονται 4 H₂/γλυκόζη που είναι αποθηκευμένα στα φυκώδη κύτταρα και 2 οξικά άλατα.
- Έναν φωτοβιοαντιδραστήρα στον οποίο τα φυκώδη κύτταρα θα μετέτρεπαν τα δύο οξικά άλατα σε 8 μόρια H₂.

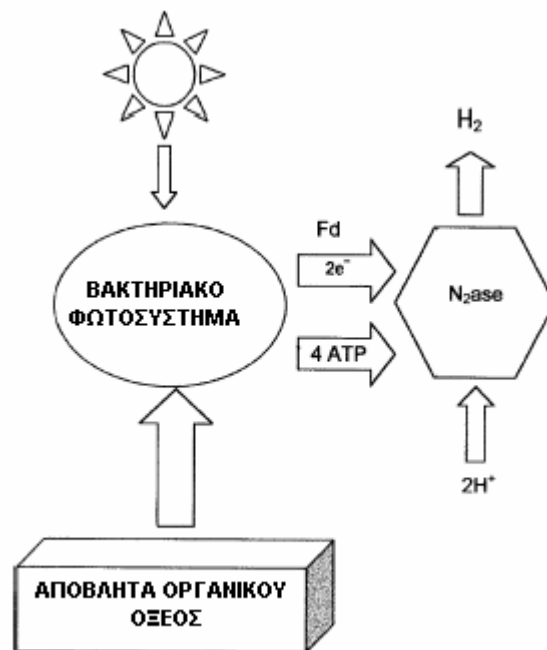
Οι έμμεσες βιοφωτολυτικές διαδικασίες είναι ακόμα σε εννοιολογικό στάδιο, διότι οι περισσότερες είναι πολύ δαπανηρές, κοστίζουν αρκετά οι αντιδραστήρες, κάποιες

διαδικασίες χρειάζονται μεγάλη αποδοτικότητα κλπ. Πρόσφατα, μια διαδικασία παραγωγής H_2 αναφέρθηκε με βάση τα πράσινα άλγη, η οποία έχει αποβάλει το στάδιο της ζύμωσης χωρίς φως και χρησιμοποιεί το θείο, παρά το άζωτο, σαν θρεπτική ουσία.

Σε αυτήν την περίπτωση, καμία επαγωγή της βιοσύνθεσης υδατανθράκων δεν σημειώθηκε, αν και η εξέλιξη του O_2 , όπως συμβαίνει για τον περιορισμό του αζώτου, μειώθηκε πολύ. Εντούτοις, αν και αρχικά υποστηρίχτηκε ότι αυτό ήταν έμμεση βιοφωτολυτική διαδικασία, αυτό είναι πραγματικά μια άμεση βιοφωτολυτική διαδικασία. Συμπέρασμα, οι έμμεσες βιοφωτολυτικές διαδικασίες είναι οικονομικά αμφισβητήσιμες και παραμένουν ακόμη σε πειραματικό επίπεδο.

- **ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΖΥΜΩΣΗΣ ΜΕ ΦΩΣ**

Τα φωτοσυνθετικά βακτηρίδια έχουν μελετηθεί από καιρό γιατί έχουν την ικανότητα να παράγουν το υδρογόνο μέσω της δράσης τους στο σύστημα νιτρογένεσης (σχήμα).



Διαδικασία ζύμωσης με φως

Υπολογισμοί της αποδοτικότητας της μετατροπής της light ενέργειας στο υδρογόνο παρουσιάζει συχνά τιμές με προσέγγιση 100%, αλλά αυτές οι εκτιμήσεις αγνοούν γενικά το ενεργειακό περιεχόμενο του οργανικού υποστρώματος. Οι πραγματικές φωτοσυνθετικές αποδοτικότητες είναι πολύ χαμηλότερες από τις ιδανικές.

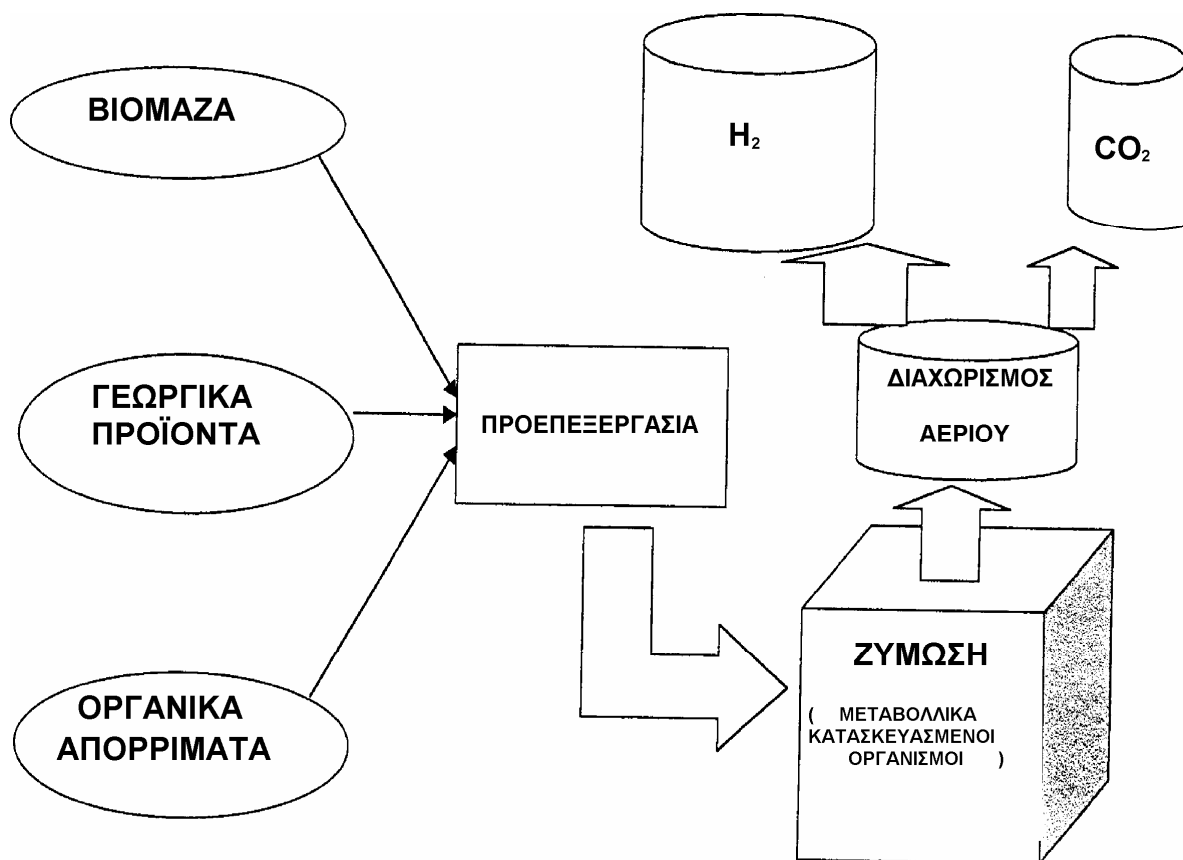
Παρά τις αναφορές για την απόδοση της παραγωγής υδρογόνου, με την ουσιαστικά στοιχειομετρική μετατροπή των υποστρωμάτων υδρογόνου, υπάρχουν διάφορα μειονεκτήματα σε αυτόν τον τύπο συστήματος :

- η χρήση του ενζύμου νιτρογένεσης με την έμφυτη υψηλή ενεργειακή απαίτηση του ,
- η χαμηλή ηλιακή μετατροπή αποδοτικότητας και
- η απαίτηση για την επιμελημένη αναερόβια κάλυψη φωτοβιοαντιδραστήρων μεγάλων περιοχών.

Τελικά η παραγωγή, τα ποσοστά και η αποδοτικότητα του υδρογόνου από αυτούς τους φωτοβιοαντιδραστήρες, όπως και όλα τα άλλα συστήματα με άμεση ανάμειξη της φωτοσύνθεσης για την παραγωγή H_2 , είναι εφικτό να γίνει οικονομικά. Δεδομένου ότι τα οργανικά υποστρώματα είναι η τελευταία πηγή υδρογόνου στις φωτοζυμωτικές ή έμμεσες βιοφωτολυτικές διαδικασίες, μπορεί να υποστηριχτεί ότι πρέπει να είναι απλούστερα και περισσότερο αποδοτικά για να εξαγάγουν το υδρογόνο από τέτοια υποστρώματα που χρησιμοποιούν μια διαδικασία ζύμωσης χωρίς φως.

• ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΖΥΜΩΣΗΣ ΧΩΡΙΣ ΦΩΣ

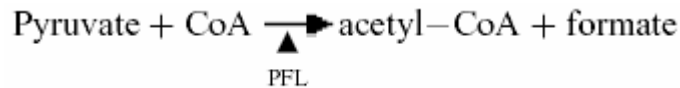
Οι ζυμωτικές διαδικασίες μπορούν να χρησιμοποιήσουν κάθε είδος βιομάζας όπως και διάφορα ρεύματα αποβλήτων. Αυτή η διαδικασία μας ενδιαφέρει, αλλά στο μεγαλύτερο μέρος της είναι ανεξερεύνητη για τη βιολογική παραγωγή υδρογόνου .



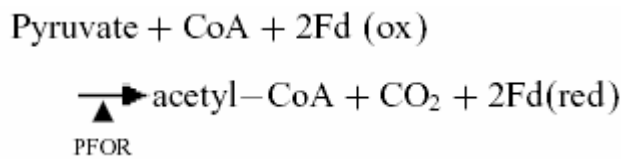
Διαδικασία ζύμωσης χωρίς φως

Η παραγωγή H₂ μέσω της διαδικασίας της ζύμωσης είναι μια αναερόβια διαδικασία που πραγματοποιείται χωρίς φώς και παρουσιάζει ομοιότητες με τη γνωστή διαδικασία αναερόβιας χώνευσης. Το μεγαλύτερο μέρος της μικροβιακής παραγωγής H₂ γίνεται από τον αναερόβιο μεταβολισμό του pyruvate, που διαμορφώνεται κατά τη διάρκεια catabolism των διάφορων υποστρωμάτων. Η διακοπή pyruvate καταλύεται από ένα από τα δύο ενζυμικά συστήματα:

1) Pyruvate, formate lyase (μυρμηκικού άλατος) (PFL)



2) Pyruvate, ferredoxin (>avodoxin) oxidoreductase (PFOR)



Κατά συνέπεια στα δυο αυτά βιολογικά συστήματα, το pyruvate που παράγεται από glycolysis το οποίο χρησιμοποιείται (ελλείψη οξυγόνου), για να παράγει προϊόντα ακετυλικού CoA είτε μυρμηκικού άλατος (PFL) είτε μειωμένου ferredoxin (Fd κόκκινο), από τα οποία μπορούμε να παράγουμε υδρογόνο. Τα εντερικά βακτηρίδια παράγουν το υδρογόνο από το μυρμηκικό άλας και οι ακριβής αναερόβιοι οργανισμοί αντλούν το υδρογόνο από Fd κόκκινο. Οι γενικές παραγωγές υδρογόνου από αυτούς τους μεταβολισμούς είναι σχετικά χαμηλές, 1-2 παραγόμενα μόρια H₂ ανά μόριο pyruvate. Το σημαντικότερο ζήτημα είναι η δυνατότητα πραγματοποίησης μιας ζυμωτικής αντίδρασης χωρίς φως που παράγει κοντά στα 12 μόρια H₂, τα οποία αποθηκεύονται μέσα σε κάθε μόριο της γλυκόζης η οποία μεταβολίζεται. Από μια θερμοδυναμική προοπτική, τα ευνοϊκότερα προϊόντα από τη διακοπή ενός μορίου της γλυκόζης είναι δυο μόρια των οξικών αλάτων και τέσσερα μόρια H₂.

Εντούτοις, σε γενικές γραμμές και ίσως σε μια μελλοντική πρακτική, αυτή η προσέγγιση εμφανίζεται η καλύτερη για να υπερνικηθούν οι πρακτικοί περιορισμοί σε όλες τις φωτοβιολογικές διαδικασίες των μικροαλγών για την παραγωγή H₂ και για την άμεση και έμμεση βιοφωτόλυση. Γενικότερα, μια τέτοια προσέγγιση θα μπορούσε επίσης να επεκτείνεται στις προαιρετικές βακτηριακές ζυμώσεις των υποστρωμάτων των αποβλήτων, για να επιτρέψει την υψηλή περιεκτικότητα και την παραγωγή βιουδρογόνου. Η προβληματική φύση των φωτοβιολογικών αντιδράσεων για την παραγωγή υδρογόνου και η δυνατότητα των ζυμωτικών διαδικασιών αναγνωρίστηκαν πρόσφατα. Εντούτοις, το H₂ από μόνο του έχει μεγάλη εμπορική σημασία. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως πρώτη ύλη σε ποικίλες βιομηχανικές εφαρμογές καθώς επίσης και ως πηγή καθαρής ενέργειας για τα κύτταρα καυσίμων.

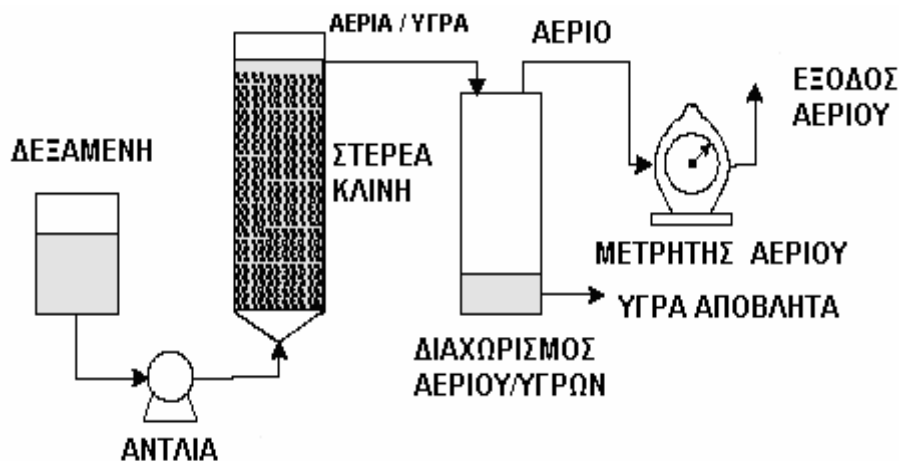
3. ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΒΙΟ-ΥΔΡΟΓΟΝΟΥ ΜΕ ΒΙΟΛΟΓΙΚΟΥΣ ΑΝΤΙΔΡΑΣΤΗΡΕΣ ΣΤΕΡΕΑΣ ΚΛΙΝΗΣ

Το υδρογόνο είναι ένας καθαρός, ανακυκλώσιμος μεταφορέας, και η νέα αποδοτική ενέργεια. Η δυνατότητα του υδρογόνου να παρέχει ηλεκτρική ενέργεια μέσω των

κυψελών καυσίμου το κατατάσσει στην πολλά υποσχόμενη ενέργεια του μέλλοντος. Αυτή τη στιγμή, το υδρογόνο είναι αέριο που παράγεται κυρίως από τα απολιθωμένα καύσιμα, αλλά, απαιτείται ακόμα να βρεθούν εναλλακτικές μέθοδοι για την παραγωγή του, χωρίς υψηλό κόστος και περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Παραγωγή υδρογόνου μέσω βιολογικών μέσων εμφανίζεται να είναι μια εφικτή εναλλακτική λύση.

Μελέτες έχουν στραφεί στη φωτόλυση του ύδατος με χρησιμοποίηση των άλγων και του κυανοβακτηρίου για να παράγει το υδρογόνο, ενώ έρευνες στη ζυμωτική παραγωγή υδρογόνου από οργανικές ενώσεις με τα αναερόβια βακτήρια ήταν σχετικά σπάνιες. Αυτές έχουν το πλεονέκτημα των υψηλών ποσοστών παραγωγής υδρογόνου και της ικανότητας να μετατρέψει τα οργανικά απόβλητα στο περιβάλλον ως πολύτιμους ενεργειακούς πόρους.

Η αποτελεσματική παραγωγή υδρογόνου από σακχαρόζη πραγματοποιείται με την χρήση βιολογικών αντιδραστήρων στερεάς κλίνης που συσκευάζονται με τον επεκταθείς άργιλο (EC) και με τον ενεργοποιημένο άνθρακα (AC), όπου το βέλτιστο ποσοστό παραγωγής υδρογόνου (μ_{H_2}) είναι 0,42 (HRT = 2 h) και 1,32 l/h/l (HRT = 1 h) για τους αντιδραστήρες (EC) και (AC) αντίστοιχα. Ο αντιδραστήρας (AC) φαίνεται να είναι η καλύτερη επιλογή των δύο, για την συνεχή ζύμωση του υδρογόνου, δεδομένου ότι έχει την υψηλότερη παραγωγή βιομάζας και παρουσιάζει περισσότερη σταθερότητα όταν χρησιμοποιείται σε χαμηλό υδραυλικό χρόνο διατήρησης (HRTs). Όταν οι αντιδραστήρες χρησιμοποιήθηκαν σε ένα HRT χαμηλότερο από τις βέλτιστες τιμές τους, εμφάνισε φτωχή παραγωγή υδρογόνου.



Σχήμα 7: Περιγραφή παραγωγής βίο-υδρογόνου με βιολογικού αντιδραστήρα στερεάς κλίνης

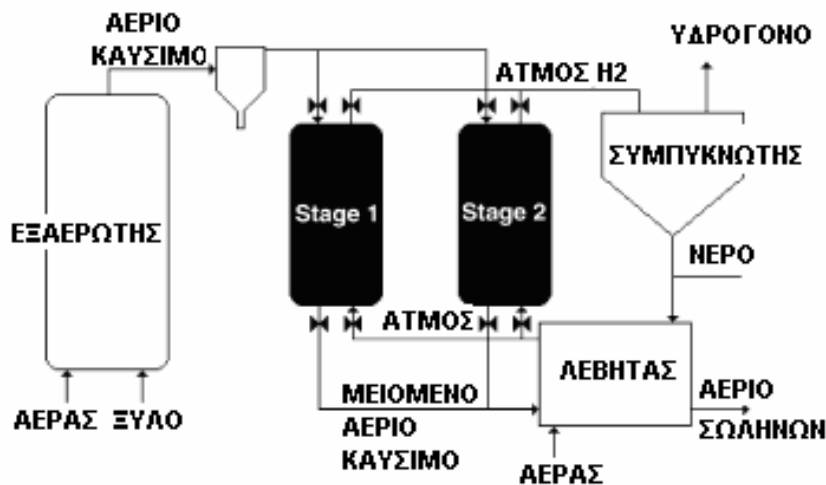
4. ΜΙΑ ΟΞΕΙΔΟΑΝΑΓΩΓΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΥΔΡΟΓΟΝΟΥ ΑΠΟ ΔΑΣΙΚΗ ΒΙΟΜΑΖΑ

Το υδρογόνο μπορεί να προκύψει από αέρια καύσιμα βιομάζας χρησιμοποιώντας μια μέθοδο κυκλικής μείωσης και οξειδωσης (οξειδοαναγωγική) των οξειδίων του σιδήρου. Η παραγωγή του υδρογόνου που χρησιμοποιεί την οξειδοαναγωγική διαδικασία έχει διαμορφωθεί. Αυτές οι μελέτες έδειξαν ότι η αποδοτικότητα της

παραγωγής του υδρογόνου εξαρτάται σημαντικά από τη σύνθεση των αερίων καυσίμων του εξαερωτή και τις θερμοχημικές ιδιότητες των οξειδοαναγωγικών υλικών. Ένα εργαστηριακό οξειδοαναγωγικό σύστημα αναπτύχθηκε για να παρέχει τα πειραματικά στοιχεία. Οι θερμοδυναμικοί περιορισμοί της οξειδοαναγωγικής διαδικασίας περιορίζουν τη μέγιστη αποδοτικότητα. Η οξειδοαναγωγική διαδικασία του υδρογόνου είναι σημαντικά λιγότερο αποδοτική και περισσότερο δαπανηρή από τη συμβατική τεχνολογία του υδρογόνου.

Σήμερα, το μεγαλύτερο μέρος του υδρογόνου που παράγεται είναι από απολιθωμένα καύσιμα και χρησιμοποιείται πρώτιστα για τις χημικές εφαρμογές. Θεωρείται ότι οι μελλοντικές εφαρμογές θα περιλάβουν το υδρογόνο σαν ενεργειακό μεταφορέα. Όπως τα απολιθωμένα καύσιμα μειώνονται γρήγορα, η μακροπρόθεσμη ικανότητα υποστήριξης θα εξαρτηθεί από την παραγωγή του υδρογόνου από τις απολιθωμένες πηγές ενέργειας. Σε αυτήν την περίπτωση, η βιομάζα χρησιμοποιείται ως ανανεώσιμη πηγή υδρογονανθράκων για τον ανεφοδιασμό του αερίου καύσιμου.

Η οξειδοαναγωγική τεχνολογία, αναπτύχθηκε στα τέλη του 19ου και στις αρχές του 20ού αιώνα, για την παραγωγή του υδρογόνου και του αζώτου από τον άνθρακα. Η τεχνολογία βασίστηκε στην κυκλική μείωση και την οξείδωση των οξειδίων σιδήρου. Στο πρώτο στάδιο, το μεταλλικό οξείδιο μειώθηκε χρησιμοποιώντας το αέριο καύσιμο (σχήμα 8). Το υλικό ξαναοξειδώθηκε έπειτα σε ένα δεύτερο στάδιο μέσω του ατμού (για την παραγωγή υδρογόνου) είτε μέσω του αέρα(για την παραγωγή αζώτου).



Σχήμα 8: Διάγραμμα οξειδοαναγωγικής διαδικασίας για παραγωγή υδρογόνου

Η ανάπτυξη της οξειδοαναγωγικής τεχνολογίας εγκαταλείφθηκε τελικά όπως και άλλες τεχνολογίες όπως η προσρόφηση της πίεσης ταλάντωσης (PSA) ενώ άρχισε να εξουσιάζει ο κρυογόνος διαχωρισμός.

Τα τελευταία χρόνια υπάρχει μεγάλο ενδιαφέρον για την ανάπτυξη της οξειδοαναγωγικής διαδικασίας. Οι βασικές απαιτήσεις για την εμπορική επιτυχία είναι η υψηλή αποδοτικότητα και οι χαμηλές δαπάνες. Κατά προτίμηση η αποδοτικότητα να είναι μεγαλύτερη ή ίση με την αποδοτικότητα που λαμβάνεται από τις πρότυπες τεχνολογίες υδρογόνου όπως η PSA.

3.4 ΟΙ ΕΝΕΡΓΕΙΕΣ ΤΗΣ ΘΑΛΑΣΣΑΣ



Η θάλασσα, που είναι μια από τις ανεξάντλητες πηγές ενέργειας, παρέχει τρεις τομείς ενεργειακής εκμετάλλευσης:

- Τη θερμική ενέργεια των ωκεανών
- Την ενέργεια των κυμάτων
- Την ενέργεια των παλιρροιών

3.4.1 ΘΕΡΜΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΤΩΝ ΩΚΕΑΝΩΝ

Η ωκεάνια θερμική ενεργειακή μετατροπή χρησιμοποιεί την ηλιακή ενέργεια που αποθηκεύεται στην επιφάνεια των υδάτων των τροπικών ωκεανών και είναι βασισμένη στην αρχή ότι η ενέργεια μπορεί να εξαχθεί με τη σύνδεση δυο υδραγωγείων, διαφορετικών θερμοκρασιών. Η ακτινοβολία θερμαίνει το νερό σε πολλές περιοχές των ωκεανών σε βάθος από 50 έως 100 μέτρα δίνοντας θερμοκρασία 270°C έως 300°C , αλλά ακόμη και σε βάθος 1000 μέτρα οι σειρές θερμοκρασίας είναι από 30°C έως 60°C . Κατά συνέπεια μια χαρακτηριστική διαφορά θερμοκρασίας 294°C έως 300°C είναι διαθέσιμες 24 ώρες ανά ημέρα, και 365 μέρες το χρόνο για την ηλεκτρική παραγωγή.

Επιπλέον σε κάποια κατάλληλα μέρη θεωρείται μια ιδανική μέθοδος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας προκειμένου να εφοδιαστούν οι απομονωμένες ακτές και τα μακρινά νησιά που δε συνδέονται με ένα μεγάλης κλίμακας πλέγμα ηλεκτρικής ενέργειας μέσω υποβρυχίου καλωδίου. Σε μέρη όπου τέτοια άμεση μετάδοση ηλεκτρικής ενέργειας δεν είναι δυνατή, η ηλεκτρική ενέργεια μπορεί να εκμεταλλευθεί από ένα εργοστάσιο που παράγει χημικές ουσίες και καύσιμα, παραδείγματος χάριν υδρογόνο με ηλεκτρόλυση. Επομένως αντιπροσωπεύει μια ιδανική τεχνολογία για την παραγωγή υδρογόνου. Αν και έχουν γίνει κάποιες

σημαντικές προσπάθειες σχετικά με την ανάπτυξη τεχνολογιών της ωκεάνιας-θερμικής ενέργειας ή και ακόμη εν εξελίξει (στις Η.Π.Α. και την Ιαπωνία), εμπορικές εγκαταστάσεις δεν υπάρχουν ακόμα. Όσον αφορά τη διείσδυση στην αγορά, θεωρείται πλέον πιθανό ότι οι επίγειες εγκαταστάσεις ακτών θα έχουν μια ικανότητα που θα κυμαίνεται στη χαμηλότερη περίπτωση περίπου στα 15 MW. Μακροπρόθεσμα, η παραγωγή υδρογόνου (και της μεθανόλης) για καύσιμα μεταφορών μπορούν να αποδειχθούν οικονομικά εφικτές και θα μπορούσαν να αυξήσουν αυτή την ικανότητα .

3.4.2 Η ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΤΩΝ ΚΥΜΑΤΩΝ

Η παραγωγή ενέργειας από τα κύματα που δημιουργούνται από την επίδραση του ανέμου στην επιφάνεια της θάλασσας, έχει σαν κύριο πρόβλημα την εύρεση κατάλληλου μηχανισμού για να γίνει κατορθωτή η εκμετάλλευση της ενέργειας αυτής.

Οι μηχανισμοί που χρησιμοποιήθηκαν μέχρι σήμερα είχαν μικρή παραγόμενη ισχύ. Αυτοί που προτάθηκαν ή που χρησιμοποιήθηκαν μπορούν να χωριστούν σε δύο κατηγορίες:

- Στους μηχανισμούς που λειτουργούν κάτω από την επιφάνεια της θάλασσας και
- σε αυτούς που λειτουργούν στην επιφάνεια της θάλασσας.

Οι σπουδαιότεροι μηχανισμοί που λειτουργούν κάτω από την επιφάνεια της θάλασσας είναι :

- μηχανισμός Dam – attol και
- Ο Αγγλικός Μηχανισμός

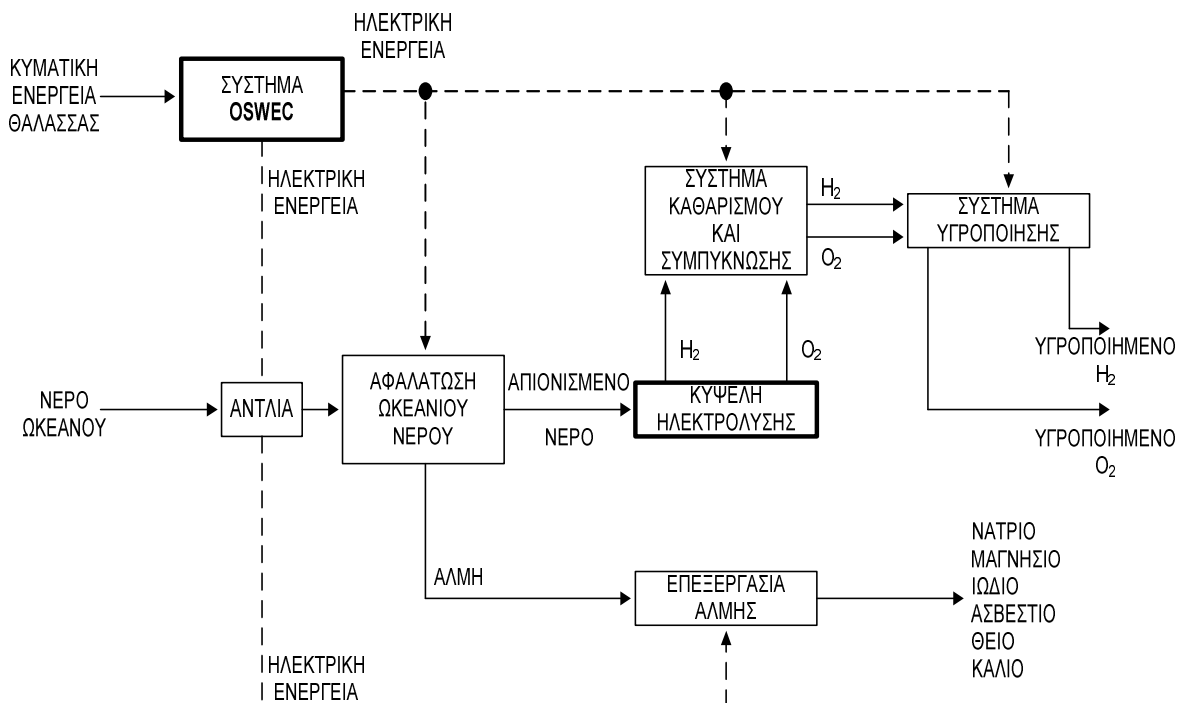
Η θεωρητική ενεργειακή δυνατότητα των κυμάτων γύρω από τις ακτές των ωκεανών υπολογίζεται ότι είναι περισσότερη από 2 TW. Αυτός ο τύπος ενέργειας εξαρτάται πάρα πολύ από τον αέρα και επομένως είναι μια ιδιαίτερα κυμαινόμενη πηγή ενέργειας. Αν και οι ισχυρότεροι άνεμοι εμφανίζονται συνήθως το χειμώνα και επομένως συμπίπτουν με την υψηλότερη ενεργειακή ζήτηση, που είναι τον χειμώνα, για να εξισωθούν οι διαφορές της ζήτησης πρέπει να παραχθεί ένα σύστημα αποθήκευσης.

Η εκμετάλλευση της Βόρειας Θάλασσας ως πηγή ενέργειας για την παραγωγή υδρογόνου φαίνεται να είναι τεχνικά αλλά και εμπορικά εφικτή. Οι διάφορες τεχνικές έννοιες για τη χρησιμοποίηση της δύναμης κυμάτων υπάρχουν. Μερικές από αυτές είναι: ανυψωτικές συσκευές επιπλεόντων σωμάτων, συσκευές ρίψης που ακολουθούν τα περιγράμματα των κυμάτων, εύκαμπτες συσκευές (ανύψωσης και ρίψης με μια εσωκλειόμενη ταλαντευόμενη υδάτινη στήλη που αντλούν τον αέρα) και συσκευές εστίασης ή συσκευές κύματος.

3.4.3 ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΩΚΕΑΝΙΟΥ ΥΔΡΟΓΟΝΟΥ

Οι περισσότερες υπάρχουσες και πιθανές διαστημικές εγκαταστάσεις προώθησης βρίσκονται δίπλα στους ωκεανούς. Αυτοί οι ωκεανοί μπορούν να παρέχουν αμφοτέρωθεν την απαραίτητη ενέργεια και το υλικό για την παραγωγή υδρογόνου. Ένα σύστημα έχει σχεδιαστεί για να παράγει το υδρογόνο και το οξυγόνο από τον ωκεανό δίπλα στο διαστημικό κέντρο του Kennedy. Τα συστήματα αυτά χρησιμοποιούν την ενέργεια των κυμάτων του ωκεανού ως πηγή ενέργειας για την ηλεκτρόλυση. Η παραγωγή του υδρογόνου και του οξυγόνου εκτελείται στην ακτή και διοχετεύεται με σωλήνες άμεσα στη δυνατότητα έναρξης. Κατά συνέπεια, το διπλό κόστος της μεταφοράς, και ο έμφυτος κίνδυνος που συνδέεται με την χερσαία μεταφορά, αποβάλλονται ουσιαστικά. Το ενεργειακό κόστος του υδρογόνου και του οξυγόνου μειώνεται από την άμεση μετατροπή της ενέργειας του ωκεανού σε ηλεκτρική ενέργεια για την διαδικασία ηλεκτρόλυσης.

Στο παρακάτω σχήμα παρουσιάζεται ένα διάγραμμα φραγμών που συνδυάζει το σύστημα OSWEC με την διαδικασία της ηλεκτρόλυσης για την παραγωγή υδρογόνου χαμηλότερου κόστους. Το σύστημα OSWEC μετατρέπει την ενέργεια του φουσκωμένου (παλίρροια) ωκεανού στην χρήσιμη ηλεκτρική ενέργεια, η οποία διανέμεται στις διάφορες διαδικασίες γενικής παραγωγής υδρογόνου. Αυτό το σχήμα επεξηγεί επίσης την προστιθέμενη χρησιμοποίηση του θαλάσσιου νερού, δεδομένου ότι άλλες χρήσιμες χημικές ουσίες μπορούν να αποκτηθούν από αυτό. Τα σημαντικότερα στοιχεία που μπορούν να εξαχθούν για την εμπορική χρήση είναι: χλώριο, νάτριο, μαγνήσιο, θείο, ασβέστιο, κάλιο, άνθρακας και βρώμιο.



Μπλόκ διάγραμμα συνδιασμού OSWEC – ΗΛΕΚΤΡΟΛΥΣΗΣ για παραγωγή υδρογόνου.

Ο στόχος της έρευνας υδρογόνου είναι να μειώσει τελικά το κόστος παραγωγής του, το οποίο για την διαδικασία της ηλεκτρόλυσης είναι το κόστος της ηλεκτρικής ενέργειας που καταναλώνεται.

Το σύστημα OSWEC παρέχει πραγματικά ποσά, ικανοποιητικά μη ρυπαντικής ηλεκτρικής ενέργειας των ωκεανών, όπου αυτές οι ενέργειες είναι σημαντικά φθηνότερες από κάθε πυρηνική ή βασισμένη στο λάδι, ηλεκτρική ενέργεια. Με την χρησιμοποίηση της φτηνής ενέργειας από το σύστημα OSWEC για την ηλεκτρόλυση του νερού, το κόστος του παραγόμενου υδρογόνου θα είναι επίσης σημαντικά μειωμένο. Το διαστημικό κέντρο του Kennedy με το ωκεάνιο υδρογόνο που έχει ουσιαστικά ανάγκη καθιστούν ιδανικό τον συνδυασμό ενός τέτοιου συστήματος.

Τελικά η χρησιμοποίηση του συστήματος OSWEC με την ηλεκτρόλυση του ύδατος για να δημιουργηθεί το υδρογόνο και το οξυγόνο είναι οικονομικά εφικτή και είναι η μέθοδος χαμηλότερου κινδύνου των παρεχόμενων καυσίμων για τα μελλοντικά οχήματα.

3.5 ΜΕΤΑΤΡΟΠΗ ΤΩΝ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΩΝ ΠΗΓΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Πιο κοντά στη συμβατική οικονομική βιωσιμότητα είναι προς το παρόν η ενέργεια που μπορεί να παραχθεί από το νερό και η αιολική ενέργεια. Ο αριθμός μεθόδων μετατροπής βιομαζών είναι αρκετός αλλά αποδοτικά μικρός έτσι ώστε να κατευθύνει την οικονομική βιωσιμότητα και το συνυπολογισμό των έμμεσων οικονομικών κοστών για να τις καταστήσει αποδεκτές. Αυτό ισχύει για τις εγκαταστάσεις βιοαερίων, ιδιαίτερα ως μια κοινοτική κλίμακα και ως τμήμα των γενικών διοικητικών σχεδίων των αποβλήτων.

Τα σχέδια αεριοποίησης που ακολουθούνται για το υδρογόνο ή την υγρή παραγωγή βιολογικών καυσίμων γίνονται επίσης πραγματικότητα εξαρτώμενα από την αξιολόγηση που τα καθιστά βιώσιμα στα ενεργειακά συστήματα. Χωρίς εκτιμήσεις των έμμεσων οικονομικών αποτελεσμάτων, τέτοια σχέδια δεν είναι αυτή τη περίοδο βιώσιμα, όπως καταδεικνύονται από τις προσπάθειες να παραχθούν τα αεριώδη και υγρά καύσιμα από τις συγκομιδές άνθρακα και ζάχαρης. Ολόκληρος ο τομέας της βιοενέργειας χρειάζεται μια ριζική αναδόμηση εάν οι σύγχρονες τάσεις εκτιμήσουν την υψηλή ποιότητα τροφίμων και συνεχίσουν να τις διαδίδουν στις περιοχές που είναι όχι αυτή τη περίοδο ενδιαφερόμενες.

Για την ηλιακή ηλεκτρική ενέργεια η κατάσταση είναι διαφορετική, δεδομένου ότι οι τρέχουσες δαπάνες είναι πάρα πολύ υψηλές ακόμη και με τη γενναιόδωρη εκτίμηση των έμμεσων δαπανών. Εντούτοις, η τεχνική ανάπτυξη είναι γρήγορη σε αυτό το τομέα και οι λύσεις που είναι υπό ανάπτυξη μπορούν να φέρουν ελκυστικές λύσεις μέσα στην επόμενη δεκαετία. Επιπλέον υπάρχει ένα πλήθος νέων τεχνικών για την ηλιακή ενέργεια που θα μπορούσε να διαδραματίσει έναν αποφασιστικό ρόλο στο μέλλον. Προπάντων μια προσέγγιση του κύκλου της ζωής στην οικονομική αξιολόγηση θα κάνει αποδοτική και ελκυστικότερη την χρήση της ενέργειας και αυτό θα βελτιώσει γενικά τους όρους για όλους τους τύπους ανανεώσιμης ενέργειας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

4.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΙΣ ΚΥΨΕΛΕΣ ΚΑΥΣΙΜΟΥ

Οι κυψέλες καυσίμου μπορούν να χαρακτηριστούν ως 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 και η έρευνα για τη βελτίωση των αποδόσεων της γίνεται κυρίως σε αυτόν τον τομέα, τομέας εξορισμού μελετώμενος στην κλίμακα του ναυομέτρου.

Η κυψέλη καυσίμου αποτελεί ένα μηχανισμό για την ηλεκτροχημική μετατροπή της ενέργειας μετατρέποντας το υδρογόνο και το οξυγόνο σε νερό, παράγοντας ταυτόχρονα με τη διαδικασία αυτή, ηλεκτρισμό και θερμότητα. Ο ηλεκτρισμός παράγεται με τη μορφή συνεχούς ρεύματος.

Οι κυψέλες καυσίμου αποτελούνται από δυο ηλεκτρόδια (την άνοδο και την κάθοδο), τα οποία διαχωρίζονται από έναν ηλεκτρολύτη. Ο ηλεκτρολύτης είναι από πολυμερές ή άλλο υλικό, το οποίο επιτρέπει την διέλευση ιόντων, αλλά όχι τη διέλευση των ηλεκτρονίων. Ένα καύσιμο που περιέχει υδρογόνο (π.χ. φυσικό αέριο) εισάγεται από την πλευρά της ανόδου, όπου τα ηλεκτρόνια του υδρογόνου ελευθερώνονται και κινούνται σε ένα εξωτερικό κύκλωμα δίδοντας ηλεκτρικό ρεύμα. Τα θετικά φορτισμένα ιόντα υδρογόνου διαπερνούν τον ηλεκτρολύτη και φτάνουν στην κάθοδο, όπου ενώνονται με τα ελεύθερα ηλεκτρόνια και το οξυγόνο, παράγοντας νερό. Για να επιταχυνθεί η διαδικασία του ιονισμού του υδρογόνου χρησιμοποιείται ένας καταλύτης υψηλής αγωγιμότητας στα ηλεκτρόδια (π.χ. πλατίνα). Όταν το καύσιμο που χρησιμοποιείται είναι καθαρό υδρογόνο, τα μόνα παράγωγα της διεργασίας αυτής είναι ηλεκτρικό ρεύμα, καθαρό νερό και θερμότητα.

Οι διάφοροι τύποι κυψελών καυσίμου χαρακτηρίζονται από τον ηλεκτρολύτη που χρησιμοποιούν και είναι:

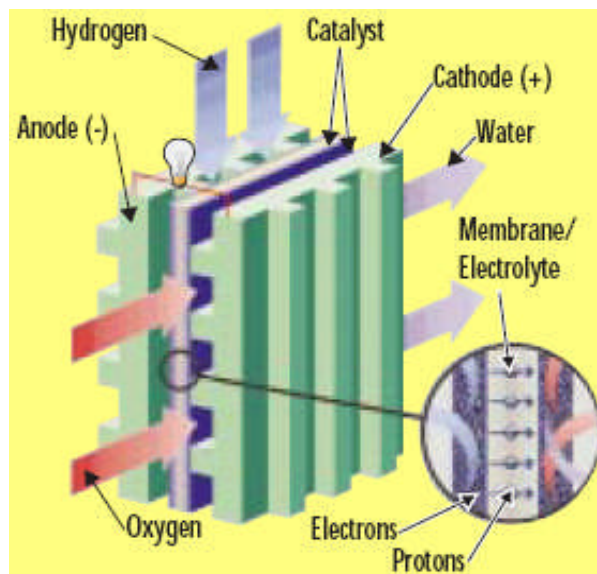
- PAFC – Φωσφορικό οξύ
- PEMFC – Μεμβράνη ανταλλαγής πρωτονίων
- MCFC – Τηγμένα ανθρακικά άλατα
- SOFC – Στερεά οξειδία
- DMFC – Μεθανόλη

Το επιθυμητό καύσιμο είναι καθαρό υδρογόνο, που μπορεί όμως να παραχθεί και από κάποιο άλλο καύσιμο, φορέα υδρογόνου, μετά από κατάλληλη επεξεργασία. Τέτοιοι φορείς είναι η αμμωνία, το φυσικό αέριο, παράγωγα του πετρελαίου, το υγρό προπάνιο και η βιομάζα. Καθαρό υδρογόνο μπορεί επίσης να παραχθεί με την ηλεκτρόλυση νερού, η οποία όταν επιτυγχάνεται με ανανεώσιμες πηγές ενέργειας όπως ηλιακή, αιολική και γεωθερμία. Αυτή τη στιγμή το καταλληλότερο καύσιμο για τις κυψέλες καυσίμου είναι το φυσικό αέριο.

4.2 ΑΡΧΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΚΥΨΕΛΗΣ ΚΑΥΣΙΜΟΥ

Οι κυψέλες καυσίμου μπορούν να ταξινομηθούν βάση 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 κύρια μέρη:



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.

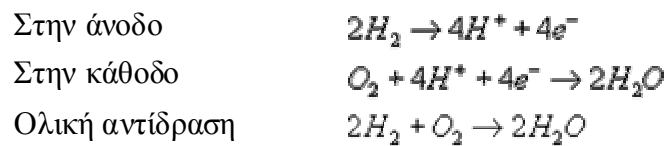
Το υδρογόνο τροφοδοτεί την άνοδο της κυψέλης, το αρνητικό ηλεκτρόδιο, το οποίο ερχόμενο σε επαφή με τον καταλύτη διαχωρίζεται σε θετικά φορτισμένα ιόντα υδρογόνου και ηλεκτρόνια. Η άνοδος και ο καταλύτης είναι τέτοιας κατασκευής ώστε η διάχυση των ατόμων του υδρογόνου να γίνεται με ομογενή τρόπο. Τα 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).

4.3 ΤΥΠΟΙ ΚΥΨΕΛΩΝ ΚΑΥΣΙΜΟΥ

4.3.1. ΚΥΨΕΛΗ ΚΑΥΣΙΜΟΥ ΦΩΣΦΟΡΙΚΟΥ ΟΞΕΟΣ (PAFC)

Οι κυψέλες φωσφορικού οξέος (phosphoric - acid fuel cells , PAFC) είναι οι περισσότερο εμπορικά διαδεδομένες. 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 κυψελών 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 κυψελών καυσίμου. Οι ηλεκτροχημικές αντιδράσεις που χαρακτηρίζουν αυτόν τον τύπο είναι ίδιες με αυτής της PEM κυψέλης.

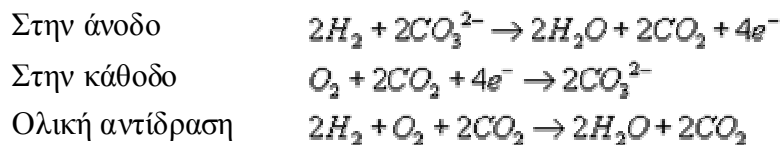
4.3.2 ΚΥΨΕΛΗ ΚΑΥΣΙΜΟΥ ΠΟΛΥΜΕΡΙΣΜΕΝΗΣ ΜΕΜΒΡΑΝΗΣ (PEM)

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.

4.3.3 ΚΥΨΕΛΗ ΚΑΥΣΙΜΟΥ ΤΗΓΜΕΝΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ (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 CO₂ παράγεται στην άνοδο και καταναλώνεται στην κάθοδο)

4.3.4 ΚΥΨΕΛΗ ΚΑΥΣΙΜΟΥ ΣΤΕΡΕΟΥ ΟΞΕΙΔΙΟΥ (SOFC)

Ο συγκεκριμένος τύπος κυψελών (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



4.3.5 ΚΥΨΕΛΗ ΚΑΥΣΙΜΟΥ ΜΕΘΑΝΟΛΗΣ (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.

4.4 ΑΠΟΔΟΣΗ ΚΥΨΕΛΩΝ ΚΑΥΣΙΜΟΥ

4.4.1 ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ

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 καύσης, 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 μηχανικό 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.

4.4.2 ΠΡΑΚΤΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ

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.

4.5 ΑΝΑΜΟΡΦΩΤΕΣ

4.5.1 ΡΟΛΟΣ ΑΝΑΜΟΡΦΩΤΩΝ

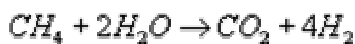
Οι κυψέλες καυσίμου βασίζονται στο υδρογόνο. Ωστόσο οποιοδήποτε υλικό το οποίο περιέχει υδρογόνο μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως καύσιμο, όπως η μεθανόλη, η αιθανόλη, το φυσικό αέριο, παράγωγα του πετρελαίου, υγρό προπάνιο κτλ. Μέσω της διαδικασίας της αναμόρφωσης (reforming) επιτυγχάνεται η παραγωγή υδρογόνου από τα υλικά αυτά και κατά αυτό τον τρόπο γίνεται εφικτή η χρήση του σε εφαρμογές όπως η κίνηση ενός οχήματος χωρίς να είναι απαραίτητη αποθήκευση του αυτού καθ' αυτού.

Οι αναμορφωτές φαίνεται να είναι αναγκαίοι αφού προς το παρόν δεν υπάρχει οργανωμένη υποδομή για την παράδοση υδρογόνου ενώ δεν υπάρχουν επίσης και αποτελεσματικοί τρόποι για την αποθήκευση του ώστε να επιτευχθεί η άμεση χρήση του.

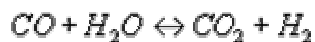
Η αναμόρφωση μπορεί να λάβει χώρα σε μεγάλη, μεσαία ή μικρή κλίμακα. Παράδειγμα της πρώτης είναι η παραγωγή του υδρογόνου σε υγρή μορφή ύστερα από επεξεργασία των καυσίμων σε μεγάλα εργοστάσια παραγωγής. Παράδειγμα της δεύτερης αποτελούν οι ήδη υπάρχοντες σταθμοί ανεφοδιασμού. Τέλος αναμόρφωση μπορεί να γίνει τοπικά με την άμεση τροφοδότηση μιας κυψέλης καυσίμου από τον αναμορφωτή όπως για παράδειγμα σε ένα όχημα το οποίο τροφοδοτείται αρχικά με συμβατική βενζίνη την οποία μετατρέπει σε υδρογόνο προς χρήση στην κυψελίδα καυσίμου. Υπάρχουν διάφοροι μέθοδοι αναμόρφωσης τις οποίες θα εξετάσουμε παρακάτω.

4.5.2 ΕΝΔΟΘΕΡΜΗ ΑΝΑΜΟΡΦΩΣΗ ΑΤΜΟΥ

Μία μέθοδος αναμόρφωσης είναι η λεγόμενη ενδόθερμη αναμόρφωση ατμού (*endothermic steam reforming*) η οποία συνδυάζει τα καύσιμα αυτά με ατμό εξεταμίζοντας τα σε υψηλές θερμοκρασίες (της τάξεως των 760 °C). Το υδρογόνο τότε απομακρύνεται με τη βοήθεια ειδικών μεμβρανών. Αναφερθήκαμε ήδη σε αυτή εμμέσως μιλώντας για επεξεργασία φυσικού αερίου κατά την παρουσίαση μεθόδων παραγωγής υδρογόνου. Κατά αυτήν οι παρακάτω αντιδράσεις λαμβάνουν χώρα:



Στην περίπτωση κυψέλων οι οποίες λειτουργούν σε υψηλές θερμοκρασίες όπως οι MCFC και SOFC , τις οποίες είδαμε παραπάνω, το CO το οποίο ήδη περιέχεται στο καύσιμο ή παράγεται μπορεί να χρησιμοποιηθεί άμεσα ως καύσιμο αν και είναι επίσης δυνατό να μετατραπεί σε υδρογόνο μέσω μιας δεύτερης αντίδρασης απομακρύνσεως νερού (*water shift gas reaction* , WSG):



Το κύριο μειονέκτημα της μεθόδου αυτής είναι ότι είναι, καθώς καταδεικνύει και το όνομα της, ενδόθερμη πράγμα το οποίο σημαίνει ότι πρέπει να καταναλωθεί ενέργεια. Επιπλέον μειονέκτημα είναι ότι το CO δρα σαν δηλητήριο στους καταλύτες των κυψέλων χαμηλής θερμοκρασίας ακόμα και αν αυτό μετατραπεί επίσης σε υδρογόνο αφού η τελευταία αντίδραση είναι αμφίδρομη, αφήνοντας 0,5 με 1% υπόλειμμα CO . Η ίδια μέθοδος μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη μετατροπή αλκοολών όπως η μεθανόλη. Αυτή η μετατροπή μπορεί να γίνει με δύο δρόμους όπως περιγράφουν οι παρακάτω αντιδράσεις:

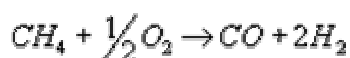




Η αναμόρφωση της μεθανόλης έχει το πλεονέκτημα ότι απαιτεί χαμηλότερες θερμοκρασίες, της τάξεως των 300°C.

4.5.3 ΕΞΩΘΕΡΜΗ ΜΕΡΙΚΗ ΟΞΕΙΔΩΣΗ

Η μερική οξείδωση (partial oxidation) χρησιμοποιείται για τη μετατροπή του μεθανίου και των υψηλών υδρογονανθράκων αλλά σπάνια για αλκοόλες. Η αντίδραση τέτοιων ενώσεων με οξυγόνο μας δίνει προϊόν υδρογόνο όπως φαίνεται και στην αντίδραση:



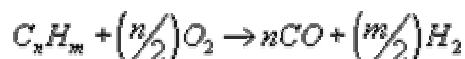
ή στη γενικότερη



Η απόδοση της είναι μικρότερη από την ενδόθερμη αναμόρφωση ατμού για το ίδιο ποσό καυσίμου αλλά το σημαντικό πλεονέκτημα είναι το ότι πρόκειται για εξώθερμη αντίδραση κι επομένως απαιτεί μικρή ποσότητα θερμότητας για να αρχίσει η αντίδραση. Ως προϊόν μπορεί εκτός από CO να παραχθεί και CO₂ τα οποία συμβάλλουν στη μόλυνση του περιβάλλοντος. Από την άλλη μεριά, οι ρύποι από οξείδια του αζώτου και θείου που παράγονται σήμερα είναι αρκετά πιο επιβλαβής ενώ οι κυψέλες καυσίμου τους μηδενίζουν. Η μερική οξείδωση είναι η μέθοδος η οποία χρησιμοποιείται όταν υπάρχει αφθονία πετρελαίου.

4.5.4 ΑΥΤΟΘΕΡΜΙΚΗ ΑΝΑΜΟΡΦΩΣΗ

Συνδυάζοντας την ενδόθερμη αναμόρφωση ατμού με την εξώθερμη αντίδραση μερικής οξείδωσης καταφέρνουμε να εκμεταλλευτούμε το ποσό θερμότητας που παράγεται από τη δεύτερη με τέτοιο τρόπο ώστε να τροφοδοτηθεί η πρώτη. Η συγκεκριμένη μέθοδος (autothermal reforming) έχει υψηλή απόδοση και χαρακτηρίζεται από γρήγορη εκκίνηση. Περιγράφεται από τις γενικές αντιδράσεις



και



4.5.5 ΑΠΟΜΑΚΡΥΝΣΗ ΜΟΝΟΞΕΙΔΙΟΥ ΤΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ

Σε χαμηλές θερμοκρασίες, όπως στις PEM κυψέλες καυσίμων, το μονοξείδιο του άνθρακα το οποίο παράγεται όπως είδαμε παραπάνω πρέπει να απομακρυνθεί προτού διοχετευτεί το υδρογόνο στην κυψέλη καυσίμου.

Ένας τρόπος για να γίνει αυτό είναι να αφαιρεθεί το μονοξείδιο του άνθρακα με τη βοήθεια μίας μεμβράνης παλλαδίου ή κράματος παλλαδίου (Carbon Monoxide Removal). Αυτές η μεμβράνες επιτρέπουν τη διέλευση μόνο μορίων υδρογόνου και όχι άλλης ένωσης. Το μειονέκτημα αυτής της μεθόδου είναι ότι η μεμβράνη οφείλει να είναι αρκετά ανθεκτική στις υψηλές πιέσεις κάτω από τις οποίες διοχετεύεται ο ατμός προς αυτήν.

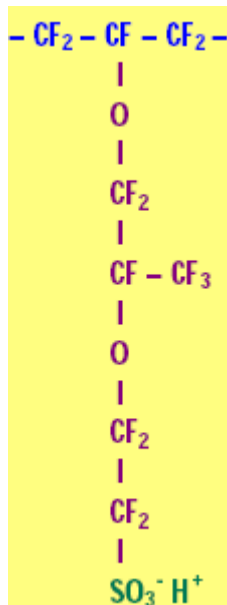
Δεύτερο τρόπο αποτελεί η αφαίρεση του μονοξειδίου το άνθρακα με τη χρήση ανάλογων καταλυτών το οποίο οξειδώνει το μονοξείδιο ενώ αφήνει το υδρογόνο ανεπηρέαστο, διαδικασία η οποία μπορεί να φτάσει απόδοση ακόμα και 100% σε χαμηλές θερμοκρασίες. Αυτή η μέθοδος μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως επιπλέον στάδιο μετά τη πρώτη, τον καθαρισμό δηλαδή του ατμού με τη βοήθεια μεμβράνης παλλαδίου.

4.6 ΑΝΑΛΥΤΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΚΥΨΕΛΗΣ PEM

1. ΜΕΜΒΡΑΝΗ ΚΥΨΕΛΗΣ

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.

Μίας ομάδας, παρόμοιας δομής με αυτή του Teflon (πολυτετραφθοροαιθυλένιο), με εκατοντάδες επαναλαμβανόμενες μονάδες τύπου $-CF_2 - CF - CF_2$. Μίας δεύτερης, τύπου $-O - CF_2 - CF - O - CF_2 - CF_2 -$ 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 $\text{H}(\text{H}_2\text{O})_n^+$, 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.

2. ΗΛΕΚΤΡΟΔΙΑ ΚΥΨΕΛΗΣ

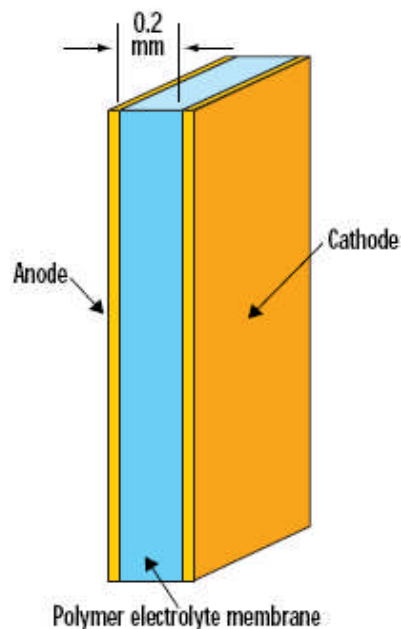
Τα ηλεκτρόδια της κυψέλης αποτελούν πολύπλοκες νανοδομές και περιέχουν καταλύτη, πόρους και ηλεκτρικά αγώγιμα υλικά. Όλες οι ηλεκτροχημικές αντιδράσεις που λαμβάνουν χώρα σε μία κυψέλη καυσίμου αποτελούνται από δύο επιμέρους ημι-αντιδράσεις. Την οξείδωση (oxidation) του υδρογόνου η οποία πραγματοποιείται 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 αγώγιμης 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 H_2O_2 (OH - OH)

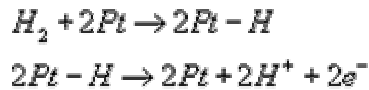


Ηλεκτρόδια κυψέλης PEM

3. ΚΑΤΑΛΥΤΗΣ ΚΥΨΕΛΗΣ

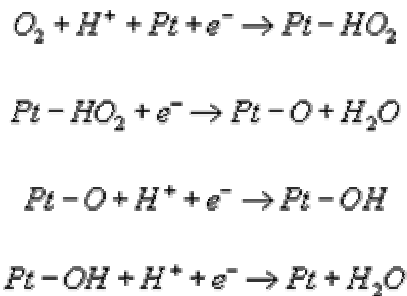
Οι δύο ημιαντιδράσεις, η οξείδωση δηλαδή του υδρογόνου και η αναγωγή του οξυγόνου, χαρακτηρίζονται από χαμηλές ταχύτητες στις χαμηλές θερμοκρασίες όπου λειτουργεί μια PEM κυψέλη καυσίμου και αυτό είναι που κάνει απαραίτητη την παρουσία καταλύτη. Ο καταλύτης όπου έχει μελετηθεί περισσότερο μέχρι στιγμής 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 σωματάρια 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 σωματάρια βρίσκονται διεσπαρμένα πάνω σε άλλα μεγαλύτερα σωματάρια 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 αξιόλογης 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. ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΝΕΡΟΥ

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.

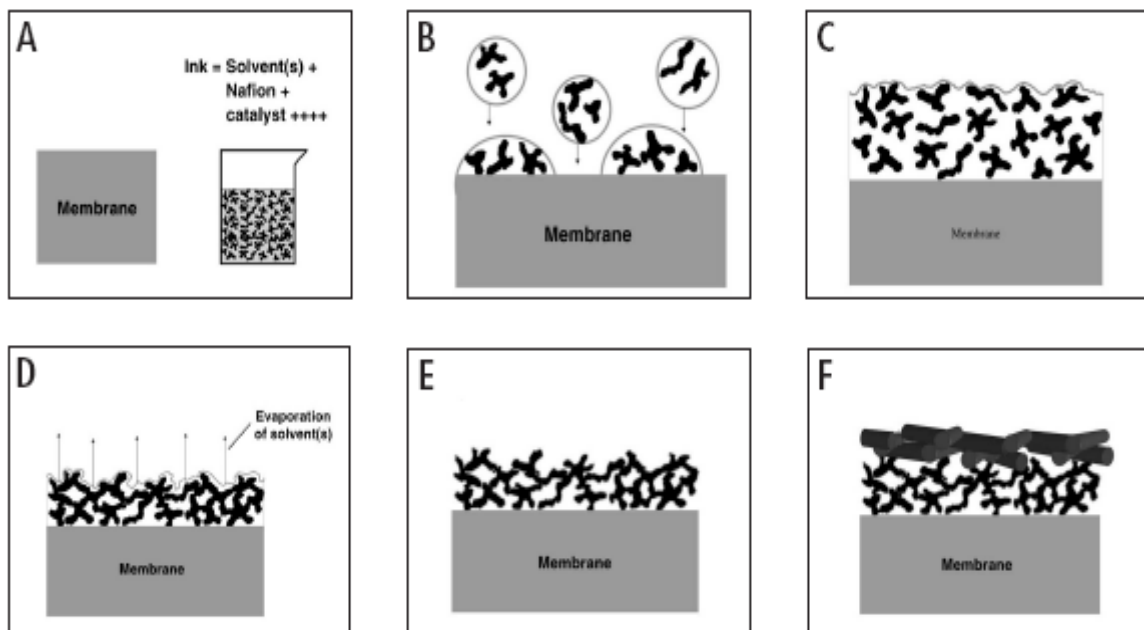
Ωστόσο, προσοχή πρέπει να δοθεί στο ποσό του νερού αυτού αφού λιγότερη από τη ιδανική ποσότητα επηρεάζει αρνητικά την ιοντική αγωγιμότητα της μεμβράνης με αποτέλεσμα τη μείωση του αποδιδόμενου ρεύματος. Αν ο ρυθμός με τον οποίο ο αέρας εισέρχεται στην κυψέλη είναι αργός τότε το νερό το οποίο παράγεται 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.

5. ΣΥΣΤΗΜΑ ΜΕΜΒΡΑΝΗΣ - ΗΛΕΚΤΡΟΔΙΟΥ

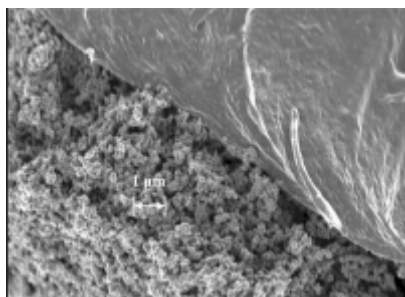
Ο συνδυασμός ανόδου, μεμβράνης και καθόδου αναφέρεται ως σύστημα μεμβράνης - ηλεκτροδίου (membrane / electrode assembly , MEA). Η κατασκευή μίας MEA γίνεται με διάφορους τρόπους. Ένας τυπικός τρόπος κατασκευής περιγράφεται παρακάτω.

Σε πρώτη φάση προετοιμάζεται ένα μεγάλης περιεκτικότητας διάλυμα σε Nafion και καταλύτη σε πτητικό διαλύτη (A). Το διάλυμα αυτό εναποτίθεται πάνω στη μεμβράνη (B) κι έτσι έχουμε το σχηματισμό ενός λεπτού υμενίου πάνω σε αυτή (C). Στη συνέχεια ο διαλύτης εξατμίζεται (D) δημιουργώντας πόρους και στη μεμβράνη τώρα βρίσκεται ένα στεγνό πορώδες στρώμα ηλεκτροδίου (E). Τέλος, πάνω σε αυτό το στρώμα εφαρμόζεται το στρώμα διαχύσεως αερίου(F) στο οποίο θα αναφερθούμε αναλυτικότερα στην επόμενη παράγραφο.

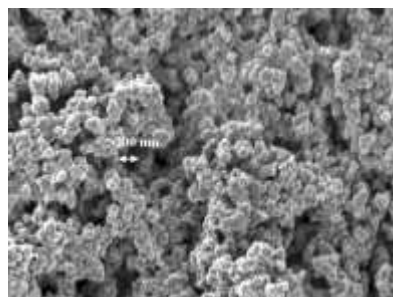


Κατασκευή ενός τυπικού συστήματος μεμβράνης ηλεκτροδίου

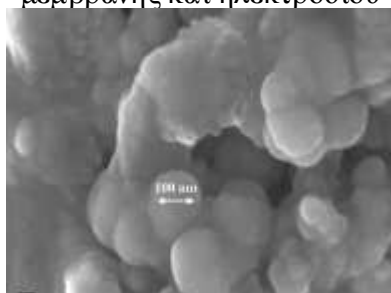
Η παραπάνω διαδικασία έχει ως προϊόν μια νανοδομημένη κατασκευή. Οι παρακάτω εικόνες, παρμένες (διαδοχικά) με τη βοήθεια ηλεκτρονικού μικροσκοπίου τύπου SEM, κάνουν εμφανές τη δομή αυτή.



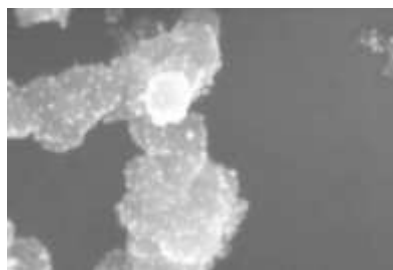
Περιοχή στο σημείο επαφής μεμβράνης και ηλεκτροδίου



Μακροδομή καταλύτη



Μικροδομή καταλύτη



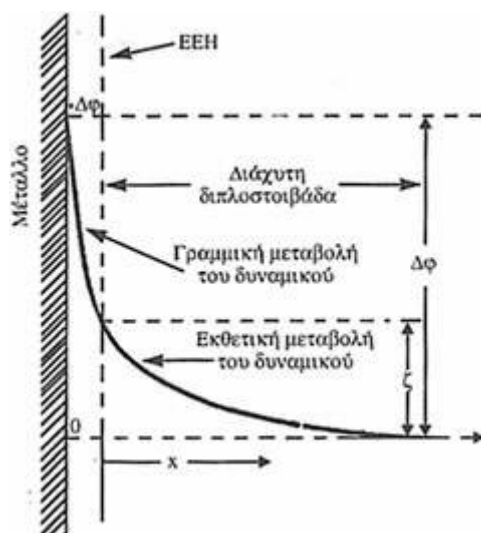
Σε μέγιστη μεγένθυση γίνονται εμφανή τα σωματίδια Pt επί του άνθρακα

Σε αυτό το σημείο θα εξετάσουμε λίγο πιο αναλυτικά τι συμβαίνει στην διεπιφάνεια ηλεκτροδίου - ηλεκτρολύτη. Εφαρμόζοντας τάση σε αυτή εμφανίζεται η λεγόμενη ηλεκτρική διπλοστοιβάδα (electric double layer). Επάνω στην επιφάνεια του μετάλλου υπάρχει στρώμα διπόλων νερού και μη εφυδατωμένων ιόντων. Η περιοχή όπου εμφανίζεται αυτό το στρώμα ονομάζεται επίπεδο Helmholtz . Ακολουθεί στρώμα εφυδατωμένων ιόντων το οποίο ονομάζεται εξωτερικό επίπεδο Helmholtz (EE H). Τέλος, πέρα από το EE H υπάρχει διάχυτη περίσσεια θετικών ή αρνητικών ιόντων, που αντισταθμίζει το συνολικό φορτίο του μετάλλου και του EE H , που ονομάζεται διάχυτη διπλοστοιβάδα ή στοιβάδα διάχυσης.

Η δημιουργία της ηλεκτρικής διπλοστοιβάδας έχει ως αποτέλεσμα την ανάπτυξη διαφοράς δυναμικού μεταξύ των δύο φάσεων που βρίσκονται σε επαφή. Η μεταβολή του δυναμικού $\Delta\phi$ μεταξύ του μετάλλου και της κύριας μάζας του ηλεκτρολύτη με την απόσταση από την επιφάνεια του μετάλλου προς τον ηλεκτρολύτη διακρίνεται σε γραμμικής μεταξύ της επιφάνειας του μετάλλου και του EE H και σε εκθετική μεταξύ του EE H και της κύριας μάζας του διαλύματος. Η τελευταία δίνεται από τη σχέση

$$\Delta\phi_{\text{EEH}} = \zeta e^{-\kappa x}$$

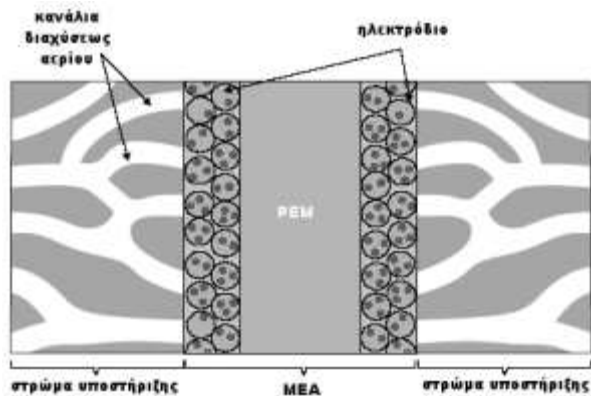
όπου x είναι η απόσταση από το EEH και κ είναι συντελεστής εξαρτώμενος από την ιονική ισχύ του διαλύματος.



Ηλεκτρονική διπλοστοιβάδα

6. ΣΤΡΩΜΑΤΑ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗΣ

Το υλικό το οποίο στηρίζει την ΜΕΑ είναι σχεδιασμένο με τέτοιο τρόπο ώστε να μεγιστοποιεί το ρεύμα το οποίο παράγεται από αυτήν. Τα στρώματα αυτά (backing layers) βρίσκονται υπό μορφή λεπτού στρώματος, το ένα δίπλα στην άνοδο και το άλλο δίπλα στην κάθοδο ενώ είναι συνήθως φτιαγμένα από πορώδη άνθρακα και έχουν πάχος το οποίο κυμαίνεται από 100 έως και 300 μικρά. Το υλικό κατασκευής διαλέγεται έτσι ώστε να άγει το ρεύμα το οποίο εισέρχεται από την άνοδο και εξέρχεται από την κάθοδο.



Την απαίτηση για πορώδη μορφή τη θέτει η ανάγκη για αποτελεσματική διάχυση του κάθε αερίου (καυσίμου ή αέρα) στην ΜΕΑ καθώς αυτό κινείται από την εξωτερική περιοχή προς τη μεμβράνη λόγω διαφοράς συγκεντρώσεως. Για αυτό το λόγο το στρώμα αυτό ονομάζεται και στρώμα διάχυσης αερίου (gas diffusion layer , GDL). Επιπλέον, τα στρώματα υποστήριξης βοηθούν στη σωστή διαχείριση νερού αφήνοντας την κατάλληλη ποσότητα νερού να εισέλθει στη μεμβράνη.

Το μέγεθος των πόρων παίζει καθοριστικό ρόλο στην απόδοση της κυψέλης. Μεγάλου όγκου πόροι βοηθούν στην πιο εύκολη μεταφορά των αερίων αλλά ταυτόχρονα περιορίζεται ο όγκος του αγωγίμου υλικού με αποτέλεσμα την αύξηση της αντίστασης και μείωσης του παραγόμενου ρεύματος. Το αντίστροφο ισχύει για μικρούς πόρους.

7. ΡΟΗ ΑΕΡΙΩΝ ΚΑΙ ΣΥΛΛΟΓΗ ΡΕΥΜΑΤΟΣ

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.

Η 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.

4.7 ΘΕΩΡΗΤΙΚΟΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΜΕΓΙΣΤΗΣ ΤΑΣΗΣ ΚΑΙ ΡΥΘΜΟΥ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ

1. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΑΣΗΣ ΙΔΑΝΙΚΗΣ ΚΥΨΕΛΗΣ ΚΑΥΣΙΜΟΥ

Για τον υπολογισμό της τάσης μιας ιδανικής κυψέλης καυσίμου απαιτείται η γνώση των ενεργειακών διαφορών μεταξύ αντιδρώντων ($H_2 + \frac{1}{2}O_2$) 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 ΔG δίνεται από τη σχέση

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

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 96487joules/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

$$\Delta E = -\left(\frac{-273200J}{2 \cdot 96487J}\right) = 1,23 V$$

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.

2. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΡΥΘΜΟΥ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ

Υποθέτουμε λειτουργία κυψέλης σε πίεση 1 atm, θερμοκρασία 80 °C, με τάση εξόδου κυψέλης $V_{*}=0,7 V$ και παραγόμενο ρεύμα $I=60A$. Τότε έχουμε

Ισχύς θερμότητας = Ολική ισχύς - ισχύς ρεύματος \Rightarrow

$$P_{\theta} = P_{ολ} - P_{\rho} = (V_{\text{ολικη}} I) - (V_{\text{κυψελης}} I)$$

ενώ αντικαθιστώντας βρίσκουμε τελικά ότι για κάθε λεπτό λειτουργίας της κυψέλης παράγεται θερμότητα ίση με 1,7 kJ περίπου.

3. ΣΤΗΛΗ ΚΥΨΕΛΩΝ ΚΑΥΣΙΜΟΥ ΜΕΜΒΡΑΝΗΣ ΠΟΛΥΜΕΡΟΥΣ ΗΛΕΚΤΡΟΛΥΤΗ

Όπως είδαμε η απόδοση μιας κυψέλης καυσίμου δεν είναι 100% κι επομένως η θεωρητική τάση των 1,16 V δε συναντάται. Αντίθετα μια συνηθισμένη τιμή τάσης εξόδου ισούται περίπου με 0,7 V. Ωστόσο επειδή αυτή η τάση είναι μικρή και επομένως ακατάλληλη για τις περισσότερες πιθανές εφαρμογές της, γίνεται χρήση παραπάνω από μιας κυψέλης συνδεδεμένες μεταξύ τους σε σειρά, δημιουργώντας αυτό το οποίο ονομάζουμε στήλη κυψέλης καυσίμου (fuel cell stack). Ανάλογα με τη χρήση όπου προορίζεται η κυψέλη η στήλη μπορεί να αποτελείται από μερικές έως και εκατοντάδες κυψέλες. Ειδικά σε περιπτώσεις όπου απαιτείται εκτός από μεγάλη τάση και μεγάλη ισχύ χρησιμοποιούνται περισσότερες από μία στήλες σε σειρά.

Προκειμένου να μειωθεί ο συνολικός όγκος και βάρος της στήλης γίνεται χρήση αντί δύο πλακών καθορισμού της ροής των αερίων, μίας. Αυτή η πλάκα έχει δύο περιοχές

με κανάλια μεταφοράς, μια σε κάθε μεριά της η οποία αναλαμβάνει τη μεταφορά και διαφορετικού αερίου (υδρογόνου ή αέρα) και ονομάζεται διπολική πλάκα (bipolar plate). Στα άκρα της κυψέλης βρίσκονται δύο απλές πλάκες.

Ιδιαίτερη σημασία δίνεται στο αδιαπέραστο από αέρια της στήλης διότι σε αντίθετη περίπτωση υδρογόνο και αέρας θα ενώνονταν άμεσα χωρίς την παραγωγή εκμεταλλεύσιμου ρεύματος. Η διπολική πλάκα πρέπει επίσης να είναι αγώγιμη ώστε το ρεύμα να μπορεί να κινηθεί από τη μία κυψέλη στην επόμενη.

4. ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΚΥΨΕΛΗΣ ΚΑΥΣΙΜΟΥ ΜΕ ΣΚΕΔΑΣΗ ΝΕΤΡΟΝΙΩΝ

Αναφερθήκαμε ήδη στο σημαντικό ρόλο της σωστής παροχής του νερού για τη λειτουργία της κυψέλης καυσίμου. Η κυψέλη θα πρέπει να μένει ένυδρη σε όλη τη διάρκεια της λειτουργίας της προκειμένου να είναι εφικτή η ιοντική αγωγιμότητα της μεμβράνης, σε βαθμό όμως που να αποφεύγεται το πλημμύρισμα των ηλεκτροδίων. Καθώς οι κυψέλες καυσίμου δεν είναι διαφανείς και η άμεση παρατήρηση της λειτουργίας της δεν είναι δυνατή, θα πρέπει να χρησιμοποιηθεί κάποια τεχνική για να επιτευχθεί αυτό.

Χρησιμοποιώντας νετρόνια μπορούμε να έχουμε εικόνα των εσωτερικών διεργασιών, εκμεταλλευόμενοι το γεγονός ότι τα νετρόνια μπορούν εύκολα να διαπεράσουν τα μέταλλα και παράλληλα να είναι ευαίσθητα στην παρουσία υδρογόνου. Κατά αυτό τον τρόπο ανιχνεύεται η πυκνότητα υδρογόνου -και επομένως η πυκνότητα του νερού- σε κάθε σημείο της κυψέλης με χωρική ανάλυση περίπου 100μm . Βάση αυτής μπορούμε να γνωρίζουμε αν σε κάποιο σημείο της κυψέλης η παροχή νερού δεν είναι η ιδανική κι επομένως μειώνεται η απόδοση της.

4.8 ΤΟ ΜΕΛΛΟΝ ΤΩΝ FUEL CELL

Οι κυψέλες καυσίμων ή αλλιώς fuel cell αποτελούν αυτή τη στιγμή τη σημαντικότερη ενεργειακή πηγή του μέλλοντος γιατί μπορούν να χρησιμοποιηθούν με ποικίλα καύσιμα και μάλιστα με ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Ήδη υπάρχουν αρκετές εφαρμογές όπως σε αυτοκίνητα , κινητά τηλέφωνα, κάμερες , ακόμα και στα διαστημόπλοια , οι οποίες έχουν λύσει σε μεγάλο βαθμό πολλά προβλήματα του ανθρώπου.

Χωρίς αμφιβολία το μεγαλύτερο ποσοστό στη μόλυνση του περιβάλλοντος κατέχει η καύση ορυκτών καυσίμων , ενώ παράλληλα το μεγαλύτερο ποσό ενέργειας προέρχεται από αυτές τις πηγές , που σε μερικές δεκαετίες θα έχουν εξαντληθεί. Επομένως ήταν επιτακτική ανάγκη η αντικατάστασή τους με κάποια πηγή που αφ' ενός δεν θα μολύνει το περιβάλλον και αφετέρου θα μπορεί να παράγει αρκετή ποσότητα ενέργειας. Η λύση βρέθηκε στο υδρογόνο, το οποίο θεωρείται ως το ιδανικό καύσιμο, διότι έχει υψηλή θερμοαντική αξία, το προϊόν της καύσης του είναι καθαρό νερό και μπορεί να μεταφέρεται σε μεγάλες αποστάσεις με μηδενικές απώλειες.

Το σημαντικότερο πλεονέκτημα του υδρογόνου είναι ότι μπορεί να τροφοδοτήσει τις κυψέλες καυσίμου. Επίσης μεγάλο πλεονέκτημα των κυψελών καυσίμου είναι ότι μπορούν να χρησιμοποιηθούν από πολλά καύσιμα και από πηγές ανανεώσιμης ενέργειας. Εκτός από το υδρογόνο που βρίσκεται σε μεγάλη αφθονία πάνω στη γη μπορεί να χρησιμοποιηθούν καύσιμα που περιέχουν υδρογόνο όπως η αιθανόλη, η μεθανόλη και το φυσικό αέριο. Οι κυψέλες καυσίμου που χρησιμοποιούν το υδρογόνο ως καύσιμο έχουν μηδενικές εκπομπές καυσαερίων και είναι αποδοτικότερες από τα αυτοκίνητα που βασίζονται σε μπαταρίες ενώ ταυτόχρονα παράγουν λιγότερα αέρια του θερμοκηπίου σε όλο το σύστημα παραγωγής.

Οι κυριότερες εφαρμογές των κυψελών καυσίμων είναι κυρίως για συμπαραγωγή ενέργειας σε μεγάλα κτίρια, νοσοκομεία και σπίτια. Σε εφαρμογές μικρής ισχύος όπως φώτα απομακρυσμένων περιοχών, ταμπέλες δρόμων, σταθμοί επικοινωνιών και μετεωρολογικοί σταθμοί. Επιπλέον σημαντική είναι η προσφορά τους σε διαστημόπλοια, υποβρύχια, τραίνα και λεωφορεία. Τέλος χρησιμοποιούνται σε διάφορες φορητές συσκευές ισχύος: φορητά τηλέφωνα, Laptop, κάμερες και φορητές συσκευές ήχου.

Αναμφισβήτητα εκτός του μεγάλου εύρους εφαρμογών που έχουν, πλεονεκτούν και σε πολλά άλλα, όπως έχουν ελάχιστες εκπομπές ρύπων και είναι φιλικές προς το περιβάλλον. Οι κυψέλες δεν έχουν κινητά μέρη ενώ η λειτουργία τους είναι ήσυχη και χωρίς ιδιαίτερη συντήρηση. Τέλος έχουν μεγάλη απόδοση στην μετατροπή ηλεκτρισμού της τάξης του 40-65 % που τις κάνει ανταγωνιστικές στην εξοικονόμηση ενέργειας.

Από τα παραπάνω συμπεραίνουμε ότι είναι θέμα χρόνου πως κάποια μέρα θα αποκτήσουμε ένα αυτοκίνητο που θα κινείται με κυψέλες καυσίμου το οποίο θα μεταφέρει υδρογόνο για καύσιμο, ενώ ταυτόχρονα θα είναι φιλικό στο περιβάλλον και στον άνθρωπο. Όλα αυτά θα βοηθήσουν στο να μειωθούν τα αέρια του φαινομένου του θερμοκηπίου και να γίνει μια πιο ορθολογική χρήση των ορυκτών καυσίμων που είναι έτοιμα να εξαντληθούν. Αρκεί βέβαια η έρευνα πάνω σε αυτά τα θέματα να συνεχίσει καθώς βέβαια και η χρηματοδότηση των προγραμμάτων αυτών αν θέλουμε όλα τα παραπάνω να γίνουν πραγματικότητα.



**Ο μεγαλύτερος σταθμός αναπλήρωσης καύσιμου υδρογόνου στο κόσμο.
Νοέμβριος 2004, Βερολίνο Γερμανίας**

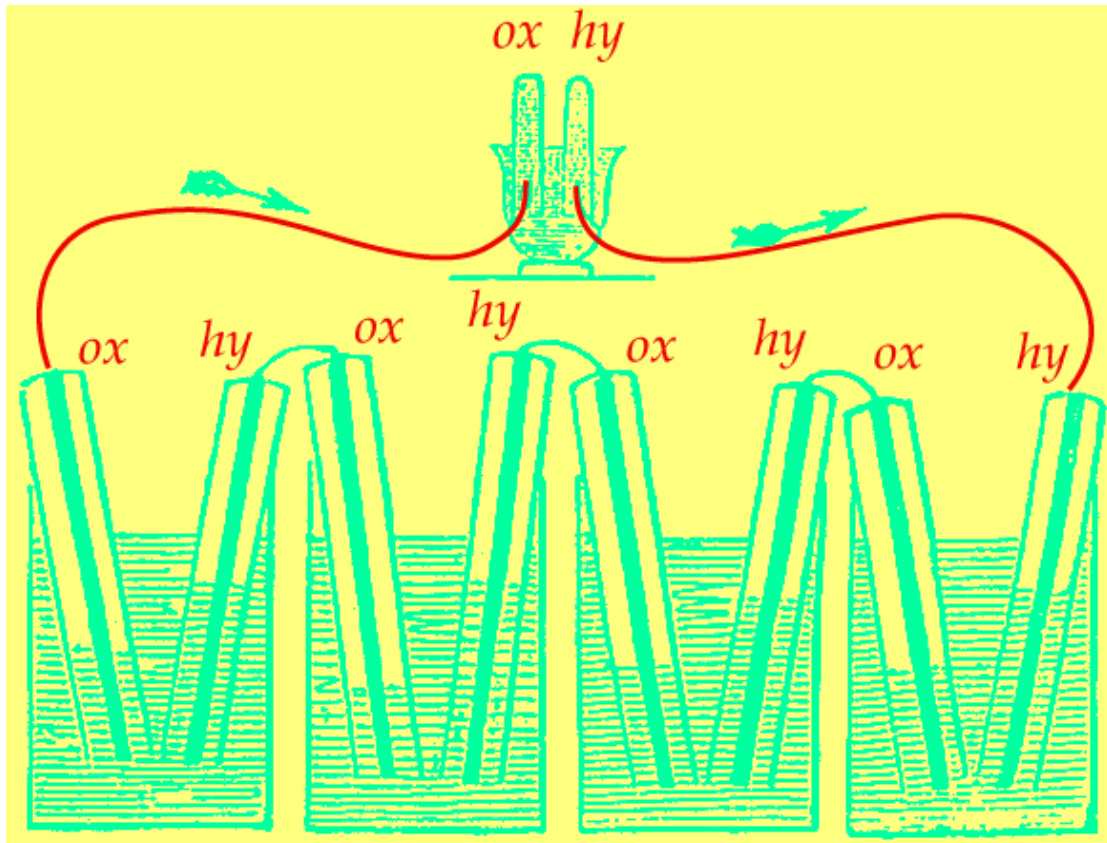
4.8.1 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΩΝ ΚΥΨΕΛΩΝ ΚΑΥΣΙΜΩΝ ΥΔΡΟΓΟΝΟΥ

- Χρησιμοποίηση της κυψέλης καυσίμου για συμπαραγωγή ενέργειας (Παραγωγή θερμότητας και ενέργειας για ξενοδοχεία, νοσοκομεία σπίτια)
- Αποκεντρωμένη παραγωγή ισχύος: (Ερευνα και ανάπτυξη στη βιομηχανία)
- Εφαρμογές μικρής ισχύος: Φώτα απομακρυσμένων περιοχών, ταμπέλες δρόμων, σταθμοί επικοινωνίας και μετεωρολογικοί σταθμοί.
- Μεταφορές (Διαστημόπλοια, υποβρύχια, τρένα, λεωφορεία κ.ά.)
- Φορητές συσκευές ισχύος: Φορητά τηλέφωνα, laptop, κάμερες και φορητές συσκευές ήχου.

4.8.2 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΤΩΝ ΚΥΨΕΛΩΝ ΚΑΥΣΙΜΟΥ ΥΔΡΟΓΟΝΟΥ

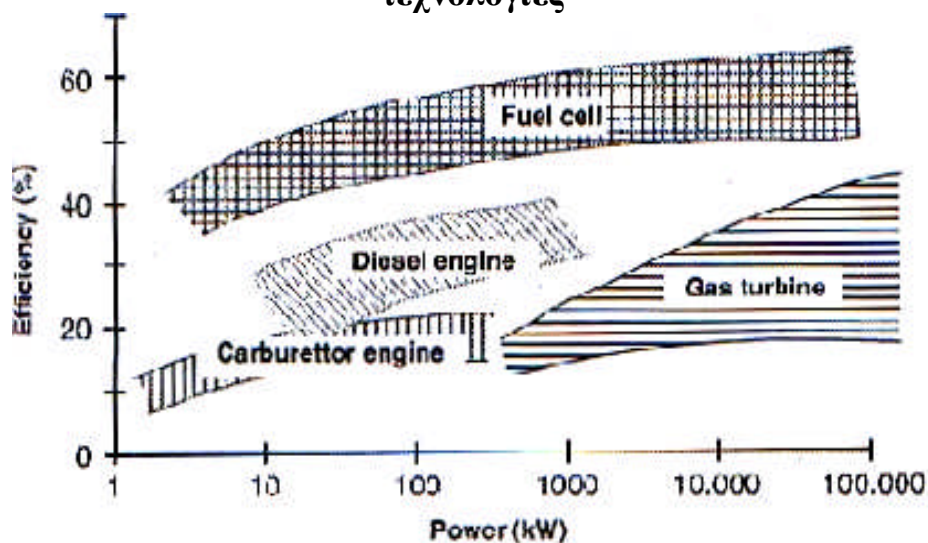
- Ελάχιστες εκπομπές ρύπων. Προστασία της ατμόσφαιρας, φιλικός προς το περιβάλλον ηλεκτρισμός.
- Οι κυψέλες δεν έχουν κινητά μέρη. Ήσυχη λειτουργία και μικρή συντήρηση.
- Μεγάλη απόδοση στην μετατροπή ηλεκτρισμού της τάξης του 49-65%! Εξοικονόμηση ενέργειας.
- Προσαρμοζόμενος σχεδιασμός για εφαρμογές από λίγα Watt μέχρι Mwat.
- Σαν αέριο ή υγρό, το υδρογόνο μπορεί εύκολα να μεταφερθεί, να φυλαχτεί και τελικά μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε κάθε εφαρμογή όπου χρησιμοποιούνται σήμερα καύσιμα.
- Κοστίζει λιγότερο για να μετακινηθεί το υδρογόνο σε άλλες Ηπείρους ως συμπιεσμένο αέριο με τη βοήθεια σωλήνων από ένα ίσο ποσό ηλεκτρικής ενέργειας. Το υγρό υδρογόνο είναι η ασφαλέστερη και πιο οικονομική επιλογή για την κίνηση της ενέργειας από τους ωκεανούς.
- Το υδρογόνο είναι το πιο ασφαλές από όλα τα καύσιμα. Το αέριο υδρογόνο είναι 14 φορές ελαφρότερο από τον αέρα και γι' αυτό διαχέεται ταχέως στην ατμόσφαιρα στην περίπτωση ενός ατυχήματος. Ενώ τα άλλα καύσιμα έχουν μεγάλο χρόνο επικινδυνότητας έως ότου ξεφύγουν από τη θέση τους

4.9 Η ΙΣΤΟΡΙΑ ΤΩΝ ΚΥΨΕΛΩΝ ΚΑΥΣΙΜΟΥ

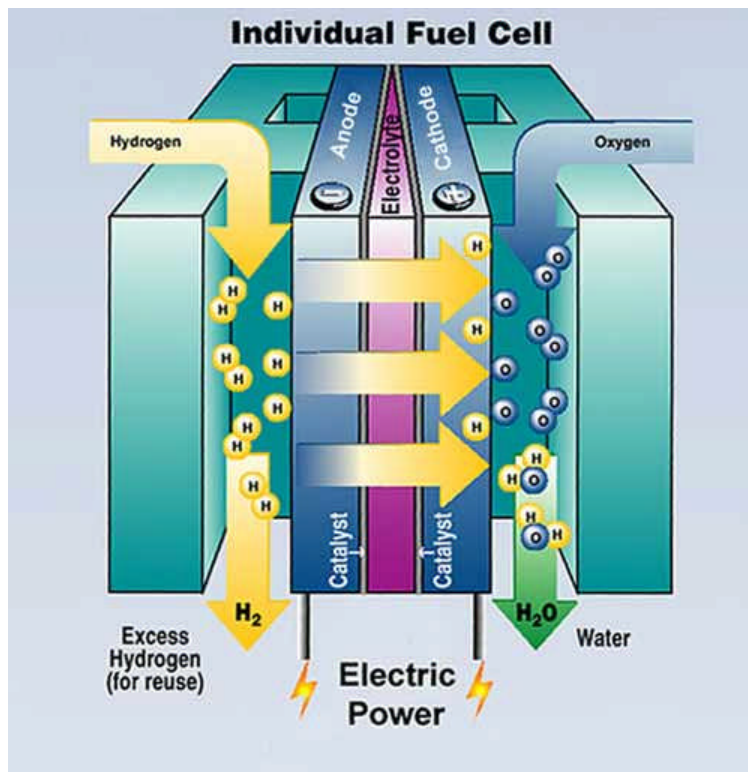
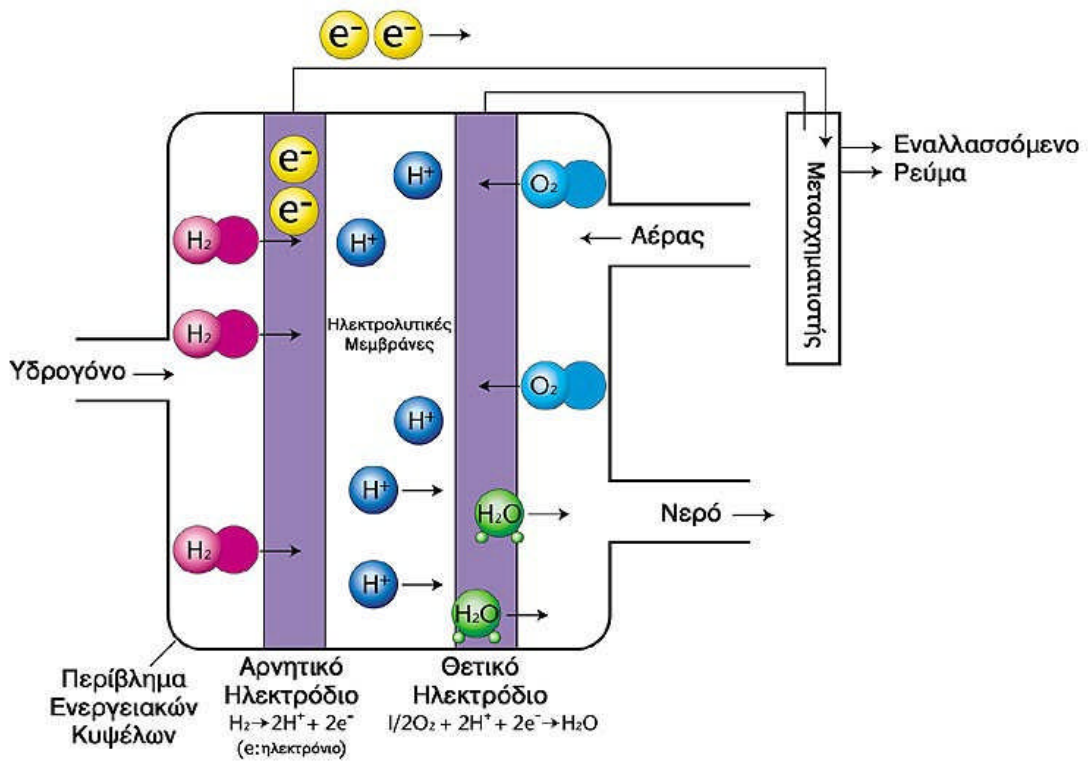


Η πρώτη εμφάνιση των κυψελών καύσιμου έγινε το 1839 από τον Sir William Grove, έναν Ουαλλό δικαστή και επιστήμονα. Ωστόσο η πρώτη της εφαρμογή ήταν τη δεκαετία του 1960, όταν η κυβέρνηση των Η.Π.Α. αποφάσισε να επιλέξει στο διαστημικό της πρόγραμμα τις κυψέλες καυσίμου. Τα διαστημόπλοια Gemini και Apollo κατά την αποστολή τους στο διάστημα εφοδιάστηκαν με ενέργεια και παρέχουν ακόμα και τώρα ηλεκτρική ενέργεια και νερό για το διαστημικό λεωφορείο.

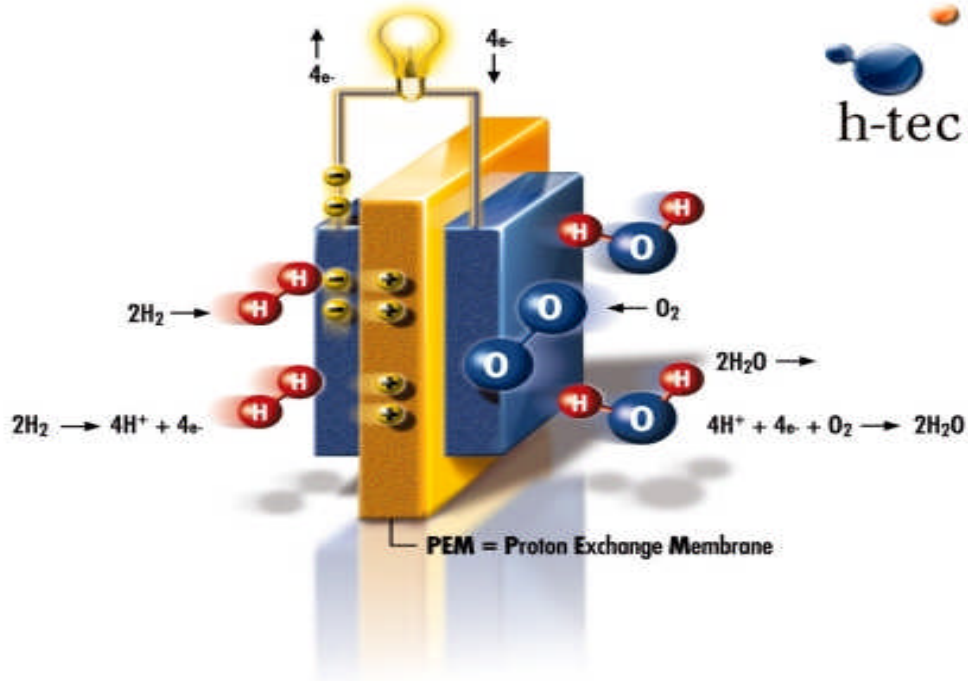
Διάγραμμα απόδοσης της κυψέλης καυσίμου σε σύγκριση με άλλες τεχνολογίες



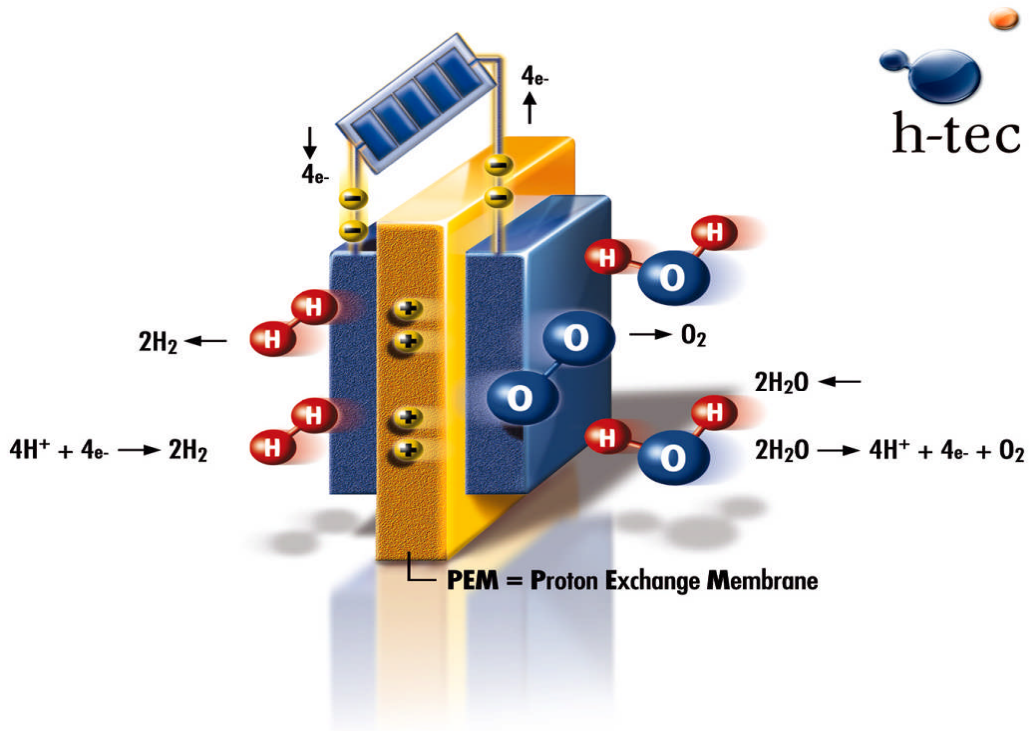
Παράδειγμα λειτουργίας κυψέλης καύσιμου

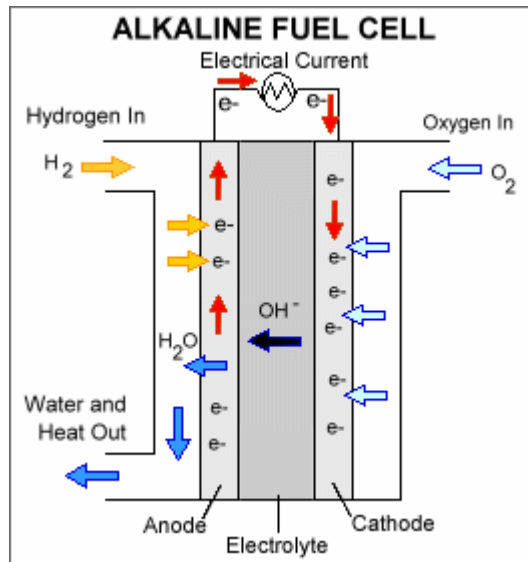


Λειτουργία Fuel Cell – Χημική αντίδραση

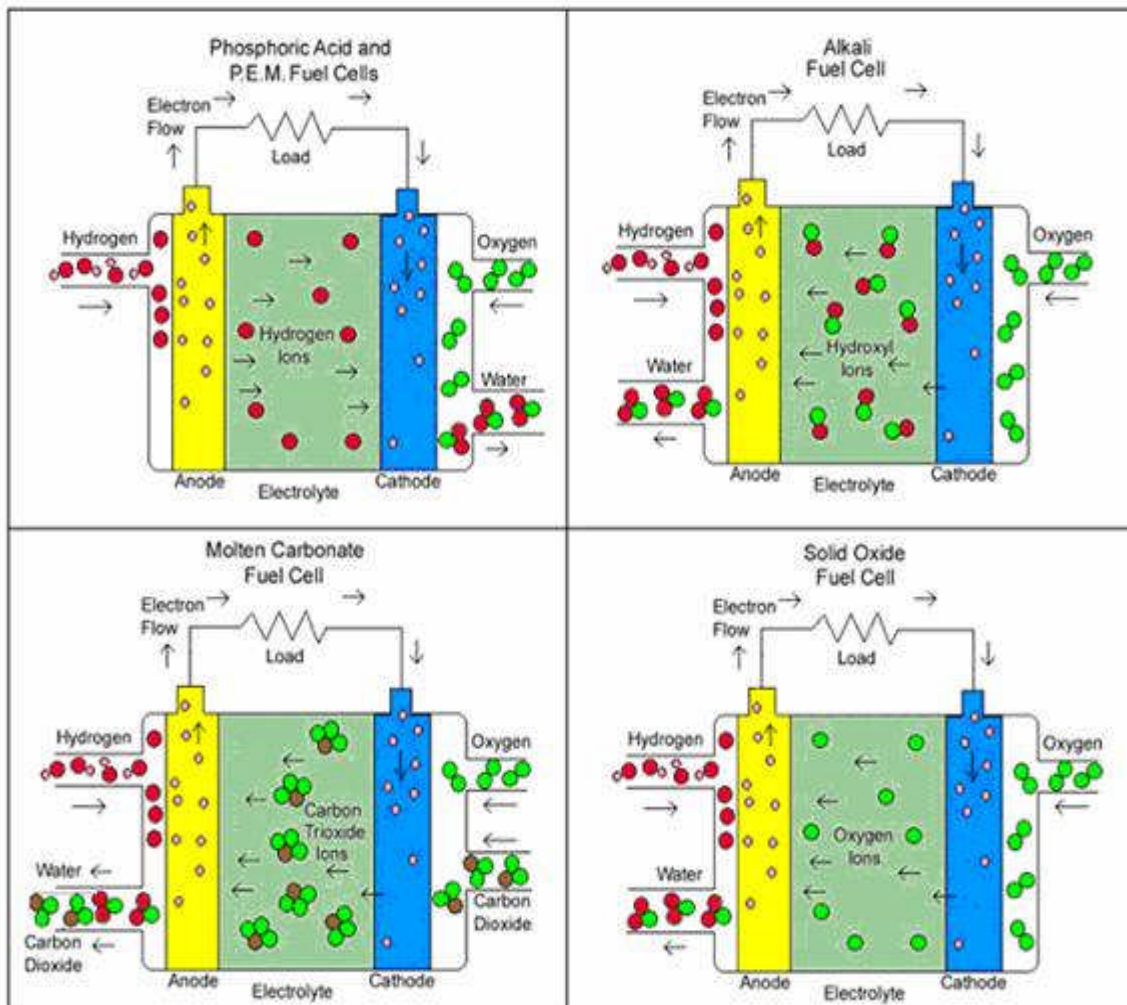


Λειτουργία ηλεκτρόλυσης – Χημική αντίδραση

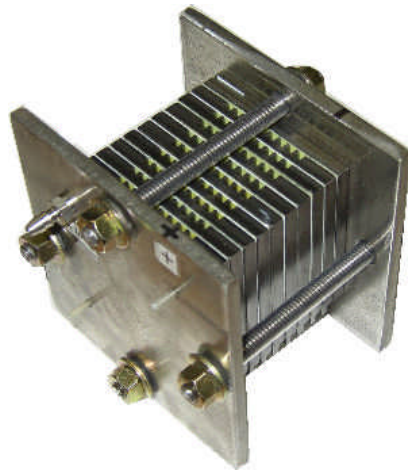
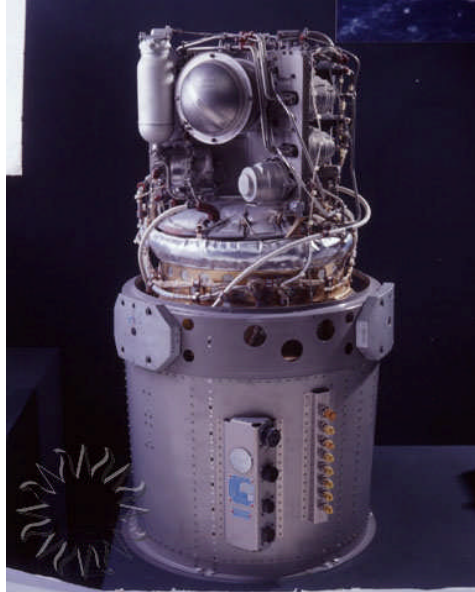




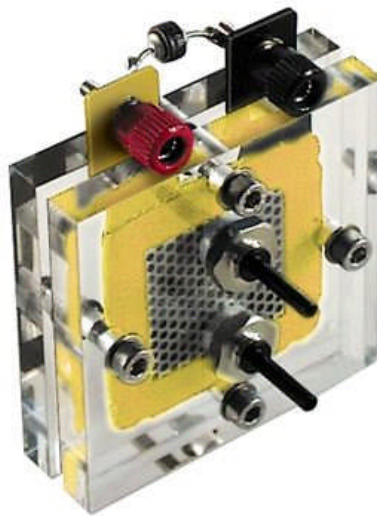
Σχηματικά διαγράμματα διαφόρων ειδών κυψελών καυσίμου



Κυψέλη καυσίμου από το διαστημόπλοιο Apollo 11



Κατασκευή PEM Electrolyser



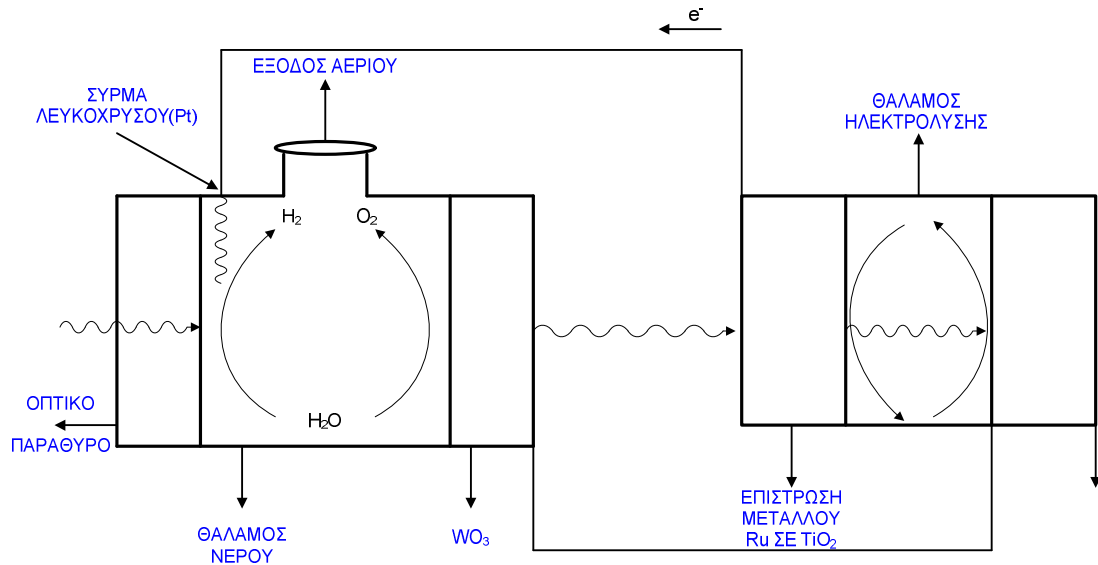
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

5.1 ΤΟ ΜΕΛΛΟΝ ΤΟΥ ΥΔΡΟΓΟΝΟΥ

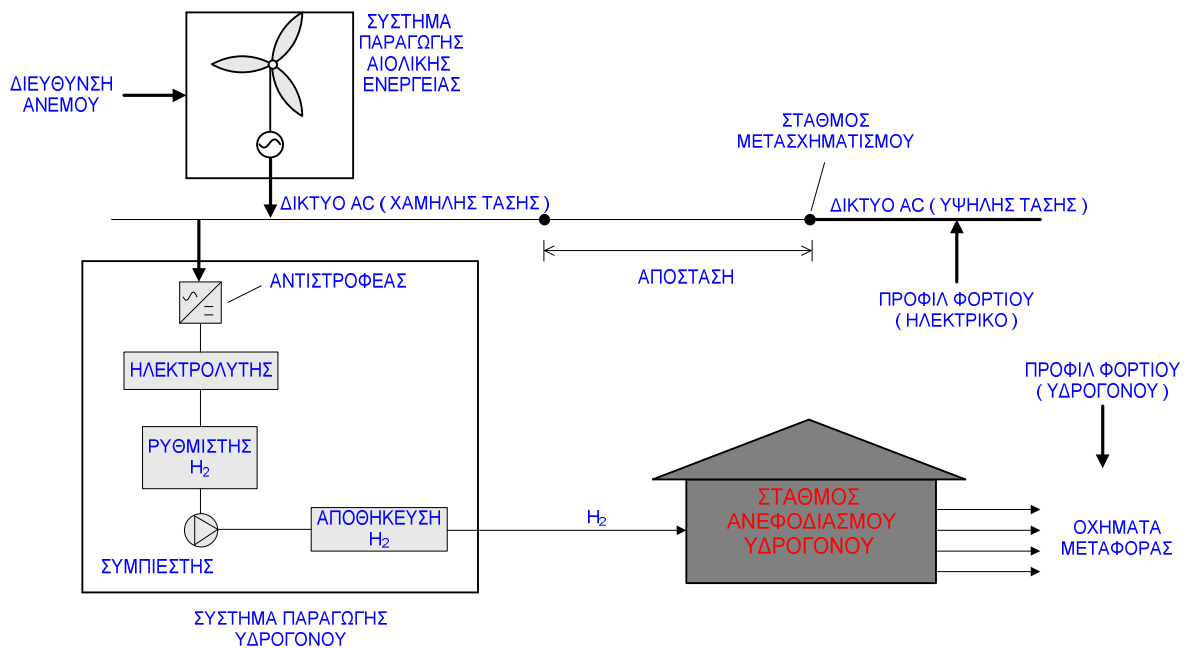
Κοιτάζοντας στο μέλλον είναι σημαντικό να γνωρίζουμε ότι τα ορυκτά καύσιμα που χαρακτηρίζουν την εποχή μας δεν είναι ανεξάντλητα. Κάποτε και μάλιστα σχετικά σύντομα (σε δύο περίπου αιώνες) θα τελειώσουν. Το υδρογόνο είναι ανεξάντλητο. Όταν λοιπόν το παράγουμε από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας με την αποσύνθεση του νερού, στη συνέχεια, μετατρέπεται και πάλι σε νερό κατά την ένωσή του με οξυγόνο, στις κυψέλες καυσίμου, επομένως κλείνει ο κύκλος. Κατά συνέπεια, όταν η ηλεκτρόλυση τροφοδοτείται από ανανεώσιμη ηλεκτρική ενέργεια, ο ενεργειακός κύκλος είναι εντελώς καθαρός.

Τα συστήματα υδρογόνου μπορούν να παρέχουν βιώσιμες επιλογές για τις παγκόσμιες σε ενέργεια ανάγκες. Το υδρογόνο είναι σχετικό με όλη την ενέργεια. Εντούτοις, για την ενέργεια του υδρογόνου τα συστήματα αντιμετωπίζουν ακόμα διάφορα τεχνικά και οικονομικά εμπόδια που πρέπει να υπερνικηθούν για να μπορέσει το υδρογόνο να γίνει ανταγωνιστικός ενεργειακός μεταφορέας. Οι πρόοδοι πρέπει να γίνουν στην παραγωγή υδρογόνου, αποθήκευση, μεταφορά και τεχνολογίες χρησιμοποίησης και στην ένταξη αυτών των συστατικών στα πλήρη ενεργειακά. Για να επισπεύσουν την πρόοδο των τεχνολογιών υδρογόνου και για να πραγματοποιηθεί το μέλλον του υδρογόνου, τα έθνη έχουν ενωθεί υπό την αιγίδα του διεθνούς οργανισμού ενέργειας (ΔΟΕ), η οποία καθιερώθηκε το 1974, δημιουργήθηκε πρόγραμμα υδρογόνου για να συνεργαστούν και να εξεταστούν τα σημαντικά εμπόδια που εμποδίζουν την παγκόσμια αποδοχή του υδρογόνου. Αυτές οι συνεργασίες έχουν οδηγήσει ήδη σε σημαντικές προόδους στην ανανεώσιμη παραγωγή του υδρογόνου και στα στερεά υλικά αποθήκευσης και στην ανάπτυξη των εργαλείων για να αξιολογήσουν και να βελτιστοποιήσουν τα ενεργειακά συστήματα για το υδρογόνο.

Σήμερα καταναλώνουμε τα ορυκτά καύσιμα 100.000 φορές ταχύτερα από ότι αυτά σχηματίζονται και ο προβληματισμός είναι έντονος για το μέχρι πότε θα υπάρχουν. Για πολλούς η πραγματική μέρα που θα υπάρξουμε δίχως πετρέλαιο ή φυσικό αέριο είναι δίχως σημασία. Η καταστροφή του περιβάλλοντος από τις εκπομπές CO₂ και NO_x ίσως δημιουργήσουν το πρόβλημα νωρίτερα. Τα πλεονεκτήματα του υδρογόνου ίσως κάνουν τα ορυκτά καύσιμα άχρηστα προτού η σπανιότητα τους οδηγήσει τις τιμές τους σε εξαιρετικά υψηλά επίπεδα (λόγω εξόρυξης). Ίσως στο μέλλον η οικονομία μας που τώρα βασίζεται στα ορυκτά καύσιμα, αντικατασταθεί από την Οικονομία του Υδρογόνου. Το υδρογόνο στη νέα χιλιετία είναι συνώνυμο με την ενέργεια, με τον ανεφοδιασμό και την ασφάλεια, τη διαχείριση κλίματος και την ικανότητα υποστήριξης. (Σχήμα 1-2)



Σχήμα1: Κύτταρο Tandern για φώτοηλεκτρική παραγωγή υδρογόνου



Σχήμα 2: Σύστημα ανενογεννητριών – ηλεκτρόλυσης που αφορά ανεξάρτητο σταθμό ανεφοδιασμού καύσιμου υδρογόνου.

5.2 ΕΡΕΥΝΑ ΚΑΙ ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΠΑΓΚΟΣΜΙΩΣ

Στην Γερμανία το 1986 άρχισαν παράλληλα δυο μεγάλα προγράμματα για παραγωγή υδρογόνου με χρήση ηλιακής ενέργειας. Το ένα στην Βαυαρία, όπου ιδρύθηκε η εταιρεία Solar Wasserstoff-Bayern GmbH (SWB) με κρατική χρηματοδότηση εν μέρει και συμμετοχή μεγάλων εταιρειών όπως η BMW, η Linde, η Siemens.

Εγκατέστησαν εκεί μια μονάδα επίδειξης ισχύος περίπου 250KW για παραγωγή υδρογόνου με φωτοβολταϊκά στοιχεία και χρήση του σε στοιχεία καυσίμου, καταλυτικούς καυστήρες, τροφοδοσία οχημάτων κλπ.

Απ' αυτήν την μονάδα αποκτήθηκε πολύτιμη πείρα σχετικά με την λειτουργία φωτοβολταϊκών στοιχείων διαφόρων τύπων, τα προβλήματα της ηλεκτρόλυσης, τον τρόπο αποθήκευσης και μετάγγισης του υδρογόνου κλπ., στην οποία βασίστηκαν μετά για την ανάπτυξη πιο τελειοποιημένων συστημάτων.

Το δεύτερο πρόγραμμα έγινε σε συνεργασία του Ομοσπονδιακού Υπουργείου Εκπαίδευσης, Επιστήμης, Έρευνας και Τεχνολογίας της Γερμανίας, με την Σαουδαραβία με το "King Abdulaziz City of Science", και ονομάστηκε HYSOLAR. Πραγματοποιήθηκε μια μονάδα επίδειξης με ένα σταθμό φωτοβολταϊκών στο Riyadh ισχύος 350KW και παραγωγή υδρογόνου με ηλεκτρόλυση του νερού. Έγιναν πολλές δοκιμές για την καλή λειτουργία της μονάδας και για διάφορες χρήσεις του υδρογόνου, και αποκτήθηκε πολύτιμη εμπειρία. Η χρήση αιολικής ενέργειας για την παραγωγή υδρογόνου κοστίζει λιγότερο, με τιμές του 1997 το κόστος ανέρχεται σε 32\$/GJ, και τείνει να ελαττώνεται. Η μέθοδος αυτή αρχίζει να εφαρμόζεται στην Αριζόνα, καθώς και στην Ιρλανδία.

Στην Καλιφόρνια η εταιρεία HyGen Industries LLC, ανακοίνωσε ότι θα δημιουργήσει την πρώτη στον κόσμο πιλοτική εμπορική μονάδα υδρογόνου πολλών MW τροφοδοτούμενη εξ ολοκλήρου από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας με χρήση φωτοβολταϊκών στοιχείων, αιολικής ενέργειας και πιθανώς την ενέργεια των παλιρροϊκών κυμάτων. Η μονάδα αυτή θα πραγματοποιηθεί χάρη στην εμπειρία που αποκτήθηκε από τα πρόγραμμα «Καθαρός αέρας τώρα» στην Xerox, στο EI Segundo της Καλιφόρνιας, όπου το υδρογόνο παραγόταν από φωτοβολταϊκά στοιχεία και χρησιμοποιούνταν ως καύσιμο σε οχήματα.

Στην αυτοκινητοβιομηχανία, τέλος, όλο και περισσότερες κατασκευάστριες εταιρείες μπαίνουν σιγά σιγά στο παιχνίδι, μιας και αυτές οι τεχνολογίες είναι πολύ ελκυστικές και είτε αυτόνομα είτε με την μορφή συνεργασίας υλοποιούν αντίστοιχα προγράμματα. Αξίζει να αναφέρουμε την συνεργασία της Κορεάτικης Hyundai Motor Co. με πέντε διεθνείς ανταγωνιστές τις όπως η Toyota, η Nissan, η Ford, ο όμιλος Daimler Chrysler και ο γαλλικός όμιλος SPA (Peugeot - Citroen), προκειμένου να κατασκευάσουν από κοινού ένα σύστημα καυσίμου που θα χρησιμοποιηθεί σε αυτοκίνητα τεχνολογίας κυψελών καυσίμου με απώτερο στόχο την μεγαλύτερη αυτονομία για τα οχήματα αυτά.

Επίσης, η General Motors και η Shell Hydrogen ενώνουν τις δυνάμεις τους με στόχο να γίνουν τα οχήματα κυψελών καυσίμου με υδρογόνο μια εμπορικά βιώσιμη πραγματικότητα. Τα επίκεντρο της συνεργασίας των οχημάτων κυψελών καυσίμου με υδρογόνο και της τεχνολογίας της υποδομής ανεφοδιασμού σε πραγματικές συνθήκες στην περιοχή της Ουάσιγκτον στις ΗΠΑ μεταξύ GM και Shell Hydrogen. Η δοκιμή θα περιλαμβάνει την πρώτη αντλία καυσίμου υδρογόνου στην Αμερική σε πρατήριο της Shell για τον ανεφοδιασμό ενός στόλου οχημάτων κυψελών καυσίμου της General Motors. Χρησιμοποιώντας ως βάση αυτό το δοκιμαστικό σταθμό ανεφοδιασμού με υδρογόνο στη Ουάσιγκτον, η GM και η Shell θα εστιάσουν τη συνεργασία τους σε τρεις βασικούς τομείς, Πρώτον, στην εντατική και λεπτομερή ενημέρωση των πολιτικών, των νομοθετών και του κοινού, με επιδείξεις συνδυασμένων τεχνολογιών υδρογόνου. Δεύτερον, στην ανταλλαγή τεχνογνωσίας, συνδυάζοντας την εμπειρία στον τομέα του αυτοκινήτου με την τεχνολογία της υποδομής ανεφοδιασμού. Τρίτον, στην εμπειρία και συγκέντρωση γνώσεων με δοκιμές σε πραγματικές συνθήκες.

5.3 Η ΕΤΟΙΜΟΤΗΤΑ ΤΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ

Όσον αφορά στη χώρα μας, όπως προκύπτει από μελέτες και έρευνες της ΔΕΗ, τα φωτοβολταϊκά, τα αιολικά και η γεωθερμία είναι τρεις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας που εύκολα μπορούμε να αναπτύξουμε και μέσω αυτών να παραγάγουμε υδρογόνο.

Μέχρι σήμερα έχουν ήδη εγκατασταθεί εβδομήντα φωτοβολταϊκά συστήματα σε 24 νησιά (Αρκοί, Κύθνος, Γαύδος, Αντικύθηρα, Σίφνος κ.λπ.). Η πρώτη ανεμογεννήτρια εγκαταστάθηκε στη Μύκονο το 1983, ενώ σήμερα υπάρχουν ανεμογεννήτριες στα αιολικά πάρκα δεκατριών νησιών (Κρήτη, Σαμοθράκη, Χίος, Σάμος, Άνδρος, Ικαρία κ.λπ.), συνολικής εγκατεστημένης ισχύος 38 MW.

Διόλου τυχαία, η ΔΕΗ ήταν από τις πρώτες μεγάλες εταιρείες ηλεκτροπαραγωγής στον κόσμο που ξεκίνησε να ασχολείται σοβαρά με τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας πριν από περίπου 28 χρόνια, ενώ με τα υδροηλεκτρικά έργα ακόμα νωρίτερα.

Σχετικά με την προοπτική χρησιμοποίησης του υδρογόνου ως καύσιμης ύλης, ο διευθυντής εναλλακτικών μορφών ενέργειας της ΔΕΗ κ. Νίκος Σταυρίδης εξηγεί: "Υπάρχει συνεργασία με πανεπιστημιακές σχολές με στόχο τη εκπόνηση μιας σχετικής εφαρμόσιμης μελέτης. Προς το παρόν προσανατολιζόμαστε στη συμμετοχή μαζί με τα ΑΕΙ σε ευρωπαϊκό πρόγραμμα το οποίο αποβλέπει στην αξιοποίηση της απορριπτόμενης ενέργειας από αιολικά και φωτοβολταϊκά πάρκα σε νησιωτικά συστήματα παραγωγής υδρογόνου με ηλεκτρόλυση. Αν κι ακόμα βρισκόμαστε στο στάδιο της διερεύνησης, πιστεύω ότι σε λίγο καιρό θα μπορέσουμε να δούμε τα αποτελέσματα των μελετών μας".

5.4 ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΑ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΑ ΥΔΡΟΓΟΝΟΥ ΠΟΥ ΕΞΕΛΙΣΣΟΝΤΑΙ ΣΗΜΕΡΑ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ

Υπάρχουν προγράμματα για όλα τα επίπεδα. Κατ' αρχάς για την παραγωγή υδρογόνου μέσω ηλιακής ή αιολικής ενέργειας, μέσω γεωθερμίας, φωτοχημείας κ.λπ. Το Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΚΑΠΕ) έχει πάρει ένα ειδικό πρόγραμμα παραγωγής υδρογόνου, με ενέργεια προερχόμενη από ανεμογεννήτρια και αποθήκευση σε δεξαμενές που φτιάχνει η εταιρεία «Ρόκκας» από μεταλλοϋδρίδια, σε συνεργασία με εξειδικευμένη κυπριακή εταιρεία.

Υπάρχουν επίσης προγράμματα που ασχολούνται με την πρόληψη κινδύνων σε περίπτωση ατυχημάτων από υδρογόνο κι έχουν αναπτύξει λογισμικά προσομοίωσης, τα οποία βρίσκουν πολύ καλή εφαρμογή σε ήδη υπάρχοντα ατυχήματα. Είναι ιδιαίτερα σημαντικό ότι το Χόνγκ Κόνγκ, στο οποίο θα κυκλοφορήσουν σύντομα λεωφορεία υδρογόνου, ανέθεσε τη μελέτη αντιμετώπισης πιθανού ατυχήματος σε ελληνική ερευνητική ομάδα.

5.4.1 ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ ΚΑΙ ΠΡΩΤΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΑΠΟ ΜΟΝΑΔΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΥΔΡΟΓΟΝΟΥ ΑΠΟ ΑΙΟΛΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ

Το ΚΑΠΕ σε συνεργασία με Ευρωπαϊκούς φορείς υλοποίησε μία πιλοτική εγκατάσταση για παραγωγή, αποθήκευση και εμφιάλωση υδρογόνου από αιολική ενέργεια. Η εγκατάσταση αναπτύχθηκε στο πάρκο δοκιμών ανεμογεννητριών του ΚΑΠΕ στο Λαύριο Αττικής και αποτελείται από τα εξής βασικά τμήματα:

- ανεμογεννήτρια Enercon E-40 ισχύος 500 kW,
- μονάδα αλκαλικής ηλεκτρόλυσης ισχύος 25 kW, με ονομαστική παραγωγή 5 Nm³/h H₂ στα 20 bar,
- μονάδα αποθήκευσης 40 Nm³ υδρογόνου σε δεξαμενές μεταλλοϋδριδίων (υπεύθυνος φορέας, FIT, Κύπρος)
- συμπιεστή υδρογόνου ενός σταδίου από τα 18 bar στα 220 bar, με σταθμό εμφιάλωσης υδρογόνου (υπεύθυνος φορέας, ΡΟΚΑΣ ΑΒΕΕ)
- κεντρικό σύστημα αυτόματου ελέγχου και καταγραφής δεδομένων

Ο εξοπλισμός έχει τοποθετηθεί και συνδεθεί όσον αφορά τα ηλεκτρικά δίκτυα για ισχύ και έλεγχο, τα δίκτυα αερίων (υδρογόνου /αζώτου και πεπιεσμένου αέρα) και τα δίκτυα θερμού και κρύου νερού. Παρουσιάζονται τα επιμέρους τμήματα του εξοπλισμού και η διαδικασία ανέγερσης της εγκατάστασης καθώς και η εμπειρία που αποκτήθηκε από την όλη διαδικασία. Επιπλέον παρουσιάζονται τα πρώτα αποτελέσματα από την λειτουργία της εγκατάστασης .

Στη διάρκεια των τελευταίων είκοσι χρόνων, έχουν μελετηθεί διάφορα συστήματα παραγωγής υδρογόνου με ηλεκτρόλυση από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, ιδιαίτερα σε συνδυασμό με φωτοβολταϊκά κελιά. Η πρώτη αυτόνομη εγκατάσταση παραγωγής υδρογόνου από αιολική ενέργεια τέθηκε σε λειτουργία το 2003 στο νησί Utsira της Νορβηγίας¹. Αποτελείται από μια ανεμογεννήτρια Enercon E-40 των 600 kW, μια αλκαλική μονάδα ηλεκτρόλυσης της Norsk Hydro ισχύος 48 kW που παράγει 10 Nm³/h υδρογόνου, ένα συμπιεστή 6 kW και μια δεξαμενή 12 m³ για αποθήκευση του υδρογόνου στα 200 bar, έναν κινητήρα εσωτερικής καύσης υδρογόνου των 55 kW και μια κυψέλη καυσίμου PEM των 10 kW. Μια δεύτερη αυτόνομη εγκατάσταση παραγωγής υδρογόνου από αιολική ενέργεια μπήκε σε λειτουργία πρόσφατα στα νησιά Shetland. Αποτελείται από 2 ανεμογεννήτριες Proven LTD των 15 kW, μια αλκαλική μονάδα ηλεκτρόλυσης της AccaGen μεγίστης ισχύος 15 kW στα 55 bar, δεκαέξι κυλίνδρους των 50 l συνολικής ικανότητας 44 Nm³ H₂ και μια κυψέλη καυσίμου PEM της Plug-Power ισχύος 5 kW DC

Στα πλαίσια του πενταετούς Ευρωπαϊκού προγράμματος RES2H₂, που ξεκίνησε το 2001, το ΚΑΠΕ σε συνεργασία με άλλους Ευρωπαϊκούς φορείς, σχεδίασε και υλοποίησε μία πιλοτική εγκατάσταση για παραγωγή, αποθήκευση και εμφιάλωση

υδρογόνου από αιολική ενέργεια. Μια δεύτερη εγκατάσταση στα Κανάρια Νησιά, που προβλέπεται στα πλαίσια του ιδίου έργου, με χρήση του υδρογόνου σε κυψέλες καυσίμου, δεν έχει υλοποιηθεί ακόμα, εξαιτίας διαφόρων προβλημάτων.

Στην Ελλάδα, η μονάδα παραγωγής του υδρογόνου εγκαταστάθηκε στο πιλοτικό Αιολικό Πάρκο του ΚΑΠΕ κοντά στο Λαύριο, συνολικής εγκαταστημένης ισχύος 3 MW. Η εταιρεία ΡΟΚΑΣ ΑΒΕΕ ανέλαβε την προμήθεια και εγκατάσταση του συμπιεστή υδρογόνου, του σταθμού πλήρωσης φιαλών και του δικτύου υδρογόνου. Το Frederick Institute of Technology (FIT) σχεδίασε και εγκατέστησε την μονάδα αποθήκευσης υδρογόνου σε μεταλλοϋδρίδια. Το ΚΑΠΕ ανέλαβε την μελέτη και εγκατάσταση της μονάδας παραγωγής υδρογόνου με ηλεκτρόλυση, την ηλεκτρολογική εγκατάσταση και σύνδεση με την ανεμογεννήτρια, το κεντρικό σύστημα ελέγχου και τα περιφερειακά συστήματα.

Η εγκατάσταση ολοκληρώθηκε και τα τμήματα του εξοπλισμού δοκιμάστηκαν ένα ένα στο διάστημα Μάιος-Ιούλιος 2005. Στην πορεία, προέκυψαν διάφορες μικρο-εργασίες, οπότε η λειτουργία του ολοκληρωμένου συστήματος ξεκίνησε στο τέλος Σεπτεμβρίου 2005.

ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ «ΑΙΟΛΙΚΟΥ ΥΔΡΟΓΟΝΟΥ»

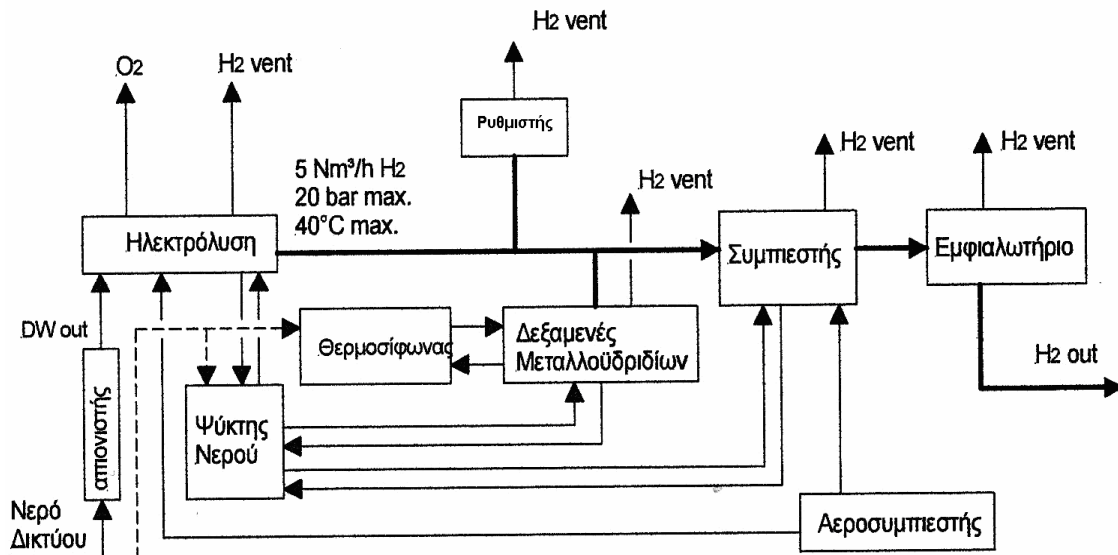
Το σύστημα αποτελείται βασικά από τρεις ενότητες:

- την χημική εγκατάσταση παραγωγής και αποθήκευσης υδρογόνου με τα απαραίτητα περιφερειακά
- τον κεντρικό ηλεκτρολογικό πίνακα, που περιλαμβάνει την σύνδεση με την ανεμογεννήτρια και την παροχή ρεύματος σε όλους τους χρήστες
- το κεντρικό σύστημα ελέγχου και καταγραφής δεδομένων

Μια μονάδα ηλεκτρόλυσης νερού των 25 kW είναι συνδεδεμένη στην έξοδο 400 V μιας σύγχρονης ανεμογεννήτριας Enercon E-40 των 500 kW. Η ηλεκτρόλυση παράγει 5 Nm³/h υδρογόνου στα 19 bar, που περνάει από επιπλέον καθαρισμό και είτε αποθηκεύεται σε δεξαμενές μεταλλοϋδριδίων ικανότητας 40 Nm³ H₂, είτε συμπιέζεται σε κυλίνδρους υψηλής πίεσης, στα 220 bar. Ένα απλό διάγραμμα της χημικής εγκατάστασης παρουσιάζεται στο **Σχήμα 3**.

Αποτελείται από τα εξής επιμέρους τμήματα:

1. την ηλεκτρόλυση του νερού
2. τις δεξαμενές μεταλλοϋδριδίων
3. μια συμβατική δεξαμενή υδρογόνου
4. τον συμπιεστή υδρογόνου
5. τον σταθμό πλήρωσης φιαλών
6. το κλειστό σύστημα ψύξης νερού
7. το σύστημα πεπιεσμένου αέρα



Σχήμα 3: Απλό διάγραμμα της εγκατάστασης υδρογόνου στο αιολικό πάρκο του ΚΑΠΕ

1. ΜΟΝΑΔΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΥΣΗΣ

Η μονάδα αλκαλικής ηλεκτρόλυσης κατασκευάστηκε από την Casale Chemicals, Ελβετία, και έχει ονομαστική παραγωγή 0.45 kg/h (5 Nm³/h) υδρογόνου υπό πίεση 19 barg. Το ηλεκτρολυτικό υδρογόνο καθαρότητας 99.98 κ.ο. περνάει από καταλυτικό αντιδραστήρα για την καύση του οξυγόνου σε επίπεδα κάτω των 10 ppm και από ξηραντήρα, για να κατέβει το ατμοσφαιρικό σημείο δρόσου του υδρογόνου στους -40°C. Η μονάδα μπορεί να απορροφήσει τις αλλαγές ηλεκτρικής ισχύος μιας ανεμογεννήτριας μέσα σε ένα εύρος από 15 έως 100% της ονομαστικής της ισχύος σε ένα δευτερόλεπτο. Η λειτουργία της ηλεκτρόλυσης για μεγάλα χρονικά διαστήματα με ισχύ χαμηλότερη του 15%, δημιουργεί προβλήματα στην καθαρότητα του παραγόμενου υδρογόνου.

Η θερμοκρασία λειτουργίας είναι 80°C και ως ηλεκτρολύτης χρησιμοποιείται υδατικό διάλυμα KOH 30% κ.β. Το νερό του δικτύου, που διοχετεύεται στην ηλεκτρόλυση, περνάει από μια στήλη εναλλαγής ιόντων έτσι ώστε η αγωγιμότητά του να πέσει στα 5 μS/cm.

Οι τεχνικές προδιαγραφές ήταν πολύ αυστηρές όσον αφορά την ασφάλεια του συστήματος, και η μονάδα έχει σχεδιαστεί και κατασκευαστεί σύμφωνα με όλους τους κανόνες ασφαλείας. Σε περίπτωση οποιασδήποτε ανωμαλίας, η μονάδα σταματάει τη λειτουργία της αυτομάτως, κάνει αποσυμπίεση και γεμίζει το σύστημα με άζωτο. Τα μετρητικά ασφαλείας είναι διπλά, με το βασικό σύστημα να λειτουργεί χωρίς την παρέμβαση ανθρώπου ή λογισμικού. Όλες οι βάνες είναι πνευματικού τύπου, έτσι ώστε να ελαττωθεί στο ελάχιστο ο ηλεκτρικός εξοπλισμός στο πεδίο.

Όλος ο ηλεκτρικός εξοπλισμός στο πεδίο είναι σχεδιασμένος και κατασκευασμένος σύμφωνα με τις προδιαγραφές που ισχύουν για ζώνες με πιθανή παρουσία εύφλεκτων αερίων. Η μονάδα ηλεκτρόλυσης είναι κατασκευασμένη για λειτουργία σε εξωτερικό χώρο, αλλά χρειάζεται προστασία από τον ήλιο, οπότε προστατεύεται από ένα

κουβούκλιο, όπως φαίνεται στην **Εικόνα 1**. Σε πρώτο πλάνο και κάτω, φαίνεται η δεξαμενή απιονισμένου νερού και λίγο ψηλότερα φαίνονται τα δοχεία διαχωρισμού αερίου/ηλεκτρολύτη για το υδρογόνο και το οξυγόνο. Στο βάθος δεξιά, φαίνεται η στήλη απιονισμού του νερού. Στο κάτω μέρος βρίσκονται οι συνδέσεις του νερού και στο πάνω μέρος οι συνδέσεις των αερίων.



Εικόνα 1. Η αλκαλική μονάδα ηλεκτρόλυσης 25 kW στο Αιολικό πάρκο του ΚΑΠΕ.

2. ΔΕΞΑΜΕΝΕΣ ΜΕΤΑΛΛΟΥΔΡΙΔΙΩΝ

Οι δεξαμενές μεταλλοϋδριδίων σχεδιάστηκαν από το FIT, Κύπρο, και κατασκευάστηκαν από την Labtech SA, Βουλγαρία. Το σύστημα αποθήκευσης αποτελείται από 6 κυλινδρικές δεξαμενές από ασάλι, που περιέχουν ένα κράμα μετάλλου τύπου AB5, με προσμίξεις $La_{1-x}Ce_xNi$. Κατά τη διάρκεια της εξωθερμικής προσρόφησης υδρογόνου, οι δεξαμενές ψύχονται από κρύο νερό. Για να μπορέσουν να εκροφήσουν το υδρογόνο, χρειάζεται ζεστό νερό στους $75^{\circ}C$, από έναν απλό θερμοσίφωνα ισχύος 4 kW. Η πίεση εκρόφησης σχεδιασμού είναι 14 bar και αντιστοιχεί σε μια θερμοκρασία $50-60^{\circ}C$, και οι δεξαμενές χρειάζονται 5-15 λεπτά προθέρμανσης πριν αρχίσουν να αποδίδουν το υδρογόνο με την ονομαστική ροή των 0.45 kg/h υδρογόνου.

Η κάθε δεξαμενή έχει ονομαστική ικανότητα προσρόφησης 0.62 κιλών υδρογόνου (7 Nm₃) οπότε η εγκατάσταση έχει συνολική ικανότητα αποθήκευσης 3.7 κιλών υδρογόνου (42 Nm₃). Η ειδική ικανότητα προσρόφησης του μεταλλικού κράματος είναι 1.28% κ.β. και της πλήρους δεξαμενής είναι 0.66% κ.β., λαμβάνοντας υπόψη το βάρος των κυλίνδρων. Η ενθαλπία σχηματισμού του μεταλλοϋδριδίου είναι ΔHf = 28 kJ/mol H₂, και η απαιτούμενη θερμική ισχύς για την εκρόφηση του υδρογόνου στην ονομαστική ροή είναι περίπου 2 kW.

Τα μεταλλοϋδρίδια δεν πρέπει να έρθουν σε επαφή με τον αέρα ούτε με νερό, γιατί μπορεί να αντιδράσουν εκρηκτικά. Η παρουσία μικρών ποσοτήτων οξυγόνου και νερού μέσα στο υδρογόνο μπορεί να οδηγήσει στην σταδιακή μείωση της ικανότητας αποθήκευσης των μεταλλοϋδριδίων.

Οι έξι δεξαμενές διαθέτουν χειροκίνητη βάνα αποκλεισμού, αλλά λειτουργούν όλες μαζί σαν μία μοναδική δεξαμενή, με τη βοήθεια αυτόματης βάνας εισόδου και αυτόνομης βάνας εξόδου. Οι δεξαμενές πρέπει να ψύχονται συνεχώς κατά τη διάρκεια της προσρόφησης υδρογόνου, καθώς και για λίγο διάστημα μετά το πέρας της προσρόφησης, μέχρι να σταθεροποιηθεί η θερμοκρασία του μεταλλοϋδριδίου.

Κατά τη διάρκεια της πλήρωσης, η πίεση στο κενό διάστημα των μεταλλοϋδριδίων είναι ίση με την πίεση του κυκλώματος. Όσο τα μεταλλοϋδρίδια δεν είναι γεμάτα, η πίεση ισορροπίας των μεταλλοϋδριδίων είναι χαμηλότερη από την πίεση του κενού διαστήματος. Όταν οι δύο αυτές πιέσεις γίνονται ίσες, το μεταλλικό κράμα δεν θα μπορεί να απορροφήσει περισσότερο υδρογόνο, αλλά η στιγμή αυτή της εξισορρόπησης δε μπορεί να προβλεφθεί εύκολα. Έτσι, το επίπεδο πλήρωσης των μεταλλοϋδριδίων υπολογίζεται με ολοκλήρωμα ως προς το χρόνο της ροής.

3. ΣΥΜΒΑΤΙΚΗ ΔΕΞΑΜΕΝΗ ΥΔΡΟΓΟΝΟΥ

Μια μικρή συμβατική δεξαμενή υδρογόνου σχεδιάστηκε για να διευκολύνει τη λειτουργία του συμπιεστή. Η συσκευή ηλεκτρόλυσης είναι ο μόνος χρήστης ηλεκτρικής ισχύος της διάταξης που μπορεί να απορροφήσει μεγάλες μεταβολές ισχύος. Όταν η ισχύς μειώνεται, μειώνεται ανάλογα και η παραγωγή υδρογόνου, αλλά η πίεση λειτουργίας δεν αλλάζει. Ο συμπιεστής υδρογόνου μπορεί να δεχθεί ένα εύρος πιέσεων και ροών στην είσοδο, έτσι ώστε σε χαμηλές πιέσεις (έως 10 barg) να συμπιέζει μικρές ροές και σε υψηλότερες πιέσεις (έως 18 barg) να συμπιέζει μεγαλύτερες ροές, τείνοντας προς μια ισορροπία. Αν όμως η πίεση του υδρογόνου στην είσοδο πέσει κάτω από το χαμηλό όριο, ο συμπιεστής σταματάει αυτομάτως τη λειτουργία του. Επειδή δεν ενδείκνυται από τον κατασκευαστή η έναρξη/στάση του συμπιεστή περισσότερο από τρεις φορές την ώρα, σχεδιάστηκε μια μικρή συμβατική δεξαμενή για να επιτρέψει στο συμπιεστή να λειτουργεί για αρκετό χρονικό διάστημα, ακόμα και αν η παραγωγή υδρογόνου διατηρείται σε χαμηλά επίπεδα για πολλή ώρα.

Η συμβατική δεξαμενή αποτελείται από 8 κυλίνδρους των 50 λίτρων, που μπορούν να αποθηκεύσουν περίπου 0,3 κιλά υδρογόνου ανάμεσα στα 10 και τα 19 barg. Η ποσότητα αυτή είναι αρκετή για περίπου 40 λεπτά λειτουργίας του συμπιεστή.

4. ΣΥΜΠΙΕΣΤΗΣ ΥΔΡΟΓΟΝΟΥ

Ο συμπιεστής υδρογόνου τριπλού μεταλλικού διαφράγματος έχει μόνο ένα στάδιο συμπίεσης, χάρη στην μέση πίεση παροχής της ηλεκτρόλυσης. Κατασκευάστηκε από την PDC Machines Inc., ΗΠΑ και ολόκληρη η ηλεκτρολογική του εγκατάσταση είναι αντιακρηκτικού τύπου. Ο μεταλλικός σκελετός και οι σωληνώσεις είναι από ατσάλι SS316, και είναι τοποθετημένος πάνω σε αντικραδασμικές βάσεις από καουτσούκ.

Έχει ονομαστική ικανότητα 0.45 kg/h H₂ (5 Nm³/h) για πίεση εισόδου 14 barg στους 40°C και για πίεση εξόδου 220 barg στους 65°C. Μπορεί να ανεχτεί ένα εύρος πίεσης στην είσοδο από 10 έως 18 barg, με αντίστοιχα μειωμένη ή αυξημένη ροή, οπότε η λειτουργία τείνει να «σταθεροποιηθεί» στη μέση τιμή των 14 barg. Ο ηλεκτρικός κινητήρας έχει ισχύ 5.6 kW (7.5 hp).

Η μονάδα έχει σχεδιαστεί και κατασκευαστεί σύμφωνα με πολύ αυστηρές τεχνικές προδιαγραφές ασφαλείας για ζώνες με πιθανή παρουσία εύφλεκτων αερίων. Οι βάνες ελέγχου είναι πνευματικές και σε περίπτωση μη κανονικής λειτουργίας τίθεται αυτομάτως εκτός λειτουργίας μέσω των κατάλληλων οργάνων μέτρησης.

Ο συμπιεστής φαίνεται στην **Εικόνα 2**, πριν γίνουν οι συνδέσεις με το υπόλοιπο σύστημα και κατασκευαστεί ένα κουβούκλιο προστασίας από τον ήλιο, όπως για την ηλεκτρόλυση.



Εικόνα 2. Ο συμπιεστής υδρογόνου στο Αιολικό πάρκο του ΚΑΠΕ

5. ΣΤΑΘΜΟΣ ΠΛΗΡΩΣΗΣ ΦΙΑΛΩΝ

Ένας τοίχος από τούβλα, ύψους 2 μέτρων, χωρίζει τον σταθμό πλήρωσης από τον συμπιεστή υδρογόνου, έτσι ώστε να μειωθεί η απόσταση μεταξύ τους, σύμφωνα με τους κανόνες. Ο σταθμός αποτελείται από έναν σωλήνα με τρεις αναμονές σύνδεσης για μεμονωμένες φιάλες ή διατάξεις φιαλών. Στην παρούσα φάση, έχουν συνδεθεί δύο μεμονωμένες φιάλες και μια συστοιχία 12 φιαλών.

Η διάταξη υψηλής πίεσης περιλαμβάνει απαγωγή για ελεγχόμενη εκκένωση των φιαλών, καθώς και τα απαραίτητα ασφαλιστικά και όργανα μέτρησης. Κάθε φιάλη έχει όγκο 50 λίτρων και χωρητικότητα 0.8 kg H₂ (9 Nm³), οπότε η μέγιστη αποθηκευόμενη ποσότητα υδρογόνου υπό υψηλή πίεση είναι 11 κιλά (126 Nm³). Το παραγόμενο υδρογόνο είναι υψηλής καθαρότητας (99.999% κ.ο.), και έχει προβλεφθεί η ακριβής ανάλυσή του, προκειμένου να διερευνηθεί η επίπτωση διαφορετικών συνθηκών λειτουργίας της εγκατάστασης στην καθαρότητα του υδρογόνου.

6. ΚΛΕΙΣΤΟ ΚΥΚΛΩΜΑ ΨΥΞΗΣ ΝΕΡΟΥ

Η μονάδα ηλεκτρόλυσης, οι δεξαμενές μεταλλουδριδίων και ο συμπιεστής υδρογόνου απαιτούν ψύξη με κρύο νερό. Η σωστή ψύξη είναι ουσιαστικό στοιχείο για την ασφαλή λειτουργία της εγκατάστασης. Θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί απευθείας το νερό δικτύου, όμως, το σύστημα αυτό σχεδιάστηκε για να μπορεί να εγκατασταθεί και σε περιοχές δύσβατες, οπότε η παρουσία δικτύου δεν είναι εγγυημένη. Επίσης, η ελάχιστη πίεση νερού που απαιτείται για την σωστή τροφοδοσία των μηχανημάτων είναι περίπου 3 bar, και στην περιοχή του αιολικού πάρκου η πίεση πέφτει απροειδοποίητα κάτω από αυτό το όριο. Άλλωστε, και οι διακοπές παροχής νερού δεν είναι πολύ σπάνιες. Έτσι, σχεδιάστηκε ένα κλειστό σύστημα ψύξης νερού, που αυξάνει την ασφάλεια της εγκατάστασης.

Για θερμοκρασία νερού 20°C, η μονάδα ηλεκτρόλυσης μαζί με το τμήμα περαιτέρω καθαρισμού του υδρογόνου χρειάζεται περίπου 0.4 m³/h νερού, όταν λειτουργεί σε πλήρη ισχύ. Αντίστοιχα, ο συμπιεστής υδρογόνου χρειάζεται περίπου 0.45 m³/h και η ψύξη των μεταλλουδριδίων περίπου 0.5 m³/h νερού. Η ηλεκτρόλυση και ο συμπιεστής υδρογόνου καλούν αυτόματα κρύο νερό με τη βοήθεια κατάλληλων βανών, μόνο όταν το χρειαστούν, ενώ οι δεξαμενές μεταλλουδριδίων ψύχονται καθόλη τη διάρκεια της πλήρωσης. Κατά τη λειτουργία του συστήματος, δεν ψύχονται ποτέ συγχρόνως και οι τρεις μονάδες. Μπορεί όμως να χρειάζεται συγχρόνως ψύξη της ηλεκτρόλυσης και των μεταλλουδριδίων, ή ψύξη της ηλεκτρόλυσης και του συμπιεστή. Έτσι, η μέγιστη κατανάλωση του συστήματος αντιστοιχεί σε 0.8 . 1.0 m³/h νερού 20°C.

Ο βιομηχανικός ψύκτης νερού τύπου ACN της εταιρείας Epsi είναι ρυθμισμένος για να αποθηκεύει νερό στους 9-13°C. Η πίεση στο κύκλωμα ρυθμίζεται με τη βοήθεια μιας βάνας bypass του κυκλοφορητή. Η ηλεκτρική ισχύς που καταναλώνει ο ψύκτης καταγράφεται με τη βοήθεια ενός ισχυομέτρου. Η ονομαστική ισχύς είναι 5.5 kW, αλλά όταν δεν δουλεύει ο ψυκτικός συμπιεστής πέφτει στο 1 kW περίπου.

7. ΚΥΚΛΩΜΑ ΠΕΠΙΕΣΜΕΝΟΥ ΑΕΡΑ

Η μονάδα ηλεκτρόλυσης και ο συμπιεστής υδρογόνου διαθέτουν βάνες ελέγχου πνευματικού τύπου, που δέχονται σήμα μέσω πεπιεσμένου αέρα. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί και άζωτο από τις φιάλες που είναι συνδεδεμένες στο σύστημα για αυτόματη αδρανοποίηση, αλλά η κατανάλωση αζώτου για τις ανάγκες ελέγχου κρίθηκε υπερβολική, οπότε εγκαταστάθηκε ξεχωριστό κύκλωμα πεπιεσμένου αέρα.

Το κύκλωμα πεπιεσμένου αέρα αποτελείται από τον αεροσυμπιεστή με ενσωματωμένο αεροφυλάκιο 150 λίτρων, τον ξηραντή καταψυκτικού τύπου, φίλτρα, και τις σωληνώσεις από χαλκό, με αναμονές σύνδεσης για την ηλεκτρόλυση και τον συμπιεστή υδρογόνου. Ο εμβολοφόρος, λιπαινόμενος αεροσυμπιεστής είναι μονοφασικός, με ισχύ κινητήρα 2.2 kW. Έχει ονομαστική πίεση λειτουργίας 10 bar και παροχή 225 l/min στα 10 bar. Η ισχύς του ψυκτικού συμπιεστή είναι 0.139 kW. Η καθαρότητα του πεπιεσμένου αέρα για πνευματικά συστήματα είναι σύμφωνη με τις προδιαγραφές κατά ISO 8573.1 class 1.4.1, δηλαδή σωματίδια έως 0.01 μm, λάδια έως 0.01 mg/m³ και σημείο δρόσου 3°C. Ο πεπιεσμένος αέρας στο αεροφυλάκιο διατηρείται υπό πίεση 6-8 bar με κατάλληλους διακόπτες πίεσης.

8. ΚΕΝΤΡΙΚΟΣ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΙΚΟΣ ΠΙΝΑΚΑΣ ΙΣΧΥΟΣ ΚΑΙ ΕΛΕΓΧΟΥ

Ο κεντρικός ηλεκτρολογικός πίνακας τροφοδοτείται από την ανεμογεννήτρια Enercon στα 400 V, και έχει διαστασιοποιηθεί για 100 KW. Από τον πίνακα αυτόν τροφοδοτούνται όλοι οι χρήστες ηλεκτρικής ενέργειας της εγκατάστασης υδρογόνου, ακόμα και το κλιματιστικό της αίθουσας ελέγχου. Μέσα στο ίδιο πεδίο βρίσκεται και το σύστημα ελέγχου, που βασίζεται σε ένα Programmable Logic Controller (PLC) Simatic S7 της εταιρείας Siemens. Το PLC λαμβάνει σήματα από διάφορα όργανα μέτρησης (πίεσης, θερμοκρασίας, ροής, ανάλυσης αερίων, ρεύματος, τάσης, και ηλεκτρικής ενέργειας) και στέλνει τα απαραίτητα σήματα για τον έλεγχο της εγκατάστασης. Επικοινωνεί με έναν υπολογιστή, στον οποίο καταγράφονται τα δεδομένα, και από τον οποίο στέλνονται οι κατάλληλες διαταγές για τη λειτουργία του συστήματος.

ΠΡΩΤΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ

Τα διάφορα τμήματα της εγκατάστασης τέθηκαν σε λειτουργία ξεχωριστά, για να ελεγχθεί η σωστή λειτουργία τους πριν την ενσωμάτωση στο ολοκληρωμένο σύστημα. Οι δεξαμενές μεταλλοϋδριδίων εγκαταστάθηκαν και ενεργοποιήθηκαν τον Μάιο του 2005. Για τη μεταφορά στο πάρκο, οι δεξαμενές με το μεταλλικό κράμα ήταν αδρανοποιημένες με αργό. Πριν την ενεργοποίηση, αφαιρέθηκε το αργό με τη βοήθεια μιας αντλίας κενού, και κατόπιν ξεκίνησε η ενεργοποίησή τους με υδρογόνο υπό πίεση, με συνεχή κυκλοφορία κρύου νερού. Η πρώτη πλήρωση των δεξαμενών, δηλαδή η ενεργοποίησή τους, γίνεται συνήθως με υδρογόνο υπό πίεση υψηλότερη της συνηθισμένης πίεσης λειτουργίας. Για αυτόν το λόγο, δεν ήταν δυνατή η χρήση του υδρογόνου της ηλεκτρόλυσης, και η πλήρωση έγινε από φιάλες υδρογόνου υψηλής πίεσης. Η τελική πίεση των δεξαμενών στους 30°C περίπου ήταν 20 bar. Η συνολική ποσότητα υδρογόνου που αποθηκεύτηκε ήταν 40 Nm³ H₂, όπως μετρήθηκε με βάση τη διαφορά πίεσης των φιαλών υδρογόνου. Η ποσότητα αυτή του υδρογόνου έχει μείνει αποθηκευμένη έκτοτε στις δεξαμενές μεταλλοϋδριδίων, και κατά διαστήματα μετράται η πίεση στις μεμονωμένες δεξαμενές, που εξαρτάται από την θερμοκρασία περιβάλλοντος, και κυμαίνεται μεταξύ 17 και 20 bar.

Η μονάδα ηλεκτρόλυσης παραδόθηκε από τον κατασκευαστή τον Μάρτιο, σε τρία τμήματα, τη μονάδα ηλεκτρόλυσης αυτή καθαυτή, το πεδίο παροχής ισχύος και το πεδίο ελέγχου. Τα δύο πεδία εγκαταστάθηκαν στην αίθουσα ελέγχου, και έγιναν όλες οι συνδέσεις με την ηλεκτρόλυση και με το κεντρικό σύστημα ελέγχου. Η λειτουργία της μονάδας ελέγχθηκε πλήρως από τον ίδιο τον κατασκευαστή πριν από την

παράδοση, και κυρίως όλα τα συστήματα ελέγχου. Τα πρώτα αποτελέσματα λειτουργίας της μονάδας σε διάφορες θερμοκρασίες, παρουσιάζονται στον **Πίνακα 1**. Στον πίνακα αναγράφονται το επιβαλλόμενο ρεύμα λειτουργίας I, η αντίστοιχη συνεχής τάση, η ωριαία παραγωγή υδρογόνου, η θερμοκρασία ηλεκτρόλυσης, η πίεση λειτουργίας, και η απόδοση της ηλεκτρόλυσης ως προς τη χαμηλή θερμογόνο δύναμη του υδρογόνου (Low Heating Value).

U (V)	I (A)	Nm ³ /h	T (oC)	P (bar)	eff LHV
97	180	3.52	33	3.4	60.48
94	180	3.52	45	10.7	62.41
91	186	3.64	54	14	64.52
90	187	3.66	60	17.5	65.25
88	188	3.68	63	18.4	66.74
88	260	5.14	76	10.6	67.34
88	282	5.59	78	10.8	67.52
86	285	5.65	80	10.8	69.12

Πίνακας 1. Πρώτα αποτελέσματα λειτουργίας της μονάδας ηλεκτρόλυσης 25 kW

Όπως φαίνεται στον Πίνακα 1, η μονάδα ηλεκτρόλυσης παράγει έως και 10% περισσότερο υδρογόνο από την ονομαστική ικανότητα των 5 Nm³/h. Η απόδοση της ηλεκτρόλυσης υπό ονομαστικές συνθήκες λειτουργίας είναι περίπου 69% ως προς τη χαμηλή θερμογόνο δύναμη του υδρογόνου. Μια προσεκτική ανάλυση των αποτελεσμάτων δείχνει ότι η ενώ η αύξηση της θερμοκρασίας επιφέρει μια αύξηση της απόδοσης της ηλεκτρόλυσης, η αύξηση της πίεσης δεν έχει μεγάλη επίδραση στην απόδοση. Η απόδοση της αλκαλικής αυτής μονάδας προηγμένης τεχνολογίας είναι υψηλή ακόμα και σε πολύ χαμηλές θερμοκρασίες, οπότε η επίδραση της αυξημένης θερμοκρασίας είναι περιορισμένη.

Ο συμπιεστής τέθηκε σε λειτουργία επιτυχώς τον Σεπτέμβριο, χρησιμοποιώντας άζωτο. Εξίσου καλά δουλεύουν και όλα τα βοηθητικά μηχανήματα όπως ο ψύκτης νερού και ο αεροσυμπιεστής. Στην εγκατάσταση έχουν προβλεφθεί κάποιες μετρήσεις, που, από όσο γνωρίζουμε, δεν έχουν γίνει ή δημοσιευθεί ακόμη, σχετικά με την κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας των βοηθητικών συστημάτων. Με τις μετρήσεις αυτές, μπορεί να γίνει μια πιο σωστή εκτίμηση της συνολικής ηλεκτρικής κατανάλωσης του συστήματος για την παραγωγή υδρογόνου.

Με βάση τις πρώτες μετρήσεις, η συνολική ηλεκτρική κατανάλωση για την παραγωγή του περιβαλλοντικά φιλικού υδρογόνου και την εμφιάλωση σε φιάλες στα 200 bar είναι περίπου 6.4 kWh/Nm³ H₂, που αντιστοιχεί σε μια απόδοση 47% (ως προς την LHV) του συνολικού συστήματος, συμπεριλαμβανομένης της κατανάλωσης κρύου νερού για την ψύξη των μηχανημάτων.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑ

Μια πρωτοποριακή μονάδα παραγωγής και αποθήκευσης υδρογόνου από αιολική ενέργεια σχεδιάστηκε και κατασκευάστηκε στο Αιολικό Πάρκο του ΚΑΠΕ στο Λαύριο. Η κατασκευή μιας τέτοιας μονάδας, παρόλα τα πρακτικά προβλήματα υλοποίησης που προκύπτουν από την εμπλοκή πλήθους διαφορετικών φορέων, ολοκληρώθηκε επιτυχώς, ακριβώς χάρη στην άψογη συνεργασία όλων των φορέων. Τα πρώτα αποτελέσματα λειτουργίας είναι πολύ ενθαρρυντικά, και αποδεικνύουν ότι η μονάδα έχει πολύ υψηλή απόδοση, όπως είχε σχεδιαστεί.

5.4.2 ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΝΗΣΙ ΥΔΡΟΓΟΝΟΥ

Μεγάλης κλίμακας ενσωμάτωση Ενεργειακών Τεχνολογιών Υδρογόνου σε Μη-διασυνδεδεμένο Ελληνικό νησί είναι το σκεπτικό γι' αυτό το εγχείρημα. Η προοπτική αντικατάστασης των αερίων και υγρών καυσίμων με Υδρογόνο στους τομείς ηλεκτροπαραγωγής, θέρμανσης και μεταφορών εξετάζεται σε παγκόσμιο επίπεδο. Η μετάβαση στην «Οικονομία Υδρογόνου» θα είναι μία πολύπλοκη, δαπανηρή και χρονοβόρος διαδικασία. Πλήθος οργανισμών προωθούν την ανάπτυξη και επιδεικτική εφαρμογή ενεργειακών τεχνολογιών Υδρογόνου, συμπεριλαμβανομένων των κυψελών καυσίμου.

Η Ευρωπαϊκή Επιτροπή (ΕΕ) έχει προσδώσει ειδική σημασία σε αυτόν τον τομέα, έχοντας εγκρίνει κονδύλια για ερευνητικά προγράμματα όπως το τρέχον 6ο Πρόγραμμα Πλαίσιο και το αναμενόμενο 7ο ΠΠ. Έχει αντίστοιχα αναλάβει πρωτοβουλίες για τον συντονισμό δραστηριοτήτων, όπως την Τεχνολογική Πλατφόρμα για το Υδρογόνο και τις Κυψέλες Καυσίμου.

Η αναμενόμενη Ευρωπαϊκή Πρωτοβουλία για την Ανάπτυξη (European Initiative for Growth) στοχεύει στο να συνεισφέρει στην οικονομική ανάπτυξη, υποστηρίζοντας τεχνολογίες βασικές για την ανάπτυξη. Μέρος της πρωτοβουλίας αυτής θα είναι το έργο «γρήγορης εκκίνησης για το Υδρογόνο» (Hydrogen quick-start project). Στα πλαίσια αυτού του έργου με συνολικό προϋπολογισμό μεγαλύτερο του ενός δις ΕΥΡΩ και διάρκειας 10 ετών, θα δημιουργηθούν αυτόνομες κοινότητες υδρογόνου ενώ ταυτόχρονα το έργο θα συνεισφέρει στην ανάπτυξη της βιομηχανίας και της αντίστοιχης αγοράς.

Η Ελληνική ερευνητική κοινότητα στον τομέα του Υδρογόνου στην προσπάθεια να συμμετέχει η Ελλάδα στην προβλεπόμενη χρηματοδότηση, θεωρεί σκόπιμο:

- να υποβάλει πρόταση για σημαντικής κλίμακας εθνικό έργο
- η πρόταση να προετοιμαστεί έγκαιρα, όσον αφορά τους στόχους και την δραστηριοποίηση των φορέων
- στο έργο να συμμετέχει μεγάλος αριθμός φορέων από διάφορους τομείς οικονομικής δραστηριότητας, καλύπτοντας πολλές τεχνολογικές λύσεις

Βάσει των παραπάνω, προτείνεται η ερευνητική κοινότητα να επικεντρώσει τις προσπάθειες της στην προετοιμασία πρότασης έργου με κεντρικό θέμα το «νησί Υδρογόνου». Κρίνεται ότι το «νησί Υδρογόνου» αφενός προβάλλει μία ιδιαιτερότητα της Ελλάδας, αυτή του πλήθους μη-διασυνδεδεμένων νήσων και αφετέρου προτείνει μία κοινότητα με υψηλό κόστος ενέργειας, στην οποία ενεργειακές λύσεις όπως αυτή του υδρογόνου θα μπορούσαν να καταστούν οικονομικά βιώσιμες νωρίτερα από ότι στο διασυνδεδεμένο σύστημα.

Με τη χρήση κατάλληλων τεχνολογιών θα είναι δυνατή η επιτόπια παραγωγή, αποθήκευση και χρήση του υδρογόνου, χρησιμοποιώντας εγχώριες Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ), με στόχο κάποια στιγμή να επέλθει η ενεργειακή ανεξάρτηση των νησιών από τα ορυκτά καύσιμα, με αντίστοιχα οφέλη όσον αφορά την προστασία του περιβάλλοντος και τη βιώσιμή τους ανάπτυξη. Μέσω του υδρογόνου μπορεί να επιτευχθεί αύξηση της διείσδυσης των ΑΠΕ στο νησιωτικό σύστημα, ενώ το υδρογόνο θα αποτελέσει το όχημα μέσω του οποίου οι ΑΠΕ θα εισέλθουν και στον τομέα των μεταφορών. Παράλληλα η στροφή προς τις τεχνολογίες υδρογόνου ως ενεργειακό φορέα στα ελληνικά νησιά θα δημιουργήσει ικανό αριθμό νέων θέσεων εργασίας, επομένως θα αποδειχτεί εξαιρετικά επωφελής για τις τοπικές κοινωνίες.

Πιο συγκεκριμένα, η Ελληνική ερευνητική κοινότητα προτείνει το νησί της Μήλου για την υλοποίηση του σχετικού έργου, καθώς διαθέτει συγκριτικά πλεονεκτήματα, τα σημαντικότερα εκ των οποίων είναι:

- Πλούσιο δυναμικό ΑΠΕ (ηλιακή, αιολική ενέργεια, αλλά και γεωθερμικό δυναμικό χαμηλής ενθαλπίας ικανό για ηλεκτροπαραγωγή)
- Μόνιμη οικονομική δραστηριότητα πέραν του τουρισμού, με τη λειτουργία σημαντικής βιομηχανίας
- Ύπαρξη συνεργείων με δυνατότητα εκτέλεσης πλήθους τεχνικών εργασιών
- Η μέγιστη ηλεκτρική ζήτηση στο νησί είναι της τάξης των 10 MW, επομένως η χρήση τεχνολογιών υδρογόνου θα έχει σημαντικό αντίκτυπο στο ενεργειακό σύστημα της Μήλου και τα αντίστοιχα αποτελέσματα θα φανούν ευκολότερα. Επιπλέον, εξαιτίας της ύπαρξης βιομηχανίας, το προφίλ ζήτησης της Μήλου είναι πιο ομοιόμορφο σε σύγκριση με νησιά των οποίων η οικονομική δραστηριότητα βασίζεται αποκλειστικά στον τουρισμό.
- Οι τοπικοί φορείς της Μήλου έχουν επιδείξει ευαισθησία στον τομέα ενέργεια, περιβάλλον και έχουν αναπτύξει πρότερη σχετική δραστηριότητα

Επισημαίνεται ότι στόχος του έργου θα είναι η παραγωγή του υδρογόνου αποκλειστικά από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ), ώστε κάποια στιγμή να επέλθει η ενεργειακή ανεξάρτηση των νησιών από τα ορυκτά καύσιμα, με αντίστοιχα οφέλη όσον αφορά την προστασία του περιβάλλοντος.

ΕΡΓΟ

Το έργο αφορά Ελληνικό μη-διασυνδεδεμένο νησί με τα εξής χαρακτηριστικά:

- πληθυσμός έως 5.000 άτομα
- μέγιστη ηλεκτρική ισχύ ζήτησης 10MW
- ικανό δυναμικό σε ΑΠΕ (κυρίως αιολική, ηλιακή, γεωθερμική ενέργεια) και υπάρχουσες εγκαταστάσεις ΑΠΕ
- μόνιμες οικονομικές δραστηριότητες πέραν του τουρισμού, όπως βιομηχανική ή αλιευτική δραστηριότητα
- τοπικούς φορείς με ευαισθησία στον τομέα ενέργεια / περιβάλλον και κατά προτίμηση με πρότερη σχετική δραστηριότητα.

Το έργο θα αφορά την ανάπτυξη, εφαρμογή και διάδοση τεχνολογιών παραγωγής, αποθήκευσης, διανομής και χρήσης υδρογόνου σε όλους τους τομείς της ενέργειας, δηλαδή την ηλεκτροδότηση, την θέρμανση και τις μεταφορές.

ΣΤΟΧΟΣ

Στόχος του έργου θα είναι η κάλυψη ουσιαστικού μέρους των ανωτέρω τομέων με ενέργεια που θα προέλθει από τεχνολογίες υδρογόνου, και συγκεκριμένα.

- το 10% της ηλεκτρικής ενέργειας
- το 5% της ενέργειας για θέρμανση
- το 5% της ενέργειας για μεταφορές

Όσον αφορά την παραγωγή υδρογόνου, αυτή θα καλυφθεί από:

- πλεονάζουσα ενέργεια από υπάρχουσες εγκαταστάσεις ΑΠΕ (αιολική, ηλιακή, γεωθερμία) μέσω ηλεκτρόλυσης
- ενέργεια από πρόσθετες παρόμοιες εγκαταστάσεις ΑΠΕ που θα υλοποιηθούν στα πλαίσια του έργου με βασικό σκοπό την παραγωγή υδρογόνου μέσω ηλεκτρόλυσης
- βιοκαύσιμα, μέσω αναμόρφωσης σε κεντρικές ή αποκεντρωμένες μονάδες ή σε κυψέλες καυσίμου που λειτουργούν με αυτό το καύσιμο / φορέα υδρογόνου (τα βιοκαύσιμα προβλέπεται να εισαχθούν στο νησί)

Η αποθήκευση υδρογόνου θα καλυφθεί κυρίως από δεξαμενές αποθήκευσης του υδρογόνου σε αέρια μορφή και σε πιέσεις των 16 bar (δεξαμενές για αποθήκευση από 1.000 έως 10.000 Nm³ H₂) ή σε φιάλες υδρογόνου των 200 bar, πίεση για την οποία θα απαιτηθεί η εγκατάσταση συμπιεστών.

Η διανομή του υδρογόνου θα γίνει μέσω περιορισμένου δικτύου ή φιαλών όσον αφορά την χρήση σε κτίρια και μέσω σταθμών πλήρωσης όσον αφορά τις επίγειες ή θαλάσσιες μεταφορές (υδρογονάδικα). Αντίστοιχες υποδομές αποθήκευσης και διανομής θα υπάρξουν και για τα βιοκαύσιμα.

Όσον αφορά την ενεργειακή χρήση του υδρογόνου αυτή θα αφορά τις εξής διαδικασίες:

- Συμπαγωγή ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας (ΣΗΘ) μέσω χρήσης H₂ σε H/Z με καύσιμο υδρογόνο ή, κυρίως, σε κυψέλες καυσίμου τύπου PEM, DMFCs, SOFCs ή PAFC
- η ΣΗΘ δύναται να καλυφθεί και από βιοκαύσιμα σε συνδυασμό με κατάλληλου τύπου κυψελών καυσίμου / μονάδων αναμόρφωσης
- Μεταφορές, μέσω χρήσης οχημάτων ειδικών χρήσεων (συλλογή απορριμμάτων, ξενοδοχεία), λεωφορείων υδρογόνου, καθώς και σκαφών για θαλάσσιες μεταφορές (βάρκες, καΐκια) τα οποία θα τροφοδοτούνται με καύσιμο υδρογόνο ή βιοκαύσιμα.

Ενδεικτικά μεγέθη για το προτεινόμενο έργο όσον αφορά τις τεχνολογίες που θα εφαρμοστούν παρουσιάζονται κατωτέρω:

- νέες εγκαταστάσεις ΑΠΕ εγκατεστημένης ισχύος 3MW (αιολικά, γεωθερμία, εγκαταστάσεις εκμετάλλευσης βιοαερίου από ΧΥΤΑ)
- 3MW εγκατεστημένη ισχύς σε ηλεκτρολυτικές μονάδες με εκτιμώμενη ετήσια παραγωγή υδρογόνου της τάξης των 1.600.000 Nm³
- υποδομές για την αποθήκευση (20.000 έως 40.000 Nm³H₂) και διανομή υδρογόνου και βιοκαυσίμων
- 500kW κυψέλες καυσίμου με καύσιμο υδρογόνο ή βιοκαύσιμα
- 1 λεωφορείο, ειδικά οχήματα και βάρκες υδρογόνου ή βιοκαυσίμου με ΚΕΚ η κυψέλες καυσίμου

Ο ενδεικτικός προϋπολογισμός του έργου, συμπεριλαμβανομένων των δράσεων εγκατάστασης, επίδειξης, εκπαίδευσης, διάδοσης, κ.λ.π καθώς και του ανωτέρω εξοπλισμού εκτιμάται ότι θα ανέλθει σε περίπου 20 εκ ΕΥΡΩ.

Η υλοποίηση του προαναφερθέντος έργου προϋποθέτει την εμπορική διάθεση ενεργειακών τεχνολογιών υδρογόνου. Επιθυμητό είναι αυτή η αγορά να καλυφθεί όσο το δυνατόν από ελληνικά προϊόντα τα οποία θα αναπτυχθούν στα πλαίσια του έργου, αλλά είναι προφανές ότι θα υπάρξει και εισαγωγή τεχνολογίας και τεχνογνωσίας, πράγμα το οποίο θα βοηθήσει στην ανάδειξη της Ευρωπαϊκής διάστασης του έργου.

Πέραν από την εφαρμογή τεχνολογιών υδρογόνου, έμφαση θα πρέπει να δοθεί σε μέτρα εξοικονόμησης ενέργειας στο νησί καθώς και στην μέγιστη απευθείας χρήση (διείσδυση) των ΑΠΕ για θέρμανση, ηλεκτροδότηση ή μεταφορές. Τέλος, δεν θα πρέπει να υποτιμηθεί η ποσότητα πόσιμου (απιονισμένου) νερού που θα απαιτείται για την παραγωγή των ποσοτήτων υδρογόνου μέσω ηλεκτρόλυσης, η οποία μπορεί να οδηγήσει στην ανάγκη εγκατάστασης μονάδων αφαλάτωσης από ΑΠΕ. Αντίστοιχα μπορεί να διερευνηθεί η δυνατότητα ηλεκτρόλυσης θαλασσινού νερού (τεχνολογία ηλεκτρόλυσης χλωριούχου αλκαλίου)

Εμπλεκόμενοι φορείς

- Βιομηχανία με δραστηριότητα στο νησί (ηλεκτροπαραγωγή, εκμετάλλευση μεταλλευμάτων, τουρισμός, προμήθεια καυσίμων, κ.λ.π.)
- Τοπικοί φορείς και φορείς κοινής ωφελείας
- Ερευνητικοί και Επιστημονικοί φορείς
- Επενδυτές έργων ΑΠΕ
- Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας
- Κατασκευαστές και προμηθευτές σχετικού εξοπλισμού (εγκαταστάσεις υδρογόνου, σταθμοί πλήρωσης, κυψέλες καυσίμου, οχήματα, βάρκες)
- Οικονομοπιστωτικοί οργανισμοί

5.4.3 ΥΔΡΟΓΟΝΟ «MADE IN GREECE»



«Αν μετατρέπαμε το 10% των ελληνικών καλλιεργειών σε καλλιέργειες ενεργειακών φυτών με υψηλή απόδοση σε αιθανόλη, θα μπορούσαμε να τροφοδοτήσουμε μονάδες παραγωγής ενέργειας με τη χρήση συσκευών GH2 (όπως αυτή στη φωτογραφία), οι οποίες θα απέδιδαν περίπου 28 δισεκατομμύρια κιλοβατώρες».

Ονομάζεται GH2 ή αλλιώς Green HydroGenerator και φέρει την υπογραφή μιας ελληνικής ομάδας επιστημόνων. Πρόκειται για μια συσκευή που παράγει υδρογόνο και υποκαθιστά το πετρέλαιο που χρησιμοποιείται για θέρμανση και για ηλεκτρισμό. «Στη μονάδα μας στο Επιστημονικό Πάρκο Πατρών παράγουμε υδρογόνο μέσω της συσκευής GH2 από τον περασμένο Νοέμβριο», λέει στα «NEA» ο κ. Δημήτρης Λυγούρας, διευθυντής στο τμήμα έρευνας και ανάπτυξης της εταιρείας ΕΛΒΙΟ, η οποία ανέλαβε να δώσει εμπορική διέξοδο σε μια επιστημονική έρευνα που ξεκίνησε πριν από 15 χρόνια.

Επικεφαλής της έρευνας και υπεύθυνος για την ανάπτυξη της συγκεκριμένης τεχνολογίας είναι ο καθηγητής Χημικής Μηχανικής στο Πανεπιστήμιο της Πάτρας κ. Ξενοφώντας Βερύκιος, ο οποίος εξηγεί πως το μηχάνημα παραγωγής υδρογόνου δίνει από δύο έως 250 kW ηλεκτρικής ενέργειας και μπορεί να χρησιμοποιηθεί ακόμη και για οικιακή χρήση (αν και το κόστος του είναι αυτή τη στιγμή απαγορευτικό), ωστόσο σίγουρα μπορεί να βρει εφαρμογή σε μεγάλες βιομηχανικές μονάδες, σε νοσοκομεία, σχολεία κ.λπ. Ήδη η ΕΛΒΙΟ μελετά την εγκατάσταση μονάδων GH2 σε νησιά και στον βιολογικό καθαρισμό της Πάτρας, όπου θα αξιοποιεί το βιοαέριο που παράγεται.

5.4.4 ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΛΕΩΦΟΡΕΙΟ ΥΔΡΟΓΟΝΟΥ

Σε εκδήλωση που πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια της ημερίδας <<Ενέργεια και Μεταφορές>>, το υπουργείο Μεταφορών παρέδωσε στην ερευνητική ομάδα του ΕΜΠ, ένα πετρελαιοκίνητο λεωφορείο της ΕΘΕΛ με σκοπό να το μετατρέψει σε όχημα φιλικό προς το περιβάλλον με καύσιμο το υδρογόνο.

Το πρόγραμμα της συγκεκριμένης ομάδας ερευνητών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου προβλέπει την μετατροπή του εν λόγω λεωφορείου σε όχημα που κάνει χρήση υδρογόνου ως καύσιμο με αποτέλεσμα τις μηδενικές εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα.

Το νέο αυτό μέσο μαζικής μεταφοράς θα ξεκινήσει τα δρομολόγια του σε ένα χρόνο από τώρα και κατά τη διάρκεια της πιλοτικής του λειτουργίας, η ερευνητική ομάδα του ΕΜΠ θα αναλάβει την παρακολούθηση της οδικής του συμπεριφοράς.

Πληροφοριακά αναφέρουμε πως ο υπάρχων στόλος της ΕΘΕΛ περιλαμβάνει 283 λεωφορεία με πετρελαιοκινήτρες Euro 3, 416 λεωφορεία φυσικού αερίου ενώ προγραμματίζεται η προμήθεια 520 νέων λεωφορείων τεχνολογίας Euro 4 & 5. Αξίζει να σημειωθεί πως τα υδρογονοκινούμενα λεωφορεία έχουν ήδη ξεκινήσει να χρησιμοποιούνται πιλοτικά στην Ευρωπαϊκή Ένωση καθώς στο Άμστερνταμ της Ολλανδίας κινούνται ήδη τρία τέτοια λεωφορεία την τελευταία τετραετία ενώ μέσα στα επόμενα δύο χρόνια το Βερολίνο αναμένεται να θέσει σε κυκλοφορία 14 ακόμη οχήματα.



Υδρογονοκινούμενο λεωφορείο

5.5 ΘΕΣΜΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ ΓΙΑ Α.Π.Ε. ΚΑΙ ΥΔΡΟΓΟΝΟ

Όσον αφορά τη χώρα μας έχει κάνει σοβαρά βήματα προόδου στον τομέα των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας αρχής γενομένης με την εθνική έκθεση για το επίπεδο διείσδυσης της ανανεώσιμης ενέργειας έως το έτος 2010 του άρθρου 3 οδηγίας 2001/77/ΕΕ που προβλέπει για την Ελλάδα τον ενδεικτικό στόχο κάλυψης ενεργειακές πηγές, περιλαμβανομένων των μεγάλων υδροηλεκτρικών έργων, σε ποσοστό της ακαθάριστης κατανάλωσης ενέργειας κατά το έτος 2010 ίσο με 20,1%. Ο στόχος αυτός είναι συμβατός με τις διεθνείς απαιτήσεις της χώρας που απορρέουν από την υπογραφή του πρωτοκόλλου του Κιότο που υπογράφηκε το Δεκέμβριο του 1997 στη σύμβαση – πλαίσιο των Ηνωμένων Εθνών για την αλλαγή του κλίματος.

Το επόμενο βήμα έγινε πρόσφατα με το νόμο 3468/2006 που αφορά την Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας και Συμπαράγωγή Ηλεκτρισμού και Θερμότητας Υψηλής Απόδοσης, που αφορά τόσο παραγωγούς όσο και αυτοπαραγωγούς. Ουσιαστικά, με την ψήφιση ενός τέτοιου νόμου ανοίγει ο δρόμος τόσο για νέες επενδύσεις και εισροή κεφαλαίων στην Ελληνική οικονομία όσο και για την πραγματοποίηση των τεχνολογιών που έχουν αναφερθεί ήδη.

Για το υδρογόνο και τη παραγωγή του από Α.Π.Ε. δεν υπάρχει μέχρι στιγμής κάποιος νόμος ή θεσμικό πλαίσιο αλλά ωστόσο βρίσκονται σε εξέλιξη διάφορα πιλοτικά προγράμματα και υπάρχουν σημάδια πως δεν θα αργήσει να γίνει κάτι τέτοιο. Εξάλλου η Ευρωπαϊκή Επιτροπή προσπαθεί να επιλύσει τέτοια ζητήματα κάτω από την ηγεσία της Loyola de Palacio, αντιπρόεδρο της Ευρωπαϊκής Επιτροπής και Philippe Busquin, Επίτροπος για την έρευνα, δημιούργησε την ευρωπαϊκή πλατφόρμα τεχνολογίας υδρογόνου και καυσίμων το 2003, ένα φόρουμ για τα κράτη μέλη της ΕΕ, για να συντονίσει τις εθνικές ερευνητικές δραστηριότητες σε αυτόν τον τομέα. Για να επιτύχει το όραμα αυτής της πλατφόρμας, συνολικά 300 εκατομμύρια ευρώ από ιδιωτικές και δημόσιες επενδύσεις, έχουν συμβάλει στην πρωτοβουλία "γρήγορης έναρξης", της οποίας στόχος είναι να οργανωθούν οι συνεργασίες μεταξύ της κυβέρνησης και των ιδιωτικών ερευνητικών ομάδων για να επιταχύνει την εμπορευματοποίηση των τεχνολογιών υδρογόνου κατά τη διάρκεια των επόμενων δεκαετιών.

Η πρωτοβουλία της "γρήγορης έναρξης" είναι μέρος ενός μεγαλύτερου ευρωπαϊκού σχεδίου - χάρτη για το υδρογόνο και τις κυψέλες καυσίμων. Για τα βραχυπρόθεσμα σχέδια, το 2010, η Ευρωπαϊκή Ένωση προγραμματίζει την εντατικότερη χρήση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, βελτιώνει την αποδοτικότητα των απολιθωμένων υγρών τεχνολογιών, αυξάνει τη χρήση των συνθετικών υγρών καυσίμων που παράγονται από το φυσικό αέριο και τη βιομάζα και εισάγει τις πρόωρες εφαρμογές για το υδρογόνο και τις κυψέλες καυσίμων.

Για το 2020, το σχεδίου - χάρτης ελπίζει να συνεχίσει τη χρήση των υγρών καυσίμων από τη βιομάζα, να συνεχίσει τη χρήση υγρών και αεριώδων καυσίμων στις κυψέλες καυσίμων ώστε να αναπτύξει και να εφαρμόσει άμεσα τα συστήματα για την παραγωγή υδρογόνου από την ανανεώσιμη ηλεκτρική ενέργεια. Πέρα από το 2020, το σχεδίου - χάρτης προγραμματίζει να ικανοποιήσει τις νέες ενεργειακές απαιτήσεις με το υδρογόνο ως ενεργειακό φορέα, που αντικαθιστά τους βασισμένους σε άνθρακα ενεργειακούς φορείς και που επεκτείνει τα δίκτυα διανομής υδρογόνου.

Μέσω αυτού του σχεδίου - χάρτη, προβάλλεται ότι μέχρι το 2020, το 2% των αυτοκινήτων θα είναι υδρογονοκινούμενα. Ο αριθμός αυτός υπολογίζεται να αυξηθεί σε 15% μέχρι το 2030 και 32% μέχρι το 2040. Αυτή η μετάβαση σε τροφοδοτημένα με υδρογόνο οχήματα υπολογίζεται ότι θα μειώσει σε πολύ μεγάλο βαθμό τις εκπομπές του διοξειδίου του άνθρακα μέχρι το έτος 2040.

Τέλος, μερικές ευρωπαϊκές χώρες ερευνούν τρόπους ώστε να προσαρμόσουν το τρέχον ενεργειακό τους σύστημα για μια μελλοντική οικονομία υδρογόνου. Ένα παράδειγμα είναι η Δανία που μετασχηματίζει την υπάρχουσα σωλήνωση φυσικού αερίου της για τη διανομή υδρογόνου.

ΕΠΙΛΟΓΟΣ

Η πρόταση του υδρογόνου φαίνεται ότι αξίζει της προσοχής μας. Αποτελεί ένα καθαρό καύσιμο, χωρίς επιβλαβείς ρύπους τόσο για τον άνθρωπο όσο και για το περιβάλλον, αποδοτικότερο συγκριτικά με τα τωρινά και φυσικά όχι πιο επικίνδυνο. Μαζί με τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας αποτελεί την ιδανική λύση για την παραγωγή του και το υδρογόνο με την σειρά του αποτελεί τρόπο αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας και την καλύτερη διαχείριση της, ιδίως όταν προέρχεται από ήπιες μορφές. Μας παρέχει τη δυνατότητα μέσω των κυψελών καυσίμου να ανακτήσουμε την αποθηκευμένη ενέργεια είτε σε ηλεκτρική, είτε σε θερμότητα είτε σε κίνηση. Με απλά λόγια το σύστημα υδρογόνου – κυψελών καυσίμου αποτελεί ένα νέο είδος μπαταρίας με ποικίλες δυνατότητες και φυσικά μεγάλη απόδοση.

Η παραγωγή υδρογόνου από Α.Π.Ε. βρίσκεται αυτή τη στιγμή σε ερευνητικό και πειραματικό στάδιο. Αποτελεί βέβαια κυρίαρχο στόχο έρευνας σε Ευρωπαϊκό επίπεδο και συγκεκριμένα για την χώρα μας, η λύση του υδρογόνου από Α.Π.Ε. ταιριάζει απόλυτα στα ενεργειακά χαρακτηριστικά, συμβάλλοντας στην απεξάρτηση από τα εισαγόμενα καύσιμα, προστατεύοντας το περιβάλλον και καλύπτοντας τις ιδιαιτερότητες των αυτόνομων ενεργειακών κοινοτήτων.

Είναι απόλυτη ανάγκη να δοθούν κίνητρα από το κράτος αλλά και επενδύσεις από τις εταιρείες ενέργειας για να εισαχθούν και να αναπτυχθούν τεχνολογίες υδρογόνου, ώστε να αξιοποιηθεί το αιολικό και ηλιακό δυναμικό της χώρας μας. Η Ελλάδα μπορεί και πρέπει να είναι παραγωγός χώρα υδρογόνου και ο πιο απλός τρόπος είναι με ηλεκτρόλυση νερού με χρήση ηλιακής και αιολικής ενέργειας.

Πρέπει να καταλάβουμε όλοι πως εν αντιθέσει με τον 20^ο αιώνα που ήταν ο αιώνας των ορυκτών καυσίμων, ο 21^{ος} είναι ο αιώνας των συνθετικών καυσίμων, του υδρογόνου και της εγκατάλειψης των ορυκτών καυσίμων που δημιούργησαν τεράστια και ανυπολόγιστη ζημιά στο περιβάλλον.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- John O'M. Bockris, T. Nejat Veziroglou, Debbi Smith, μτφ Παναγιώτης Ε. Τσιακάρης, Σάββας Δουβαρτζίδης (2005) *Παραγωγή υδρογόνου από ηλιακή ενέργεια*, Θεσσαλονίκη, Εκδόσεις Τζιόλα
- S.Z. Baykara, International Journal of Hydrogen Energy 29: *Hydrogen production by direct solar thermal decomposition of water, possibilities for improvement of process efficiency*, 2004
- Y. Tamaura, Y. Ueda, J. Matsunami, N. Hasegawa, M. Nezuka, T. Sano, M. Tsuji, International Journal of Hydrogen Energy 2: *Solar hydrogen production by using ferrites*, 1998
- R. Sime, J. Kuehni, L. D'Souza, E. Elizondo, S. Biollaz, International Journal of Hydrogen Energy 28: *The redox process for producing hydrogen from woody biomass*, 2003
- Jo-Shu Changa, Kuo-Shing Leeb, Pin-Jei Linb, International Journal of Hydrogen Energy 27: *Biohydrogen production with fixed-bed bioreactors*, 2002
- Patrick C. Hallenbecka, John R. Benemannb, International Journal of Hydrogen Energy 27: *Biological hydrogen production; fundamentals and limiting processes*, 2002
- Adnan Midillia, Murat Dogrub, Galip Akayb, Colin R. Howarthb, International Journal of Hydrogen Energy 27: *Hydrogen production from sewage sludge via a fixed bed gasifier product gas*, 2002
- Carolyn C. Elam, Catherine E. Gregoire Padro, Gary Sandrock, Andreas Luzzi, Peter Lindblad, Elisabet Fjermestad Hagen, International Journal of Hydrogen Energy 28: *Realizing the hydrogen future: the International Energy Agency's efforts to advance hydrogen energy technologies*, 2003
- T.C. Woodbridge, D.D. Woodbridge, International Journal of Hydrogen Energy 21: *Ocean hydrogen for launch operations*, 1996
- Sharon Thomas, Marcia Zalbowitz, Los Alamos National Laboratory: *Fuel cells – Green power*
- <http://www.hellashy.org>
- <http://www.cres.gr/cape>
- <http://www.hy2.gr>
- <http://el.wikipedia.org/wiki/>

- <http://www.physics4u.gr>
- <http://www.princeton.edu>
- <http://www.ipcc.ch>
- <http://www.rae.gr/energysys>
- http://www.ypan.gr/c_announce
- <http://www.ypexode.gr>
- <http://www.greenpeace.org/greece/press>
- <http://www.energotech.gr/ell/mikro.htm>