

ΤΕΙ ΠΑΤΡΩΝ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΑΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**Σχεδιασμός Συστήματος Παραγωγής
Υδρογόνου Ως Καύσιμο Για Μηχανές
Εσωτερικής Καύσης**



Γεώργιος Κατσάνος

Γεώργιος Ξενόπουλος

Υπεύθυνος Καθηγητής
Δρ. Αλέξανδρος Ρωμαίος

Πάτρα 2012

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Το παρόν τεύχος αποτελεί Πτυχιακή Εργασία που εκπονήθηκε στο Τμήμα Μηχανολογίας του Ανώτατου Τεχνολογικού Εκπαιδευτικού Ιδρύματος Πάτρας και αναφέρεται στις γεννήτριες παραγωγής υδρογόνου με τη μέθοδο της ηλεκτρόλυσης και την εφαρμογή τους σε μηχανές εσωτερικής καύσης. Δεδομένης της παρούσας οικονομικής κρίσης και της αύξησης της τιμής του πετρελαίου, καθώς και την άμεση ανάγκη εύρεσης μεθόδων προστασίας του περιβάλλοντος οι γεννήτριες υδρογόνου και η εφαρμογή τους σε μηχανές εσωτερικής καύσης είναι μια λύση που μπορεί να συμβάλει στην αντιμετώπιση των δυο αυτών βασικών προβλημάτων.

Αρχικά μελετάται το υδρογόνο ως στοιχείο, οι μέθοδοι παραγωγής του καθώς επίσης και το υδρογόνο ως καύσιμο. Στην συνέχεια μελετώνται οι γεννήτριες υδρογόνου και αναπτύσσονται τα οφέλη τους στις μηχανές εσωτερικής καύσης. Αναπτύσσονται επίσης οι τύποι των γεννητριών υδρογόνου καταλήγοντας στον πιο αποδοτικό τύπο γεννήτριας. Επιπλέον, μελετώνται τα τεχνικά χαρακτηριστικά των γεννητριών υδρογόνου ξηρού τύπου με πλάκες. Τέλος πραγματοποιείται μελέτη και τεχνικός σχεδιασμός μιας γεννήτριας υδρογόνου ξηρού τύπου με πλάκες.

Ευχαριστούμε θερμά τον επιβλέποντα καθηγητή μας κ. Αλέξανδρο Ρωμαίο, Αναπληρωτή Καθηγητή του Τμήματος Μηχανολογίας, για την πολύτιμη βοήθεια και καθοδήγηση που μας προσέφερε για την πραγματοποίηση της Εργασίας.

Κατσάνος Γεώργιος
Ξενόπουλος Γεώργιος
Ιούλιος 2012

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα Πτυχιακή Εργασία αναφέρεται στις γεννήτριες υδρογόνου και την εφαρμογή τους σε μηχανές εσωτερικής καύσης οι οποίες τα τελευταία χρόνια γνωρίζουν μεγάλη απήχηση. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι αποτελούν ένα μέσο με το οποίο επιτυγχάνεται οικονομία στην κατανάλωση καυσίμου του αυτοκινήτου και κατ' επέκταση εξοικονόμηση χρημάτων. Επιπλέον, οι γεννήτριες υδρογόνου συμβάλουν στην προστασία του περιβάλλοντος καθώς η καύση του υδρογόνου δίνει ως μόνο παράγωγο νερό.

Η ανάπτυξη του θέματος γίνεται σε επτά κεφάλαια. Το πρώτο κεφάλαιο αποτελεί την Εισαγωγή της Πτυχιακής Εργασίας και επιχειρεί μια ιστορική αναδρομή στις χρήσεις του υδρογόνου ως καύσιμο από τις αρχές του 16^{ου} αι. μέχρι σήμερα. Ειδικότερα, επισημαίνονται τόσο τα οικονομικά όσο και οικολογικά οφέλη που προκύπτουν από την εφαρμογή γεννητριών υδρογόνου σε μηχανές εσωτερικής καύσης, πράγμα που αποτελεί και αντικείμενο μελέτης της παρούσας εργασίας.

Το δεύτερο κεφάλαιο αναφέρεται στο υδρογόνο. Ειδικότερα, αναλύονται οι ιδιότητες του υδρογόνου, τόσο οι φυσικές όσο και οι χημικές καθώς και οι μέθοδοι παραγωγής του. Ακόμη, στο παρόν κεφάλαιο μελετάται το υδρογόνο ως καύσιμο σε μηχανές.

Στο τρίτο κεφάλαιο μελετώνται οι γεννήτριες υδρογόνου. Συγκεκριμένα, γίνεται λόγος για την αρχή λειτουργίας των γεννητριών υδρογόνου καθώς και για τα οφέλη κατά την εφαρμογή τους σε μηχανές εσωτερικής καύσης. Ακολούθως, επεξηγούνται αναλυτικά όλοι οι τύποι γεννητριών υδρογόνου (γεννήτριες υγρού τύπου και γεννήτριες ξηρού τύπου) όπως επίσης και τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα κάθε τύπου γεννήτριας. Στο κεφάλαιο αυτό καταδεικνύεται ως αποδοτικότερος τύπος γεννήτριας υδρογόνου η γεννήτρια υδρογόνου ξηρού τύπου με πλάκες, για την οποία γίνεται λόγος στα παρακάτω κεφάλαια.

Το τέταρτο κεφάλαιο αφορά τις αρχές σχεδιασμού των γεννητριών υδρογόνου ξηρού τύπου με πλάκες. Γίνεται λόγος για τα τεχνικά χαρακτηριστικά αυτού του τύπου γεννητριών υδρογόνου, αναλύοντας τον τρόπο παραγωγής αέριου υδρογόνου – οξυγόνου καθώς και τον τρόπο υπολογισμού της ηλεκτρικής τάσης και έντασης της γεννήτριας. Στη συνέχεια γίνεται αναφορά στον αριθμό

των πλακών που την αποτελούν, στο διάκενο μεταξύ αυτών και στον τρόπο σύνδεσής τους. Τέλος, γίνεται λόγος για τη λειτουργία της γεννήτριας σε ακραίες θερμοκρασιακές συνθήκες

Στο πέμπτο κεφάλαιο μελετώνται οι ηλεκτρολύτες, χημικά στοιχεία απαραίτητα για την παρασκευή ηλεκτρολυτικού διαλύματος που χρησιμοποιείται από τις γεννήτριες υδρογόνου για την παραγωγή υδρογόνου. Συγκεκριμένα, στο παρόν κεφάλαιο καταγράφονται οι σημαντικότεροι ηλεκτρολύτες και τα χαρακτηριστικά τους καθώς και οι αναλογίες που απαιτούνται για την παρασκευή ηλεκτρολυτικού διαλύματος.

Το έκτο κεφάλαιο πραγματεύεται τους τρόπους ρύθμισης του μίγματος αέρα - καυσίμου μιας μηχανής εσωτερικής καύσης με γεννήτρια υδρογόνου. Επισημαίνεται ότι μπορεί να επιτευχθεί η απαιτούμενη αναλογία του μίγματος αέρα – καυσίμου με δύο τρόπους: είτε επεμβαίνοντας στον αισθητήρα μέτρησης οξυγόνου των καυσαερίων, είτε συνδέοντας έναν παράλληλο εγκέφαλο στον ηλεκτρονικό εγκέφαλο του αυτοκινήτου.

Στο έβδομο κεφάλαιο πραγματοποιείται μελέτη και τεχνικός σχεδιασμός μιας γεννήτριας υδρογόνου ξηρού τύπου με πλάκες με προοπτική εφαρμογής της στη μηχανή εσωτερικής καύσης ενός συμβατικού αυτοκινήτου. Αναλυτικότερα, πραγματοποιείται μελέτη κατανάλωσης καυσίμου ενός κινητήρα 1800cc έτσι ώστε να προκύψει η ποσότητα υδρογόνου που θα πρέπει να παράγει η γεννήτρια υδρογόνου. Στη συνέχεια, υπολογίζονται τα τεχνικά χαρακτηριστικά της γεννήτριας υδρογόνου όπως : υλικά κατασκευής, διαστάσεις εξαρτημάτων, ηλεκτρολογικοί υπολογισμοί, υπολογισμοί παραγωγής υδρογόνου κ.λπ.

Τα σπουδαιότερα συμπεράσματα που προκύπτουν από την παρούσα εργασία είναι ότι η εφαρμογή μιας γεννήτριας υδρογόνου σε μια μηχανή αυτοκινήτου συμβάλλει ουσιαστικά στην προστασία του κινητήρα, μειώνει την κατανάλωση καυσίμου, με αποτέλεσμα την εξοικονόμηση χρημάτων, και επιτυγχάνει τη δραστική μείωση των επιβλαβών για το περιβάλλον ρύπων που παράγονται με την καύση των υδρογονανθράκων. Λαμβάνοντας κανείς υπόψη τα παραπάνω συμπεράσματα και ακολουθώντας τη μεθοδολογία της παρούσας εργασίας μπορεί εύκολα και οικονομικά να προβεί στην κατασκευή μιας γεννήτριας υδρογόνου.

Περιεχόμενα

ΠΡΟΛΟΓΟΣ.....	iii
---------------	-----

ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	v
---------------	---

Κεφάλαιο 1.....	11
-----------------	----

Κεφάλαιο 2.....	15
-----------------	----

2.1 Εισαγωγή.....	15
-------------------	----

2.2 Ιδιότητες Υδρογόνου.....	18
------------------------------	----

2.2.1 Φυσικές Ιδιότητες.....	18
------------------------------	----

2.2.2 Χημικές Ιδιότητες.....	19
------------------------------	----

2.3 Μέθοδοι Παραγωγής Υδρογόνου.....	21
--------------------------------------	----

2.3.1 Υδρογόνο από φυσικό αέριο.....	21
--------------------------------------	----

2.3.2 Υδρογόνο από Άνθρακα ή Πετρέλαιο.....	22
---	----

2.3.3 Υδρογόνο από διάσπαση νερού σε πολύ υψηλές θερμοκρασίες.....	23
--	----

2.3.4 Υδρογόνο από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.....	23
---	----

2.3.5 Υδρογόνο από ηλεκτρόλυση νερού.....	24
---	----

2.4 Το Υδρογόνο ως Καύσιμο.....	29
---------------------------------	----

2.4.1 Η καύση του Υδρογόνου σε μηχανές.....	29
---	----

2.4.2 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα του Υδρογόνου ως καύσιμο.....	30
---	----

Κεφάλαιο 3.....	35
-----------------	----

3.1 Εισαγωγή.....	35
-------------------	----

3.2 Τα οφέλη μιας Γεννήτριας Υδρογόνου σε μια ΜΕΚ.....	38
--	----

3.3 Τύποι Γεννητριών Υδρογόνου.....	39
-------------------------------------	----

3.3.1 Γεννήτριες Υδρογόνου Υγρού Τύπου.....	40
---	----

3.3.2 Γεννήτριες Υδρογόνου ξηρού τύπου.....	43
---	----

3.4 Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα Γεννητριών Υδρογόνου Υγρού Τύπου.....	44
--	----

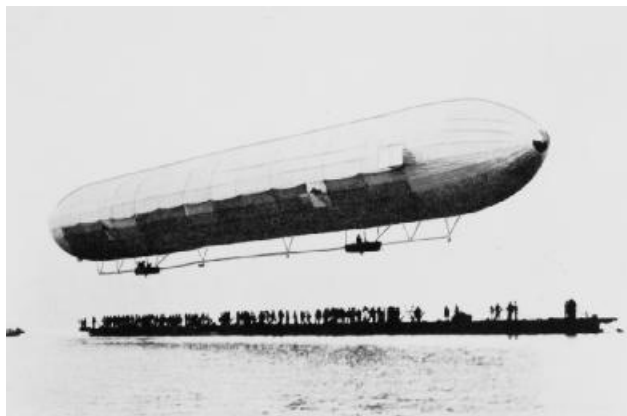
3.5 Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα Γεννητριών Υδρογόνου Ξηρού Τύπου.....	45
Κεφάλαιο 4.....	47
4.1 Τεχνικά Χαρακτηριστικά Γεννήτριας Υδρογόνου	47
4.1.1. Υπολογισμός παραγωγής αερίου Υδρογόνου - Οξυγόνου	48
4.1.2. Υπολογισμός τάσης και αριθμού κελιών γεννήτριας Υδρογόνου.....	49
4.1.3. Διάκενο μεταξύ των πλακών	50
4.2 Συνδεσμολογία Πλακών Γεννήτριας Υδρογόνου.....	51
4.2.1 Συνδεσμολογία ενός κελιού	51
4.2.2 Παράλληλη συνδεσμολογία κελιών με ουδέτερες πλάκες.....	52
4.2.3 Παράλληλη συνδεσμολογία κελιών χωρίς ουδέτερες πλάκες.....	52
4.3 Λειτουργία της Γεννήτριας Υδρογόνου σε Ακραίες Θερμοκρασιακές Συνθήκες Περιβάλλοντος.....	54
Κεφάλαιο 5.....	57
5.1 Εισαγωγή.....	57
5.2 Είδη Ηλεκτρολυτών	58
5.2.1 Νερό βρύσης - H_2O	59
5.2.2 Οξικό οξύ (Λευκό ξύδι) $H_3C-COOH$	59
5.2.3 Ανθρακικό νάτριο (Μαγειρική σόδα) $NaHCO_3$	60
5.2.4 Υδροξείδιο του νατρίου (Καυστική σόδα) $NaOH$	61
5.2.5 Υδροξείδιο του καλίου (Καυστική ποτάσα) KOH	62
5.2.6 Ανθρακικό κάλιο K_2CO_3	63
5.2.7 Ηλεκτρολυτικό διάλυμα κατάλληλο για χρήση σε πολύ χαμηλές θερμοκρασίες περιβάλλοντος.....	64
Κεφάλαιο 6.....	65
6.1 Εισαγωγή.....	65
6.2 Αποστάτης Αισθητήρα λ.....	65
6.3 Ηλεκτρονικό Κύκλωμα Παράλληλου Εγκεφάλου.....	67

Κεφάλαιο 7.....	69
7.1 Εισαγωγή.....	69
7.2 Μελέτη Κατανάλωσης Καυσίμου Κινητήρα	70
7.3 Υπολογισμός Τεχνικών Χαρακτηριστικών Γεννήτριας Υδρογόνου Ξηρού Τύπου.....	76
7.4 Συναρμολόγηση Γεννήτριας Υδρογόνου	83
7.4.1 Υλικά κατασκευής γεννήτριας υδρογόνου ξηρού τύπου:.....	83
7.4.2 Συναρμολόγηση γεννήτριας υδρογόνου.....	85
7.5 Μηχανική Σύνδεση.....	88
7.5.1 Υλικά σύνδεσης μηχανικού κυκλώματος	88
7.5.2 Συναρμολόγηση μηχανικού κυκλώματος	88
7.6 Ηλεκτρολογική Σύνδεση.....	91
7.6.1 Υλικά σύνδεσης ηλεκτρικού κυκλώματος	91
7.6.2 Συναρμολόγηση ηλεκτρικού κυκλώματος	91
 Συμπεράσματα.....	 93
 Βιβλιογραφία.....	 95
 Παράρτημα.....	 97

Κεφάλαιο 1

Εισαγωγή

Το στοιχειακό υδρογόνο παρήχθη για πρώτη φορά τεχνητά στις αρχές του 16^{ου} αιώνα, με ανάμειξη μετάλλων και ισχυρών οξέων. Ιστορικά, όσον αφορά τη χρήση του υδρογόνου σε μηχανές το πρώτο αερόστατο υδρογόνου εφευρέθηκε από τον *Zak Charles* το 1783. Το υδρογόνο παρείχε την απαιτούμενη άνωση για τα πρώτα αξιόπιστα αεροπορικά ταξίδια μετά από την εφεύρεση, το 1852, του πρώτου αερόπλοιο υδρογόνου από τον *Henri Giffard*. Ο Γερμανός Κόμης *Ferdinand Adolf Heinrich August Graf von Zeppelin* προώθησε την ιδέα των «σκληρών» αερόπλοιων που ανυψώθηκαν με υδρογόνο και που αργότερα ονομάστηκαν προς τιμήν του *Zeppelin* (Εικόνα 1).



Εικόνα 1. 1.: Η πρώτη ανύψωση του αεροπλάνου LZ1 πάνω από τη λίμνη Constance

Ωστόσο άλλες χρήσεις του υδρογόνου συνέχισαν να εφευρίσκονται και να χρησιμοποιούνται, όπως η πρώτη ψυχόμενη με υδρογόνο στροβιλογεννήτρια το 1937 στο Ντέυτον του Οχάιο, από την *Dayton Power & Light Co*, που λόγω της

θερμικής αγωγιμότητας του αερίου υδρογόνου είναι η πιο συνηθισμένη μέθοδος στον τομέα ακόμη και στις μέρες μας. Το 1977 εφευρέθηκε η πρώτη μπαταρία νικελίου - υδρογόνου και χρησιμοποιήθηκε από τον τεχνητό δορυφόρο NTS-2. Ακολούθησαν σε χρήση της μπαταρίας αυτής στους δορυφόρους ή διαστημόπλοια ISS, Mars Odyssey, Mars Global Surveyor και το διαστημικό τηλεσκόπιο Hubble. Επίσης, μείγμα υγρού υδρογόνου και οξυγόνου χρησιμοποιείται ως το συνηθέστερο προωθητικό των τελευταίων ορόφων πυραύλων, των διαστημοπλοίων και των διαστημικών λεωφορείων.

Το υδρογόνο επίσης μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν καύσιμο σε μία μηχανή εσωτερικής καύσης με μοναδικό κατάλοιπο το νερό. Ακόμα η ταχύτητα καύσης του υδρογόνου είναι μεγαλύτερη από αυτή της βενζίνης και, τελικά, για στοιχειομετρικές συνθήκες λειτουργίας, οι μηχανές υδρογόνου αγγίζουν θερμοδυναμικά τον ιδανικό κύκλο του Otto. Το υδρογόνο μελετάτε ως εν δυνάμει καύσιμο στις μηχανές εσωτερικής καύσης για πάνω από 150 χρόνια καθώς γίνονται προσπάθειες αντικατάστασης του αργού πετρελαίου λόγω της μείωσης των κοιτασμάτων αλλά και της προστασίας του περιβάλλοντος. Ο *François Isaac de Rivaz* κατασκεύασε τον πρώτο κινητήρα εσωτερικής καύσης που χρησιμοποιούσε μίγμα υδρογόνου και οξυγόνου το 1806 (Εικόνα 2). Ενώ αργότερα, ο ίδιος ο *Nikolaus Otto* (1832-1891) δούλεψε πάνω στην εφεύρεση και καταξίωση των μηχανών έναυσης σπινθήρα, χρησιμοποιώντας συνθετικό αέριο ως καύσιμο, το οποίο λέγεται ότι περιείχε πάνω από 50% υδρογόνο.



Εικόνα 1. 2.: Το πρώτο πειραματικό αυτοκίνητο που λειτούργησε με υδρογόνο και οξυγόνο

Η ενεργειακή κρίση της δεκαετίας του 1970 οδήγησε τους μηχανικούς στο να θυμηθούν ξανά το υδρογόνο ως πηγή ενέργειας και να αρχίσουν να εξετάζουν την χρήση του σαν καύσιμο σε μηχανές αυτοκινήτων. Έτσι, πολλά πιλοτικά προγράμματα εξέλιξης μηχανών αυτοκινήτου που να μπορούν να λειτουργήσουν με υδρογόνο, ξεκίνησαν εκείνη την εποχή σταδιακά, τόσο στην Αμερική, όσο και στην Γερμανία και την Ιαπωνία. Την τελευταία δεκαετία λόγω της αύξησης της τιμής του πετρελαίου καθώς και της ρύπανσης του περιβάλλοντος έγινε σαφής η επιτακτική ανάγκη να βρεθεί μία λύση στα δύο αυτά φλέγοντα ζητήματα. Ο κόσμος έχει ήδη στραφεί προς τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και την χρήση εναλλακτικών καυσίμων όπως είναι το φυσικό αέριο. Ήδη οι αυτοκινητοβιομηχανίες παράγουν υβριδικά μοντέλα ενώ παράλληλα έχουν κυκλοφορήσει στην αγορά αυτοκίνητα τα οποία λειτουργούν αποκλειστικά με καύση αερίου υδρογόνου. Για παράδειγμα, δημοσιευμένη δουλειά πάνω σε μηχανές υδρογόνου σε επιστημονικά περιοδικά και συνέδρια, μπορούμε να βρούμε από τις Nissan, Hyundai, Toyota, Daimler Chrysler, Mazda, Ford και BMW (Εικόνα 3). Μάλιστα, οι τρεις τελευταίες εταιρίες έχουν προχωρήσει πολύ την δουλειά τους και έχουν φτάσει μέχρι και τη επίσημη παρουσίαση πρωτοτύπων αυτοκινήτων που χρησιμοποιούν ως καύσιμο το υδρογόνο σε μηχανές «στάνταρ» γεωμετρίας βενζίνης. Εναλλακτικά εφαρμόζεται ευρέως η μετατροπή των βενζινοκινητήρων έτσι ώστε να έχουν την δυνατότητα καύσης υγραερίου, λύση η οποία είναι τόσο οικονομική όσο και οικολογική.

Μία αποτελεσματική λύση η οποία τα τελευταία χρόνια γνωρίζει μεγάλη απήχηση κυρίως μέσω του διαδικτύου είναι η χρήση των γεννητριών υδρογόνου. Το γεγονός ότι η κατασκευή μιας γεννήτριας υδρογόνου είναι οικονομική και απλή μας οδήγησε στο να αναλύσουμε τον τρόπο λειτουργίας και τα τεχνικά χαρακτηριστικά της καθώς και στον σχεδιασμό μίας τέτοιας γεννήτριας.

Οι γεννήτριες υδρογόνου είναι μηχανές οι οποίες παράγουν υδρογόνο με την μέθοδο της ηλεκτρόλυσης χρησιμοποιώντας ένα μέρος της ηλεκτρικής ισχύος που παράγει μια μηχανή εσωτερικής καύσης. Το παραγόμενο υδρογόνο αναμιγνύεται με το μείγμα αέρα-καυσίμου που εισέρχεται στον θάλαμο καύσης με αποτέλεσμα να βελτιώνει την καύση και κατ' επέκταση να μειώνει την κατανάλωση του καυσίμου. Έμφαση θα πρέπει να δοθεί ότι κατά την καύση του μίγματος υδρογόνου - καυσίμου τα καυσαέρια που παράγονται είναι πολύ πιο καθαρά και

λιγότερο επιβλαβή για το περιβάλλον. Δεδομένης της επιδείνωσης του προβλήματος της υπερθέρμανσης του πλανήτη, αυτό είναι ένα από τα μεγαλύτερα οφέλη μιας γεννήτριας υδρογόνου για το περιβάλλον.



Εικόνα 1.3.: BMW H2R - Το πρώτο αγωνιστικό αυτοκίνητο που λειτουργεί με υδρογόνο.

Κεφάλαιο 2

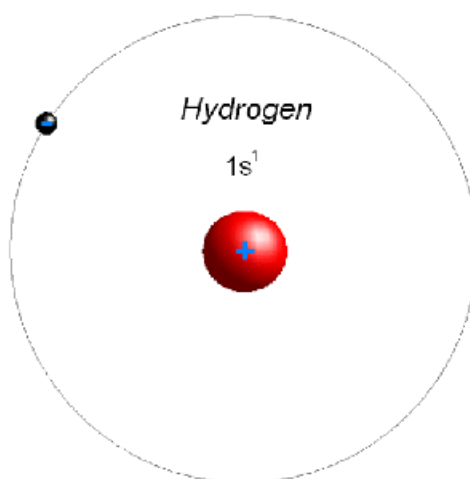
Το Υδρογόνο

2.1 Εισαγωγή

Η λέξη «υδρογόνο» προέρχεται ετυμολογικά από τις λέξεις «ύδωρ» και «γεννώ». Το στοιχειακό υδρογόνο στις συνηθισμένες συνθήκες θερμοκρασίας και πίεσης είναι ένα άχρωμο, άοσμο, μη μεταλλικό, άγευστο και πολύ εύφλεκτο διατομικό αέριο με χημικό τύπο H_2 . Το αέριο υδρογόνο, H_2 , πρωτοπαρασκευάστηκε τεχνητά από τον *Theophrastus Bombastus von Hohenheim*, με την επίδραση ισχυρών οξέων σε μέταλλα. Δε γνώριζε, όμως, ότι το παραγόμενο εύφλεκτο αέριο από μια τέτοια αντίδραση είναι το υδρογόνο, ένα νέο χημικό στοιχείο για την εποχή. Το 1671, ο *Robert Boyle* το ξαναανακάλυψε και περιέγραψε την αντίδραση ρινισμάτων σιδήρου και διαλυμάτων οξέων, που κατέληγαν στην παραγωγή αερίου υδρογόνου. Το 1746 ο *Henry Cavendish* ήταν ο πρώτος που αναγνώρισε το παραγόμενο υδρογόνο ως ξεχωριστό χημικό στοιχείο, ονομάζοντάς το «εύφλεκτο αέρα». Αργότερα, το 1781, διαπίστωσε ότι το υδρογόνο παράγει νερό όταν καίγεται. Συχνά σε αυτόν αποδίδεται η ανακάλυψη του υδρογόνου. Το 1783, ο *Antoine Laurent Lavoisier* ονόμασε το νέο χημικό στοιχείο «υδρογόνο», για τους λόγους που αναφέρονται στην ετυμολογία της λέξης στην αρχή του κειμένου, όταν αυτός και ο *Pierre-Simon Laplace* ξαναανακάλυψαν το εύρημα του *Henry Cavendish*, ότι δηλαδή το υδρογόνο καίγεται σχηματίζοντας νερό. Το υδρογόνο υγροποιήθηκε για πρώτη φορά από τον *Sir James Dewar* το 1898 χρησιμοποιώντας τη μέθοδο της απότομης εκτόνωσης συμπιεσμένου αερίου. Διατήρησε το υγρό υδρογόνο που παράχθηκε στην ομώνυμη εφεύρεσή του, το δοχείο *Dewar*. Με την ίδια μέθοδο κατόρθωσε να παρασκευάσει στερεό υδρογόνο τον επόμενο χρόνο (1899). Το δευτέριο ανακαλύφθηκε το Δεκέμβριο του 1931 από τον *Harold Clayton Urey*

και το τρίτιο (που είναι τεχνητό) πρωτοπαρασκευάστηκε το 1934, από τους Ernest Rutherford, Sir Marcus 'Mark' Laurence Elwin Oliphant και Paul Karl Maria Harteck. Το βαρύ ύδωρ (D_2O), ανακαλύφθηκε από την ομάδα του Urey το 1932.

Το υδρογόνο είναι το χημικό στοιχείο με ατομικό αριθμό 1 και αντιπροσωπεύεται από το σύμβολο H. Έχοντας ατομική μάζα 1,00794(7) amu (ατομική μονάδα μάζας), είναι το ελαφρύτερο και το πιο άφθονο χημικό στοιχείο στο σύμπαν, του οποίου θεωρείται ότι αποτελεί το 75% της συνολικής στοιχειακής του μάζας. Φυσικά, το στοιχειακό υδρογόνο («διυδρογόνο») είναι σχετικά σπάνιο στη Γη. Το πιο συνηθισμένο ισότοπο του υδρογόνου είναι το «πρώτιο» (1H) (Εικόνα 2.1) με ένα πρωτόνιο και κανένα νετρόνιο, στον πυρήνα του.



Εικόνα 2.1.: Το Πρώτιο

Σε ιονικές ενώσεις μπορεί να σχηματίσει ένα αρνητικά φορτισμένο «υδρογονανιόν» (H^-) ή ένα θετικά φορτισμένο «υδρογονοκατιόν» (H^+). Το τελευταίο γράφεται σαν να αποτελείται από ένα σκέτο πρωτόνιο, αλλά στην πραγματικότητα, τα υδρογονοκατιόντα πάντα βρίσκονται με τη μορφή πιο πολύπλοκων χημικών ειδών. Το υδρογόνο σχηματίζει ενώσεις με την πλειοψηφία των χημικών στοιχείων, είναι παρόν στο νερό και στις περισσότερες οργανικές ενώσεις. Παίζει έναν ιδιαίτερα σημαντικό ρόλο στην οξεοβασική χημεία, αφού σε πολλές αντιδράσεις ανταλλάσσονται πρωτόνια ανάμεσα σε διαλυτά μόρια.

Το υδρογόνο έχει το απλούστερο γνωστό άτομο και χρησιμοποιήθηκε για την ανάπτυξη της ατομικής θεωρίας. Είναι το μόνο ουδέτερο άτομο για το οποίο

υπάρχει αναλυτική λύση για την εξίσωση *Schrödinger*, οπότε η θεωρητική μελέτη του ατόμου του, δηλαδή των ενεργειακών καταστάσεών του και των δυνατοτήτων του για δημιουργία δεσμών, έπαιξε έναν νευραλγικό ρόλο για την ανάπτυξη της Κβαντομηχανικής.

Η βιομηχανική του παραγωγή γίνεται κυρίως με επίδραση ατμού σε φυσικό αέριο, και λιγότερο συχνά με την περισσότερο ενεργοβόρα μέθοδο της ηλεκτρόλυση του νερού. Οι δυο μεγαλύτερες καταναλώσεις του αφορούν την υδροπυρόλυση ορυκτών καυσίμων και η παραγωγή αμμωνίας. Η τελευταία κυρίως για τη βιομηχανία παραγωγής λιπασμάτων. Επίσης, το υδρογόνο είναι μια πρόκληση για τη μεταλλουργία, αφού μπορεί να διατηρήσει (διότι τα μόριά του είναι συχνά μικρότερα από τα διάκενα μεταξύ των μεταλλικών ιόντων στα μεταλλικά πλέγματα) πολλά μέταλλα, κάνοντας πιο πολύπλοκη την κατασκευή αγωγών και δεξαμενών κατάλληλων για την κυκλοφορία και την αποθήκευσή του.

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, η αμμωνία, τα οξέα, τα υδροξείδια, διάφοροι υδρογονάνθρακες όπως πετρέλαιο και το φυσικό αέριο και πολύ μεγάλο ποσοστό των υπόλοιπων οργανικών ενώσεων. Εξαιτίας της ελαφρότητάς του το υδρογόνο δεν αποτελεί περισσότερο από το 1% της συνολικής μάζας τη Γης. Σε καθαρή αέρια μορφή συναντάται σπάνια, κυρίως σε φυσικά αέρια και σε μικρό ποσοστό στα ανώτερα (κυρίως) στρώματα της ατμόσφαιρας. Πολλά ορυκτά και όλοι οι ζωντανοί οργανισμοί περιέχουν ενώσεις του σε πολύ μεγάλο βαθμό. Έτσι, το υδρογόνο βρίσκεται στην κερατίνη, στα ένζυμα, στα μόρια του DNA, ενώ βρίσκεται άφθονο στις τροφές υπό μορφή λιπών, πρωτεϊνών και υδατανθράκων. Όλα τα βαρύτερα στοιχεία, όπως και τον ήλιο (He), προκύπτουν από την πυρηνική σύντηξη υδρογόνου. Βάσει αυτής της διαδικασίας πιστεύεται ότι σχηματίστηκε το ίδιο το Σύμπαν, ενώ η ίδια διαδικασία είναι επίσης υπεύθυνη για την έκλυση ενέργειας από τα άστρα, όπως γίνεται στον Ήλιο.

2.2 Ιδιότητες Υδρογόνου

2.2.1 Φυσικές Ιδιότητες

Σε κανονικές συνθήκες το υδρογόνο έχει πυκνότητα $0,0899 \text{ kg/m}^3$, περίπου δέκα φορές μικρότερη από αυτή του αέρα και, για αυτό το λόγο, δεν 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 ($20,268 \text{ K}$) και πήξεως ($14,025 \text{ K}$). Το υδρογόνο σε υγρή φάση είναι άχρωμο σε μικρές ποσότητες αλλά ανοιχτό μπλε σε δείγματα με σημαντικό βάθος. 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 (ή ^2D) το οποίο αποτελείται από ένα πρωτόνιο, ένα νετρόνιο και ένα ηλεκτρόνιο. Το δευτέριο χρησιμοποιείται σε πλήθος επιστημονικών εφαρμογών. Τέλος, το τρίτο ισότοπο ονομάζεται τρίτιο (ή ^3T) αποτελούμενο από ένα πρωτόνιο, δύο νετρόνια και ένα ηλεκτρόνιο και αντιστοιχεί ένα σε 10000 άτομα υδρογόνου. Το τρίτιο είναι ραδιενεργό με χρόνο ημιζωής τα 12,4 χρόνια. Ήταν τεχνητό νουκλεόνιο στη Γη μέχρι την πρώτη δοκιμή υδρογονοβόμβας.

Κατά την κβαντομηχανική προσέγγιση, συνοπτικά, τα πρωτόνια των μορίων υδρογόνου περιβάλλονται από το ηλεκτρονικό νέφος δύο ηλεκτρονίων. Η πυκνότητα αυτού του νέφους είναι αυξημένη στο χώρο μεταξύ των πρωτονίων έτσι ώστε το καθένα να θωρακίζεται από το ομόσημο φορτίο του άλλου. Η κατάσταση αυτή προκύπτει από άρτια (συμμετρική) κυματοσυνάρτηση που 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.

2.2.2 Χημικές Ιδιότητες

Το αέριο υδρογόνο (ή διυδρογόνο ή μοριακό υδρογόνο) είναι πολύ εύφλεκτο και καίγεται στον αέρα σε ένα πολύ μεγάλο εύρος συγκεντρώσεων, από 4% - 75% κατ' όγκο. Η ενθαλπία της καύσης του υδρογόνου είναι 286 kJ/mole.



Το αέριο υδρογόνο σχηματίζει εκρηκτικά μείγματα με τον αέρα σε συγκεντρώσεις του 4-74% και με το χλώριο σε συγκεντρώσεις 5-95%. Τα μείγματα αυτά μπορούν να αναφλεγούν με σπινθήρα, θέρμανση ή παρουσία ηλιακού φωτός. Η θερμοκρασία αυτανάφλεξης του υδρογόνου στον αέρα είναι 500°C. Η φλόγα που παράγεται από την καύση καθαρού υδρογόνου και καθαρού οξυγόνου εκπέμπει κυρίως υπεριώδες φως και γι' αυτό είναι σχεδόν αόρατη από το ανθρώπινο μάτι. Η ανακάλυψη μιας φλόγας υδρογόνου από διαρροή μπορεί να απαιτεί έναν ανιχνευτή φλόγας και γι' αυτό είναι εξαιρετικά επικίνδυνη. Ένα διάσημο παράδειγμα ήταν η καταστροφή του αερόπλοιου Hindenburg, στο οποίο οι φλόγες έγιναν ορατές μόνο αφού αναφλέχθηκαν και άλλα καύσιμα υλικά, από το κέλυφος του σκάφους, που έδιναν ορατή φλόγα. Επειδή το υδρογόνο είναι πολύ ελαφρύτερο από τον αέρα, οι φλόγες υδρογόνου τείνουν να ανυψωθούν τάχιστα και γι' αυτό κάνουν μικρότερη ζημιά από τις φλόγες υδρογονανθράκων. Το υδρογόνο αντιδρά με κάθε οξειδωτικό στοιχείο: Αντιδρά βίαια με το φθόριο και έντονα με το χλώριο στη θερμοκρασία δωματίου (20°C), σχηματίζοντας υδροφθόριο και υδροχλώριο, αντίστοιχα, που είναι ισχυρά και επικίνδυνα οξέα.

Τα άτομα υδρογόνου σχηματίζουν ομοιοπολικούς δεσμούς μεταξύ τους καθώς και με 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 είναι το αιθανικό 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 στο LiH και τα άλλα υδρίδια μετάλλων. Τέλος, το υδρογόνο μπορεί να σχηματίσει το λεγόμενο δεσμό υδρογόνου (hydrogen bond). Ο δεσμός αυτός γίνεται μόνο μεταξύ υδρογόνου και ενός ηλεκτροαρνητικού στοιχείου, όπως: 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 γειτονικά δημιουργώντας συμπλέγματα πολλών μορίων νερού. Ο δεσμός υδρογόνου κατά ένα μέρος οφείλεται σε δυνάμεις *Van Der Waals* ενώ έχουμε επιπρόσθεση δυνάμεων καθαρά χημικού δεσμού. Το υδρογόνο κάτω από πολύ μεγάλη πίεση (1,5 εκατομμύρια ατμόσφαιρες) και θερμοκρασία (3000 K με 5000 K) μπορεί να συμπεριφερθεί και ως μέταλλο, ανακλώντας το φως και άγοντας το ηλεκτρικό ρεύμα.

Πίνακας 2.1.: Ιδιότητες υδρογόνου

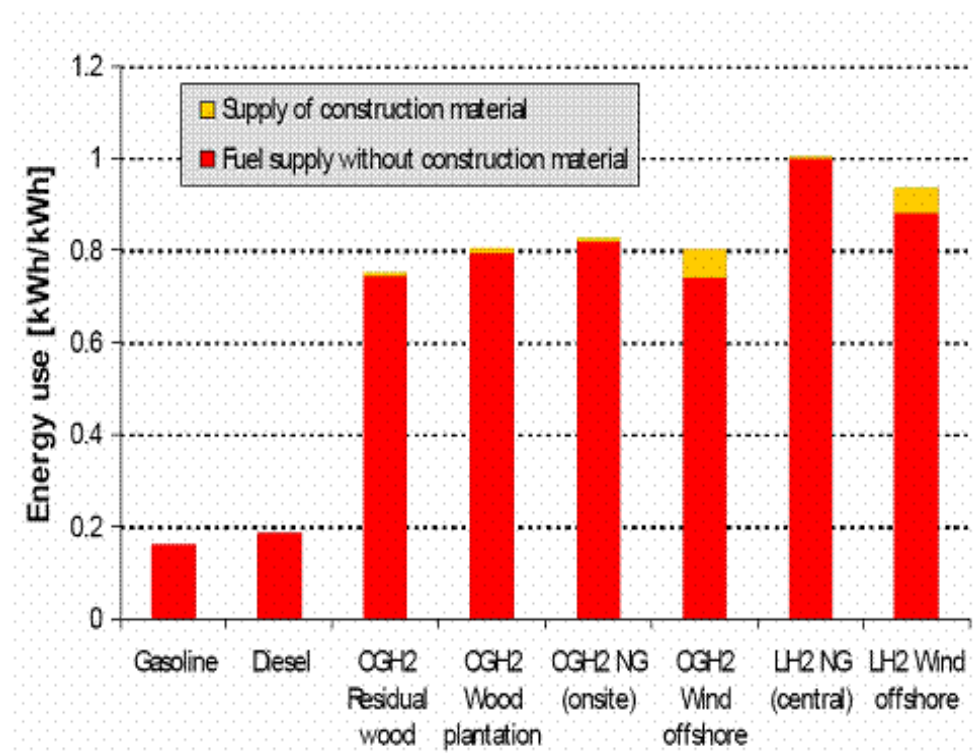
ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΥΔΡΟΓΟΝΟΥ	
Ονομασία:	Υδρογόνο
Σύμβολο:	H
Ατομικός αριθμός:	1
Σχετική Ατομική Μάζα:	1.00794 amu
Σήμειο τήξης:	-259.14 °C (14.009985 K, -434.45203 °F)
Σημείο βρασμού:	-252.87 °C (20.280005 K, -423.166 °F)
Αριθμός Πρωτονίων/Ηλεκτρονίων:	1
Αριθμός Νετρονίων:	0
Κατηγορία:	Αμέταλλο
Κρυσταλική Δομή:	Εξαγωνική
Πυκνότητα στους 293 °K:	0.08988 g/cm ³
Χρώμα:	Άχρωμο

2.3 Μέθοδοι Παραγωγής Υδρογόνου

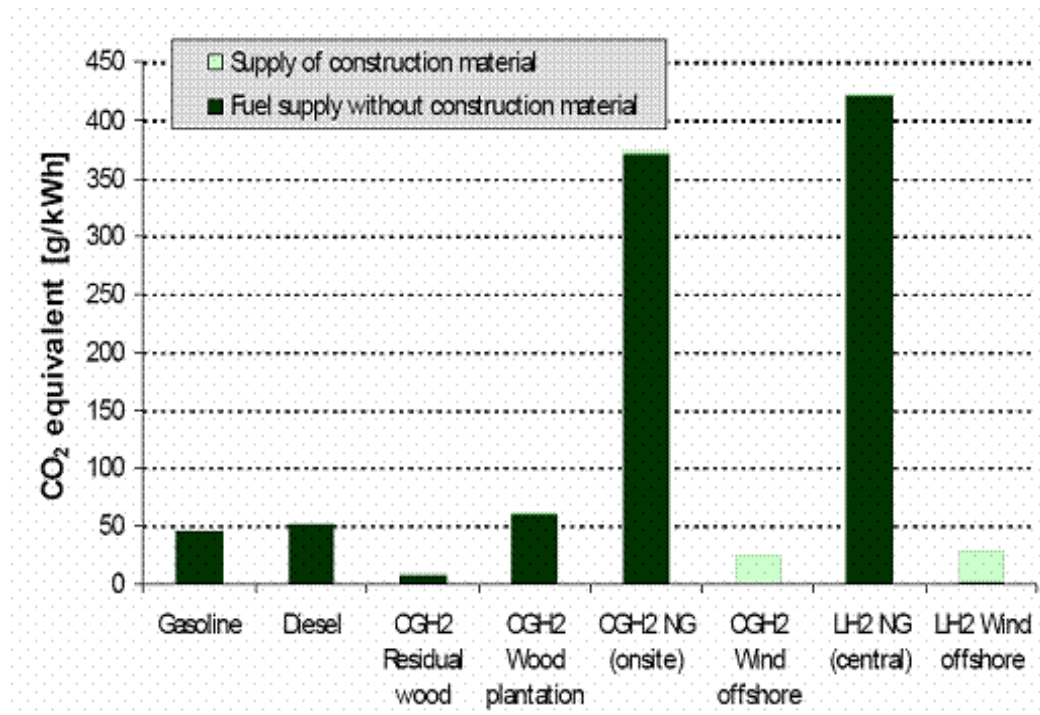
2.3.1 Υδρογόνο από φυσικό αέριο

Είναι η μέθοδος που σήμερα μπορεί να δώσει υδρογόνο με το χαμηλότερο κόστος (εξαρτώμενο όμως από τις τιμές του φυσικού αερίου). Η παραγωγή γίνεται είτε με “αναμορφωτές” (reformers) ατμού, είτε με αυτοθερμαινόμενους αγωγούς και η απόδοση ποικίλλει από 0,8 έως 1 KWh/KWh (Γράφημα 2.1.), δηλαδή για παραγωγή ποσότητας υδρογόνου, που περιέχει ενέργεια μιας KWh, χρειάζεται να δαπανηθεί άλλη μία (κυρίως σε θερμότητα).

Τα αέρια θερμοκηπίου που παράγονται κατά την παρασκευή του υδρογόνου με την μέθοδο αυτή, κυμαίνονται από 90 g/MJ έως 150 g/MJ (Γράφημα 2.2.) ανάλογα με τον τρόπο παραγωγής της θερμότητας και τον τύπο της μονάδας παραγωγής.



Γράφημα 2.1: Συγκριτικό κόστος ενέργειας για την παραγωγή διαφόρων τύπων καυσίμου (LH2: liquid hydrogen, CGH2: compressed gaseous hydrogen, NG: natural gas)



Γράφημα 2.2: Συγκριτική εκπομπή αερίων θερμοκηπίου κατά την παραγωγή διαφόρων τύπων καυσίμου (LH2: liquid hydrogen, CGH2: compressed gaseous hydrogen, NG: natural gas)

2.3.2 Υδρογόνο από Άνθρακα ή Πετρέλαιο

Η μέθοδος αυτή συνίσταται στην αεριοποίηση του άνθρακα ή των υδρογονανθράκων σε θερμοκρασίες 1300 – 1400°C και πιέσεις 10 – 100 bar. Το αέριο που παράγεται, διαχωρίζεται σε H_2S και CO_2 . Έπειτα το H_2S περνώντας από διάφορα στάδια διαχωρισμού, μας δίνει το υδρογόνο. Η μέθοδος μπορεί να εφαρμοστεί μόνο για παραγωγή μεγάλης κλίμακας, όπου η ενεργειακή της απόδοση μπορεί να φτάσει έως το 50%. Οι ποσότητες αερίων θερμοκηπίου όμως είναι πολύ υψηλές (252 g/MJ), γι' αυτό έχει προταθεί για τις μεθόδους αυτές, διαχωρισμός και κατακράτηση του CO_2 . Η διαδικασία αυτή γνωστή με την ονομασία “ CO_2 sequestration”, συζητείται αρκετά τα τελευταία χρόνια (για χρήση της σε μεθόδους παραγωγής ενέργειας από καύση), αλλά αντιμετωπίζει πολλά τεχνικά προβλήματα και έχει μεγάλο κόστος.

2.3.3 Υδρογόνο από διάσπαση νερού σε πολύ υψηλές θερμοκρασίες

Η μέθοδος αυτή απαιτεί θερμοκρασίες 2000°K, όπου υπάρχει πρόβλημα υλικών και φαίνεται ότι θα είναι οικονομικά ασύμφορη. Παρόμοιες μέθοδοι που συνδυάζουν χημικές αντιδράσεις με θειικό οξύ και ηλεκτρόλυση, χρειάζονται θερμοκρασίες των 1000-1200°K και φαίνονται τεχνικά εφικτότερες. Το κόστος τους όμως εξαρτάται από τις τιμές της ενέργειας υψηλών θερμοκρασιών που θα χρησιμοποιηθεί (π.χ. πυρηνικής ενέργειας).

2.3.4 Υδρογόνο από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας

Η μέθοδος παραγωγής υδρογόνου από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας είναι η περισσότερο ελπιδοφόρα, τουλάχιστον σε ότι αφορά τη ρύπανση του περιβάλλοντος. Μπορεί να διακριθεί στους παρακάτω τρόπους παραγωγής:

Παραγωγή υδρογόνου από ηλιακή ενέργεια μέσω ηλεκτρόλυσης

Έχει το πλεονέκτημα της μηδενικής ρύπανσης και της παραγωγής υδρογόνου χωρίς άλλο ενεργειακό κόστος. Επιπλέον η απόδοση δεν επηρεάζεται από τις διακυμάνσεις της ηλιακής ενέργειας και η παραγωγή είναι συσσωρευτική. Όμως το κόστος των φωτοβολταϊκών και των υπόλοιπων διατάξεων είναι πολύ υψηλό και οι αποδόσεις είναι μικρές. Ένας πρόχειρος υπολογισμός μπορεί να δείξει, ότι για την παραγωγή υδρογόνου αντίστοιχου με την κατανάλωση ενέργειας μόνο για τις μεταφορές της Ελλάδας το 2000 ($7,37 \times 10^9$ lt πετρελαίου) [8], θα χρειαζόταν 400 Km^2 φωτοβολταϊκά, δηλαδή μια περιοχή πλάτους 1Km από την Κατερίνη ως την Αθήνα. Επομένως, πρέπει να περιμένουμε μικρή ποσοστιαία συμμετοχή της μεθόδου αυτής στην παγκόσμια παραγωγή υδρογόνου.

Παραγωγή υδρογόνου από αιολική ενέργεια μέσω ηλεκτρόλυσης

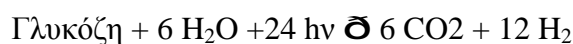
Η μέθοδος αυτή, έχει αντίστοιχα πλεονεκτήματα με την προηγούμενη, με επιπρόσθετο την σχετικά μεγάλη συγκέντρωση ισχύος. Όμως θα πρέπει να αναλογιστούμε αν συμφέρει περισσότερο η μετατροπή της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται σε υδρογόνο (με το επιπλέον κόστος μετατροπής, συμπίεσης και μεταφοράς του) ή η άμεση διάθεσή της στους καταναλωτές.

Υδρογόνο από βιομάζα

Μπορεί να παραχθεί είτε με αεριοποίηση της βιομάζας είτε με 'αναμόρφωση' (reforming) ατμού του βιοαερίου, το οποίο παράγεται από αναερόβια κατεργασία της βιομάζας. Και οι δύο μέθοδοι για να είναι αποδοτικές, πρέπει να γίνονται σε μεγάλη κλίμακα, αλλά η βιομάζα σπάνια μπορεί να συγκεντρωθεί σε μεγάλες ποσότητες και δεν συμφέρει η μεταφορά της σε μεγάλες αποστάσεις. Προβλέπεται ότι θα μπορεί να γίνεται μεσαίας κλίμακας παραγωγή υδρογόνου από τέτοιους σταθμούς, με τα αέρια του θερμοκηπίου να κυμαίνονται ανάμεσα στα 7 και 25 g/MJ.

Βιολογική παραγωγή υδρογόνου

Το υδρογόνο παράγεται από την μετατροπή διαλύματος γλυκόζης με την ενέργεια του φωτός μέσω φυκών, σύμφωνα με την αντίδραση:



Η γλυκόζη, προβλέπεται να παράγεται από απόβλητα. Η μέθοδος αυτή, βρίσκεται ακόμη στο στάδιο της βασικής έρευνας.

Παραγωγή υδρογόνου με φωτοηλεκτροχημικές μεθόδους

Είναι μέθοδος αντίστοιχη των φωτοβολταϊκών, δηλαδή παράγεται άμεσα υδρογόνο από διάσπαση του νερού με την ενέργεια του φωτός. Δυστυχώς όμως, το υδρογόνο παράγεται αναμεμιγμένο με το οξυγόνο με όλα τα προβλήματα που προκαλεί η ανάμιξη αυτή. Επιπλέον, τα υλικά μετατροπής έχουν πολύ υψηλό κόστος, μικρή διάρκεια ζωής και μικρή απόδοση. Η μέθοδος, βρίσκεται ακόμη στο στάδιο της βασικής έρευνας επίσης.

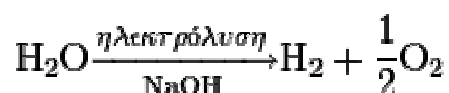
2.3.5 Υδρογόνο από ηλεκτρόλυση νερού

Η μέθοδος αυτή θα μας απασχολήσει στην παρούσα εργασία οπότε θα την αναλύσουμε διεξοδικά παρακάτω. Ηλεκτρόλυση (λύση διά ηλεκτρισμού), ονομάζεται η διαδικασία της διάσπασης μιας ουσίας με τη βοήθεια του ηλεκτρικού ρεύματος (Εικόνα 2.2.).

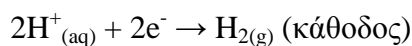
- Η ηλεκτρόλυση αξιοποιείται ειδικά τόσο στην εξαγωγή καθαρών μετάλλων από τα μεταλλεύματά τους, όσο και στις επιμεταλλώσεις.

- Η ηλεκτρόλυση θεωρείται ειδική χημική αντίδραση και αποτελεί αντικείμενο έρευνας και μελέτης της Ηλεκτροχημείας.

Κατά την ηλεκτρόλυση του νερού, 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 εξαιτίας του κόστους του ηλεκτρικού ρεύματος το οποίο απαιτείται.



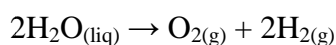
Κατά την ηλεκτρόλυση, στην **κάθοδο** ιόντα υδρογόνου (πρωτόνια) ανάγονται σε υδρογόνο ενώ στην **άνοδο** το νερό οξειδώνεται σε οξυγόνο και πρωτόνια. Οι διεργασίες αυτές περιγράφονται αντίστοιχα από τις παρακάτω αντιδράσεις:

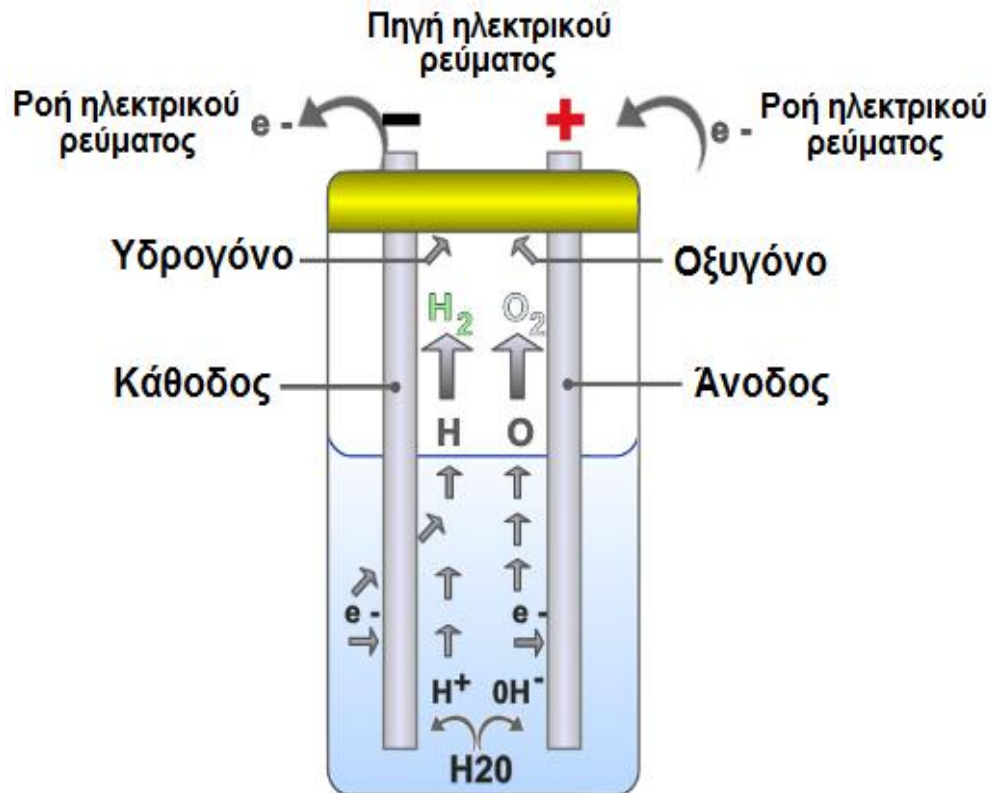


και



οι οποίες μας δίνουν το συνολικό μηχανισμό της ηλεκτρόλυσης





Εικόνα 2.2: Τυπική ηλεκτρολυτική συσκευή (<http://www.alternativefuelenergy.net/>)

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 Nerst για την κάθοδο είναι:

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

Όπου E_C το δυναμικό σε ισορροπία για την κάθοδο, $E_{H_2}^0$ το πρότυπο δυναμικού ηλεκτροδίου υδρογόνου, F το φορτίο Coulomb που διέρχεται από το ηλεκτρόδιο και a_x οι ενεργότητες προϊόντων και αντιδρώντων.

Ανάλογα για την άνοδο έχουμε:

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

Όπου, $E_{O_2}^0$ 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) τότε από τις παραπάνω σχέσεις έχουμε:

$$E_a - E_C = 1,229 \text{ V}$$

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.

Συνοψίζοντας όλα τα παραπάνω, αναφορικά μπορούμε να πούμε ότι η ηλεκτρόλυση είναι το σύνολο των αντιδράσεων οξείδωσης και αναγωγής που λαμβάνουν χώρα σε ένα τήγμα ή διάλυμα ενός ηλεκτρολύτη όταν εφαρμόσουμε κατάλληλη διαφορά δυναμικού στα άκρα των ηλεκτροδίων.

- Η συσκευή της ηλεκτρόλυσης ονομάζεται ηλεκτρολυτικό στοιχείο ή βολτάμετρο και περιλαμβάνει το δοχείο, τα ηλεκτρόδια, τον ηλεκτρολύτη και την πηγή ρεύματος.
- Κατά την ηλεκτρόλυση πραγματοποιείται μετατροπή της ηλεκτρικής ενέργειας σε χημική ενέργεια.

- Μέσα στον ηλεκτρολυτικό αγωγό (ηλεκτρολύτη), τήγμα ή διάλυμα, δεν έχουμε μετακίνηση ηλεκτρονίων αλλά ιόντων του ηλεκτρολύτη.
- Τα ηλεκτρόνια μετακινούνται στο εξωτερικό κύκλωμα που συνδέει την πηγή ρεύματος (μπαταρία) με τα δύο ηλεκτρόδια.
- Το ηλεκτρόδιο που συνδέεται με το θετικό πόλο (+) της πηγής ονομάζεται άνοδος, ενώ το ηλεκτρόδιο που συνδέεται με τον αρνητικό πόλο της πηγής (-) ονομάζεται κάθοδος.
- Η μπαταρία προωθεί ηλεκτρόνια στην κάθοδο, που γι' αυτό το λόγο είναι το αρνητικό ηλεκτρόδιο, όπου και πραγματοποιείται αναγωγή των θετικά φορτισμένων ιόντων του ηλεκτρολύτη που προσελκύονται στο ηλεκτρόδιο αυτό.
- Στο ηλεκτρόδιο της ανόδου, που είναι το θετικά φορτισμένο ηλεκτρόδιο, προσελκύονται τα ανιόντα του ηλεκτρολύτη και υφίστανται οξείδωση. Τα ηλεκτρόνια που γεννιούνται από την οξείδωση, προσελκύονται από το θετικό πόλο της πηγής, αφήνοντας το ηλεκτρόδιο της ανόδου θετικά φορτισμένο.
- Επομένως η ροή των ηλεκτρονίων είναι η εξής:
 - Ø Τα ηλεκτρόνια γεννιούνται στην άνοδο από διαδικασία οξείδωσης.
 - Ø Μετακινούνται μέσω μεταλλικού αγωγού στο θετικό πόλο της πηγής όπου προσελκύονται.
 - Ø Από τον αρνητικό πόλο της πηγής προωθούνται στην κάθοδο, όπου και καταναλώνονται σε διαδικασία αναγωγής.
- Οι κυριότερες αντιδράσεις που γίνονται κατά τη διάρκεια της ηλεκτρόλυσης είναι οξειδοαναγωγικές αντιδράσεις κατά στις οποίες παράγονται αέρια ή αποτίθενται ή διαλύονται μέταλλα.

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).

2.4 Το Υδρογόνο ως Καύσιμο

2.4.1 Η καύση του Υδρογόνου σε μηχανές

Το υδρογόνο, λοιπόν, μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν καύσιμο σε μία μηχανή αυτοκινήτου. Η αντίδραση καύσης του υδρογόνου δεν είναι τίποτε άλλο στην πράξη από την επανένωση του υδρογόνου με το οξυγόνο, η οποία οδηγεί στην παραγωγή νερού (ατμού) και ταυτόχρονα στην απελευθέρωση ενέργειας, που τελικά μετατρέπεται σε έργο από την παλινδρομική κίνηση του πιστονιού. Ο ατμός επιστρέφει από την εξάτμιση του αυτοκινήτου πίσω στο περιβάλλον και μπαίνει ξανά στον κύκλο ζωής του νερού του περιβάλλοντος. Αυτό λοιπόν σημαίνει ότι το υδρογόνο μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν μια πηγή ενέργειας, που είναι όχι μόνο απόλυτα ανανεώσιμη, αλλά και δεν οδηγεί σε καμία εκπομπή ρύπων του τύπου των άκαυτων υδρογονανθράκων, σωματιδίων καπνού, μονοξειδίου και διοξειδίου του άνθρακα.



Εικόνα 2.3.: Κινητήρας υδρογόνου υβριδικού μοντέλου mazda rx7 hydrogen

Οξείδια του αζώτου παράγονται από τη στοιχειομετρική καύση υδρογόνου, αλλά επειδή το υδρογόνο έχει πολύ ευρεία περιοχή καύσης, τα οξείδια του αζώτου μπορούν να εξαλειφθούν με τη ρύθμιση της μηχανής να καίει σε περιοχή πολύ φτωχών μιγμάτων υδρογόνου – αέρα. Τυπικά, μπορούμε να πετύχουμε σχετικά εύκολα, από μία μηχανή υδρογόνου, εκπομπή οξειδίων του αζώτου που

να είναι κάπου το ένα τέταρτο αυτών που θα έβγαιναν από την εξάτμιση της μηχανής αν η τελευταία έκαιγε βενζίνη. Ακόμα έχει μετρηθεί ότι χρειάζονται 300 μηχανές υδρογόνου να δουλεύουν μαζί για να εκλυθεί διοξείδιο του άνθρακα ίσο με αυτό που εκλύεται από μία μόνο μηχανή βενζίνης. Όπως είπαμε νωρίτερα, τα πολύ φτωχά μίγματα υδρογόνου – αέρα μπορούν να αναφλεγούν αρκετά εύκολα και να οδηγήσουν σε πλήρη καύση – αυτό σημαίνει ότι οι μηχανές υδρογόνου μπορούν να λειτουργήσουν με πολύ μεγαλύτερο βαθμό απόδοσης απ’ ότι οι μηχανές που καίνε βενζίνη. Επιπλέον, η θερμοκρασία αυτανάφλεξης του υδρογόνου είναι μεγαλύτερη από αυτήν των περισσοτέρων καυσίμων, γεγονός που οδηγεί στην επίτευξη μεγαλύτερων λόγων συμπίεσης στις μηχανές εσωτερικής καύσης, χωρίς τον φόβο ύπαρξης κρουστικής αυτανάφλεξης. Ας σημειώσουμε εδώ ότι η ταχύτητα καύσης του υδρογόνου είναι μεγαλύτερη από αυτή της βενζίνης. Επιπλέον, το υδρογόνο έχει πολύ μεγάλο συντελεστή διάχυσης, που σημαίνει ότι όταν διαφύγει ή αφεθεί ελεύθερο σε ένα χώρο, μπορεί να «φτάσει» σε διάφορα μέρη αυτού χώρου πολύ γρήγορα, ενώ μπορεί να αναφλέγει από πολύ μικρή ποσότητα ενέργειας, κάπου δέκα φορές μικρότερη από αυτή που χρειάζεται για να αναφλεγεί η βενζίνη. Επομένως ο συνδυασμός υδρογόνου και βενζίνης καθιστά έναν βενζινοκινητήρα λιγότερο ρυπογόνο και αποδοτικότερο.

2.4.2 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα του Υδρογόνου ως καύσιμο

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, 120,7Kj/gr και περίπου τρεις φορές μεγαλύτερο από αυτό της συμβατικής βενζίνης. Όταν καίγεται με οξυγόνο παράγονται μόνο νερό και θερμότητα, ενώ 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 να προκαλέσει ζημιά στον κινητήρα.

Το υδρογόνο θεωρείται 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 αυτανάφλεξης τους 585 °C (230 °C με 480 °C η αντίστοιχη της βενζίνης).

Μπορεί ακόμα 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.

Τέλος 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.

Όσον αφορά 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.

Ακόμα ένα 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 μέσω 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.

Ακόμα αυξημένη είναι και η τιμή των κυψέλων καυσίμου με τις οποίες αυτή τη στιγμή γίνεται η μεγαλύτερη εκμετάλλευση του υδρογόνου ως καύσιμο. Επιπλέον η τεχνολογία τους δε μπορεί να θεωρηθεί ολοκληρωτικά αξιόπιστη αφού προς το παρόν υπάρχουν αρκετά τεχνικά προβλήματα τα οποία αναζητούν αξιόπιστες λύσεις. Κυψέλες προσανατολισμένες για οικιακή και μεταφορική χρήση χαρακτηρίζονται από μικρή ανοχή σε καύσιμα μη υψηλής καθαρότητας. Αυτό με τη σειρά του αυξάνει το κόστος παραγωγής του καυσίμου. Ακόμα κυψέλες καυσίμου προσανατολισμένες για βιομηχανική χρήση χαρακτηρίζονται από πολύ υψηλές θερμοκρασίες λειτουργίας.

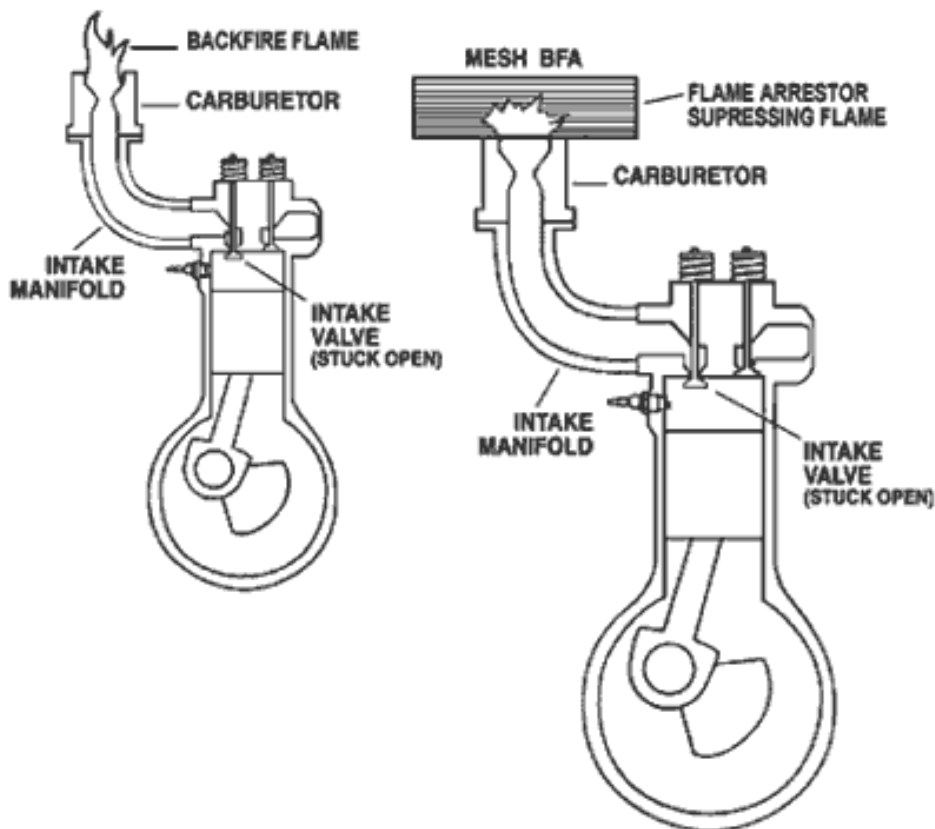
Τέλος πολλά προβλήματα μπορούν να υπάρχουν από την στιγμή που το υδρογόνο θα ψεκαστεί στους αυλούς της πολλαπλής εισαγωγής της μηχανής ενός αυτοκινήτου. Ένα από τα σημαντικότερα επικίνδυνα φαινόμενα καύσης σε μηχανές υδρογόνου είναι το λεγόμενο backfire, που για πολλά χρόνια δημιούργησε – και ακόμα δημιουργεί – διάφορα προβλήματα στην εξέλιξη των μηχανών υδρογόνου. Το φαινόμενο του backfire (τα «σκασίματα», δηλαδή, στο χώρο της πολλαπλής εισαγωγής) είναι πολύ δύσκολο να ελεγχθεί. Πολλές ερευνητικές ομάδες μάλιστα παράτησαν τη δουλειά τους πάνω στην εξέλιξη μηχανών εσωτερικής καύσης υδρογόνου γιατί δεν μπορούσαν να βρουν λύση σε αυτό το πρόβλημα.

Στην πραγματικότητα, το backfire είναι ένα φαινόμενο που μπορεί να παρουσιαστεί σε οποιαδήποτε μηχανή που λειτουργεί με «προετοιμασία» του μίγματος αέρα – καυσίμου στην πολλαπλή εισαγωγής (είτε αυτή η προετοιμασία γίνεται με ψεκασμό του καυσίμου στους αυλούς εισαγωγής, είτε με τη χρήση καρμπυρατέρ) και εμφανίζεται όταν το μίγμα αέρα – καυσίμου αναφλέγεται κατά το χρόνο εισαγωγής του μίγματος στη μηχανή, δηλαδή όσο οι βαλβίδες εισαγωγής είναι ακόμα ανοιχτές.

Η αιτία για την «απρόσμενη» αυτή ανάφλεξη εντοπίζεται στην ύπαρξη κάποιων θερμών σημείων μέσα στη μηχανή. Για παράδειγμα, κάποιο σημείο που έχει υψηλή θερμοκρασία πάνω στο τοίχωμα της μηχανής, το θερμό ηλεκτρόδιο του ίδιου του μπουζί, κάποιο πολύ θερμό σημείο «μέσα» στο καμένο μίγμα που παραμένει στον κύλινδρο από τον προηγούμενο κύκλο λειτουργίας της μηχανής, κάποιο σημείο πάνω στις ζεστές βαλβίδες εξαγωγής, κάποιο υπέρθερμο κατάλοιπο λιπαντικού μέσα στο χώρο καύσης του κυλίνδρου, κτλ. Αναφέρθηκε

παραπάνω ότι το υδρογόνο χρειάζεται μόλις κάπου το ένα δέκατο της ενέργειας που χρειάζεται η βενζίνη για να αναφλεγεί παράγοντας που συμβάλλει στην εμφάνιση του φαινομένου backfire.

Το backfire οδηγεί στη γένεση ενός κύματος καύσης μέσα στον κύλινδρο κατά την εισαγωγή του μίγματος, το οποίο κύμα μπορεί να περάσει από τις ανοιχτές βαλβίδες εισαγωγής με αποτέλεσμα να αναφλεγεί το καύσιμο που έχει ψεκαστεί στους αυλούς εισαγωγής, αλλά δεν έχει εισροφηθεί ακόμα μέσα στον κύλινδρο κατά τον συγκεκριμένο κύκλο λειτουργίας της μηχανής (Εικόνα 1.4.). Η εμφάνιση του backfire οδηγεί τη μηχανή σε «άσχημη» και θορυβώδη λειτουργία, που καταλήγει σε «σβήσιμο» καθώς δεν προλαβαίνει φρέσκο μίγμα να μπει μέσα στον κύλινδρο για να καεί επί κάποιους συνεχόμενους κύκλους λειτουργίας ώστε να παραχθεί έργο και να κρατήσει τη μηχανή σε λειτουργία. Επίσης λόγω του φαινομένου αυτού μπορεί να προκληθεί μέχρι και έκρηξη.



Εικόνα 2.4.: Απλή απεικόνιση του φαινομένου “Backfire” στην εισαγωγή ενός κινητήρα

Ένας τρόπος για να αποφευχθεί το backfire σε συνθήκες στοιχειομετρικής λειτουργίας της μηχανής, είναι ο ταυτόχρονος ψεκασμός νερού στους αυλούς της πολλαπλής εισαγωγής. Τυπικά, ψεκάζοντας νερό σε ποσότητα που αντιστοιχεί σε ένα λόγο «νερού προς υδρογόνο» ίσο με περίπου 4, οδηγεί σε περιορισμό του backfire. Επειδή η χρήση αυτού του μέτρου δεν είναι και πολύ πρακτική, έχει βρεθεί ότι όταν ο λόγος αέρα – καυσίμου γίνει πολύ μικρός, κάπου ο μισός του στοιχειομετρικού, το backfire μπορεί να περιοριστεί εν τη γενέσει του χωρίς τη χρήση άλλων μέτρων όπως ο ψεκασμός νερού. Βέβαια, η καύση φτωχού μίγματος οδηγεί άμεσα σε παραγωγή μικρότερης ισχύος από τη μηχανή, αλλά μέρος αυτή της χαμένης ισχύος μπορεί να ανακτηθεί άμεσα με κατάλληλη αναπροσαρμογή του χρονισμού του ψεκασμού του καυσίμου, αλλά και του χρονισμού του σπινθήρα από την ηλεκτρονική μονάδα ελέγχου της μηχανής.

Κεφάλαιο 3

Γεννήτριες Υδρογόνου

3.1 Εισαγωγή

Η γεννήτρια υδρογόνου είναι μια μηχανή η οποία παράγει αέριο υδρογόνο-οξυγόνο με τη μέθοδο της ηλεκτρόλυσης νερού, χρησιμοποιώντας ένα μέρος της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγει η μπαταρία του αυτοκινήτου.

Μια τυπική διάταξη γεννήτριας υδρογόνου αποτελείται από δύο μεταλλικές πλάκες τοποθετημένες παράλληλα σε μικρή απόσταση μεταξύ τους. Οι δύο αυτές πλάκες συνδέονται στον θετικό και στον αρνητικό πόλο της μπαταρίας αντίστοιχα. Μεταξύ των δύο πλακών υπάρχει ηλεκτρολυτικό διάλυμα μέσω του οποίου επιτυγχάνεται η ηλεκτρόλυση. Το αέριο υδρογόνο-οξυγόνο που παράγεται οδηγείται μέσω αυλών στην εισαγωγή αέρα της MEK και έπειτα στον θάλαμο καύσης.

Ο σημαντικότερος παράγοντας στην διαδικασία της ηλεκτρόλυσης είναι η ένταση του ρεύματος που διαρρέει το σύστημα. Όσο περισσότερο ρεύμα παρέχουμε σε μία γεννήτρια υδρογόνου τόσο περισσότερη παραγωγή αέριου υδρογόνου-οξυγόνου έχουμε. Πολύ μεγάλη κατανάλωση ρεύματος μπορεί να οδηγήσει σε κακή λειτουργία του κινητήρα. Η ποσότητα του ρεύματος που καταναλώνεται από την γεννήτρια καθορίζεται από τα κατασκευαστικά στοιχεία της (διαστάσεις, υλικά κατασκευής) καθώς και από τον τύπο του ηλεκτρολυτικού διαλύματος που θα χρησιμοποιηθεί. Επίσης σημαντικός παράγοντας στην κατανάλωση ρεύματος μιας γεννήτριας υδρογόνου είναι η θερμοκρασία του ηλεκτρολυτικού διαλύματος. Όσο πιο θερμό είναι το διάλυμα τόσο μεγαλύτερη είναι η κατανάλωση ηλεκτρικού ρεύματος. Τέλος αρκετά υψηλές θερμοκρασίες στο διάλυμα θα πρέπει να αποφεύγονται διότι συμβάλλουν στην δημιουργία

υδρατμών. Αυτοί οι υδρατμοί σε συνδυασμό με το νερό που παράγεται κατά την καύση του υδρογόνου μπορεί να αφήσουν κατάλοιπα νερού στους κυλίνδρους της μηχανής με αποτέλεσμα ακόμα και την καταστροφή του κινητήρα.

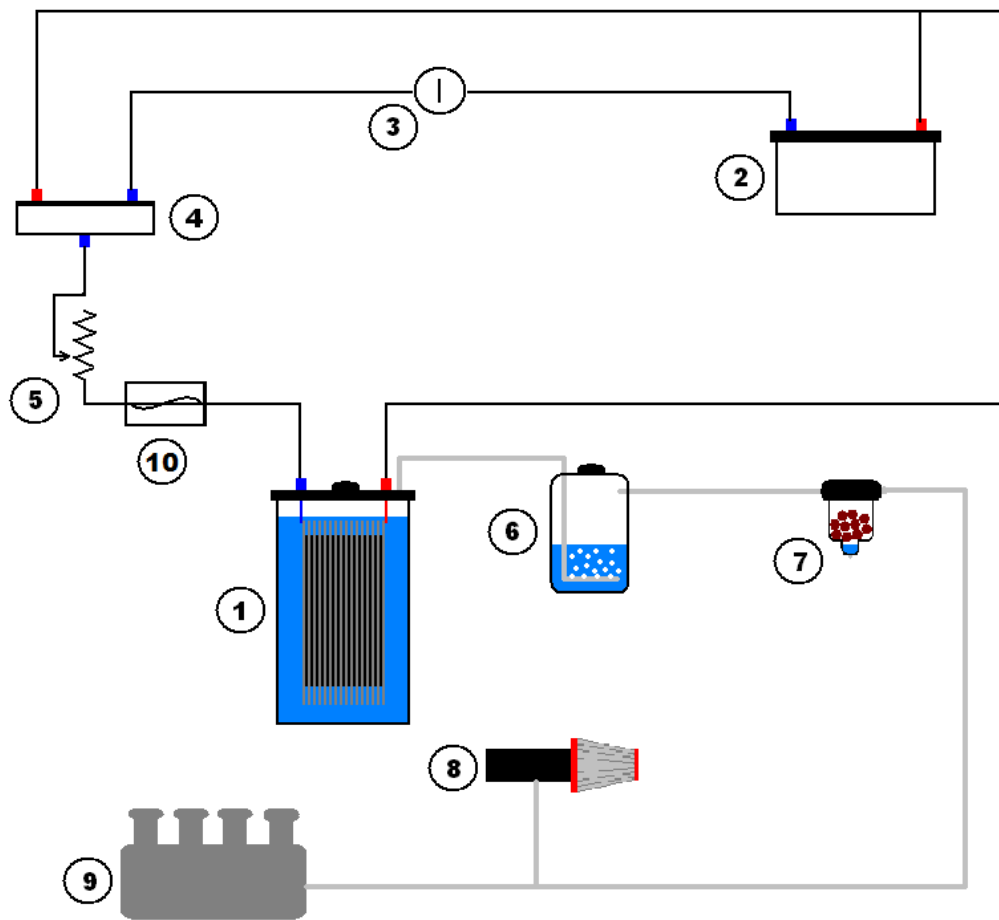
Όσον αφορά τους κινητήρες βενζίνης και πετρελαίου χωρίς υπερσυμπιεστή ένα μέρος του υδρογόνου που παράγει η γεννήτρια οδηγείται μέσω αυλών στο φίλτρο αέρα της εισαγωγής και ένα μέρος απευθείας στην πολλαπλή εισαγωγής. Ενώ όσον αφορά τους κινητήρες με υπερσυμπιεστή το αέριο οδηγείται μέσω αυλών μόνο στο φίλτρο αέρα της εισαγωγής.

Επομένως, η τοποθέτηση μιας γεννήτριας υδρογόνου σε ένα όχημα απαιτεί ηλεκτρολογική καθώς και μηχανική σύνδεση. Όσον αφορά την ηλεκτρολογική σύνδεση, το ηλεκτρικό ρεύμα ξεκινά από τον συσσωρευτή του οχήματος, διέρχεται από τον διακόπτη εκκίνησης, και τέλος από το ρελέ ανόρθωσης της έντασης του ρεύματος. Το ρελέ έχει τη δυνατότητα να ανορθώνει την ένταση του ρεύματος σε τιμές αρκετά υψηλότερες από αυτές που μπορεί να παράγει ένας κοινός συσσωρευτής. Έπειτα από το ρελέ το ρεύμα διέρχεται από ένα ποτενσιόμετρο, έτσι ώστε να είναι δυνατή η ρύθμιση της έντασης του ρεύματος, διαρρέει τη γεννήτρια υδρογόνου και καταλήγει στον συσσωρευτή (Εικόνα 3.1.).

Όσον αφορά το μηχανικό κύκλωμα μιας γεννήτριας υδρογόνου υγρού τύπου, το παραγόμενο αέριο υδρογόνο – οξυγόνο οδηγείται μέσω αυλών από τη γεννήτρια υδρογόνου στο φίλτρο εισαγωγής αέρα και στην πολλαπλή εισαγωγής του κινητήρα. Προτού το αέριο υδρογόνο – οξυγόνο φθάσει στην πολλαπλή εισαγωγής και στο φίλτρο αέρα διέρχεται από μια ασφαλιστική διάταξη (Εικόνα 3.1.). Αυτή η διάταξη αποτελείται από ένα δοχείο υγροποίησης ατμών, το οποίο εμποδίζει τους τυχόν ατμούς που δημιουργούνται λόγω εξάτμισης του ηλεκτρολυτικού διαλύματος, να εισέλθουν στον θάλαμο καύσης και από μια νεροπαγίδα η οποία συγκρατεί οποιαδήποτε ποσότητα ηλεκτρολυτικού διαλύματος τύχει να περάσει από το δοχείο υγροποίησης ατμών.

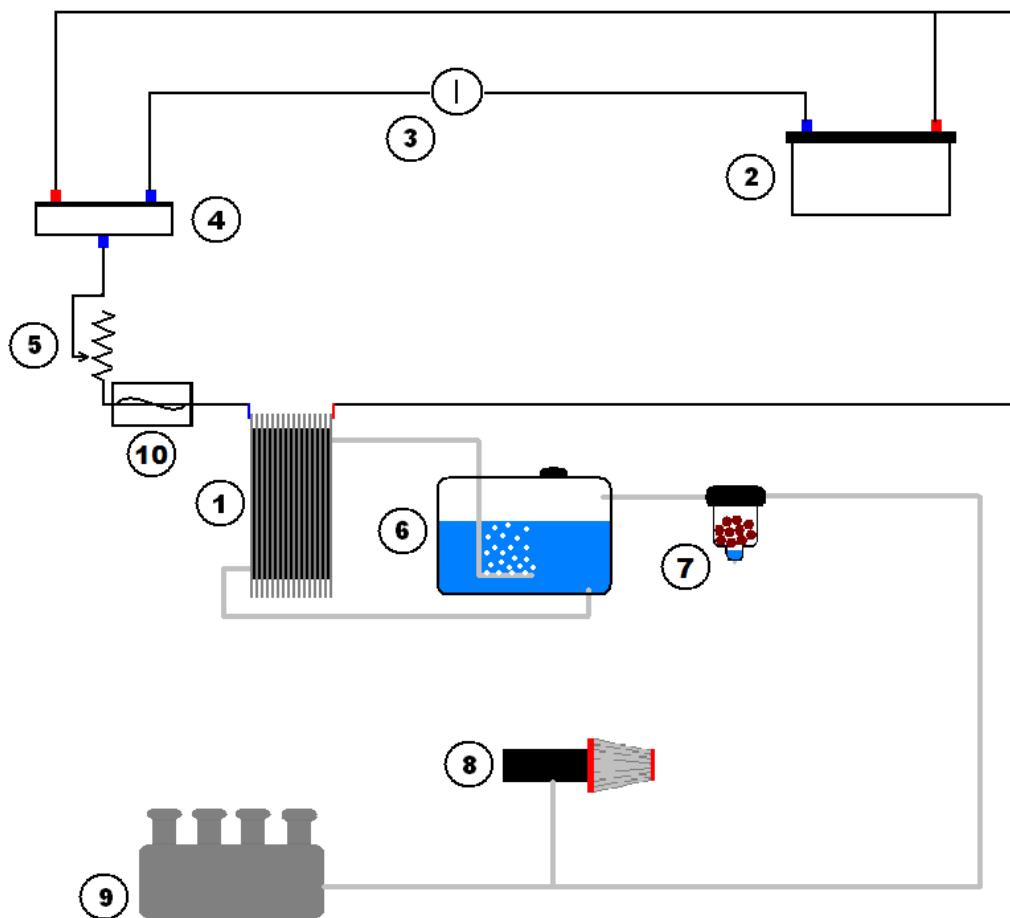
Η μόνη διαφορά στη μηχανική σύνδεση μιας γεννήτριας υδρογόνου ξηρού τύπου και μιας υγρού είναι ότι η διάταξη της γεννήτριας υδρογόνου ξηρού τύπου απαιτεί και ένα δοχείο για την πλήρωση της γεννήτριας με ηλεκτρολυτικό διάλυμα. Το δοχείο πλήρωσης επίσης λειτουργεί και σαν δοχείου υγροποίησης ατμών (Εικόνα 3.2.).

Τέλος θα πρέπει να αναφερθεί ότι μια γεννήτρια υδρογόνου έχει μικρές απαιτήσεις σε συντήρηση. Ενδείκνυται συμπλήρωση ηλεκτρολυτικού διαλύματος κάθε 1.000 χιλιόμετρα. Επίσης κάθε τρεις έως έξι μήνες αναλόγως την χρήση, συνιστάται ο καθαρισμός του συστήματος και η αντικατάσταση του ηλεκτρολυτικού διαλύματος.



Εικόνα 3.1.: Σύνδεση γεννήτριας υδρογόνου υγρού τύπου σε βενζινοκινητήρες και πετρελαιοκινητήρες χωρίς υπερσυμπιεστή

1)Γεννήτρια Υδρογόνου Υγρού τύπου, 2)Συσσωρευτής αυτοκινήτου, 3)Διακόπτης ρεύματος, 4)Ρελέ ανόρθωσης έντασης ρεύματος, 5)Ποτενσιόμετρο, 6)Δοχείο υγροποίησης ατμών, 7)Νεροπαγίδα, 8)Φίλτρο εισαγωγής αέρα, 9)Πολλαπλή εισαγωγής κινητήρα, 10)Ηλεκτρική ασφάλεια



Εικόνα 3.2.: Σύνδεση γεννήτριας υδρογόνου ξηρού τύπου σε βενζινοκινητήρες και πετρελαιοκινητήρες χωρίς υπερσυμπιεστή

1)Γεννήτρια Υδρογόνου Ξηρού τύπου, 2)Συσσωρευτής αυτοκινήτου, 3)Διακόπτης ρεύματος, 4)Ρελέ ανόρθωσης έντασης ρεύματος, 5)Ποτενσιόμετρο, 6)Δοχείο πλήρωσης ηλεκτρολυτικού διαλύματος και υγροποίησης υδρατμών, 7)Νεροπαγίδα, 8)Φίλτρο εισαγωγής αέρα, 9)Πολλαπλή εισαγωγής κινητήρα, 10)Ηλεκτρική ασφάλεια

3.2 Τα οφέλη μιας Γεννήτριας Υδρογόνου σε μια ΜΕΚ

Τα οφέλη είναι πραγματικά άφθονα. Η γεννήτρια υδρογόνου μπορεί να βελτιώσει την απόδοση του κινητήρα δραματικά, μειώνοντας παράλληλα την κατανάλωση καυσίμου.

Καθώς η γεννήτρια υδρογόνου λειτουργεί μόνο με νερό και πολύ λίγη ηλεκτρική ενέργεια από την μπαταρία του αυτοκινήτου, η μόνη δαπάνη είναι το

κόστος κατασκευής της το οποίο μπορεί να αποσβεσθεί σε πολύ σύντομο χρονικό διάστημα.

Δεν απαιτείται απολύτως καμία μετατροπή στον κινητήρα για την τοποθέτηση μίας γεννήτριας. Κάτι πολύ σημαντικό επίσης είναι πως κατά την τοποθέτηση της δεν χάνεται η εγγύηση του κινητήρα.

Επίσης πρέπει να αναφερθεί πως μία γεννήτρια υδρογόνου είναι πολύ ασφαλέστερη από μια δεξαμενή καυσίμου.

Κατά την καύση του μίγματος υδρογόνου-καυσίμου τα καυσαέρια που παράγονται είναι πολύ πιο καθαρά και λιγότερο επιβλαβή για το περιβάλλον. Δεδομένης της επιδείνωσης του προβλήματος της υπερθέρμανσης του πλανήτη, αυτό είναι ένα από τα μεγαλύτερα οφέλη μιας γεννήτριας υδρογόνου για το περιβάλλον.

Δεδομένης της παραγωγής καθαρότερων ρύπων άμεσο επακόλουθο είναι η παράταση της διάρκειας ζωής του κινητήρα καθώς βοηθά στον καθαρισμό των εσωτερικών τμημάτων, όταν ο κινητήρας λειτουργεί. Επίσης μία γεννήτρια υδρογόνου συμβάλει στην ομαλότερη λειτουργία ενός κινητήρα κάτι που σημαίνει αραιότερη συντήρησή του.

Σε περίπτωση που δεν είναι δυνατή η αγορά μιας γεννήτριας υδρογόνου, είναι αρκετά εύκολο να κατασκευαστεί μία, χρησιμοποιώντας απλά και φθηνά υλικά που βρίσκονται ευρέως στο εμπόριο και με την βοήθεια ενός εγχειρίδιου χρήσης που μπορεί να βρεθεί εύκολα στο διαδίκτυο. Θα πρέπει να αναφερθεί πως η απόδοση μίας τέτοιας κατασκευής δεν θα είναι παρόμοια με αυτήν μιας εγκεκριμένης εταιρίας εφόσον δεν έχει πραγματοποιηθεί εκτενείς έρευνα σχετικά με την διαστασιολόγηση και τα καταλληλότερα υλικά που απαιτούνται για μια τέτοια κατασκευή.

3.3 Τύποι Γεννητριών Υδρογόνου

Παρακάτω θα αναλύσουμε τα διάφορα σχέδια που έχουν κατασκευαστεί και δοκιμαστεί, και γιατί ορισμένα από αυτά θα πρέπει να αποφεύγονται. Οι γεννήτριες υδρογόνου χωρίζονται σε δύο κύριες κατηγορίες: τις γεννήτριες υγρού

τύπου και τις γεννήτριες ξηρού τύπου. Αυτή τη στιγμή υπάρχουν τέσσερις βασικοί τύποι γεννητριών υδρογόνου υγρού τύπου και ένας ξηρού τύπου.

3.3.1 Γεννήτριες Υδρογόνου Υγρού Τύπου

Γεννήτριες υδρογόνου με πλέγματα

Αποτελούνται από δύο ή περισσότερα δικτυωτά πλέγματα κατασκευασμένα από ανοξείδωτο χάλυβα, τοποθετημένα παράλληλα μεταξύ τους μέσα σε ένα δοχείο γεμάτο με ηλεκτρολυτικό διάλυμα. Σε μια τέτοια διάταξη τα πλέγματα δεν έρχονται σε επαφή και είναι συνδεδεμένα εναλλάξ, τα μισά στον θετικό πόλο της πηγής και τα υπόλοιπα στον αρνητικό πόλο. Αυτό το σχέδιο είναι ιδιαίτερα δημοφιλές στους αρχάριους, επειδή η παραγωγή φυσαλίδων είναι έντονη. Στην πραγματικότητα όμως αν μετρήσουμε την πυκνότητα του παραγόμενου αερίου, θα διαπιστώσουμε ότι αυτή δεν είναι ικανοποιητική. Ποιο συγκεκριμένα η ποιότητα του υδρογόνου που παράγεται με αυτή τη μέθοδο δεν είναι κατάλληλη για ένα V6 ή μεγαλύτερο κινητήρα (Εικόνα 3.4.).



Εικόνα 3.3.: Γεννήτρια υδρογόνου με πλέγμα

Γεννήτριες υδρογόνου με πλάκες

Αποτελούνται από δύο ή περισσότερες πλάκες ανοξείδωτου χάλυβα τοποθετημένες παράλληλα και βυθισμένες μέσα σε ένα δοχείο γεμάτο με ηλεκτρολυτικό διάλυμα. Οι πλάκες αυτές είναι συνδεδεμένες με την πηγή εναλλάξ όπως και οι γεννήτριες υδρογόνου με πλέγμα (Εικόνα 3.3.).



Εικόνα 3.4.: Γεννήτρια υδρογόνου με πλάκες

Γεννήτριες υδρογόνου με αυλούς

Αποτελούνται από δύο ή περισσότερους αυλούς ανοξείδωτου χάλυβα τοποθετημένους ο ένας μέσα στον άλλο χωρίς να εφάπτονται βυθισμένοι μέσα σε ένα δοχείο γεμάτο με ηλεκτρολυτικό διάλυμα. Οι αυλοί είναι συνδεδεμένοι με την πηγή εναλλάξ όπως σε όλους τους παραπάνω τύπους. Αυτός ο τύπος γεννήτριας είναι αρκετά αποδοτικός αλλά βασικό του μειονέκτημα είναι η υψηλή θερμοκρασία που αναπτύσσει κατά την λειτουργία του (Εικόνα 3.5.).



Εικόνα 3.5.: Γεννήτρια υδρογόνου με αυλούς

Γεννήτριες υδρογόνου με σύρματα

Αποτελούνται από δύο ή περισσότερα σύρματα τυλιγμένα σε μια σπείρα γύρω από ένα μηχανισμό στήριξης βυθισμένα σε ηλεκτρολυτικό διάλυμα. Ένα καλώδιο είναι συνδεδεμένο με τον αρνητικό πόλο της πηγής (συσσωρευτής) και το άλλο με τον θετικό. Αυτός ο τύπος γεννήτριας πωλείται ευρέως στην αγορά αυτή τη στιγμή, δεδομένου ότι είναι ο οικονομικότερος. Επίσης η κατασκευή του είναι γρήγορη και εύκολη. Ωστόσο το βασικό του μειονέκτημα είναι η μικρή του απόδοση σε σχέση με τους άλλους τύπους γεννητριών (Εικόνα 3.6.).

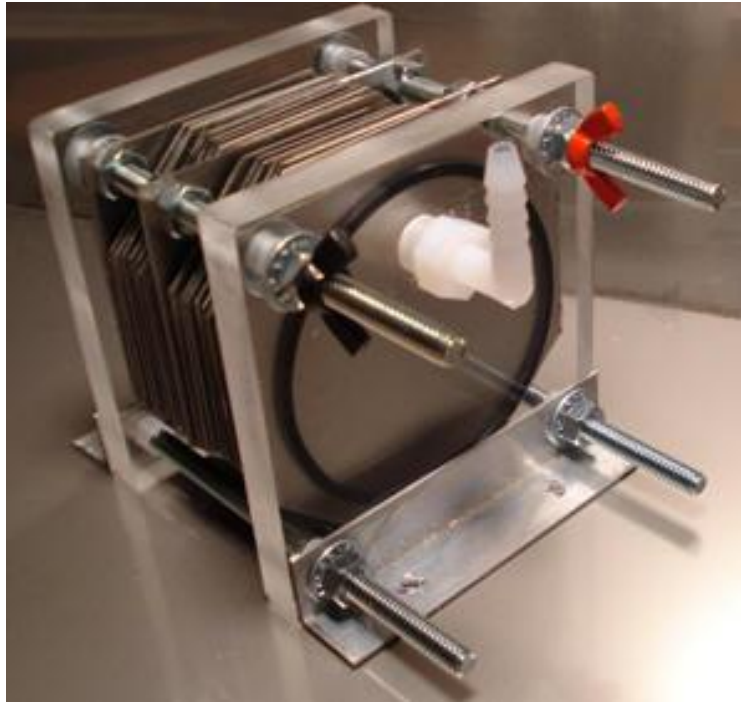


Εικόνα 3.6.: Γεννήτρια υδρογόνου με σύρματα

3.3.2 Γεννήτριες Υδρογόνου ξηρού τύπου

Γεννήτριες υδρογόνου με πλάκες

Αποτελούνται από δύο ή περισσότερες πλάκες ανοξείδωτου χάλυβα τοποθετημένες παράλληλα με ένα λάστιχο να σφραγίζει το κενό μεταξύ τους όπου και κυκλοφορεί το ηλεκτρολυτικό διάλυμα. Το όνομα μπορεί να είναι λίγο παραπλανητικό, διότι αυτού του τύπου οι γεννήτριες εξακολουθούν να χρησιμοποιούν την ίδια αρχή της ηλεκτρόλυσης του νερού για την παραγωγή του αερίου υδρογόνου. Το ηλεκτρολυτικό διάλυμα είναι αποθηκευμένο σε μια εξωτερική δεξαμενή τοποθετημένη υψηλότερα από την γεννήτρια και εισέρχεται σε αυτήν με την βοήθεια της βαρύτητας. Μόλις παραχθεί το υδρογόνο μέσω της διαδικασίας της ηλεκτρόλυσης, τότε αυτό οδηγείται πίσω στην δεξαμενή λόγω του ότι είναι ελαφρύτερο από το ηλεκτρολυτικό διάλυμα. Σε αυτού του τύπου τις γεννήτριες δεν παράγεται μεγάλη ποσότητα θερμότητας καθώς το ηλεκτρολυτικό διάλυμα ανανεώνεται συνεχώς και χρησιμοποιείται πάντα μόνο η απαιτούμενη ποσότητα αυτού. Αυτός ο τύπος γεννήτριας υδρογόνου είναι ο πιο αποδοτικός διότι συνδυάζει **ικανοποιητική παραγωγή αερίου υδρογόνου** και **χαμηλή θερμοκρασία λειτουργίας** επομένως και **χαμηλές ενεργειακές απαιτήσεις** (Εικόνα 3.7.).



Εικόνα 3.7.: Γεννήτρια υδρογόνου ξηρού τύπου με πλάκες
(http://www.hho2u.com/HHO_DRY_CELL.html)

3.4 Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα Γεννητριών Υδρογόνου Υγρού Τύπου

Το μόνο ουσιαστικό πλεονέκτημα του συγκεκριμένου τύπου γεννήτριας είναι ο εύκολος και γρήγορος τρόπος κατασκευής και συντήρησης.

Αντιθέτως, τα μειονεκτήματα είναι πολυάριθμα. Το σημαντικότερο μειονέκτημα αυτού του τύπου γεννητριών είναι η υπερβολική παραγωγή θερμότητας μέσα στην γεννήτρια υδρογόνου δεδομένου ότι η θερμότητα που παράγεται από τη διαδικασία της ηλεκτρόλυσης δεν έχει κανέναν δρόμο διαφυγής, με αποτέλεσμα ο ηλεκτρολύτης να θερμαίνεται υπερβολικά και να υπάρχει παραγωγή υδρατμών οι οποίοι θα διοχετευτούν στους κυλίνδρους καύσης της ΜΕΚ με δυσμενή αποτελέσματα. Επίσης λόγω της αύξησης της θερμοκρασίας αυξάνεται και η κατανάλωση ρεύματος της γεννήτριας. Ένα άλλο μειονέκτημα είναι ότι το οξυγόνο που συγκεντρώνεται γύρω από το θετικό ηλεκτρόδιο (άνοδος) αντιδρά με την επιφάνεια του μετάλλου και δημιουργεί οξείδωση. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τη διάβρωση του μετάλλου το οποίο τελικά

θα χρειαστεί να αντικατασταθεί. Επίσης οι συνδέσεις των ηλεκτροδίων είναι και αυτές βυθισμένες στον ηλεκτρολύτη με αποτέλεσμα να διαβρώνονται και αυτές με κίνδυνο καταστροφής της σύνδεσης. Τέλος ένα πολύ βασικό μειονέκτημα των γεννητριών υδρογόνου υγρού τύπου είναι πως το μεγαλύτερο ποσοστό του ρεύματος ρέει δια μέσο του ηλεκτρολυτικού διαλύματος εκτός των πλακών με αποτέλεσμα οι ενδιάμεσες πλάκες της γεννήτριας λόγω του χαμηλού ρεύματος να έχουν μικρή παραγωγή αερίου υδρογόνου - οξυγόνου.

3.5 Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα Γεννητριών Υδρογόνου Ξηρού Τύπου

Σε αντίθεση με τις γεννήτριες υγρού τύπου οι γεννήτριες ξηρού τύπου αριθμούν πολλά πλεονεκτήματα. Το βασικότερο πλεονέκτημα είναι ότι η ίδια ή και περισσότερη ποσότητα αερίου υδρογόνου που παράγεται σε μία γεννήτρια υγρού τύπου μπορεί να παραχθεί με την συγκεκριμένη γεννήτρια αλλά με πολύ μικρότερη ένταση ηλεκτρικού ρεύματος. Ακόμα ο σχεδιασμός αυτού του τύπου γεννήτριας είναι τέτοιος ώστε να του επιτρέπει την τοποθέτηση πολλών πλακών και να καταλαμβάνει λίγο χώρο. Επίσης λόγω του ότι ο ηλεκτρολύτης ανανεώνεται συνεχώς μέσα στην γεννήτρια δεν έχουμε μεγάλη ανάπτυξη θερμότητας κάτι που καθιστά το σύστημα αποδοτικότερο. Ένα άλλο πλεονέκτημα του συγκεκριμένου τύπου γεννήτριας είναι ότι οι ηλεκτρικές συνδέσεις δεν έρχονται σε επαφή με τον ηλεκτρολύτη και η ποσότητα αυτού είναι συγκεκριμένη, παράγοντες που συμβάλλουν στον περιορισμό της οξείδωσης των μετάλλων. Τέλος ο ηλεκτρολύτης παραμένει καθαρότερος, λόγω της μικρότερης οξείδωσης στις πλάκες της ανόδου οπότε και απαιτείται λιγότερη συντήρηση για τις ίδιες ώρες λειτουργίας, σε σύγκριση με τις γεννήτριες υδρογόνου υγρού τύπου.

Τα μόνα μειονεκτήματα του συγκεκριμένου τύπου γεννήτριας είναι η δυσκολία στην στεγανοποίηση των πλακών και η χρονοβόρα συντήρησή και κατασκευή της.

Λαμβάνοντας υπόψη μας τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα κάθε τύπου γεννητριών υδρογόνου, καταλήξαμε στο συμπέρασμα ότι ο αποδοτικότερος και πιο αξιόπιστος τύπος γεννήτριας είναι η γεννήτρια υδρογόνου ξηρού τύπου με

πλάκες. Στη συνέχεια της εργασίας θα προβούμε στη θεωρητική ανάλυση των τεχνικών χαρακτηριστικών μιας τέτοιας γεννήτριας καθώς επίσης και στον τεχνικό σχεδιασμό της.

Κεφάλαιο 4

Αρχές Σχεδιασμού Γεννήτριας Υδρογόνου Ξηρού Τύπου Με Πλάκες

4.1 Τεχνικά Χαρακτηριστικά Γεννήτριας Υδρογόνου

Γνωρίζουμε ότι το δυναμό δημιουργεί ηλεκτρική ισχύ καθώς γυρίζει. Όσο περισσότερη ηλεκτρική ενέργεια καταναλώνει το αυτοκίνητο, τόσο περισσότερο πρέπει να δουλέψει το δυναμό για να διατηρήσει τη μπαταρία φορτισμένη. Συνεπώς, όσο περισσότερο δουλεύει το δυναμό, τόσο περισσότερο επιβαρύνεται ο κινητήρας για να το γυρίσει. Επομένως αυξάνοντας την ένταση του ρεύματος μιας γεννήτριας υδρογόνου, η κατανάλωση καυσίμου ενός κινητήρα θα αυξηθεί. Μια γεννήτρια υδρογόνου χρησιμοποιεί την τάση και την ένταση του ρεύματος για να αναγκάσει το νερό να διασπαστεί σε αέριο υδρογόνο και οξυγόνο. Η ποσότητα του αερίου εξαρτάται κυρίως από δυο πράγματα: ποσό καλά η ένταση του ρεύματος διαπερνά το νερό και ποσό μεγάλη είναι η επιφάνεια των πλακών. Πρέπει να σημειωθεί ότι τα ηλεκτρόνια δεν περνούν διαμέσου των πλακών αλλά «ταξιδεύουν» στην εξωτερική περιοχή τους. Ακολουθούν το ‘μονοπάτι’ με την μικρότερη αντίσταση. Έτσι είναι πολύ σημαντικό η πλάκες να ισαπέχουν η μία από την άλλη και να είναι απόλυτα παράλληλες η μια με την άλλη, ειδικά το ρεύμα θα μεταπηδά στα πιο κοντινά σημεία. Οι πλάκες συνήθως φτιάχνονται από 316L ανοξείδωτο χάλυβα εξαιτίας των ανθεκτικών χαρακτηριστικών του μετάλλου αυτού.

4.1.1. Υπολογισμός παραγωγής αερίου Υδρογόνου - Οξυγόνου

Τα μόρια υδρογόνου και οξυγόνου σχηματίζονται στις επιφάνειες των πλακών. Έτσι, όσο μεγαλύτερη επιφάνεια έχουν οι πλάκες, τόσο μεγαλύτερη παραγωγή αερίου έχουμε. Σύμφωνα με τον Faraday μια in^2 επιφάνειας μιας πλάκας μπορεί να παράγει 6,27 ml αερίου υδρογόνου - οξυγόνου το λεπτό χρησιμοποιώντας 0,54 amps. Στην πραγματικότητα αυτό δεν είναι απόλυτα αληθές διότι το υδρογόνο χρειάζεται μια τετραγωνική ίντσα και το οξυγόνο άλλη μια τετραγωνική ίντσα. Ο Faraday περιγράφει ένα **κελί** (δυο πλάκες που χωρίζονται από ηλεκτρολυτικό διάλυμα). Έτσι στην πραγματικότητα χρειαζόμαστε μια κυψέλη εμβαδού μίας in^2 (μια in^2 από κάθε πλευρά του νερού). Το υδρογόνο σχηματίζεται στην μια πλάκα (εμβαδού 1in^2) και το οξυγόνο στην άλλη (εμβαδού 1in^2). Μια γεννήτρια υδρογόνου μπορεί να χρειαστεί περισσότερα από ένα κελιά αναλόγως τη ζήτηση σε αέριο υδρογόνο - οξυγόνο. Κάθε κελί χρειάζεται να έχει την ίδια επιφάνεια. Η συνολική επιφάνεια είναι ένας σημαντικός παράγοντας στο ποσό αέριο υδρογόνου και οξυγόνου παράγεται. Αν μια in^2 παράγει 6,27 ml/min, τότε θεωρητικά 100 in^2 θα πρέπει να παράγουν 627 ml/min, χρησιμοποιώντας 0,54 amp. Επομένως εάν διαιρέσουμε 1000 ml (1 lt) με 6,27 ml/ in^2 , θα πάρουμε 159,49 in^2 (παράδειγμα 4.1.). Αυτό είναι το εμβαδό που απαιτείται για την παραγωγή κάθε λίτρο αερίου υδρογόνου – οξυγόνου, χωρίς να προκαλείται περίσσια θερμότητας.

Παράδειγμα 4.1.:

1 in^2 παράγει 6,27ml/min καταναλώνοντας 0,54 amps

Για την παραγωγή 1 lt/min αερίου υδρογόνου – οξυγόνου απαιτούνται:

1lt=1000ml

$(1000\text{ml}/\text{min})/(6,27\text{ml}/\text{in}^2 \text{ min})=159,49 \text{ in}^2$

Είναι δυνατό να παραχθεί ένα λίτρο αερίου υδρογόνου – οξυγόνου χρησιμοποιώντας λιγότερη επιφάνεια πλακών αυξάνοντας την τάση ή την ένταση του ρεύματος. Βέβαια, σε αυτή την περίπτωση το αποτέλεσμα θα ήταν η πρόκληση περίσσειας θερμότητας. Σχεδόν κάθε γεννήτρια υδρογόνου που είναι διαθέσιμη στην αγορά είναι σχεδιασμένη με βάση αυτή την αρχή λειτουργίας.

4.1.2. Υπολογισμός τάσης και αριθμού κελιών γεννήτριας Υδρογόνου

Σύμφωνα με τον Faraday η ηλεκτρόλυση του νερού είναι πιο αποτελεσματική στα 1,24V, γιατί δεν υπάρχει μεγάλη έκλυση θερμότητας, εφόσον διατηρήσουμε την ένταση του ρεύματος σε κάθε κελί όχι πάνω από 0,54 A. Αυτή είναι η αρχή λειτουργίας του συστήματος. Πειραματικά όμως έχει αποδειχθεί ότι τα 1,24V δεν είναι πρακτικά όταν χρησιμοποιούνται συσσωρευτές τάσης 12 με 15V, εξαιτίας της ποσότητας των ηλεκτρολυτών που χρειάζονται για να μειωθεί η αντίσταση του νερού. Σύμφωνα με τον Brown η ηλεκτρόλυση του νερού είναι πιο αποτελεσματική στα 1,48V, ενώ κατά τον Bob Boyce στα 2,0V. Την τάση αυτή των 2,0V χρησιμοποιούν πολλοί στην κατασκευή γεννητριών υδρογόνου καθώς θεωρείται πως με την τάση αυτή επιτυγχάνεται η μέγιστη δυνατή παραγωγή αέριου υδρογόνου-οξυγόνου με την ελάχιστη δυνατή έκλυσης θερμότητας. Έπειτα από πειράματα που πραγματοποιήθηκαν αποδείχθηκε πως η τάση ηλεκτρόλυσης δεν πρέπει να ξεπερνάει τα 2,4V καθώς το μεγαλύτερο μέρος της ηλεκτρικής ενέργειας μετατρέπεται σε θερμότητα.

Η τάση ενός συσσωρευτή αυτοκινήτου ποικίλλει ανάλογα με τον κινητήρα, συνήθως κυμαίνεται μεταξύ 12 και 14,5V. Σε μία γεννήτρια υδρογόνου η επιθυμητή τάση κάθε κελιού για την ηλεκτρόλυση του νερού είναι περίπου 2V. Ο συσσωρευτής όμως αποδίδει 12 με 14,5V. Έτσι αντί να χρησιμοποιήσουμε ηλεκτρονικά μέσα για να πετύχουμε την επιθυμητή τάση σε κάθε κελί, θα πρέπει να τοποθετήσουμε ουδέτερες πλάκες οι οποίες θα παρεμβάλλονται μεταξύ των δύο πλακών που είναι συνδεδεμένες στον θετικό και στον αρνητικό πόλο του συσσωρευτή αντίστοιχα. Κάθε ουδέτερη πλάκα που παρεμβάλλεται προκαλεί πτώση τάσης. Αφού η επιθυμητή τάση κάθε κελιού είναι 2 v, εάν διαιρέσουμε την τάση της πηγής με το 2, θα προκύψει ο αριθμός των υποκελιών που θα χρειαστούν. Στο παρακάτω παράδειγμα το 'n' αναπαριστά τις πλάκες ηλεκτρόδιων και το '_' αναπαριστά τις περιοχές ηλεκτρολυτικού διαλύματος (παράδειγμα 4.2.).

Παράδειγμα 4.2.:

- $12/2=6$ 7 πλάκες θα παρείχαν 6 περιοχές νερού (υποκελιά) με 2 volts στην καθεμία. Η κατασκευή θα ήταν αυτής της μορφής (+_n_n_n_n_n_n_-).
- $14,5/1,24=11,69$ 12 πλάκες θα παρείχαν 1,21 volts , 11 πλάκες θα παρείχαν 1,32 volts. Με 11 κελιά η κατασκευή θα ήταν αυτής της μορφής (+_n_n_n_n_n_n_n_n_n_n_-).

Ανακεφαλαιώνοντας όλα τα παραπάνω, για να παραχθεί η απαιτούμενη ποσότητα αέριου υδρογόνου – οξυγόνου, χρειάζεται αρκετή επιφάνεια πλακών, με κατανάλωση όχι πάνω από 0,54A για κάθε τετραγωνική ίντσα και με τάση κοντά στα 2Vγια κάθε κελί. Αυτή είναι η ισορροπία που χρειάζεται το σύστημα για να λειτουργεί με την καλύτερη δυνατή απόδοση και τις λιγότερες απώλειες ενέργειας.

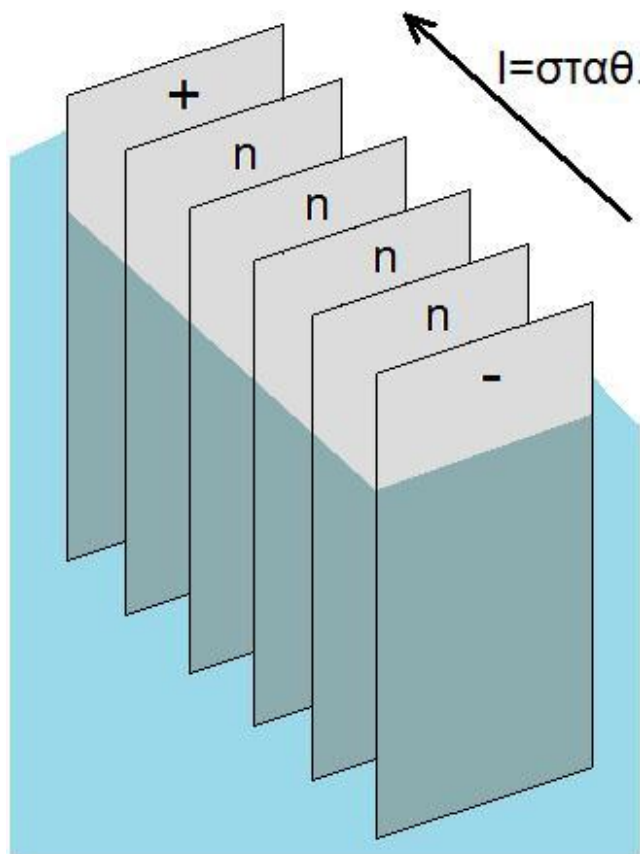
4.1.3. Διάκενο μεταξύ των πλακών

Όσο πιο κοντά είναι οι πλάκες σε μια γεννήτρια υδρογόνου, τόσο μικρότερη είναι η αντίσταση του ηλεκτρικού ρεύματος που έχει το νερό ανάμεσα τους. Το αποσταγμένο νερό έχει πολύ υψηλή αντίσταση στο ηλεκτρικό ρεύμα. Πρέπει λοιπόν να προσθέσουμε στο νερό κάποιον ηλεκτρολύτη έτσι ώστε να αυξήσουμε την αγωγιμότητα του. Όσο περισσότερο ηλεκτρολύτη προσθέτουμε τόσο μειώνεται η αντίσταση του νερού. Όταν η αντίσταση μειωθεί αρκετά τότε το ρεύμα αρχίζει να διαπερνά το νερό. Όσο μειώνεται η αντίσταση του νερού, τόσο περισσότερο ρεύμα περνάει. Εάν κατασκευάσουμε ένα κελί με διάκενο μεταξύ των πλακών 1/2in θα χρειαστεί δύο φορές περισσότερο ηλεκτρολύτη απ' ότι θα χρειαζόταν εάν το διάκενο ήταν 1/4in. Ακόμη καλύτερα, διάκενο της τάξεως 1/16 in θα παρείχε ακόμα μικρότερη αντίσταση. Όμως, το διάκενο δεν θα πρέπει ποτέ να είναι μικρότερο του 1/16in, διότι σε αυτήν την περίπτωση δεν θα υπάρχει αρκετό κενό μεταξύ των πλακών για να διέρχονται τα αέρια. Αποτέλεσμα θα είναι η συσσώρευση των αερίων ανάμεσα στις πλάκες καταλαμβάνοντας το χώρο του ηλεκτρολυτικού διαλύματος. Έτσι η επιφάνεια που λαμβάνει χώρα στην ηλεκτρόλυση θα μειωθεί με αποτέλεσμα τη μείωση της παραγωγής αέριου υδρογόνου – οξυγόνου.

4.2 Συνδεσμολογία Πλακών Γεννήτριας Υδρογόνου

4.2.1 Συνδεσμολογία ενός κελιού

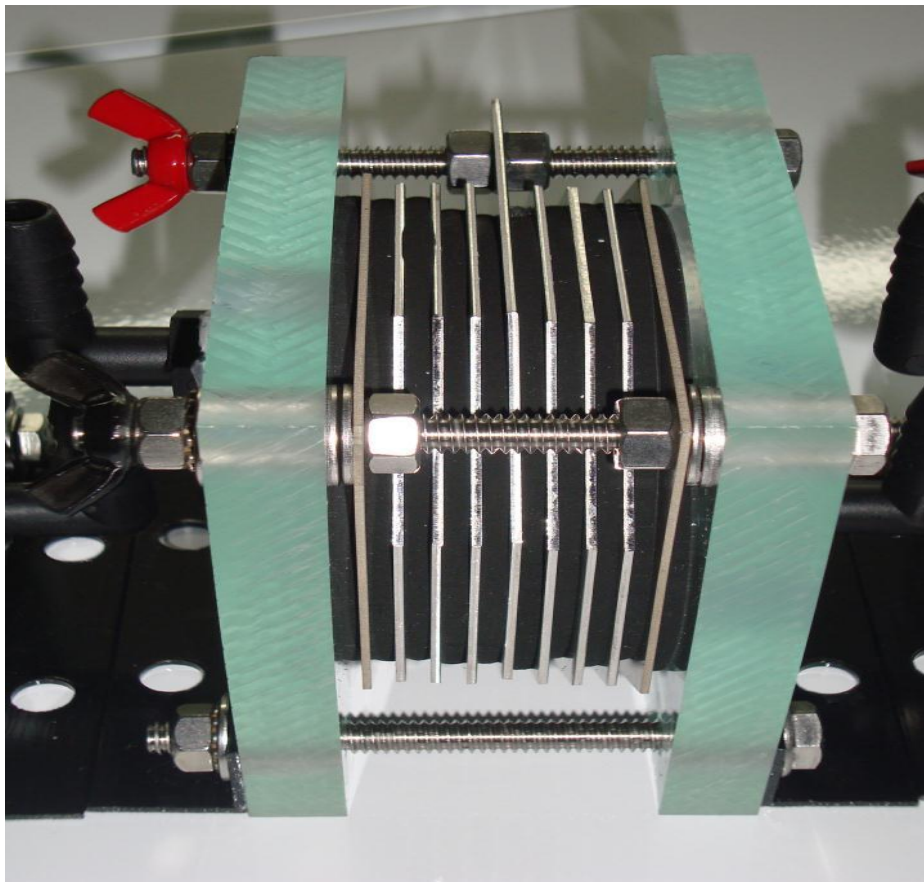
Η αποδοτικότερη κατασκευή κελιού απαιτεί μια θετική και μία αρνητική πλάκα, με ουδέτερες πλάκες μεταξύ τους (- nnnnnnnn +). Το ηλεκτρικό ρεύμα περνάει από την αρνητική πλάκα (-), διέρχεται κάθε ουδέτερη πλάκα και καταλήγει στην θετική πλάκα (+) διατηρώντας σταθερή ένταση. Οι ουδέτερες πλάκες προκαλούν πτώση τάσης μεταξύ των πλακών. Αυτή την πτώση τάσης θα πρέπει να υπολογίσουμε για να βρούμε την αποδοτικότητα. Το άθροισμα της πτώσης τάσης κάθε υποκελιού (μεταξύ θετικών και αρνητικών πλακών), θα πρέπει να δίνει τιμή ίση με την τάση της πηγής.



Εικόνα 4.1: Συνδεσμολογία πλακών ενός κελιού με 4 ουδέτερες πλάκες

4.2.2 Παράλληλη συνδεσμολογία κελιών με ουδέτερες πλάκες

Σε μία συνδεσμολογία κελιών σε παράλληλη διάταξη έχουμε πολλαπλές θετικές και αρνητικές πλάκες (+ nnn - nnn +). Η τάση κάθε κελιού προκύπτει εάν διαιρέσουμε την τάση της πηγής με τον αριθμό των υποκελιών που περιλαμβάνονται σε κάθε κελί. Χωρίς ουδέτερες πλάκες η τάση που διαρρέει το κελί είναι ίση με την τάση της πηγής.

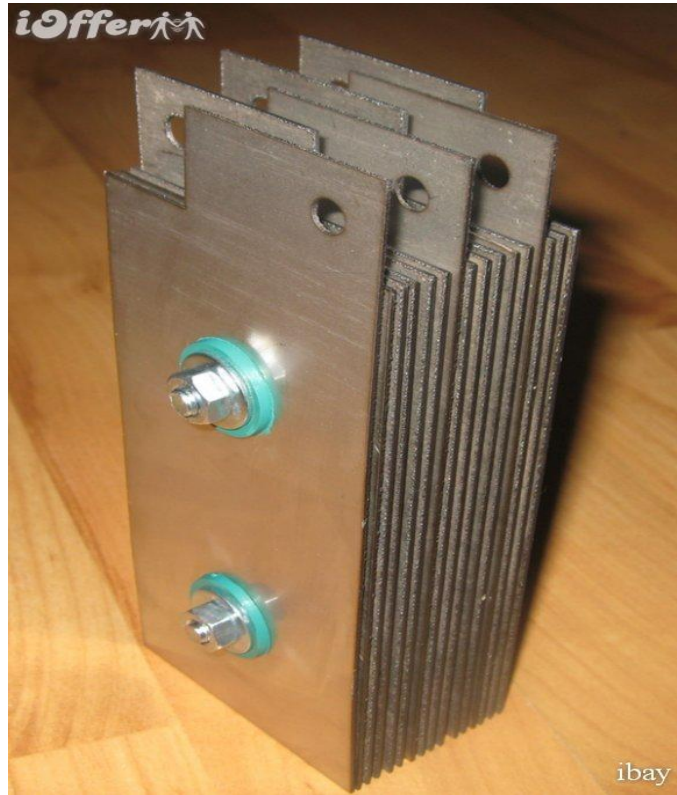


Εικόνα 4.2: Συνδεσμολογία δύο παράλληλα συνδεδεμένων κελιών με τρεις ουδέτερες πλάκες

4.2.3 Παράλληλη συνδεσμολογία κελιών χωρίς ουδέτερες πλάκες

Σε μία συνδεσμολογία κελιών χωρίς ουδέτερες πλάκες (+ - + - + -) ποτέ δεν θα επιτευχθεί αποτελεσματική λειτουργία. Κάθε κελί θα λειτουργεί με τάση ίση με αυτήν της πηγής με αποτέλεσμα να μην την μεγάλη παραγωγή υδρογόνου, αλλά παράλληλα θα αυξηθεί πολύ η θερμοκρασία και η ένταση του ρεύματος. Αποτέλεσμα της αύξησης της έντασης του ρεύματος και της θερμοκρασίας θα

είναι η γρηγορότερη διάβρωση των θετικών (+) πλακών καθώς και η παραγωγή ανεπιθύμητων υδρατμών.



Εικόνα 4.3: Γεννήτρια υδρογόνου πολλαπλών κελιών με ουδέτερες πλάκες

Καταλήξαμε λοιπόν στο συμπέρασμα ότι η αποδοτικότερη γεννήτρια υδρογόνου θα πρέπει να αποτελείται από μία σειρά παράλληλα συνδεδεμένων κελιών με ουδέτερες πλάκες. Αυτή η κατασκευή μας παρέχει μια αρκετά ικανοποιητική παραγωγή υδρογόνου. Επίσης η ένταση του ρεύματος που καταναλώνει το σύστημα είναι μικρή με αποτέλεσμα η θερμοκρασία λειτουργίας να παραμένει σε χαμηλά επίπεδα αποτρέποντας την εξάτμιση του ηλεκτρολυτικού διαλύματος.

4.3 Λειτουργία της Γεννήτριας Υδρογόνου σε Ακραίες Θερμοκρασιακές Συνθήκες Περιβάλλοντος

Ένας βασικός παράγοντας που επηρεάζει την λειτουργία και την απόδοση μιας γεννήτριας υδρογόνου είναι η θερμοκρασία περιβάλλοντος. Το μεγαλύτερο πρόβλημα εμφανίζεται κατά την διάρκεια της χειμερινής περιόδου. Όσο πιο κρύο γίνεται το νερό, τόσο περισσότερο αντιστέκεται στην ροή του ηλεκτρικού ρεύματος. Για τον λόγο αυτό θα πρέπει να προσθέσουμε περισσότερους ηλεκτρολύτες έτσι ώστε να βελτιώσουμε την παραγωγή. Ο νόμος του Ohm αναφέρει πως όταν η αντίσταση αυξάνεται η ροή του ρεύματος μειώνεται. Η θερμοκρασία του νερού έχει άμεση επίδραση στην ένταση του ρεύματος που παράγει η γεννήτρια υδρογόνου. Όσο πιο κρύο είναι το νερό τόσο λιγότερο αέριο υδρογόνο – οξυγόνο παράγει η γεννήτρια υδρογόνου. Αυτό συμβαίνει επειδή το νερό αντιστέκεται περισσότερο στην κίνηση των ηλεκτρονίων. Καθώς η θερμοκρασία του νερού πλησιάζει το σημείο πήξης τα ηλεκτρόνια κινούνται όλο και πιο αργά. Έτσι η γεννήτρια υδρογόνου δεν μπορεί να παράγει καθόλου υδρογόνο αν είναι παγωμένη. Επομένως το ηλεκτρολυτικό διάλυμα που χρησιμοποιούμε τους θερμούς μήνες δεν είναι επαρκές για την περίοδο του χειμώνα. Θα πρέπει λοιπόν να παρασκευάσουμε ένα δυνατότερο ηλεκτρολυτικό διάλυμα. Χρησιμοποιώντας όμως ένα τέτοιο διάλυμα και σε συνδυασμό με την αύξηση της θερμοκρασίας του κατά την λειτουργία της γεννήτριας υδρογόνου, η κατανάλωση του ρεύματος αυξάνεται κατά πολύ ξεπερνώντας τις επιθυμητές τιμές. Έτσι δημιουργείται η ανάγκη ελέγχου της έντασης του ρεύματος που καταναλώνει η γεννήτρια υδρογόνου. Η εγκατάσταση ενός ποτενσιόμετρου στο ηλεκτρικό κύκλωμα της γεννήτριας υδρογόνου είναι μια από τις καλύτερες λύσεις για την οδήγηση σε κρύο καιρό. Επιτρέπει τη δημιουργία δυνατότερων μειγμάτων ηλεκτρολυτών, που είναι απαραίτητοι σε πολύ χαμηλές θερμοκρασίες, και τη χρήση τους καθ' όλη τη διάρκεια του χρόνου.

Σε πολύ χαμηλές θερμοκρασίες υπάρχει ο κίνδυνος το ηλεκτρολυτικό διάλυμα να παγώσει καταστρέφοντας την γεννήτρια υδρογόνου. Αυτό μπορεί να αποφευχθεί με την χρήση κάποιων προσθετικών μέσα στο διάλυμα. Το πιο δραστικό προσθετικό είναι η αλκοόλη. Δυο από τις συνηθέστερες αλκοόλες είναι η μετουσιωμένη αλκοόλη και η ισοπροπυλική αλκοόλη. Η μετουσιωμένη

αλκοόλη (190 proof) έχει την ιδιότητα να χαμηλώνει το σημείο πήξης του νερού. Ένα διάλυμα 25% κ.β. έχει την δυνατότητα να μειώσει το σημείο πήξης του νερού έως και 5°C υπό το μηδέν. Βασικό μειονέκτημα της χρήσης της μετουσιωμένης αλκοόλης είναι ότι προκαλεί επικαθίσεις στις πλάκες της γεννήτριας υδρογόνου με αρνητικές συνέπειες στην απόδοσή της. Παρόμοιες ιδιότητες έχει και η ισοπροπυλική αλκοόλη η οποία όμως δεν δημιουργεί επικαθίσεις στις πλάκες αλλά μπορεί να καταστρέψει κάποια πλαστικά μέρη του συστήματος. Τέλος μία πολύ καλή λύση είναι ο συνδυασμός αλκοόλης και καυστικής ποτάσας (Περισσότερες πληροφορίες σχετικά με τους ηλεκτρολύτες και τα ηλεκτρολυτικά διαλύματα αναφέρονται στο επόμενο κεφάλαιο).

Κεφάλαιο 5

Ηλεκτρολύτες

5.1 Εισαγωγή

Ηλεκτρολύτης είναι ένας «ιατρικός / επιστημονικός» όρος για τα άλατα και πιο συγκεκριμένα για τα ιόντα. Ο όρος ηλεκτρολύτης σημαίνει ότι αυτό το ιόν είναι ηλεκτρικά φορτισμένα και κινείται είτε προς τα αρνητικά (κάθοδος) είτε προς τα θετικά (άνοδος) ηλεκτρόδια (πλάκες):

- Τα ιόντα που κινούνται προς την κάθοδο (κατιόντα) έχουν θετικό φορτίο
- Τα ιόντα που κινούνται προς την άνοδο (ανιόντα) έχουν αρνητικό φορτίο

Παρακάτω παρατίθενται οι σημαντικότεροι ηλεκτρολύτες:

- νάτριο (Na^+) θετικά ιόντα
- κάλιο (K^+) θετικά ιόντα
- χλώριο (Cl^-) Αρνητικά Ιόντα
- ασβέστιο (Ca^{2+}) θετικά ιόντα
- μαγνήσιο (Mg^{2+}) θετικά ιόντα
- υδροξείδια (OH^-) - Αρνητικά Ιόντα
- διττανθρακικά (HCO_3^-) Αρνητικά Ιόντα
- φωσφορικά (PO_4^{2-}) Αρνητικά Ιόντα
- θειικά (SO_4^{2-}) Αρνητικά Ιόντα

Οι ηλεκτρολύτες είναι πολύ σημαντικοί στην διαδικασία της ηλεκτρόλυσης του νερού. Είναι το μέσο που χρησιμοποιούν οι περισσότερες γεννήτριες υδρογόνου για να διατηρήσουν την τάση του ρεύματος μεταξύ των πλακών ή των σωλήνων. Με απλά λόγια κάνουν το νερό καλύτερο αγωγό ηλεκτρικού ρεύματος.

Το καθαρό νερό (αποσταγμένο νερό) είναι ένα μονωτικό υλικό. Δεν άγει την ηλεκτρική ενέργεια. Αλλά το καθαρό νερό είναι αρκετά σπάνιο. Συνήθως το νερό περιέχει κάποιες ποσότητες μεταλλικών στοιχείων οι οποίες είναι αγωγοί του ηλεκτρικού ρεύματος. Όσο περισσότερα μεταλλικά στοιχεία περιέχονται στο νερό, τόσο καλύτερα αυτό άγει το ηλεκτρικό ρεύμα. Αλλά όταν πρόκειται να χρησιμοποιήσουμε τέτοιο νερό σε μία γεννήτρια υδρογόνου, θα πρέπει να ελαχιστοποιήσουμε ή να εξαλείψουμε τις ακαθαρσίες του νερού. Τέτοιες ακαθαρσίες μπορεί να προσκολληθούν στις επιφάνειες των πλακών και να επιβραδύνουν ή ακόμα και να σταματήσουν τη διαδικασία της ηλεκτρόλυσης, την παραγωγή δηλαδή αέριου υδρογόνου – οξυγόνου.

Στην πραγματικότητα δεν είναι απαραίτητη η παρουσία ηλεκτρολύτη για να πραγματοποιηθεί η διαδικασία της ηλεκτρόλυσης. Μπορεί να πραγματοποιηθεί με απλό νερό της βρύσης, το νερό των ποταμών, των πηγών, κλπ. Αυτό συμβαίνει διότι υπάρχουν μεταλλικά στοιχεία στο νερό. Όμως η παραγωγή αέριου υδρογόνου - οξυγόνου θα είναι πολύ χαμηλή λόγω των κακών αγώγιμων ιδιοτήτων του νερού. Δεν θα υπάρχει αρκετή ροή ηλεκτρικού ρεύματος. Αλλά καθώς το νερό θα θερμαίνεται, η αγωγιμότητα θα αυξάνεται καθώς και η παραγωγή αέριου υδρογόνου – οξυγόνου. Έτσι χρησιμοποιούμε τους ηλεκτρολύτες για να επιταχύνεται η διαδικασία παραγωγής αέριου υδρογόνου - οξυγόνου.

5.2 Είδη Ηλεκτρολυτών

Η εκλογή του κατάλληλου ηλεκτρολύτη θα πρέπει να γίνεται με βάση τα κατασκευαστικά χαρακτηριστικά της γεννήτριας υδρογόνου. Ένα πολύ βασικό κριτήριο στην εκλογή του ηλεκτρολύτη είναι το διάκενο μεταξύ των πλακών των κελιών και των υποκελιών μιας γεννήτριας υδρογόνου. Σε κελιά με μικρό διάκενο χρησιμοποιείται πολύ μικρή ποσότητα ηλεκτρολύτη ή ακόμα και καθόλου. Όσο αυξάνεται το διάκενο τόσο θα πρέπει να αυξάνεται και η ποσότητα του ηλεκτρολύτη που θα προστεθεί στο νερό. Παρακάτω αναφέρονται οι συνηθέστεροι ηλεκτρολύτες και τα χαρακτηριστικά τους που χρησιμοποιούνται στις γεννήτριες υδρογόνου.

5.2.1 Νερό βρύσης - H_2O

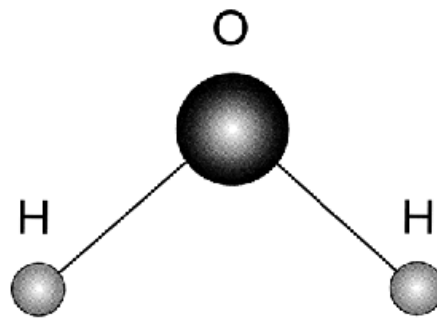
Το νερό βρύσης περιέχει μεταλλικά στοιχεία, άλατα κλπ.

Πλεονεκτήματα:

- Ευρέως διαθέσιμο
- Φθηνό
- Ασφαλές στη χρήση

Μειονεκτήματα:

- Το νερό μπορεί να γίνει καφέ και οι πλάκες να καλυφτούν με επίστρωμα αλάτων με αποτέλεσμα την παρεμπόδιση της διαδικασίας της ηλεκτρόλυσης.
- Νερό που περιέχει χλώριο θα πρέπει να αποφεύγεται καθώς μπορεί να σχηματιστούν επικίνδυνα αέρια.



Εικόνα 5.1.: Μοριακή δομή νερού

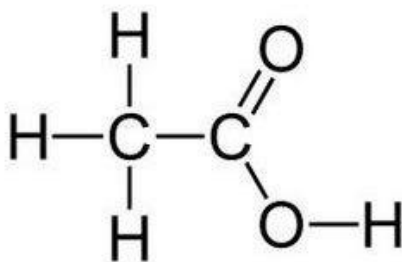
5.2.2 Οξικό οξύ (Λευκό ξύδι) $H_3C-COOH$

Πλεονεκτήματα:

- Οι πλάκες διατηρούνται καθαρές
- Ευρέως διαθέσιμο
- Φθηνό
- Ασφαλές στη χρήση

Μειονεκτήματα:

- Δύσοσμο
- Το νερό χρωματίζεται
- Αδύναμο σε σχέση με άλλους ηλεκτρολύτες



Εικόνα 5.2.: Μοριακή δομή οξικού οξέως (αριστερά), οξικό οξύ εμπορίου περιεκτικότητας 27% κ.ο. (δεξιά)

Μείγμα 100% οξικού οξέως αναμειγμένο με μικρή ποσότητα μαγειρικής σόδας (εάν χρειαστεί) αποτελεί αρκετά καλό ηλεκτρολυτικό διάλυμα για γεννήτριες υδρογόνου με μέτριο διάκενο μεταξύ πλακών (το διάλυμα αυτό χρειάζεται προσοχή καθώς παράγεται κατά τη διάρκεια της ηλεκτρόλυσης CO).

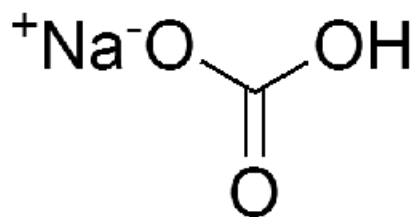
5.2.3 Ανθρακικό νάτριο (Μαγειρική σόδα) NaHCO_3

Πλεονεκτήματα:

- Ευρέως διαθέσιμο
- Φθηνό

Μειονεκτήματα:

- Το νερό μπορεί να γίνει καφέ και οι πλάκες να καλυφτούν με επίστρωμα αλάτων με αποτέλεσμα την παρεμπόδιση της διαδικασίας της ηλεκτρόλυσης.
- Κατά τη διαδικασία της ηλεκτρόλυσης παράγεται CO_2 (30%) και CO (4%) ένα εξαιρετικά επικίνδυνο για την ανθρώπινη υγεία αέριο. Γι' αυτό το λόγο δεν συνιστάται η χρήση του παρά μόνο ως τελευταία λύση.



Εικόνα 5.3.: Μοριακή δομή νιτρικού υδρογονάνθρακα (αριστερά), μαγειρική σόδα (δεξιά)

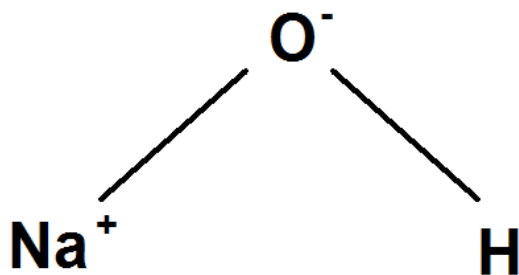
5.2.4 Υδροξείδιο του νατρίου (Καυστική σόδα) NaOH

Πλεονεκτήματα:

- Οι πλάκες διατηρούνται καθαρές
- Φθηνό
- Με σωστό σχεδιασμό της γεννήτριας υδρογόνου παράγεται αέριο υδρογόνο οξυγόνο καθαρότητας 95 – 100%.
- Ευρέως διαθέσιμο

Μειονεκτήματα:

- Επικίνδυνο στη χρήση
- Υπό συνθήκες υψηλής θερμοκρασίας προκαλεί έντονη διάβρωση των πλακών της γεννήτριας υδρογόνου
- Υδροφοβικό
- Όταν έρχεται σε επαφή με τον ατμοσφαιρικό αέρα απορροφά το διοξείδιο του άνθρακα



Εικόνα 5.4.: Μοριακή δομή υδροξειδίου του νατρίου (αριστερά), καυστική σόδα (δεξιά)

Το καθαρό οξείδιο του νατρίου είναι λευκό και στερεό και διατίθεται σε διάφορα σχήματα και μεγέθη. Είναι επίσης διαθέσιμο και σε κορεσμένο διάλυμα περιεκτικότητας 50%. Συνιστάται η χρήση του με αποσταγμένο νερό. Είναι εξαιρετικός ηλεκτρολύτης. Πειραματικά έχει αποδειχθεί ότι διάλυμα αποσταγμένου νερού και υδροξειδίου του νατρίου περιεκτικότητας 30% κ.β είναι ιδανική αναλογία ηλεκτρολυτικού διαλύματος.

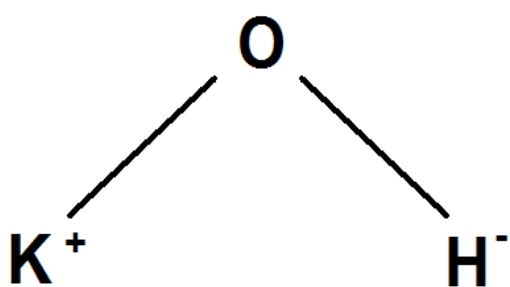
5.2.5 Υδροξείδιο του καλίου (Καυστική ποτάσα) KOH

Πλεονεκτήματα:

- Οι πλάκες διατηρούνται καθαρές
- Με σωστό σχεδιασμό της γεννήτριας υδρογόνου παράγεται αέριο υδρογόνο οξυγόνο καθαρότητας 95 – 100%.
- Εξαιρετικά αποτελεσματικός και καθαρός ηλεκτρολύτης
- Συνίσταται για χρήση σε χαμηλές θερμοκρασίες περιβάλλοντος (μειώνει την θερμοκρασία του σημείου πήξης του διαλύματος)
- Ευρέως διαθέσιμο

Μειονεκτήματα:

- Επικίνδυνο στη χρήση



Εικόνα 5.5.: Μοριακή δομή υδροξειδίου του καλίου (αριστερά), καυστική ποτάσα (δεξιά)

Συνιστάται κυρίως για επαγγελματική χρήση. Θα πρέπει να διευκρινιστεί ότι διάλυμα περιεκτικότητας μεγαλύτερης από 30% κ.β. θα επιφέρει αύξηση αντί για μείωση του σημείου πήξης. Ο ηλεκτρολύτης αυτός προτάθηκε ως ο καλύτερος ηλεκτρολύτης από τη Honda το 2001. Σύμφωνα με τη N.A.S.A. έχει αποδειχθεί μέσω πειραμάτων ηλεκτρόλυσης νερού, ότι διάλυμα αποσταγμένου νερού και υδροξειδίου του καλίου περιεκτικότητας 27% κ.β είναι ιδανική αναλογία ηλεκτρολυτικού διαλύματος.

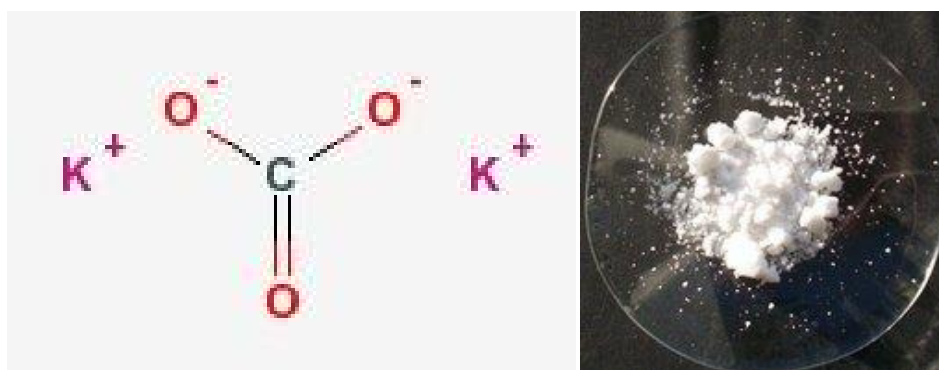
5.2.6 Ανθρακικό κάλιο K_2CO_3

Πλεονεκτήματα:

- Καλή παραγωγή αέριου υδρογόνου οξυγόνου (ποικίλει ανάλογα με τα τεχνικά χαρακτηριστικά της γεννήτριας υδρογόνου)
- Φθηνό
- Ασφαλές στη χρήση

Μειονεκτήματα:

- Όχι πολύ δραστικό, γι' αυτό ενδέχεται κάποιες φορές να χρειαστεί η ανάμιξή του με καυστική ποτάσα για την αύξηση της έντασης του ρεύματος που καταναλώνει η γεννήτρια υδρογόνου.



Εικόνα 5.6.: Μοριακή δομή ανθρακικού καλίου (αριστερά), ανθρακικό κάλιο (δεξιά)

5.2.7 Ηλεκτρολυτικό διάλυμα κατάλληλο για χρήση σε πολύ χαμηλές θερμοκρασίες περιβάλλοντος

Κατασκευάστηκε από τον M. Moldoveanu

Αποσταγμένο νερό + Αιθυλική γλυκόλη + ΚΟΗ

Έχει όλες τις ιδιότητες του ηλεκτρολυτικού διαλύματος που περιέχει καυστική ποτάσα και επιπλέον έχει πολύ χαμηλό σημείο πήξης και πολύ υψηλό σημείο βρασμού ταυτόχρονα.

Κεφάλαιο 6

Ρύθμιση Μείγματος Αέρα Καυσίμου σε μία MEK με Γεννήτρια Υδρογόνου

6.1 Εισαγωγή

Όταν χρησιμοποιούμε μια γεννήτρια υδρογόνου σε μια MEK, τα καυσαέρια που παράγονται έχουν υψηλή περιεκτικότητα σε οξυγόνο, με αποτέλεσμα ο εγκέφαλος του αυτοκινήτου (ECU) μέσω του αισθητήρα οξυγόνου (λ) να καταστρέφει την εξοικονόμηση καυσίμου εγγέοντας περισσότερο καύσιμο από ό,τι χρειάζεται. Η λύση, έτσι ώστε ο κινητήρας ενός αυτοκινήτου που χρησιμοποιεί γεννήτρια υδρογόνου, να καταναλώνει το απαιτούμενο καύσιμο είναι είτε η τοποθέτηση ενός αποστάτη στον αισθητήρα λ, είτε η τοποθέτηση ενός παράλληλου εγκέφαλου μεταξύ του αισθητήρα λ και του ECU.

Στην περίπτωση όμως που το όχημα είναι παλιάς τεχνολογίας και η ρύθμιση της έγχυσης καυσίμου γίνεται από το καρμπυρατέρ δεν χρειάζεται η τοποθέτηση κανενός εκ των παραπάνω εξαρτημάτων αλλά η ρύθμιση του.

6.2 Αποστάτης Αισθητήρα λ

Η απόδοση μιας MEK μπορεί να αυξηθεί, όταν αυτή χρησιμοποιεί μια γεννήτρια υδρογόνου (αύξηση αναλογίας αέρα / καυσίμου), με τη χρήση ενός μικρού μεταλλικού τμήματος που ονομάζεται αποστάτης αισθητήρα οξυγόνου (Εικόνα 6.1.). Αυτός ο αποστάτης χρησιμεύει στην απομάκρυνση του αισθητήρα οξυγόνου έτσι ώστε να μην έρχεται σε άμεση επαφή με τα καυσαέρια (Εικόνα

6.2.) με αποτέλεσμα να μειώνεται η ανάγνωση οξυγόνου. Όσο μεγαλύτερο το μήκος του αποστάτη τόσο λιγότερη περιεκτικότητα οξυγόνου στα καυσαέρια αναγνωρίζει ο αισθητήρας οξυγόνου. Αποτέλεσμα είναι, ο ECU να διοχετεύει λιγότερο καύσιμο και η καύση να είναι πιο λιτή. Αυτή η μέθοδος δεν λειτουργεί σε όλα τα μοντέλα αυτοκινήτων ειδικά σε αυτοκίνητα νέας τεχνολογίας με πολλούς αισθητήρες λ. Παρ' όλα αυτά αυτό το σύστημα χρησιμοποιείται ακόμα ευρέως και σε πολλές περιπτώσεις τα αποτελέσματα είναι άριστα. Καθότι ο αποστάτης αυτός έχει πολύ μικρό κόστος αξίζει μια δοκιμή πριν από την εγκατάσταση ενός πιο ακριβού συστήματος όπως ο παράλληλος εγκέφαλος.



Εικόνα 6.1: Αποστάτης αισθητήρα λ (http://www.hydrogen-first-aid.com/oxygen_spacer.html)



Εικόνα 6.2: Ένας αισθητήρας λ τοποθετημένος στην εξάτμιση με δύο αποστάτες (http://www.hydrogen-first-aid.com/oxygen_spacer.html)

6.3 Ηλεκτρονικό Κύκλωμα Παράλληλου Εγκεφάλου

Ο παράλληλος εγκέφαλος αλλάζει (εικόνα 6.3.) το σήμα που προέρχεται από τον αισθητήρα λ με αποτέλεσμα ο ECU να διατηρεί μια διαφορετική και πιο χαμηλή αναλογία μείγματος αέρα - καυσίμου (αντί του αρχικού 14,7 / 1) με αποτέλεσμα να αυξάνεται η εξοικονόμηση καυσίμου.



Εικόνα 6.3: Ηλεκτρονικό κύκλωμα EFIE για έναν αισθητήρα λ
(<http://www.hho2u.com/EFIE.html>)

Οι βενζινοκινητήρες είναι σχεδιασμένοι να λειτουργούν σε αναλογία μείγματος αέρα - καυσίμου 14,7/1. Ένας αισθητήρας λ χρησιμοποιείται για να διαβάσει την τιμή του οξυγόνου στην έξοδο των καυσαερίων. Επειδή η μηχανή μας λειτουργεί σε κύκλους η ανάγνωση του οξυγόνου αλλάζει συνεχώς μεταξύ 0,1 έως 1 Volt.

Ο ECU έχει ως σκοπό να διατηρήσει μια σταθερή μέση τιμή στο οξυγόνο του μείγματος αέρα - καυσίμου. Εάν η μέση τιμή είναι πολύ χαμηλή (πολύ λίγο οξυγόνο), ο ECU μειώνει την παροχή καυσίμου. Ενώ εάν η μέση τιμή είναι πολύ υψηλή, ο ECU παρέχει στον κινητήρα μεγαλύτερη ποσότητα καυσίμου. Βασικοί παράγοντες για την μείωση της κατανάλωσης καυσίμου είναι η κατάσταση στην οποία βρίσκεται ο αισθητήρας λ (παλαιότητα, καλή λειτουργία).

Ο παράλληλος εγκέφαλος έχει ένα διακόπτη On / Off, όταν ο διακόπτης βρίσκεται στη θέση On η συσκευή λειτουργεί, προσαρμόζοντας το λόγου αέρα -

καυσίμου του μίγματος στην επιθυμητή τιμή. Όταν ο διακόπτης βρίσκεται στη θέση Off σημαίνει ότι το αυτοκίνητο λειτουργεί με την αρχική αναλογία αέρα - καυσίμου. Αυτό μας δίνει την δυνατότητα όταν αφαιρεθεί η γεννήτρια υδρογόνου να μπορούμε εύκολα να επαναφέρουμε την λειτουργία του ECU στην αρχική, χωρίς να χρειαστεί να επέμβουμε στην καλωδίωση της μηχανής.

Τα σύγχρονα αυτοκίνητα έχουν περισσότερους από έναν αισθητήρες λ. Για αυτή την περίπτωση υπάρχουν παράλληλοι εγκέφαλοι με περισσότερες από μια θέσεις (εικόνα 6.4.). Εναλλακτικά θα πρέπει να τοποθετηθεί ένας παράλληλος εγκέφαλος σε κάθε αισθητήρα λ κάτι που εκτός από δαπανηρό είναι και πολύπλοκο καθώς κάθε παράλληλος εγκέφαλος θα πρέπει να ρυθμιστεί διαφορετικά. Εάν η εύρεση ηλεκτρονικών κυκλωμάτων παράλληλων εγκεφάλων είναι αδύνατη, κυκλοφορούν στο εμπόριο, καθώς και σε ηλεκτρονική μορφή, οδηγίες κατασκευής.



Εικόνα 6.4: Ηλεκτρονικό κύκλωμα παράλληλου εγκεφάλου για δύο αισθητήρες λ

(<http://www.hho2u.com/EFIE.html>)

Κεφάλαιο 7

Μελέτη και Τεχνικός Σχεδιασμός Γεννήτριας Υδρογόνου Ξηρού Τύπου

7.1 Εισαγωγή

Σύμφωνα με τον Faraday για να ξεκινήσει η διαδικασία της ηλεκτρόλυσης, με ηλεκτρολυτικό διάλυμα αποσταγμένου νερού και θεικού οξέως, χρειάζεται τουλάχιστον τάση 1,24 volts. Πειραματικά έχει αποδειχθεί ότι ηλεκτρόλυση με διάλυμα αποσταγμένου νερού και υδροξειδίου του νατρίου (NaOH) χρειάζεται ελάχιστη τάση 1,69 volts, ενώ διάλυμα αποσταγμένου νερού και καυστικής ποτάσας (KOH) απαιτεί ελάχιστη τάση 1,67 volts.

Κάθε ροή ηλεκτρονίων προκαλεί παραγωγή θερμότητας. Σε μια γεννήτρια υδρογόνου στόχος μας είναι να διατηρήσουμε την θερμοκρασία της σε χαμηλά επίπεδα. Γνωρίζουμε ότι $0,54 \text{ amp} / \text{in}^2$ μιας πλάκας είναι η ιδανική ροή ηλεκτρικού ρεύματος (πυκνότητας ρεύματος) κατά την οποία έχουμε ικανοποιητική παραγωγή αέριου υδρογόνου οξυγόνου με ταυτόχρονη διατήρηση της θερμοκρασίας του συστήματος σε χαμηλή θερμοκρασία. Μεγαλύτερη ροή ηλεκτρικού ρεύματος ανά in^2 προκαλεί μεγαλύτερη παραγωγή αέριου υδρογόνου – οξυγόνου αλλά και αύξηση της θερμοκρασίας του συστήματος. Θα πρέπει δηλαδή να δοθεί ιδιαίτερη προσοχή στην αναλογία της επιφάνειας των πλακών της γεννήτριας και της έντασης του ηλεκτρικού ρεύματος που την διαρρέει. Ουσιαστικά η επιφάνεια των πλακών καθορίζει την ιδανική (ροή ηλεκτρικού ρεύματος χωρίς περίσσεια παραγωγή θερμότητας) τιμή της έντασης του ηλεκτρικού ρεύματος που μπορεί να διαρρέει τις πλάκες της γεννήτριας. Εάν λοιπόν η επιφάνεια των πλακών είναι πολύ μικρή για την ένταση του ρεύματος

που διαρρέει τις πλάκες, τότε η ροή των ηλεκτρονίων γίνεται αργή με αποτέλεσμα την ανάπτυξη ανεπιθύμητης θερμότητας.

Καταλήξαμε λοιπόν στο συμπέρασμα ότι η ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος είναι αυτή που καθορίζει την παραγωγή του αερίου υδρογόνου – οξυγόνου σε μια γεννήτρια. Αναλυτικότερα όσον αφορά την παραγωγή αερίου υδρογόνου – οξυγόνου γνωρίζουμε ότι κάθε στοιχείο του αερίου παράγεται σε αντιτασσόμενες πλάκες. Σύμφωνα με τον Faraday η παραγωγή υδρογόνου είναι ίση με την ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος που διαρρέει την γεννήτρια $\times 0,000246 \text{ ft}^3/\text{min} \times \text{amp}$ και η παραγωγή οξυγόνου είναι ίση με την ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος που διαρρέει την γεννήτρια $\times 0,0001229 \text{ ft}^3/\text{min} \times \text{amp}$. Από τα παραπάνω προκύπτει ότι η παραγωγή αερίου υδρογόνου – οξυγόνου για κάθε υποκελί είναι $0,0003689 \text{ ft}^3/\text{min} \times \text{amp}$ επί την ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος που διαρρέει την γεννήτρια. Η τιμή που προκύπτει από τους παραπάνω υπολογισμούς μπορεί να υπολογιστεί σε lt/min εάν πολλαπλασιάσουμε το αποτέλεσμα με $28,3 \text{ lt}/\text{ft}^3$.

7.2 Μελέτη Κατανάλωσης Καυσίμου Κινητήρα

Προτού ξεκινήσουμε τον σχεδιασμό της γεννήτριας υδρογόνου, θα πρέπει να υπολογίσουμε την ποσότητα καυσίμου που καταναλώνει ο βενζινοκινητήρας στον οποίο θα τοποθετήσουμε τη γεννήτρια. Επιλέξαμε να εξετάσουμε την κατανάλωση ένας συμβατικού τετρακύλινδρου ατμοσφαιρικού κινητήρα 1800cc , διότι μελώνοντας έναν τέτοιο κινητήρα καλύπτουμε το μεγαλύτερο εύρος κινητήρων συμβατικών αυτοκινήτων. Ξεκινώντας τη μελέτη θα πρέπει να υπολογίσουμε την ποσότητα καυσίμου που καταναλώνει ο κάθε κύλινδρος σε κάθε κύκλο καύσης.

Τετρακύλινδρος κινητήρας $1800\text{cc} = 4 \times 450\text{cc}$

Στους σύγχρονους βενζινοκινητήρες με ηλεκτρονική έγχυση καυσίμου (Fuel System Injection) ο λόγος του μίγματος αέρα - καυσίμου έτσι ώστε η καύση του καυσίμου να είναι τέλεια θα πρέπει να είναι $14,64:1$. Δηλαδή $14,64$ μόρια

οξυγόνου απαιτούνται για την τέλεια καύση 1 μορίου βενζίνης (σχέση 1).

Αρχικά θα υπολογίσουμε πόσα μόρια ατμοσφαιρικού αέρα εμπεριέχονται σε έναν κύλινδρο της μηχανής (450cm³):

Υπολογισμός πυκνότητας αέρα

Η πυκνότητα του ατμοσφαιρικού αέρα θα υπολογιστεί με βάση τον τύπο των ιδανικών αερίων

$$\rho = \frac{p}{R \times T}$$

Όπου:

p = πίεση σε kPa

R = παγκόσμια σταθερά των ιδανικών αερίων = 286.9 J/kg °K

T = θερμοκρασία σε °K

Πυκνότητα αέρα σε ατμοσφαιρική 101.325 kPa και θερμοκρασία 20 °C

$$\rho = \frac{101325 \text{ Pa}}{\left(286,9 \frac{\text{J}}{\text{kg}^\circ\text{K}}\right) \times (273 + 20 \text{ }^\circ\text{K})} = 1,205 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Υπολογισμός μοριακής μάζας ατμοσφαιρικού αέρα

Πίνακας 7.1.: Μοριακό Βάρος Ατμοσφαιρικού Αέρα

Στοιχεία ατμοσφαιρικού αέρα	Περιεκτικότητα (%)	Μοριακό Βάρος (kg/kmol)	Μοριακό Βάρος στον αέρα (kg/kmol)
Oxygen	20.95	32.00	6.704
Nitrogen	78.09	28.02	21.88
Carbon Dioxide	0.03	44.01	0.013
Hydrogen	0.00005	2.02	0
Argon	0.933	39.94	0.373
Neon	0.0018	20.18	0
Helium	0.0005	4.00	0
Krypton	0.0001	83.8	0
Xenon	9 10 ⁻⁶	131.29	0
Μοριακό Βάρος Αέρα			28.97

Μοριακό Βάρος Ατμοσφαιρικού Αέρα = 28,97 kg/kmol = **28,97 g/mol**

Υπολογισμός των moles αέρα που εμπεριέχονται σε 450 cc αέρα:

$$V = \frac{m}{\rho} = \frac{0,02897 \frac{kg}{mol}}{1,205 \frac{kg}{m^3}} = 0,024041 \frac{m^3}{mol} = 24041 \frac{cm^3}{mol}$$

Οπότε, 1 mol ατμοσφαιρικού αέρα καταλαμβάνει 24041 cm³. Επομένως σε 450 cm³ αντιστοιχούν:

$$\frac{450 cm^3}{24041 \frac{cm^3}{mol}} = 0,018718 mol$$

Υπολογισμός μορίων αέρα που εμπεριέχονται σε 450 cc αέρα:

Σύμφωνα με τον αριθμό Avogadro ένα γραμμομόριο (mol) στοιχείου περιέχει τον ίδιο αριθμό μορίων, δηλαδή 1mol στοιχείου περιέχει 6,023 x 10²³ μόρια. Άρα σύμφωνα με την παραπάνω σχέση υπολογίζουμε τα μόρια που εμπεριέχονται σε 0,018718 mol:

$$\left(6,023 \times 10^{23} \frac{\mu\text{όρια}}{mol} \right) \times (0,018718 mol) = 0,112738 \times 10^{23} \mu\text{όρια}$$

Υπολογισμός μορίων καυσίμου που καίγονται τέλεια με 450 cc αέρα:

Σύμφωνα με τη σχέση 1 που αναφέραμε παραπάνω υπολογίζουμε τα μόρια του καυσίμου που χρησιμοποιούν 0,112738 x 10²³ μόρια ατμοσφαιρικού αέρα έτσι ώστε να έχουμε τέλεια καύση:

$$\frac{0,112738 \times 10^{23} \mu\text{όρια}}{14,64} = 0,0077 \times 10^{23} \mu\text{όρια}$$

Υπολογισμός των moles καυσίμου που καίγονται τέλεια με 450 cc αέρα:

Στη συνέχεια με βάση τη σχέση του Ανογadro υπολογίζουμε τον αριθμό των moles που περιέχουν $0,0077 \times 10^{23}$ μόρια καυσίμου:

$$\frac{0,0077 \times 10^{23} \text{ μόρια}}{6,023 \times 10^{23} \frac{\text{μόρια}}{\text{mol}}} = 0,001278 \text{ mol}$$

Υπολογισμός όγκου καυσίμου που καίγονται τέλεια με 450 cc αέρα:

Γνωρίζουμε ότι η πυκνότητα της αμόλυβδης βενζίνης είναι κατά μέσο όρο $0,735 \text{ gr/cm}^3$ και το μοριακό της βάρος 114 gr/mol . Οπότε η μάζα της βενζίνης που αντιστοιχεί σε $0,001278 \text{ mol}$ είναι:

$$(0,001278 \text{ mol}) \times \left(114 \frac{\text{gr}}{\text{mol}}\right) = 0,145692 \text{ gr}$$

Επομένως ο όγκος που καταλαμβάνουν τα $0,145692 \text{ gr}$ βενζίνης είναι:

$$V = \frac{m}{\rho} = \frac{0,145692 \text{ gr}}{0,735 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3}} = 0,19822 \text{ cm}^3$$

Διόρθωση όγκου αέρα και όγκου καυσίμου:

Παρατηρούμε ότι ο συνολικός όγκος του μίγματος αέρα – καυσίμου που εισέρχεται στον κύλινδρο είναι: 450 cm^3 αέρα + $0,19822 \text{ cm}^3$ καυσίμου = $450,19822 \text{ cm}^3$ μίγματος, ενώ ο κύλινδρος της μηχανής έχει χωρητικότητα 450 cm^3 . Άρα θα πρέπει να προβούμε στη διόρθωση του όγκου του μίγματος:

Τα $450,19822 \text{ cm}^3$ μίγματος περιέχουν $0,19822 \text{ cm}^3$ βενζίνης σύμφωνα με την αναλογία της σχέσης (1). Οπότε 450 cm^3 μίγματος περιέχουν:

$$\frac{(450 \text{ cm}^3) \times (0,19822 \text{ cm}^3)}{450,19822 \text{ cm}^3} = 0,198132 \text{ cm}^3 \text{ βενζίνη}$$

και

$$(450 \text{ cm}^3) - (0,198132 \text{ cm}^3) = 449,801868 \text{ cm}^3 \text{ αέρα}$$

Υπολογισμός ποσότητας μίγματος αέρα – καυσίμου που χρειάζεται η μηχανή των 1800cc:

Τέλος θα υπολογίσουμε την ποσότητα του μίγματος αέρα – καυσίμου που χρειάζεται η μηχανή των 1800cc σε μια μέση τιμή αριθμού στροφών. Οι στροφές του κινητήρα που επιλέξαμε για τους παρακάτω υπολογισμούς είναι 3500rpm. Σε μια τετράχρονη (εικόνα 7.1.) μηχανή για μία πλήρη περιστροφή του στροφαλοφόρου άξονα απαιτούνται δυο διαδοχικοί χρόνοι εκτόνωσης (πίνακας 7.2.). Δηλαδή για μια πλήρη περιστροφή του στροφαλοφόρου άξονα χρειάζονται:

$$2 \times 0,198132 \text{ cm}^3 = 0,396264 \text{ cm}^3 \cong 0,4 \frac{\text{cm}^3}{\text{στροφή}} \text{ βενζίνης}$$

Και

$$2 \times 449,801868 \text{ cm}^3 = 899,603736 \text{ cm}^3 \cong 899,6 \frac{\text{cm}^3}{\text{στροφή}} \text{ αέρα}$$

Πίνακας 7.2.: Φάσεις λειτουργίας κάθε κυλίνδρου μιας τετράχρονης τετρακύλινδρης μηχανής

	Κύλινδροι			
Σειρά καύσης κυλίνδρων	1	3	4	2
	Εισαγωγή	Εξαγωγή	Εκτόνωση	Συμπίεση
	Συμπίεση	Εισαγωγή	Εξαγωγή	Εκτόνωση
	Εκτόνωση	Συμπίεση	Εισαγωγή	Εξαγωγή
	Εξαγωγή	Εκτόνωση	Συμπίεση	Εισαγωγή
	1η Περιστροφή στροφαλοφόρου άξονα		2η Περιστροφή στροφαλοφόρου άξονα	

Επομένως η κατανάλωση μίγματος αέρα καυσίμου που καταναλώνει μια τετράχρονη μηχανή 1800cc στις 3500rpm είναι:

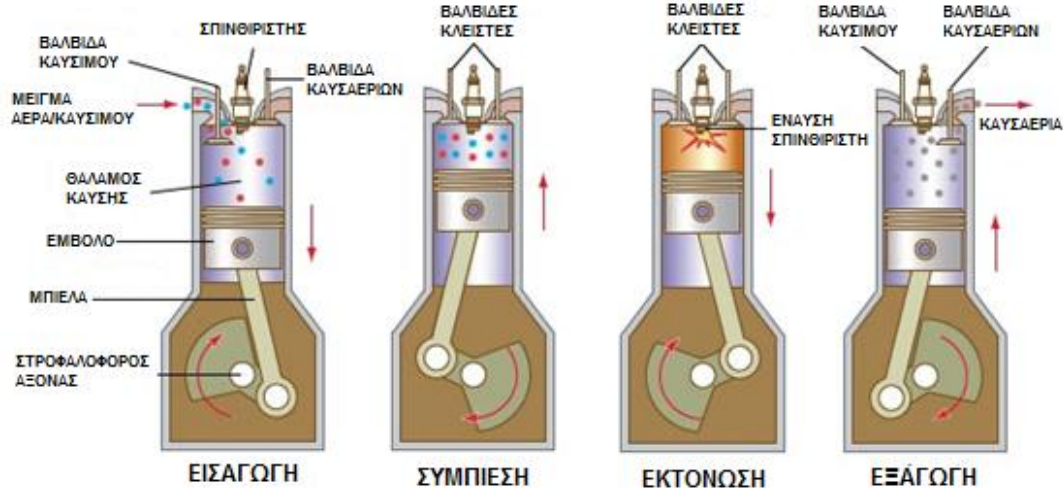
$$0,4 \frac{cm^3}{rev} \times 3500 \frac{rev}{min} = 1400 \frac{cm^3}{min} \text{ βενζίνης}$$

και

$$899,6 \frac{cm^3}{rev} \times 3500 \frac{rev}{min} = 3,1486 \times 10^6 \frac{cm^3}{min} \text{ αέρα}$$

Στην πραγματικότητα, οι παραπάνω υπολογισμοί δεν μπορούν να ισχύουν για κανονικές περιβαλλοντικές συνθήκες, δεδομένου ότι ο ατμοσφαιρικός αέρας δεν αποτελείται εξ' ολοκλήρου από οξυγόνο (με βάση αυτό το δεδομένο πραγματοποιήθηκαν οι παραπάνω υπολογισμοί) αλλά μόνο το 21% αυτού. Επομένως η κατανάλωση του κινητήρα θα προκύψει:

$$1400 \frac{cm^3}{min} \text{ βενζίνης} \times 21\% = 294 \frac{cm^3}{min} \text{ βενζίνης}$$



Εικόνα 7.1.: Λειτουργία τετράχρονης μηχανής

7.3 Υπολογισμός Τεχνικών Χαρακτηριστικών Γεννήτριας Υδρογόνου Ξηρού Τύπου

Με βάση όλα τα παραπάνω θα προχωρήσουμε στον σχεδιασμό μίας γεννήτριας υδρογόνου ξηρού τύπου με πλάκες.

Βήμα 1: Τάση λειτουργίας γεννήτριας

Αρχικά, θα πρέπει να προσδιορίσουμε την τάση εξόδου του συσσωρευτή του αυτοκινήτου έτσι ώστε να μπορούμε να υπολογίσουμε την τάση κάθε υποκελίου της γεννήτριας. Η τάση του συσσωρευτή του αυτοκινήτου είναι 12V.

Βήμα 2: Υπολογισμός υποκελίων

Σε προηγούμενο κεφάλαιο αναφέραμε πως η τάση κάθε υποκελίου δεν θα πρέπει να ξεπερνά τα 2V για λόγους υπερθέρμανσης, ενώ παράλληλα δεν θα πρέπει να είναι χαμηλότερη των 1,67V λόγω χαμηλής παραγωγής αερίου υδρογόνου – οξυγόνου. Επομένως, επιλέγουμε την τάση των 1,85V ανά υποκελί.

Έτσι, εάν διαιρέσουμε την τάση του συσσωρευτή με την τάση κάθε υποκελίου προκύπτει ο αριθμός των υποκελίων της γεννήτριας.

$$\frac{12V}{1,85V} = 6,48 \text{ υποκελιά}$$

Για 6 υποκελιά έχουμε:

$$\frac{12V}{6} = 2V \text{ ανά υποκελί}$$

Για 7 υποκελιά έχουμε:

$$\frac{12V}{7} = 1,71V \text{ ανά υποκελί}$$

Επιλέγουμε τα 7 υποκελιά έτσι ώστε να διατηρείται η θερμοκρασία της γεννήτριας σε χαμηλά επίπεδα κατά τη διάρκεια της λειτουργίας της.

Βήμα 3: Υπολογισμός πλακών κελιού

Ο αριθμός των πλακών της γεννήτριας προκύπτει με βάση των αριθμό των υποκελιών και είναι:

$$7 + 1 = 8 \text{ πλάκες}$$

Βήμα 4: Υπολογισμός απαιτούμενης ποσότητας παραγόμενου υδρογόνου

Σε προηγούμενο κεφάλαιο υπολογίσαμε πως η κατανάλωση καυσίμου ενός συμβατικού τετρακύλινδρου ατμοσφαιρικού κινητήρα 1800cc είναι 294 ml/min στις 3500 rpm. Το υδρογόνο που θα παράγει η γεννήτρια υδρογόνου που μελετάμε θέλουμε να καλύψει το 45% του καυσίμου που καταναλώνει ο κινητήρας. Επομένως η γεννήτρια θα πρέπει να παράγει:

$$294 \frac{ml}{min} \times 0,45 = 132,3 \frac{ml}{min} \text{ υδρογόνου}$$

Με βάση πειράματα που έχουν πραγματοποιηθεί έχει αποδειχθεί ότι για να επιτευχθεί μείωση της κατανάλωσης κατά 40-50 %, για κάθε 1000cc μίας μηχανής στην οποία είναι εγκατεστημένη η γεννήτρια υδρογόνου απαιτείται παραγωγή 0,5 lt/min αερίου υδρογόνου-οξυγόνου. Επομένως για μία μηχανή 1800cc απαιτούνται 0,9 lt/min αερίου υδρογόνου-οξυγόνου.

Γνωρίζουμε ότι τα 2/3 του αερίου που παράγονται από την γεννήτρια υδρογόνου είναι υδρογόνο. Επομένως μια μηχανή 1800cc χρειάζεται 0,6 lt/min υδρογόνου για μείωση της κατανάλωσης κατά 50%. Άρα για μείωση της κατανάλωσης κατά 45% χρειαζόμαστε παραγωγή 0,56 lt/min.

Βήμα 5: Υπολογισμός μέγιστης επιτρεπόμενης έντασης ρεύματος

Εν συνεχεία, θα πρέπει να υπολογίσουμε την μέγιστη επιτρεπόμενη ένταση του ρεύματος που θα διαρρέει μία γεννήτρια 7 υποκελιών για την παραγωγή 0,56 lt/min αερίου υδρογόνου χωρίς να υπάρχει αύξηση της θερμοκρασίας του ηλεκτρολυτικού διαλύματος. Γνωρίζουμε ότι κατά την ηλεκτρόλυση παράγονται 0,000246 ft³/min×amp αερίου υδρογόνου. Γνωρίζουμε επίσης, ότι 1 ft³=28,3 lt. Άρα η εξίσωση που συνδέει την παραγωγή του αερίου υδρογόνου της γεννήτριας με την ένταση του ρεύματος είναι

$$\left(0,000246 \frac{\text{ft}^3}{\text{min} \times \text{amp}} \times 28,3 \frac{\text{lt}}{\text{ft}^3}\right) \times X \times 7 (\text{αριθμός υποκελιών}) = 0,56 \frac{\text{lt}}{\text{min}}$$

Όπου, X η ένταση του ρεύματος που διαρρέει την γεννήτρια υδρογόνου για παραγωγή 0,56 lt/min.

Επομένως προκύπτει ότι:

$$X = \frac{0,56 \frac{\text{lt}}{\text{min}}}{\left(0,000246 \frac{\text{ft}^3}{\text{min} \times \text{amp}} \times 28,3 \frac{\text{lt}}{\text{ft}^3}\right) \times 7} = 11,49 \text{ amp}$$

Βήμα 6: Υπολογισμός ενεργής επιφάνειας κάθε πλάκας

Σύμφωνα με τον Faraday η ιδανική ροή ηλεκτρικού ρεύματος κατά την οποία έχουμε ικανοποιητική παραγωγή αερίου υδρογόνου οξυγόνου με ταυτόχρονη διατήρηση της θερμοκρασίας του συστήματος σε χαμηλή θερμοκρασία είναι 0,54 amp/in² ή 0,0837 amp/cm². Επομένως τα 11,49 amp αντιστοιχούν σε:

$$X = \frac{11,49 \text{ amp} \times \text{cm}^2}{0,0837 \text{ amp}} = 137,276 \text{ cm}^2$$

Η τιμή που προέκυψε αντιστοιχεί στην επιφάνεια κάθε μίας πλάκας της γεννήτριας.

Βήμα 7: Υπολογισμός συνολικής ενεργής επιφάνειας γεννήτριας

Η συνολική επιφάνεια των πλακών της γεννήτριας που θα παράγουν αέριο υδρογόνο, προκύπτει πολλαπλασιάζοντας την επιφάνεια της μίας πλάκας με τον αριθμό των κελιών:

$$137,276 \text{ cm}^2 \times 7 = 960,932 \text{ cm}^2$$

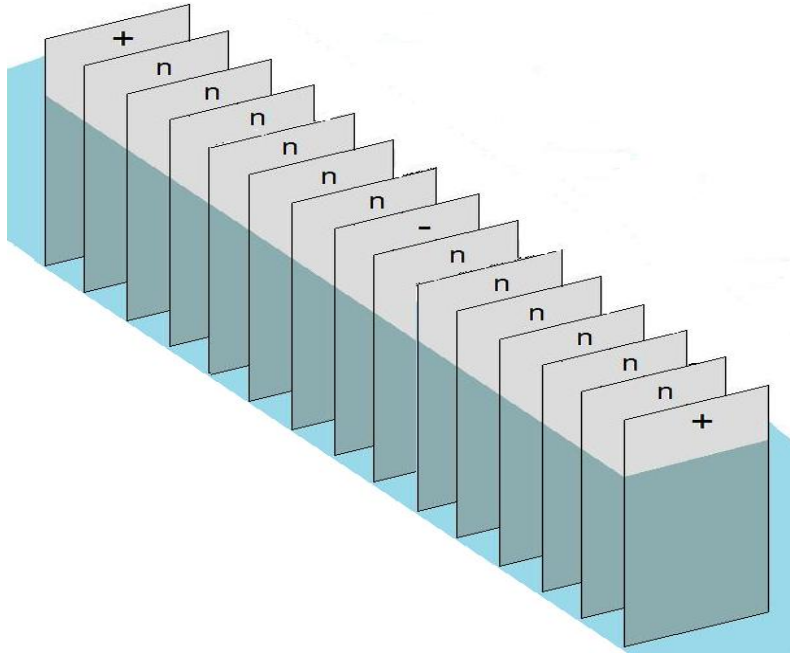
Βήμα 8: Αρχικός υπολογισμός διαμέτρου ελαστικών δακτυλίων

Το λάστιχο στεγανοποίησης των πλακών που θα τοποθετήσουμε στην γεννήτρια υδρογόνου θα είναι κυκλικού σχήματος και θα έχει διάμετρο ίση με:

$$d = \sqrt{\frac{4 \times 137,276 \text{ cm}^2}{3,14}} = 13,224 \text{ cm}$$

Βήμα 9: Διόρθωση αριθμού κελιών γεννήτριας

Επειδή όμως ελαστικοί δακτύλιοι με διάμετρο 13,224 cm είναι αδύνατον να βρεθούν στο εμπόριο και μια διάμετρος της τάξεως των 14 cm καθιστά την γεννήτρια ογκώδη και δύσκολη στην τοποθέτηση. Επομένως, θα επιλέξουμε ελαστικούς δακτυλίους μικρότερης διαμέτρου. Μικραίνοντας όμως την διάμετρο του ελαστικού δακτυλίου, μειώνεται και η επιφάνεια των πλακών της γεννήτριας με αποτέλεσμα την μείωση της παραγωγής του υδρογόνου. Η μόνη λύση λοιπόν για να διατηρήσουμε το συνολικό εμβαδόν της γεννήτριας είναι να προσθέσουμε ένα επιπλέον όμοιο κελί στην γεννήτρια μας μικραίνοντας ακόμα περισσότερο τη διάμετρο των ελαστικών δακτυλίων. Άρα η γεννήτριά μας θα αποτελείται πλέον από 15 πλάκες οι οποίες θα σχηματίζουν 14 υποκελιά και θα είναι της παρακάτω μορφής:



Εικόνα 7.2.: Γεννήτρια υδρογόνου δύο κελιών με 15 πλάκες

Βήμα 10: Υπολογισμός ενεργής επιφάνειας κάθε πλάκας

Το ενεργό εμβαδόν λοιπόν κάθε πλάκας της γεννήτριας προκύπτει από την παρακάτω σχέση:

$$\frac{960,932 \text{ cm}^2}{14 \text{ υποκελιά}} = 68,638 \text{ cm}^2$$

Βήμα 11: Υπολογισμός διαμέτρου ελαστικών δακτυλίων

Στην συνέχεια υπολογίζουμε την διάμετρο κάθε ελαστικού δακτυλίου στεγανοποίησης:

$$d = \sqrt{\frac{4 \times 68,638 \text{ cm}^2}{3,14}} = 9,351 \text{ cm}$$

Βήμα 12: Διόρθωση διαμέτρου ελαστικών δακτυλίων

Και πάλι όμως ελαστικοί δακτύλιοι με διάμετρο 9,351 cm είναι αδύνατον να βρεθούν στο εμπόριο. Άρα λοιπόν θα επιλέξουμε ελαστικό δακτύλιο στεγανοποίησης με διάμετρο ίση με την αμέσως μεγαλύτερη ακέραιη τιμή. Εάν

επιλέγαμε δακτύλιο μικρότερης διατομής το εμβαδό των πλακών της γεννήτριας δεν θα επαρκούσε για την παραγωγή αρκετού αέριου υδρογόνου ώστε να καλύψουμε το 40% του καυσίμου. Επομένως η τιμή της διαμέτρου των ελαστικών δακτυλίων που επιλέγουμε είναι:

$$d = 10 \text{ cm}$$

Βήμα 13: Επιλογή πάχους ελαστικών δακτυλίων

Τέλος όσον αφορά την εκλογή του ελαστικού δακτυλίου θα πρέπει να επιλέξουμε και το πάχος του ελαστικού δακτυλίου. Όπως αναφέρουμε στο κεφάλαιο 5 το πάχος του ελαστικού δακτυλίου θα πρέπει να κυμαίνεται μεταξύ 1/2in και 1/16in (12,7mm και 1,59mm). Στην παρούσα κατασκευή θα επιλέξουμε ελαστικούς δακτυλίους πάχους 5mm οι οποίοι κατά την συναρμολόγηση της γεννήτριας και την σύσφιξη των πλακών μεταξύ τους θα συμπιεστούν στο 3mm ο καθένας.

Βήμα 14: Υπολογισμός ενεργής επιφάνειας κάθε πλάκας

Σύμφωνα με την τελική διάμετρο του ελαστικού δακτυλίου $d=10\text{cm}$, το εμβαδό της κάθε πλάκας προκύπτει με βάση την παρακάτω σχέση:

$$E = \frac{\pi \times d^2}{4} = \frac{3,14 \times (10\text{cm})^2}{4} = 78,5 \text{ cm}^2$$

Βήμα 15: Υπολογισμός της μέγιστης έντασης που διαρρέει την γεννήτρια

Παρακάτω θα υπολογίσουμε την μέγιστη επιτρεπόμενη ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος που θα διαρρέει κάθε υποκελί και κατά επέκταση κάθε κελί της γεννήτριας με βάση την αρχή του Faraday.

$$0,0837 \frac{\text{amp}}{\text{cm}^2} \times 78,5\text{cm}^2 = 6,57 \text{ amp}$$

Λόγω του ότι η γεννήτρια αποτελείται από 2 κελιά η συνολική μέγιστη επιτρεπόμενη ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος που θα τη διαρρέει θα είναι:

$$2 \times 6,57 \text{ amp} = 13,14 \text{ amp}$$

Βήμα 16: Υπολογισμός έντασης ρεύματος λειτουργίας κάθε κελιού

Όπως αναφέραμε στο βήμα 5 η ένταση του ρεύματος που απαιτείται για να έχουμε 40% μείωση της κατανάλωσης καυσίμου είναι 11,49 amp. Επομένως η μόνη λύση για την ρύθμιση του ρεύματος στην παραπάνω τιμή είναι η εγκατάσταση δύο ποτενσιόμετρων, ένα σε κάθε θετική πλάκα κάθε κελιού. Κάθε ποτενσιόμετρο θα πρέπει να είναι ρυθμισμένο στα:

$$\frac{11,49 \text{ amp}}{2} \approx 5,75 \text{ amp}$$

Βήμα 17: Υπολογισμός μέγιστης μείωσης κατανάλωσης καυσίμου

Ο σχεδιασμός αυτής της γεννήτριας μας δίνει τη δυνατότητα για περεταίρω μείωση της κατανάλωσης. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί ρυθμίζοντας κάθε ποτενσιόμετρο στη μέγιστη επιτρεπόμενη ένταση του ρεύματος η οποία έχει την τιμή των 6,57 amp. Επομένως με αυτή τη γεννήτρια μπορούμε να πετύχουμε μείωση της κατανάλωσης καυσίμου της τάξεως του:

$$\left(0,000246 \frac{ft^3}{min \times amp} \times 28,3 \frac{lt}{ft^3} \right) \times 6,57 \text{ amp} \times 2 (\text{αριθμός κελιών})$$

$$\times 7 (\text{αριθμός υποκελιών}) = 0,64 \frac{lt}{min}$$

Επομένως,

$$\frac{0,64 \frac{lt}{min}}{1,4 \frac{lt}{min}} \times 100 = 45,7\%$$

Πίνακας 7.3.: Κατασκευαστικά στοιχεία γεννήτριας υδρογόνου

Τάση λειτουργίας (V)	Αριθμός πλακών	Αριθμός κελιών	Τάση ανά κελί (V)	Συνολικός αριθμός υποκελιών
12	15	2	1,71	14

Πίνακας 7.4.: Λοιπά στοιχεία γεννήτριας υδρογόνου

Διάμετρος ελαστικού δακτυλίου (cm)		Επιφάνεια κάθε πλάκας (cm²)	
10		78,5	
Ένταση λειτουργίας γεννήτριας (A)	Παραγωγή υδρογόνου γεννήτριας (lt/min)	Μέγιστη ένταση λειτουργίας γεννήτριας (A)	Μέγιστη παραγωγή υδρογόνου γεννήτριας (lt/min)
11,49	0,56	13,14	0,64

7.4 Συναρμολόγηση Γεννήτριας Υδρογόνου

7.4.1 Υλικά κατασκευής γεννήτριας υδρογόνου ξηρού τύπου:

- 2 πλάκες πλεξιγκλάς 120mmX120mmX10mm (βλ. παράρτημα, σχέδιο 1 και σχέδιο 2)
- 3 επτάγωνες πλάκες ανοξείδωτου χάλυβα 316 L πάχους 1mm (βλ. παράρτημα, Σχέδιο 3 και Σχέδιο 4)
- 12 οκτάγωνες πλάκες ανοξείδωτου χάλυβα 316 L πάχους 1mm (βλ. παράρτημα, Σχέδιο 5)

- 16 ελαστικοί δακτύλιοι διαμέτρου Φ10 και πάχους 5mm (βλ. παράρτημα, Εικόνα 1)
- 4 ντίζες DIN. 975 ανοξείδωτες M5 (βλ. παράρτημα, Εικόνα 2) μήκους:
 - Ø 2 πλάκες πλεξιγκλάς πάχους 10mm η κάθε μία = 20mm
 - Ø 15 πλάκες ανοξείδωτου χάλυβα 316L πάχους 1mm = 15mm
 - Ø και 16 ελαστικούς δακτυλίους πάχους 5mm οι οποίοι θα συμπιεστούν σε 3mm ο καθένας = $16 \times 5 = 80\text{mm}$

Επομένως το συνολικό πάχος της γεννήτριας θα είναι $20 + 15 + 80 = 115\text{mm}$. Υπολογίζοντας το πάχος των περικοχλίων, των μεταλλικών ροδελών και των γκρόβερ, θα χρησιμοποιήσουμε ντίζες μήκους 140mm η καθεμία.
- 10 περικόχλια M5 πάχους 5mm (βλ. παράρτημα, Εικόνα 3)
- 6 περικόχλια M5 πάχους 2mm (βλ. παράρτημα, Εικόνα 4)
- 8 ροδέλες Φ6 εσωτερική και Φ10 εξωτερική (βλ. παράρτημα, Εικόνα 5)
- 8 ροδέλες ασφαλείας Φ6 (βλ. παράρτημα, Εικόνα 6)
- 2 πλαστικά γωνιακά ρακόρ Φ8XM8 αρσενικά (βλ. παράρτημα, Εικόνα 7)

Η γεννήτρια υδρογόνου θα αποτελείται αρχικά από δύο πλάκες πλεξιγκλάς μία στην αρχή των πλακών της γεννήτριας και μία στο τέλος. Οι δύο πλάκες θα έχουν πάχος 10mm και θα είναι τετράγωνου σχήματος με πλευρές 120mm η κάθε μία. Ακόμα θα υπάρχουν 4 οπές Φ6 μία σε κάθε γωνία των πλακών οι οποίες θα διατρέχονται από ντίζες M5. Οι ντίζες αυτές εξυπηρετούν στην σύσφιξη των πλακών. Σε δυο από αυτές τις ντίζες είναι συνδεδεμένες οι πλάκες που φέρουν το ηλεκτρικό φορτίο. Μια ντίζα είναι συνδεδεμένη με την αρνητικά φορτισμένη πλάκα και μια με τις δυο θετικά φορτισμένες πλάκες. Τέλος σε κάθε πλάκα θα υπάρχει μία οπή Φ8 η οποία θα εξυπηρετεί την είσοδο του ηλεκτρολυτικού διαλύματος στην γεννήτρια και την έξοδο του αερίου υδρογόνου - οξυγόνου

αντίστοιχα. Όλες οι παραπάνω διαστάσεις αναπαρίστανται στο σχέδιο 1 στο παράρτημα.

Η γεννήτρια αποτελείται από 15 πλάκες ανοξείδωτου χάλυβα 316L πάχους 1mm. Οι 12 πλάκες είναι ουδέτερες, ενώ οι υπόλοιπες 3 φέρουν το ηλεκτρικό φορτίο (2 αρνητικά φορτισμένες και μία θετικά) όπως φαίνεται και στην εικόνα 8.2. Οι ουδέτερες πλάκες έχουν σχήμα οκτάγωνου (βλέπε παράρτημα σχέδιο 2) και φέρουν 2 οπές Φ8 μία στο πάνω και μία στο κάτω μέρος οι οποίες χρησιμεύουν στην είσοδο του ηλεκτρολυτικού διαλύματος στην γεννήτρια και την έξοδο του αερίου υδρογόνου - οξυγόνου αντίστοιχα.

Οι υπόλοιπες 3 πλάκες είναι όμοιας κατασκευής με τις ουδέτερες με την μόνη διαφορά ότι είναι επτάγωνες με τις δυο μεγαλύτερες πλευρές να σχηματίζουν μια γωνία στην οποία υπάρχει μία οπή Φ6 (βλέπε παράρτημα σχέδιο 3) από την οπή διέρχεται μια ντίζα M5.

7.4.2 Συναρμολόγηση γεννήτριας υδρογόνου

Βήμα 1

Αρχικά, βιδώνουμε από ένα περικόχλιο M5 πάχους 5mm σε κάθε ντίζα σε απόσταση 3 σπειρών από την αρχή κάθε ντίζας. Περνάμε σε καθεμία από αυτές από μια ροδέλα ασφαλείας και από μία ροδέλα.

Βήμα 2

Τοποθετούμε κάθετα τις ντίζες με τα περικόχλια προς τα κάτω και τοποθετούμε την μια πλάκα πλεξιγκλάς περνώντας τις ντίζες από τις 4 εξωτερικές οπές. Φροντίζουμε η εσωτερική οπή να βρίσκεται στο επάνω μέρος (βλ. παράρτημα, Σχέδιο 1).

Βήμα 3

Βιδώνουμε στη πάνω αριστερή ντίζα ένα περικόχλιο M5 πάχους 2mm φροντίζοντας να φτάσει μέχρι το πλεξιγκλάς χωρίς να το σφίξουμε.

Βήμα 4

Τοποθετούμε ακριβώς στο κέντρο του πλεξιγκλάς έναν ελαστικό δακτύλιο.

Βήμα 5

Έπειτα, τοποθετούμε πάνω από τον ελαστικό δακτύλιο μία επτάγωνη πλάκα με την οπή της γωνίας να περνάει από πάνω αριστερή ντίζα και βιδώνουμε στην ίδια ντίζα ένα περικόχλιο M5 πάχους 2mm αφήνοντας μικρή απόσταση από την πλάκα (βλ. παράρτημα, Σχέδιο 3).

Βήμα 6

Τοποθετούμε ακριβώς στο κέντρο της πλάκας έναν ελαστικό δακτύλιο.

Βήμα 7

Στη συνέχεια τοποθετούμε πάνω από τον ελαστικό δακτύλιο μια οκτάγωνη πλάκα.

Βήμα 8

Τοποθετούμε ακριβώς στο κέντρο της πλάκας έναν ελαστικό δακτύλιο.

Βήμα 9

Επαναλαμβάνουμε τα βήματα 7 και 8 άλλες πέντε φορές.

Βήμα 10

Βιδώνουμε στη πάνω δεξιά ντίζα ένα περικόχλιο M5 πάχους 2mm φροντίζοντας να φτάσει έως το ύψος της έκτης πλάκας.

Βήμα 11

Τοποθετούμε πάνω από τον ελαστικό δακτύλιο μία επτάγωνη πλάκα με την οπή της γωνίας να περνάει από την πάνω δεξιά ντίζα και βιδώνουμε στην ίδια ντίζα ένα περικόχλιο M5 πάχους 2mm αφήνοντας μικρή απόσταση από την πλάκα (βλ. παράρτημα, Σχέδιο 4).

Βήμα 12

Επαναλαμβάνουμε τα βήματα 6, 7 και 8 άλλες 5 φορές.

Βήμα 13

Βιδώνουμε στη πάνω αριστερή ντίζα ένα περικόχλιο M5 πάχους 2mm φροντίζοντας να φτάσει έως το ύψος της δωδέκατης πλάκας.

Βήμα 14

Κατόπιν, τοποθετούμε πάνω από τον ελαστικό δακτύλιο μία επτάγωνη πλάκα με την οπή της γωνίας να περνάει από την πάνω αριστερή ντίζα και βιδώνουμε στην ίδια ντίζα ένα περικόχλιο M5 πάχους 2mm αφήνοντας μικρή απόσταση από την πλάκα (βλ. παράρτημα, Σχέδιο 3).

Βήμα 15

Τοποθετούμε ακριβώς στο κέντρο της πλάκας έναν ελαστικό δακτύλιο.

Βήμα 16

Έπειτα, τοποθετούμε την τελευταία πλάκα πλεξιγκλάς περνώντας τις ντίζες από τις 4 εξωτερικές οπές (βλ. παράρτημα, Σχέδιο 2). Φροντίζουμε η εσωτερική οπή να βρίσκεται στο κάτω μέρος.

Βήμα 17

Στη συνέχεια περνάμε σε κάθε ντίζα από μία ροδέλα και από μια ροδέλα ασφαλείας. Βιδώνουμε από ένα περικόχλιο M5 πάχους 5mm σε κάθε ντίζα σφίγγοντάς τα σταδιακά μέχρι να συμπιεστούν οι ελαστικοί δακτύλιοι σε 3mm ο καθένας.

Βήμα 18

Τέλος, σφίγγουμε τα περικόχλια που βρίσκονται στο εσωτερικό μέρος της γεννήτριας πάνω στις πλάκες που θα φέρουν το ηλεκτρικό φορτίο.

7.5 Μηχανική Σύνδεση

7.5.1 Υλικά σύνδεσης μηχανικού κυκλώματος

- Δοχείο πλήρωσης ηλεκτρολυτικού διαλύματος και υγροποίησης υδρατμών 4lt (βλ. παράρτημα, Εικόνα 8)
- Νεροπαγίδα (βλ. παράρτημα, Εικόνα 9)
- Πλαστικό T Φ8 (βλ. παράρτημα, Εικόνα 10)
- 2 πλαστικά γωνιακά ρακόρ Φ8ΧΜ8 αρσενικά(βλ. παράρτημα, Εικόνα 7)
- Ελαστικό αυλό Φ8 (το μήκος του διαφέρει ανάλογα με την κατασκευή, που τοποθετείται δηλαδή το κάθε κομμάτι του κυκλώματος) (βλ. παράρτημα, Εικόνα 11)
- 9 σφικτήρες (βλ. παράρτημα, Εικόνα 12)

7.5.2 Συναρμολόγηση μηχανικού κυκλώματος

Βήμα 1

Αρχικά, διανοίγουμε τρεις οπές Φ8 στο δοχείο πλήρωσης όπως φαίνεται στην εικόνα 8.3. Στις οπές που βρίσκονται στο πλάι και στον πυθμένα του δοχείου πλήρωσης τοποθετούμε τα δυο πλαστικά ρακόρ.

Βήμα 2

Έπειτα, τοποθετούμε το δοχείο πλήρωσης μέσα στον χώρο του κινητήρα.

Βήμα 3

Στη συνέχεια, τοποθετούμε τη γεννήτρια υδρογόνου μέσα στο χώρο του κινητήρα όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα. Η γεννήτρια θα πρέπει να

βρίσκεται χαμηλότερα από το ύψος του δοχείου πλήρωσης έτσι ώστε να είναι δυνατή λόγω βαρύτητας η τροφοδοσία της με το ηλεκτρολυτικό διάλυμα.

Βήμα 4

Ακολουθώντας, με ένα κομμάτι από τον ελαστικό αυλό συνδέουμε το ρακόρ που βρίσκεται στο κάτω μέρος του δοχείου πλήρωσης με το ρακόρ που βρίσκεται στο κάτω μέρος της γεννήτριας. Ασφαλίζουμε τον ελαστικό αυλό στα ρακόρ με σφικτήρες.

Βήμα 5

Συνεχίζοντας, συνδέουμε ένα κομμάτι ελαστικού αυλού στο επάνω ρακόρ της γεννήτριας το οποίο θα περνά από την οπή στο πάνω μέρος του δοχείου πλήρωσης και θα καταλήγει στον πυθμένα του όπως φαίνεται στην εικόνα 7.3. Ασφαλίζουμε τον ελαστικό αυλό στο ρακόρ με ένα σφικτήρα.

Βήμα 6

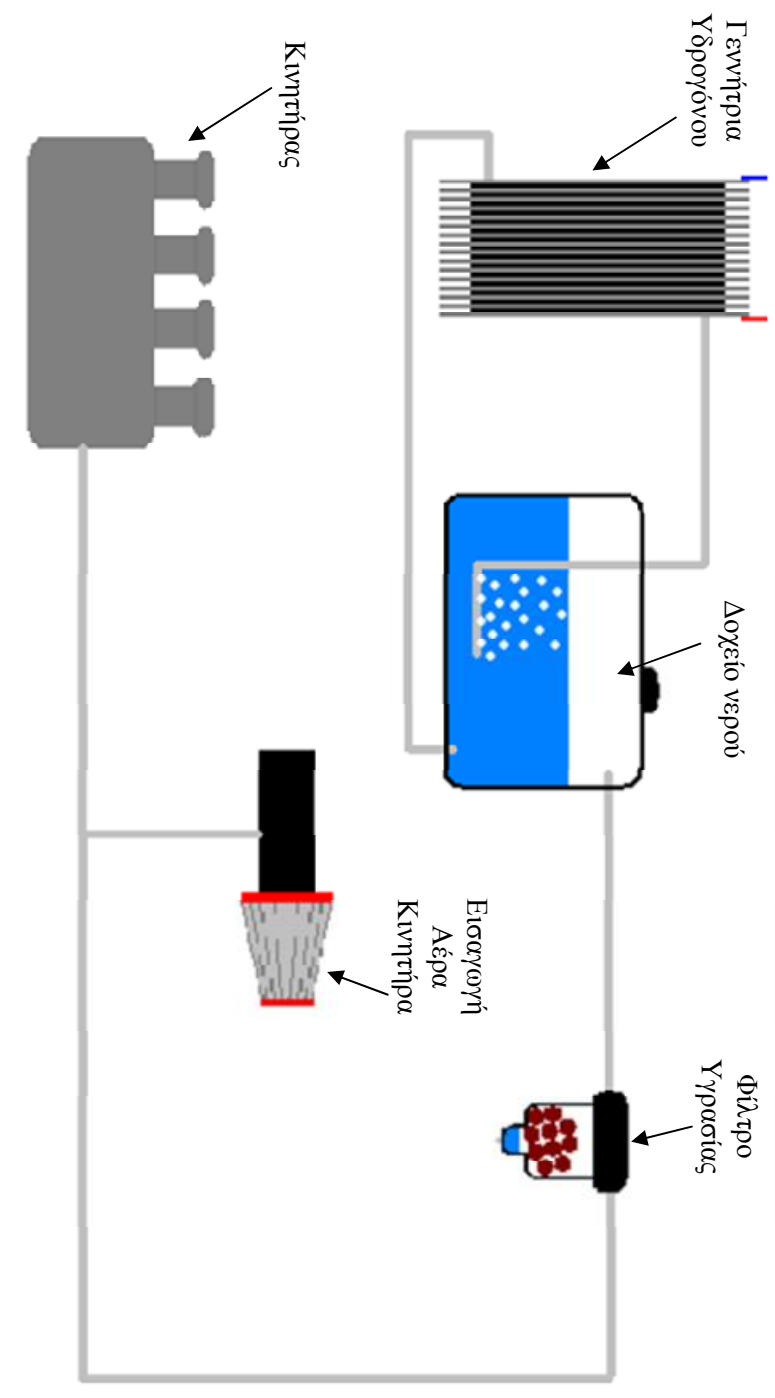
Κατόπιν, συνδέουμε με ένα κομμάτι από τον ελαστικό αυλό το ρακόρ στην πλαϊνή οπή του δοχείου πλήρωσης με τη νεροπαγίδα. Ασφαλίζουμε τον ελαστικό αυλό στο ρακόρ και τη νεροπαγίδα με σφικτήρες.

Βήμα 7

Από τη νεροπαγίδα ένα κομμάτι ελαστικού αυλού θα καταλήγει στο πλαστικό T. Έπειτα, από το T θα ξεκινούν δύο ελαστικοί αυλοί που θα καταλήγουν ένας στην πολλαπλή εισαγωγής του κινητήρα και ένας στην εισαγωγή αέρα. Ασφαλίζουμε όλους τους αυλούς με σφικτήρες.

Βήμα 8

Τέλος, γεμίζουμε το δοχείο πλήρωσης κατά το $\frac{1}{2}$ με ηλεκτρολυτικό διάλυμα. Επιλέγουμε τον ηλεκτρολύτη που θα χρησιμοποιήσουμε συμβουλευόμενοι το κεφάλαιο 6.



Εικόνα 7.3.: Μηχανική σύνδεση γεννήτριας υδρογόνου ξηρού τύπου

7.6 Ηλεκτρολογική Σύνδεση

7.6.1 Υλικά σύνδεσης ηλεκτρικού κυκλώματος

- Ρελέ ανόρθωσης ηλεκτρικού ρεύματος 20A (βλ. παράρτημα, Εικόνα 13)
- Ροόμετρο ρύθμισης ηλεκτρικού ρεύματος (βλ. παράρτημα, Εικόνα 14)
- 1 ασφαλειοθήκη (βλ. παράρτημα, Εικόνα 15)
- Ηλεκτρική ασφάλεια 15A (βλ. παράρτημα, Εικόνα 16)
- Καλώδιο 4mm (το μήκος του διαφέρει ανάλογα με την κατασκευή, που τοποθετείται δηλαδή το κάθε κομμάτι του κυκλώματος) (βλ. παράρτημα, Εικόνα 17)
- 6 ηλεκτρολογικούς συνδέσμους (βλ. παράρτημα, Εικόνα 18)

7.6.2 Συναρμολόγηση ηλεκτρικού κυκλώματος

Βήμα 1

Αρχικά, με το καλώδιο συνδέουμε τον αρνητικό πόλο του συσσωρευτή μέσω του διακόπτη εκκίνησης του αυτοκινήτου με τον αρνητικό πόλο του ρελέ ανόρθωσης και τον θετικό πόλο του ρελέ ανόρθωσης με τον θετικό πόλο του συσσωρευτή. Για τις συνδέσεις χρησιμοποιούμε ηλεκτρολογικούς συνδέσμους.

Βήμα 2

Στη συνέχεια, συνδέουμε την έξοδο του ρελέ ανόρθωσης με την είσοδο του ροόμετρου και την έξοδο του ροόμετρου με την κεντρική πλάκα της γεννήτριας όπως φαίνεται στην εικόνα 7.4. Για τις συνδέσεις χρησιμοποιούμε ηλεκτρολογικούς συνδέσμους.

Βήμα 3

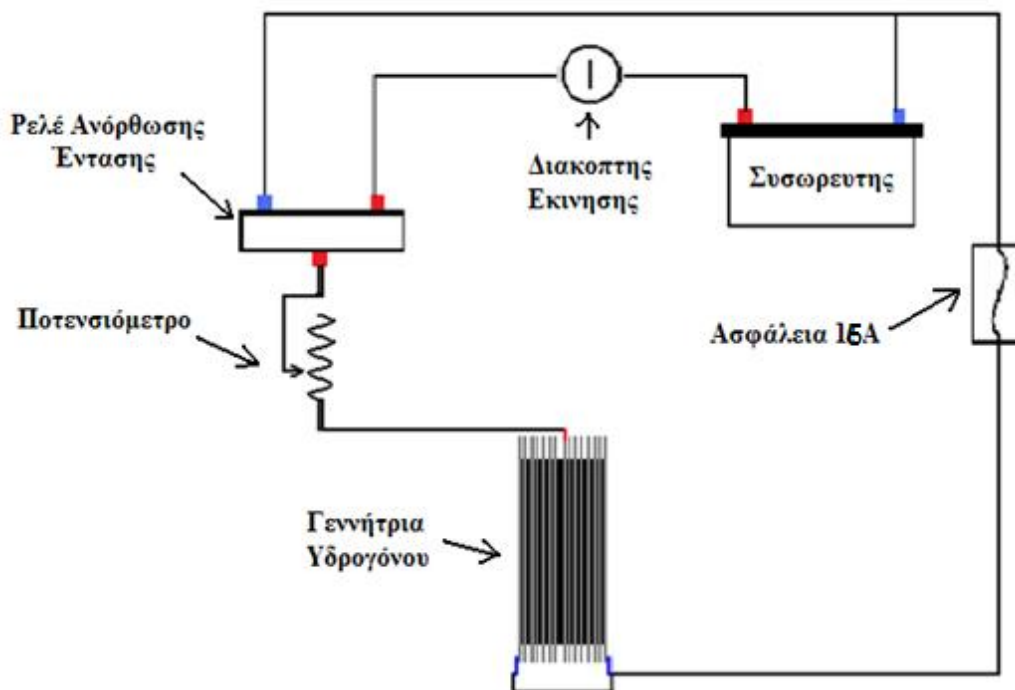
Ακόμη, συνδέουμε τις δύο ακριανές πλάκες της γεννήτριας με την ασφάλισοθήκη που περιέχει την ασφάλεια των 15A και επιστρέφουμε στον θετικό πόλο του συσσωρευτή. Για τις συνδέσεις χρησιμοποιούμε ηλεκτρολογικούς συνδέσμους.

Βήμα 4

Έπειτα, ρυθμίζουμε το ροόμετρο σύμφωνα με την μελέτη που πραγματοποιήσαμε παραπάνω στα 11,49A.

Βήμα 5

Τέλος, παρεμβάλουμε στον ηλεκτρονικό εγκέφαλο του αυτοκινήτου τον παράλληλο εγκέφαλο για τη σωστή ρύθμιση του μίγματος αέρα/καυσίμου.



Εικόνα 7.4.: Ηλεκτρολογική σύνδεση γεννήτριας υδρογόνου ξηρού τύπου

Συμπεράσματα

Σκοπός της παρούσας εργασίας ήταν η μελέτη και ο σχεδιασμός ενός συστήματος παραγωγής υδρογόνου για μηχανές εσωτερικής καύσης που θα είχε ως απώτερο σκοπό την μείωση της κατανάλωσης του καυσίμου της μηχανής και κατ' επέκταση την εξοικονόμηση χρημάτων δεδομένης της παρούσας οικονομικής κρίσης και της αύξησης της τιμής του πετρελαίου, καθώς και την άμεση ανάγκη εύρεσης μεθόδων προστασίας του περιβάλλοντος.

Κατά την διάρκεια της μελέτης προέκυψαν τρία βασικά συμπεράσματα. Αρχικά, η αντίδραση καύσης του υδρογόνου δεν είναι τίποτε άλλο στην πράξη από την επανένωση του υδρογόνου με το οξυγόνο, η οποία οδηγεί στην παραγωγή νερού (ατμού) ο οποίος επιστρέφει από την εξάτμιση του αυτοκινήτου πίσω στο περιβάλλον και μπαίνει ξανά στον κύκλο ζωής του νερού του περιβάλλοντος. Η καύση του υδρογόνου λοιπόν, δεν οδηγεί σε καμία εκπομπή ρύπων του τύπου των άκαυτων υδρογονανθράκων, σωματιδίων καπνού, μονοξειδίου και διοξειδίου του άνθρακα.

Επιπλέον, δεδομένης της παραγωγής καθαρότερων ρύπων άμεσο επακόλουθο είναι η παράταση της διάρκειας ζωής του κινητήρα καθώς βοηθά στον καθαρισμό των εσωτερικών τμημάτων, όταν ο κινητήρας λειτουργεί. Επίσης μία γεννήτρια υδρογόνου συμβάλει στην ομαλότερη λειτουργία ενός κινητήρα κάτι που σημαίνει αραιότερη συντήρησή του.

Τέλος, το υδρογόνο που παράγει η γεννήτρια αντικαθιστά ένα μέρος του καυσίμου που καταναλώνει η μηχανή του αυτοκινήτου μειώνοντας έτσι την κατανάλωση καυσίμου. Καθώς η γεννήτρια υδρογόνου λειτουργεί μόνο με νερό και πολύ λίγη ηλεκτρική ενέργεια από την μπαταρία του αυτοκινήτου, είναι δυνατόν να επιτευχθεί σημαντική εξοικονόμηση χρημάτων.

Βιβλιογραφία

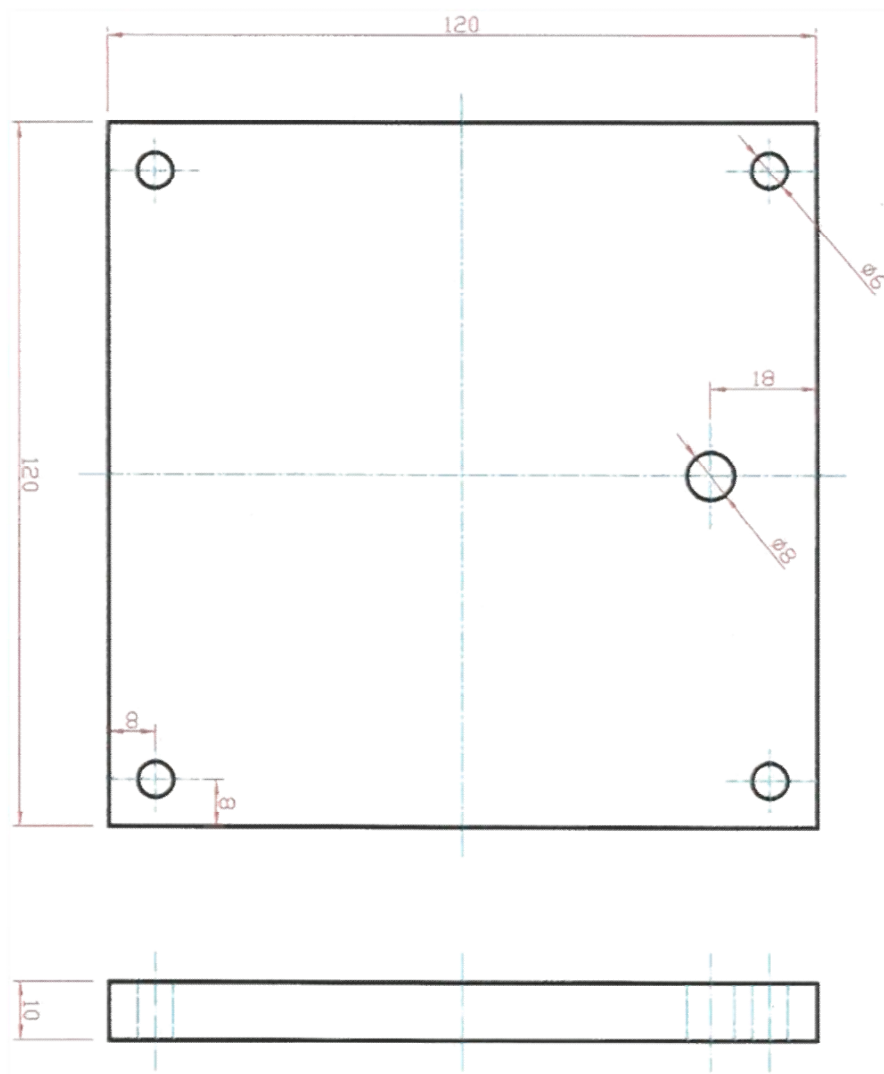
- Κωνσταντινίδης Δημήτρης, 2005, *Παραγωγή υδρογόνου μέσω ηλεκτρόλυσης νερού από φωτοβολταϊκό. Μελέτη κάλυψης των ενεργειακών αναγκών του κτιρίου του παραρτήματος χανιών του ΤΕΙ Κρήτης με σύστημα φωτοβολταϊκή γεννήτρια – υδρογόνο – κυψέλες καύσιμου*, Χανιά
- Κατρατζής Παναγιώτης - Κωνσταντακοπούλου - Μαρία - Φύλο Νάντιμα, 2005, *Διάβρωση και προστασία Υλικών Προστασία και επιμεταλλώσεις*, Αθήνα
- Ματθαίος Μακράκης - Ανδρέας Βλησίδης, 2005, *Τεχνολογία Υδρογόνου και Εφαρμογή σε Υβριδικά Ενεργειακά Συστήματα*, Ηράκλειο
- Μιχάλης Ι. Βαλάκας, 2007, *Χρήση του υδρογόνου ως εναλλακτική πηγή ενέργειας*, Αθήνα
- Patrick J. Kelly, 2006, *‘‘Automotive System’’s, A Practical Guide to Free-Energy Devices, 10.1 – 10.98*
- <http://www.enzinearticle.com>
- <http://www.hho4free.com>
- <http://www.ausetute.com>
- <http://www.alternativefuelenergy.net>
- <http://www.physics.info>
- <http://www.wikipedia.com>
- <http://www.allmeasures.com>
- <http://www.1epal-milou.kyk.sch.gr>
- <http://www.nicksrealm.com>
- <http://www.hubpages.com>
- <http://www.hydrogen-first-aid.com>
- <http://www.kema.de/en>
- <http://www.13tee-thess.thess.sch.gr>
- <http://www.hho2u.com>
- <http://www.tropical.gr>
- <http://www.engineeringtoolbox.com>

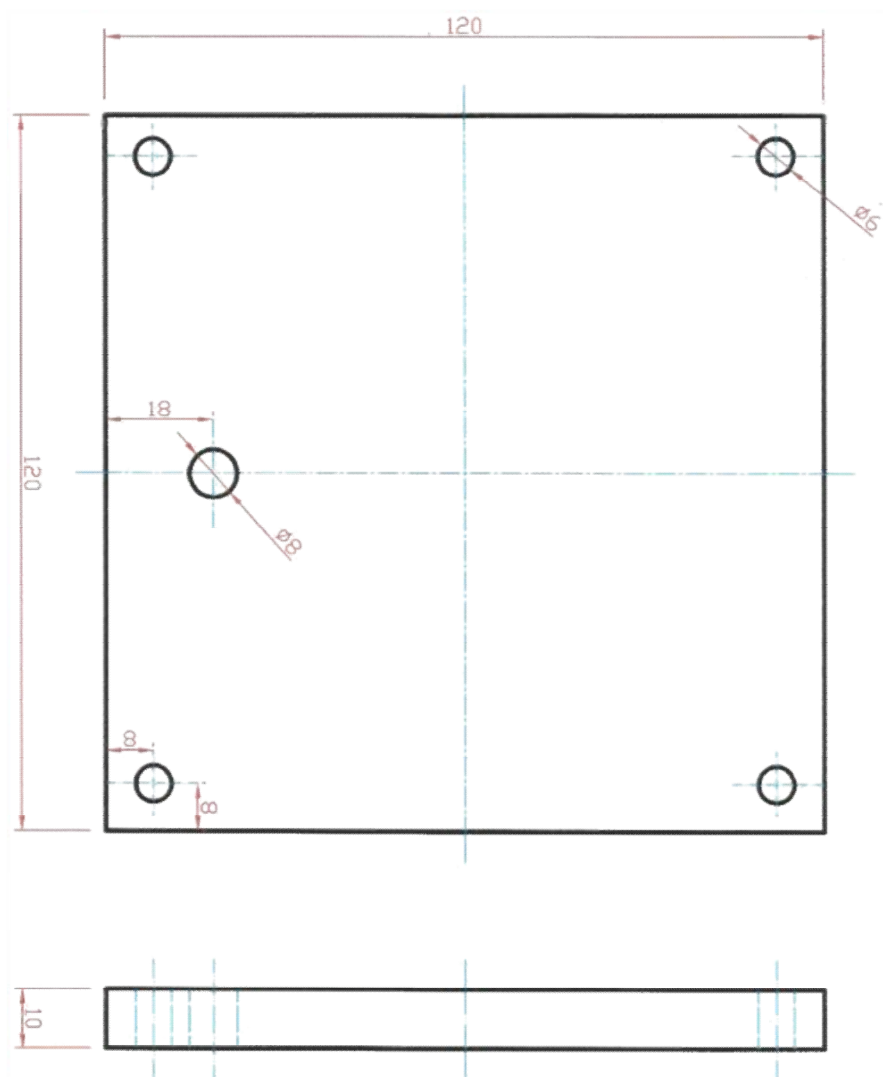
-
- <http://www.hhofuel.wordpress.com>
 - <http://www.hhocarfuelcell.com>
 - <http://www.ezinemark.com>
 - <http://www.watercarproject.com>
 - <http://www.hilaroad.com>
 - <http://www.priuschat.com>
 - <http://www.Chem..hawaii.edu>

Παράρτημα

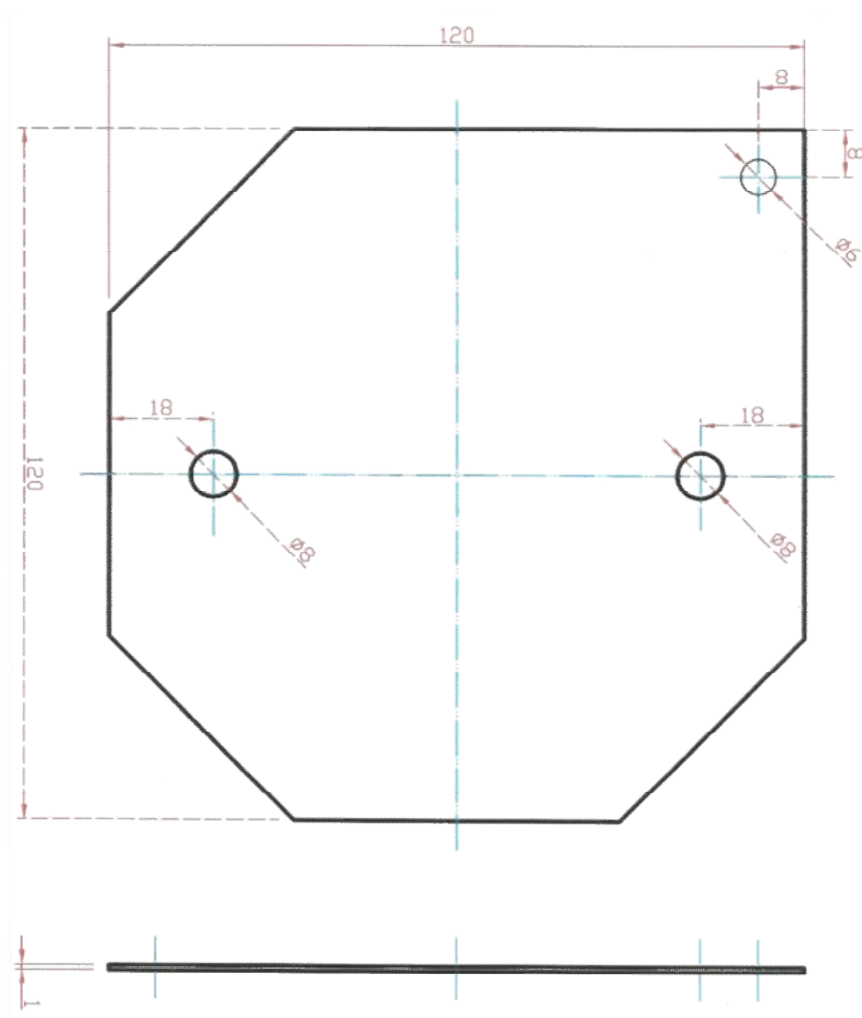
Α. Σχέδια Πλακών Γεννήτριας Υδρογόνου Ξηρού Τύπου

Σχέδιο 1: Πρόσοψη και πλάγια οριστερή όψη πίσω πλάκας πλεξίγκλας (Κλίμακα 1:1)

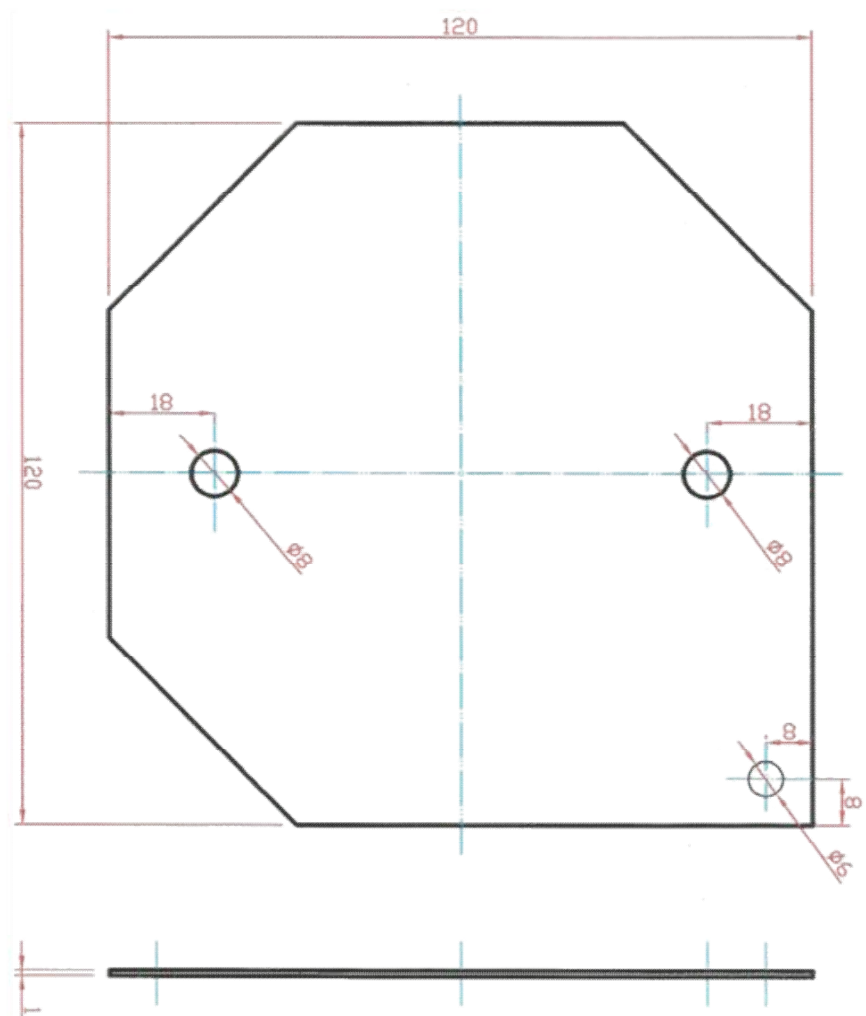




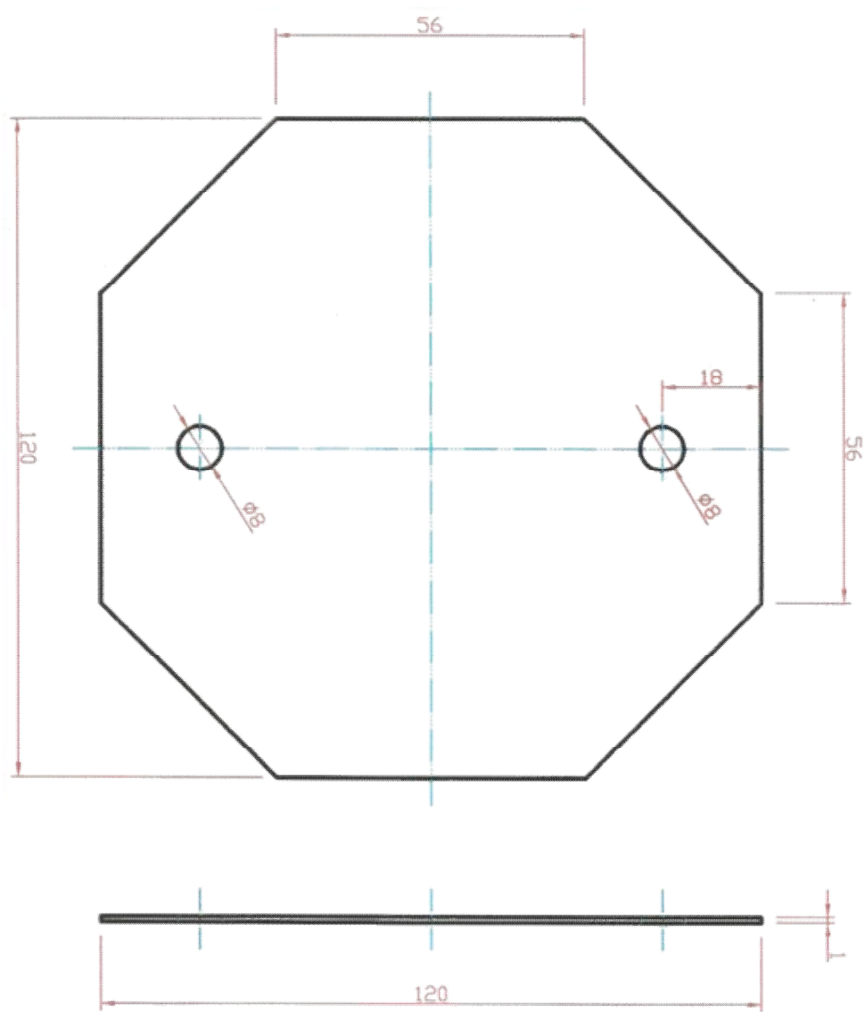
Σχέδιο 2: Πρόσψη και πλάγια οριζοτιή όψη εμπρόσθιας πλάκας πλεξιγκλάς (Κλίμακα 1:1)



Σχέδιο 3: Πρόσοψη και πλάγια αριστερή όψη επιτάγωσης πλάκας ανοξείδωτου χάλυβα 316 L (Κλίμακα 1:1)



Σχέδιο 4: Πρόσοψη και πλάγια οψη επτάγωνης πλάκας ανοξείδωτου χάλυβα 316 L (Κλίμακα 1:1)



Σχέδιο 5: Πρόσοψη και πλάγια αριστερή όψη οκτάγωνης πλάκας ανοξείδωτου χάλυβα 316 L (Κλίμακα 1:1)

Β. Εξαρτήματα Μηχανικού και Ηλεκτρικού Κυκλώματος Γεννήτριας Υδρογόνου Ξηρού Τύπου



Εικόνα 1: Ελαστικός δακτύλιος διαμέτρου Φ10 και πάχους 5mm



Εικόνα 2: Ντίζα DIN. 975 ανοξείδωτη M5



Εικόνα 3: Περικόχλιο M5 πάχους 5mm



Εικόνα 4: Περικόχλιο M5 πάχους 2mm



Εικόνα 5: Ροδέλα Φ6 εσωτερική και Φ10 εξωτερική



Εικόνα 6: Ροδέλα ασφαλείας Φ6



Εικόνα 7: Πλαστικά γωνιακά ρακόρ Φ8ΧΜ8 αρσενικά



Εικόνα 8: Δοχείο πλήρωσης ηλεκτρολυτικού διαλύματος και υγραποίησης υδρατμών 4lt



Εικόνα 9: Νεροπαγίδα



Εικόνα 10: Πλαστικό T Φ8



Εικόνα 11: Ελαστικός αυλός Φ8



Εικόνα 12: Σφικτήρας



Εικόνα 13: Ρελέ ανόρθωσης ηλεκτρικού ρεύματος 20A



Εικόνα 14: Ροόμετρο ρύθμισης ηλεκτρικού ρεύματος



Εικόνα 15: Ασφαλειοθήκη



Εικόνα 16: Ηλεκτρική ασφάλεια 15A



Εικόνα 17: Καλώδιο 4mm



Εικόνα 18: Ηλεκτρολογικοί σύνδεσμοι