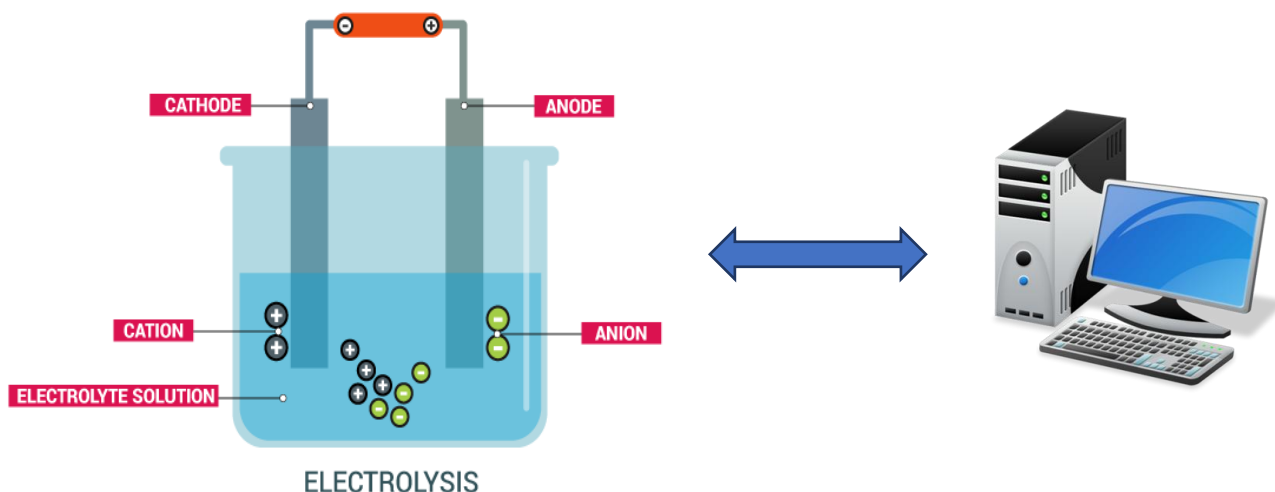




ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΜΕΣΟΓΕΙΑΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ & ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ



ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

«Μελέτη και κατασκευή μονάδας ηλεκτρόλυσης για παραγωγή υδρογόνου»

ΣΠΟΥΔΑΣΤΕΣ

Ατσάς Αντώνιος (ΤΦ1722)

Λιανουδάκης Μιχαήλ (ΤΦ1769)

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ

Κατσιγιάννης Ιωάννης

ΧΑΝΙΑ 2020

Θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε,

τον επιβλέποντα καθηγητή Ιωάννη Κατσιγιαννη, για την βοήθεια που μας προσέφερε καθώς και για τις πολύτιμες συμβουλές του. Αν και το θέμα ήταν δύσκολο, δεχθήκαμε βοήθεια από αρκετούς φίλους και καθηγητές του ΤΕΙ Χανίων και θα θέλαμε να τους ευχαριστήσουμε όλους για την στήριξη τους και την ευχάριστη διάθεση τους να μοιραστούν τις εμπειρίες και τις γνώσεις τους μαζί μας.

Σημαντικό ρόλο έπαιξαν οι γονείς μας, η αγάπη και το ενδιαφέρον τους ήταν παράγοντες καταλυτικοί για την εξέλιξη μας σε αυτόν τον κλάδο και τους ευχαριστούμε που όλα αυτά τα χρόνια μας στηρίζουν.

Τέλος, θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε τον κύριο Βασιλάκη Γεώργιο για την σπουδαία συνεισφορά του με τις γνώσεις τους στον κλάδο της Χημείας.

ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ

1. Κατσιγιαννης Ιωάννης, Επίκουρος Καθηγητής
2. Μαραβελάκης Εμμανουήλ, Αναπληρωτής Καθηγητής
3. Κατσαμάκη Αναστασία, ΕΔΙΠ

Περίληψη

Η χρήση εναλλακτικών μορφών ενέργειας με την χρήση μεθόδων και τεχνολογιών που με την χρόνια χρήση τους δεν δρουν εις βάρος του περιβάλλοντος και των γύρω οικοσυστημάτων τους διαδίδονται με γρήγορους ρυθμούς. Διάφορες άλλες τεχνολογίες παραγωγής ενέργειας κατά την χρήση τους εναποθέτουν ρύπους στα οικοσυστήματα και τα καθιστούν μη δυνάμενα να διατηρήσουν την βιοποικιλότητα τους, με αποτέλεσμα να μην μπορούν να υποστηρίξουν τη ζωή. Η συγκεκριμένη εργασία αναλύει πώς αυτό μπορεί να αλλάξει με την χρήση της Ηλεκτρόλυσης, μιας μεθόδου διαχωρισμού του υδρογόνου με σκοπό την παραγωγή ενέργειας (ηλεκτρικής ή θερμικής), για την οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν τεχνολογίες ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, π.χ., φωτοβολταϊκών στοιχείων. Αναλύονται επίσης τα υλικά που μπορούν να χρησιμοποιηθούν αλλά και η κατασκευή μιας δεξαμενής ηλεκτρόλυσης με απλά και εναλλακτικά υλικά, καθώς και η ανάλυση του κόστους που θα προκύψει από την κάθε κατασκευή. Στη συνέχεια δίνονται πληροφορίες όπου περιγράφεται ο τρόπος λειτουργίας του κάθε σταδίου έως την παραγωγή, ο τρόπος χρήσης καθώς και θέματα ασφάλειας του χρήστη σχετικά με την αποφυγή τραυματισμού, αλλά δεδομένα σχετικά την ορθή κατασκευή ενός τέτοιου συστήματος. Τέλος, γίνεται μελέτη και αξιολόγηση των αποτελεσμάτων που εξάγονται από την λειτουργία της μονάδας ηλεκτρόλυσης.

Λέξεις Κλειδιά: ΑΠΕ, Πράσινη Ενέργεια, Κυψέλη Καυσίμου, ηλεκτρόλυση, μικροεπεξεργαστής, αυτοματοποίηση.

Abstract

The use of alternative forms of energy using different methods and technologies which with their chronic use do not act against the environment and their surrounding ecosystems spread at a rapid pace. Various energy generating technologies with their chronic use they pose pollutants to their surrounding ecosystems which causes them not to be able to sustain their biodiversity and, at a result, cannot support life. This Thesis analyzes how this can be changed by using a hydrogen generating technology, through “Electrolysis” where the hydrogen that was split from the compound is the chemical energy that is to be converted into electrical energy or thermal energy with the use of Renewable Energy Sources, for example, photovoltaic modules for the electron supply. The paper decomposes the materials that can be used in such a project but also find alternative materials to replace them, as well as the cost analysis that will result from each construction. Next, information will be provided that will describe the mode of operation of each stage to production, as well as the use of such a system; but most importantly information is provided about the safety of the user to avoid injury and the proper construction of such a production system. Finally, an evaluation of the data extracted by the use of the electrolysis unit is given.

Keywords: RES, Green Energy, Fuel Cell, Electrolysis, Microprocessor, Automation.

Περιεχόμενα

Περιεχόμενα

1. Εισαγωγή.....	6
1.1 Σκοπός της εργασίας.....	6
1.2 Ιστορική Εξέλιξη.....	6
1.3 Κατασκευή	8
1.4 Δομή Εργασίας.....	10
2. Ηλεκτρόλυση.....	11
2.1 Αρχές Ηλεκτρόλυσης.....	11
2.1.1 Ηλεκτρολύτες.....	14
2.1.2 Οξυγόνο – Υδρογόνο.....	15
2.1.3 Διαδικασία της Ηλεκτρόλυσης του νερού	17
2.2 Εφαρμογές	19
2.3 Κίνδυνοι	24
3. Κατασκευή	35
3.1 Δεξαμενή.....	35
3.2 Αισθητήρες – Arduino.....	38
4. Κυψέλη Καυσίμου.....	47
4.1 Κυψέλη Καυσίμου.....	47
4.2 Διαφορετικοί τύποι Κυψελών Καυσίμου	50
5. Αποτελέσματα – Σύγκριση - Συμπεράσματα.....	53
5.1 Κοστολόγιο – Υλικά.....	53
5.2 Συμπέρασμα	54
5.3 Μελλοντική επέκταση εργασίας.....	56
6. Βιβλιογραφία	57
6.1 Ελληνική.....	57
6.2 Ξενόγλωσση	57
6.3 Ιστοσελίδες	57

1. Εισαγωγή

1.1 Σκοπός της εργασίας

Ο στόχος της εργασίας είναι η θεμελίωση της ιδέας ότι οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας μπορούν να χρησιμοποιηθούν και με απλά υλικά, οικονομικά και χωρίς ιδιαίτερες γνώσεις για την κατασκευή τους. Στην συγκεκριμένη εργασία γίνεται μελέτη στην «Μονάδα Ηλεκτρόλυσης» και πως μπορεί αυτή να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή του υδρογόνου που θα χρησιμοποιηθεί αργότερα για την παραγωγή καθαρής ενέργειας, είτε για παραγωγή θερμικής ενέργειας, είτε για ηλεκτρικής με τη χρήση της «Κυψέλη Καυσίμου» όπου θα εξεταστεί αργότερα ο ρόλος της στην παραγωγή ενέργειας και πως λειτουργεί. Ο σκοπός είναι να κατασκευαστεί μια τέτοια δεξαμενή και να αξιολογηθούν τα αποτελέσματα που θα ληφθούν μέσω χρήσης αισθητήρα για την παρακολούθηση της συγκέντρωσης υδρογόνου. Όλα αυτά σε συνεργασία πρέπει να επιτρέπουν την εξαγωγή σημαντικών αποτελεσμάτων για την μελέτη μιας τέτοιας μονάδας. Μπορεί να βρει αρκετές εφαρμογές στην βιομηχανία για την παραγωγή ρεύματος σε μεγάλη κλίμακα αλλά και σε καθημερινή χρήση για την φόρτιση μικρών συσκευών όπως το κινητό τηλέφωνο ή να ηλεκτροδοτήσει μια μεγαλύτερη συσκευή όπως η ηλεκτρική σκούπα χωρίς να υπάρχει ανάγκη για καλώδια. Μια τέτοια τεχνολογία μπορεί να μετατρέψει ηλεκτρονικές συσκευές σε φορητές καθιστώντας ευκολότερη την χρήση τους σε περιπτώσεις όπου δεν υπάρχει άλλη παροχή ρεύματος. Επίσης, έχει εφαρμογή στην αφαίρεση της σκουριάς από διάφορες μεταλλικές επιφάνειες σε εργαλεία κυρίως που έχουν φθαρεί λόγω της σκουριάς που έχει δημιουργηθεί στα εξωτερικά στρώματα του μετάλλου. Τέλος, δεδομένου ότι η Ελλάδα περνάει μια δύσκολη οικονομική περίοδο, είναι σημαντική η αειφορική ανάπτυξη χωρίς την τεράστια κατανάλωση πόρων που παρατηρείται, συνδυαζόμενη με την αποφυγή στέρξης ορισμένων βασικών καθημερινών αναγκών. Είναι σημαντικό να δίνονται λύσεις σε καθημερινά προβλήματα που μπορούν να προκύψουν αλλά και σε σοβαρότερα προβλήματα τα οποία προκαλούνται από την ανάγκη για ενέργεια.

1.2 Ιστορική Εξέλιξη

Στη συνέχεια θα παρουσιαστεί η εξέλιξη της τεχνολογίας της ηλεκτρόλυσης αλλά και της κυψέλης καυσίμου. Η αρχή αυτής της τεχνολογίας της ηλεκτρόλυσης ξεκίνησε το 1785 από τον Ολλανδό επιστήμονα Martin(us) van Marum με την κατασκευή μιας ηλεκτροστατικής γεννήτριας όπου αργότερα χρησιμοποιήθηκε για την οξειδωση του Κασσίτερου, Ψευδάργυρου και του Αντιμονίου από τα άλατά τους. Το 1789 όπου ξεκίνησαν τα πρώτα πειράματα με την ηλεκτρόλυση από τους Jan Rudolph Deiman και Adriaan Paets van Troostwijk, σε μια ηλεκτροστατική μηχανή για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας που εκκενώθηκε σε ηλεκτρόδια από χρυσό σε μια φιάλη Λέιντεν που περιείχε νερό. Στο δεύτερο πείραμα έγινε χρήση του Βολταϊκού Σωρού, δηλαδή της πρώτης μπαταρίας που ανακαλύφθηκε από τον Alessandro Volta το 1800 και μερικές βδομάδες αργότερα χρησιμοποιήθηκε από τους William Nicholson και Anthony Carlisle για την ηλεκτρόλυση του νερού σε Υδρογόνο και Οξυγόνο. Το 1808 ο Βρετανός χημικός Sir Humphry Davy ανακάλυψε

τα Κάλιο, Νάτριο, Βάριο, Ασβέστιο, Μαγνήσιο χρησιμοποιώντας την ηλεκτρόλυση. Το 1821 ανακαλύφθηκε το Λίθιο με ηλεκτρόλυση από τον Άγγλο χημικό William Thomas Brande. Αργότερα, το 1833 ο Βρετανός επιστήμονας Michael Faraday αναπτύσσει τους δυο νόμους της ηλεκτρόλυσης τους οποίους θα δοθεί η κατάλληλη επεξήγηση αργότερα. Πλέον έχουν συμβάλει αρκετοί επιστήμονες στην ηλεκτρόλυση με αποτέλεσμα αργότερα με βάση αυτά τα πειράματα το 1838 έγιναν οι πρώτες αναφορές σε «Κυψέλες Καυσίμου» σε μια έκδοση του περιοδικού «Το περιοδικό Φιλοσοφικής του Λονδίνου και του Εδιμβούργου και ημερολογίου της Επιστήμης» όπου ο Ουαλός επιστήμονας William Robert Grove έγραψε για την εξέλιξη της δικής του «Κυψέλης Καυσίμου» ωστόσο φαίνεται πως πρόλαβε ο Γερμανός Christian Friedrich Schönbein να εκδώσει πάνω στην ίδια δημοσίευση την δική του «Κυψέλη Καυσίμου» που είχε ο ίδιος εφεύρει όπου αναφέρεται στην παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος από το νερό. Μετά από αρκετά χρόνια ανακαλύφθηκε το Γάλλιο από Γάλλο χημικό Paul-Émile Lecoq de Boisbaudran ενώ το 1886 το Φθόριο από Γάλλο χημικό Ferdinand Frédéric Henri Moissan.

Το 1869 ο Zenobe Gramme δημιούργησε μια ηλεκτρική γεννήτρια παραγωγής συνεχούς ρεύματος το οποίο έκανε την ηλεκτρόλυση του νερού μια πολύ φθηνή μέθοδο για την παραγωγή υδρογόνου. Αργότερα υπήρξε ανάγκη παραγωγής ορισμένων στοιχείων καθώς η βιομηχανική επανάσταση λάμβανε χώρα στην καθημερινότητα των ανθρώπων, όπως την μέθοδο παραγωγής αλουμινίου με την Αγγλική ονομασία «Hall-Héroult process» το 1886 και το 1890 «Castner-Kellner process» για την παραγωγή Υδροξειδίου του νατρίου. Το 1888 αναπτύχθηκε μια μέθοδος βιομηχανικής σύνθεσης του υδρογόνου και του οξυγόνου με την μέθοδο της ηλεκτρόλυσης από τον Dmitry Lachinov. Η ηλεκτρόλυση του νερού όμως είναι μόνο η αρχή της παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος καθώς από μόνη της σαν μέθοδο διαχωρίζει το υδρογόνο από το οξυγόνο, ιστορικά μετά τον διαχωρισμό τους ήρθε η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Το 1939 ο Βρετανός μηχανικός Francis Thomas Bacon ήταν ο πρώτος που ανέπτυξε την πρώτη λειτουργική «Κυψέλη Καυσίμου» 5 KW. Το 1955 ο W. Thomas Grubb, που δούλευε τότε στην Πολυεθνική Εταιρία «General Electric», ανακάλυψε την πρώτη Κυψέλη Καυσίμου Ανταλλαγής Πρωτονίων μεμβράνης η αλλιώς η γνωστή σύντμηση «PEM» από την αγγλική ονομασία της Κυψέλης «Proton-exchange membrane fuel cell» χρησιμοποιώντας μια μεμβράνη ανταλλαγής ιόντων ως ηλεκτρολύτη. Ωστόσο μετά από τρία χρόνια, ένας άλλος χημικός της General Electric, ο Leonard Niedrach επινόησε έναν τρόπο να προσθέσει λευκόχρυσο πάνω στην μεμβράνη το οποίο είχε ως αποτέλεσμα να λειτουργήσει ως καταλύτης στην όλη διαδικασία παραγωγής το οποίο έγινε γνωστό και ως «Grubb-Niedrach fuel cell». Αυτό δεν έμεινε απαρατήρητη από την NASA και αργότερα το 1960 χρησιμοποίησαν αυτήν την τεχνολογία σε διαστημικές αποστολές όπως το γνωστό πρόγραμμα Gemini το οποίο ήταν το δεύτερο σε σειρά πρόγραμμα όπου άνθρωποι λάμβαναν μέρος σε αποστολές στο διάστημα μετά το Mercury όπου ήταν η πρώτη προσπάθεια, αυτή ήταν η πρώτη φορά που χρησιμοποιήθηκαν οι Κυψέλες Καυσίμου για εμπορική χρήση.

Πριν την NASA, είχαν γίνει και άλλα πειράματα όπου εφαρμόστηκαν κυψέλες καυσίμου μέχρι και σε οχήματα, ένα από αυτά ήταν ένα τρακτέρ το οποίο λειτουργούσε με κυψέλη καυσίμου 15 KW, ανακαλύφθηκε από την ομάδα του Αμερικάνου μηχανικού Harry Ihrig, το οποίο είχε παρουσιαστεί σε επιδείξεις σε όλη

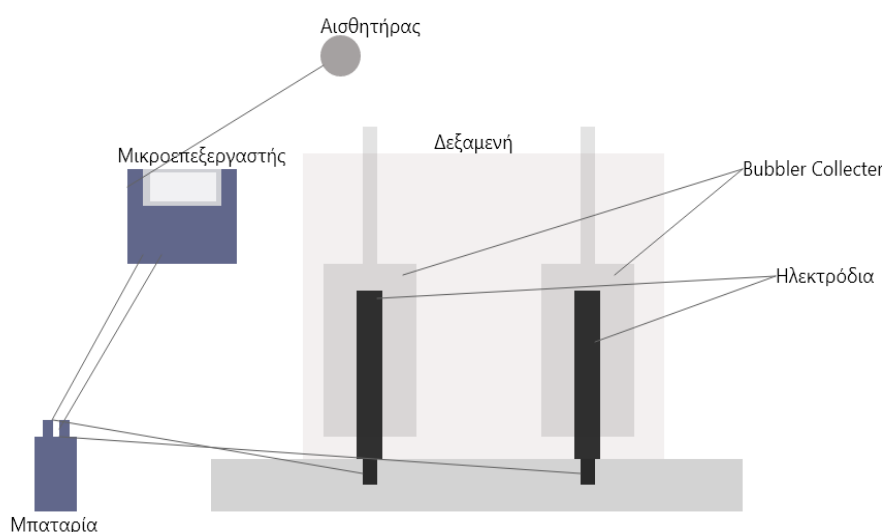
την Αμερική. Είχε γίνει μια παρουσίαση το 1959 από τον Bacon, μιας απλής συγκολλητικής μηχανής 5KW. Παράλληλα, η NASA πήρε την άδεια για την χρήση της πατέντας του Bacon για χρήση στο διάστημα τα οποία περιλάμβαναν την τροφοδοσία πόσιμου νερού αλλά την παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος. Κατά την περίοδο της κρίσης του πετρελαίου αναζητήθηκαν εναλλακτικές μορφές ενέργειας όπου αυτό είχε ως αποτέλεσμα την δημιουργία μιας ακόμη κατηγορίας Κυψελών Καυσίμου, της «Κυψέλης Καυσίμου Φωσφορικού Οξέος», στα Αγγλικά μεταφράζεται ως «Phosphoric acid fuel cell» όπου και προκύπτει η σύντμηση «PAFC» όπου χρησιμοποιήθηκε υγρό Φωσφορικό Οξύ ως ηλεκτρολύτης το 1970. Μετά από μια δεκαετία, το 1980, το Αμερικανικό Ναυτικό προθυμοποιήθηκε να χρησιμοποιήσει την τεχνολογία αυτή στα υποβρύχια του. Αφού πλέον είχε ήδη μεγάλη χρήση σε ένα μεγάλο εύρος εναλλακτικών τρόπων παραγωγής ρεύματος ήρθε η ώρα να χρησιμοποιηθεί και στην εμπορική παραγωγή ρεύματος σε εργοστάσια παραγωγής το οποίο έλαβε μέρος την περίοδο του 1990 από την «UTC POWER». Μετά από έναν χρόνο, το 1991, ο Roger E. Billings, δημιούργησε το πρώτο όχημα Κυψέλης Καυσίμου. Από εκεί και πέρα η τεχνολογία αυτή εξελίχθηκε ώστε να έχει περισσότερη εφαρμογή στην καθημερινότητα όχι μόνο για βιομηχανική χρήση αλλά και εμπορική. Κάποια παραδείγματα είναι το αμάξι της γνωστής αυτοκινητικής εταιρίας HONDA με ονομασία «FCX Clarity fuel cell» το οποίο είναι ένα ηλεκτρικό Ι.Χ και αξιοποιούσε την Κυψέλη Καυσίμου για παραγωγή αυτής της ηλεκτρικής ενέργειας.

1.3 Κατασκευή

Η κατασκευή μιας δεξαμενής ηλεκτρόλυσης για παραγωγή υδρογόνου ικανού για την παραγωγή ρεύματος δεν θα πρέπει να αποτελεί πρόβλημα καθότι τα υλικά για την απλή διάσπαση του νερού βρίσκονται ήδη στην κατοικία μας ή είναι πολύ εύκολο να τα αγοράσουν από κάποιο κατάστημα με πολύ χαμηλό κόστος. Ωστόσο η κατασκευή μιας κυψέλης καυσίμου είναι περίπλοκη, πρέπει να προσδιοριστεί το είδος της κυψέλης καυσίμου, καθώς το κόστος μιας τέτοιας κατασκευής είναι αρκετά υψηλό αλλά και τα περισσότερα από τα υλικά που χρησιμοποιούνται είναι προϊόντα επεξεργασίας σε μεμβράνες που λειτουργούν ως καταλύτες στην αντίδραση του Η και του Ο. Η καλύτερη λύση σε αυτήν την περίπτωση είναι η αγορά μιας Κυψέλης και στην συνέχεια τοποθέτηση πάνω στο κύκλωμα για να επιτευχθεί ηλεκτρική παραγωγή. Τέτοιες συσκευές μπορούν να βρεθούν στο διαδίκτυο με παραγγελία και το μόνο που χρειάζονται είναι το υδρογόνο που έχει διαχωριστεί από το νερό στην δεξαμενή ηλεκτρόλυσης και το Οξυγόνο από το περιβάλλον.

Οι γνώσεις που απαιτούν μια τέτοια σύνθεση βέβαια είναι βασικές και περιβάλλονται από τις αρχές της ηλεκτρόλυσης που θα εξηγηθεί περαιτέρω στη συνέχεια για να κατανοήση της λειτουργίας αλλά και την σημασία που έχει κάθε εξάρτημα που θα χρησιμοποιηθεί για να ληφθούν ικανοποιητικά αποτελέσματα. Η λογική πίσω από την κατασκευή αρχίζει με την χημική ενέργεια την οποία για να αξιοποιηθεί πρέπει να μετατραπεί σε ηλεκτρική και αυτό για να επιτευχθεί πρέπει πρώτα να διασπαστεί το διάλυμα, που σε αυτήν την περίπτωση είναι απιονισμένο νερό αναμιγμένο με τον ηλεκτρολύτη και παραγωγή του πολύτιμου ενεργειακά υδρογόνου. Για την διάσπαση θα πρέπει να χρησιμοποιηθεί ένα μέσο ηλεκτροδότησης το οποίο μπορεί να είναι μια μπαταρία ή ένα φωτοβολταϊκό το

οποίο παρέχει τα απαραίτητα ηλεκτρόνια για την ηλεκτρόλυση. Για την ορθή βέβαια εφαρμογή της ηλεκτρόλυσης πρέπει να γίνει η σωστή επιλογή των υλικών που θα χρησιμοποιηθούν για την δεξαμενή, τα ηλεκτρόδια ακόμη και για τις ενώσεις η κόλλα που θα χρησιμοποιηθεί καθώς δεν πρέπει να αλληλοεπιδρούν με το διάλυμα. Τα υλικά θα πρέπει να είναι ουδέτερα και να μην δημιουργούν ενώσεις με το διάλυμα που ηλεκτρολύεται ή να επιδέχονται τα ίδια ηλεκτρόλυση επειδή σε αυτή την περίπτωση μπορεί να υπάρχουν ενώσεις που να δημιουργούν πρόβλημα στην απόδοση της δεξαμενής ή ακόμη και δημιουργία τοξικών ενώσεων σε αέρια μορφή από τις μπουρμπουλήθρες και να έχουν ως αποτέλεσμα κάποια σωματική βλάβη. Αφού επιλεγθούν τα υλικά, η σωστή κίνηση θα είναι να γίνει έρευνα για το πως αυτά θα αλληλοεπιδράσουν μεταξύ τους στήνοντας την κατασκευή όπως το σχέδιο που παρουσιάζεται στην εικόνα:



Εικόνα 1: Ψηφιακό Σχέδιο Κατασκευής

Για την εξαγωγή των αποτελεσμάτων προς αξιολόγηση θα πρέπει, στην κατασκευή, να εγκατασταθεί ένας αισθητήρας ο οποίος θα είναι τόσο ευαίσθητος έτσι ώστε να αντιλαμβάνεται την συγκέντρωση του υδρογόνου η οποία θα χρησιμοποιηθεί για την διαμόρφωση συμπερασμάτων. Ωστόσο, ο αισθητήρας από μόνος του δεν μπορεί να δώσει κάτι το οποίο θα μπορεί να κατανοηθεί ως επαρκή πληροφορία. Για την μετάφραση αυτών των αποτελεσμάτων ο αισθητήρας θα πρέπει να τροφοδοτείται από μια τάση και ένα σύστημα εμφάνισης των αποτελεσμάτων σε μορφή συγκέντρωσης. Οπότε στην συνέχεια με τη χρήση ενός μικροεπεξεργαστή μπορεί να γίνει η παρουσίαση αυτών των αποτελεσμάτων στην επιθυμητή μορφή και κλίμακα αφού πρώτα στηθεί ένα κύκλωμα μεταφοράς αυτών των δεδομένων από το σημείο του αισθητήρα ως το σημείο του επεξεργαστή και την εικόνα που θα εμφανίσει στην τελική μορφή, αυτό μπορεί να γίνει και με την σύνδεση μιας LCD οθόνης πάνω στο κύκλωμα και πάνω στον μικροεπεξεργαστή που θα ανανεώνει τα αποτελέσματα κάθε δευτερόλεπτο για την παροχή μιας συνεχής ροής πληροφοριών, όπως στην περίπτωση της πυκνότητας του υδρογόνου που παράγεται. Αυτό επιτυγχάνεται με τον προγραμματισμό σε ένα ειδικό περιβάλλον ανάπτυξης (IDE) που έρχεται μαζί με

τον μικροεπεξεργαστή, η γλώσσα προγραμματισμού βέβαια μπορεί να διαφέρει και οι λειτουργίες του κάθε επεξεργαστή είναι διαφορετικές ανάλογα με την κατασκευή τους. Όσο περισσότερες λειτουργίες έχει ο μικροεπεξεργαστής τότε τόσο μεγαλύτερο θα είναι και το κόστος αγοράς, κάποιες από τις λειτουργίες είναι ακόμη και η σύνδεση στο διαδίκτυο ή η εγκατάσταση λογισμικού (Windows). Το επόμενο βήμα είναι η επιλογή των ηλεκτροδίων, ένα σημαντικό κομμάτι της δεξαμενής διότι τα ηλεκτρόδια είναι αυτά που θα πραγματοποιήσουν την ηλεκτρόλυση και θα αναλωθούν στην συνέχεια λόγω φθοράς.

Η φθορά στα ηλεκτρόδια είναι αναμενόμενη καθ' όλη τη περίοδο που η ηλεκτρόλυση λαμβάνει μέρος η οποία αλλάζει ανάλογα με το υλικό από το οποίο είναι δομημένο το ηλεκτρόδιο, που σημαίνει ότι κάθε ηλεκτρόδιο φθείρεται λιγότερο η περισσότερο με διάφορους τρόπους. Κάποιοι από αυτούς περιλαμβάνουν: Δημιουργία εξωτερικού στρώματος μη αγώγιμων ενώσεων (Σκουριά), αντίδραση με το παραγόμενο Οξυγόνο (Κυρίως σε ηλεκτρόδια Άνθρακα), μείωση υλικού των ηλεκτροδίων (αφαίρεση υλικού) κ.α. Στη συνέχεια αφού έχει οριστεί το σύστημα επεξεργασίας της πληροφορίας και το είδος των ηλεκτρονίων που θα χρησιμοποιηθούν είναι καιρός να γίνει η επιλογή των υλικών που θα φιλοξενούν το διάλυμα προς ηλεκτρόλυση και τα παραγόμενα αέρια. Αυτά περιλαμβάνουν την δεξαμενή ηλεκτρόλυσης, τους συλλέκτες και τα σωληνάκια που θα μεταφέρουν το αέριο σε χώρο αποθήκευσης ή προς ανάλυση, ωστόσο αυτά θα πρέπει να είναι από ουδέτερα υλικά που δεν θα αναμιγνύονται η να παίρνουν μέρος σε όποια αντίδραση γίνεται στην δεξαμενή ηλεκτρόλυσης. Τέλος, θα πρέπει να τοποθετηθεί η τροφοδοσία των απαιτούμενων ηλεκτρονίων (ρεύμα) για να ξεκινήσει η διαδικασία διαχωρισμού.

1.4 Δομή Εργασίας

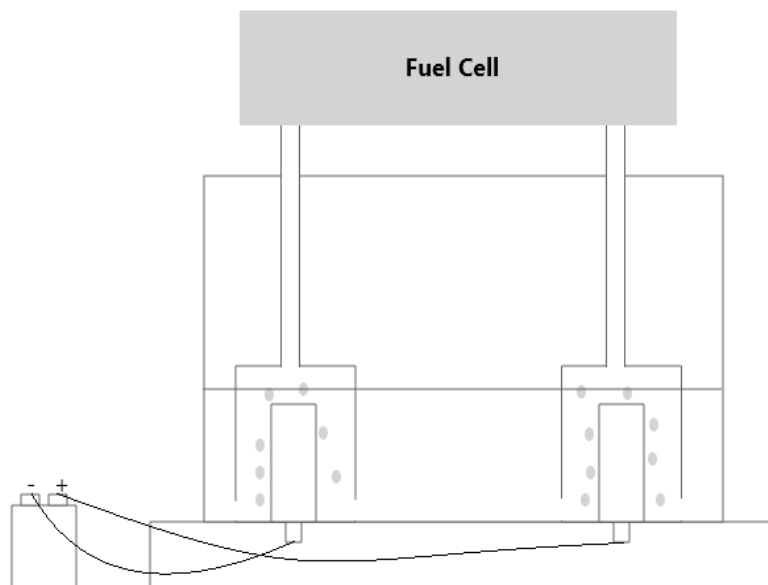
Στο δεύτερο κεφάλαιο δίνεται ο ορισμός της ηλεκτρόλυσης και ανάλυση των κομματιών από τα οποία απαρτίζεται αλλά και τους ενδεχόμενους κινδύνους της μεθόδου.

Στο τρίτο κεφάλαιο αναλύεται η κατασκευή της δεξαμενής, οι αισθητήρες που χρησιμοποιούνται και δίνονται πληροφορίες για το κάθε εξάρτημα που έχει χρησιμοποιηθεί αλλά και πως αλληλοεπιδρά με τα υπόλοιπα μέρη της.

Στο τέταρτο κεφάλαιο αποσαφηνίζεται η διαφορά κάθε κυψέλης καυσίμου και οι λειτουργικές τους δυνατότητες.

Στο πέμπτο και τελευταίο κεφάλαιο, αναλύονται τα συμπεράσματα της μελέτης, κοστολόγιο όπως και μελλοντική επέκταση της εργασίας σε περισσότερα πεδία.

2. Ηλεκτρόλυση



Εικόνα 2: Ψηφιακό Σχέδιο της κατασκευής με χρήση της Κυψέλης Καυσίμου

2.1 Αρχές Ηλεκτρόλυσης

Η «Ηλεκτρόλυση» ως μια χημική μέθοδος ή ακόμη και παραγωγής στον βιομηχανικό τομέα, ονομάζεται η διαδικασία διάσπασης μιας ουσίας (διαλύματος) με τη βοήθεια του ηλεκτρικού συνεχούς ρεύματος. Αυτό το φαινόμενο πραγματοποιείται όταν δυο διαφορετικά μέταλλα έρχονται σε επαφή με το υγρό προς ηλεκτρόλυση το οποίο μπορεί να περιέχει μια ουσία για την επιτάχυνση της αντίδρασης αυτής που ονομάζεται «Ηλεκτρολύτης», με αποτέλεσμα να μετακινηθεί μάζα από το ηλεκτροθετικότερο μέταλλο που βρίσκεται στην «άνοδο» προς το λιγότερο ηλεκτροθετικό μέταλλο που ονομάζεται «κάθοδος» και έτσι επιτυγχάνεται η διάσπαση μιας ουσίας. Ουσιαστικά πρόκειται για μια μέθοδο όπου το ρεύμα περνάει μέσα από έναν ηλεκτρολύτη όπου τα μόρια του διασπώνται σε θετικά (κατιόντα) και αρνητικά ιόντα (ανιόντα), με τα κατιόντα να μετακινούνται προς την κάθοδο (αρνητικά φορτισμένο ηλεκτρόδιο) με αποτέλεσμα αυτά να ανάγονται και τα ανιόντα μετακινούνται προς την άνοδο (θετικά φορτισμένο ηλεκτρόδιο) για να οξειδωθούν, οι ηλεκτρολύτες θα αναλυθούν αργότερα για τον τρόπο χρήσης και πως συμπεριφέρονται σε ένα διάλυμα.

Βέβαια πρέπει να ληφθεί υπόψιν ότι αυτή είναι μια μέθοδος διάσπασης που υπάρχουν αναλώσιμα υλικά τα οποία διαβρώνονται κατά την εφαρμογή της, αυτό φαίνεται από την λειτουργία των ηλεκτροδίων τα οποία διαβρώνονται σταδιακά δηλαδή, το πιο ηλεκτροθετικό από τα δυο μέταλλα (η κάποιου άλλου είδους ηλεκτρόδιο όπως άνθρακα) διαβρώνεται και θέλει αντικατάσταση ή συντήρηση ανάλογα με την χρήση και τον χρόνο που θα χρειαστεί να λειτουργήσει. Ο Άγγλος επιστήμονας Michael Faraday (1791 – 1867) του οποίου η συμβολή στον τομέα της

Ηλεκτροχημείας και του Ηλεκτρομαγνητισμού ήταν τεράστια με το επιστημονικό του έργο. Ήταν ο πρώτος που παρατήρησε αυτό το φαινόμενο.

Η Ηλεκτρομαγνητική Επαγωγή ή Ηλεκτρική Επαγωγή ονομάζεται η εμφάνιση ηλεκτρισμού εξαιτίας ενός μαγνητικού πεδίου το οποίο εξηγεί την ανάπτυξη διαφοράς δυναμικού (αλλιώς και Ηλεκτρική Τάση) στα άκρα ενός αγωγού η οποία λαμβάνει χώρα όταν μεταβάλλεται η μαγνητική ροή που διέρχεται από την επιφάνεια που ο συγκεκριμένος αγωγός ορίζει. Μαγνητική ροή ορίζεται ως ο αριθμός των μαγνητικών δυναμικών γραμμών που διέρχονται σε μια επιφάνεια τοποθετημένη κάθετα προς αυτές, η δυναμική αυτή μαγνητική ροή είναι ίση με το ολοκλήρωμα της πυκνότητας της μαγνητικής ροής επί της επιφάνειας, με άλλα λόγια είναι ένα ποσοτικό μέτρο του μαγνητισμού λαμβάνοντας υπόψιν την ένταση και την εμβέλεια ενός μαγνητικού πεδίου (συμβολίζεται με το ελληνικό γράμμα Φ). Το φαινόμενο της Ηλεκτρικής Επαγωγής λοιπόν είναι αποτέλεσμα των πειραμάτων του και έχει κατοχυρωθεί με το νόμο που περιγράφει αυτό το φαινόμενο και φέρει το όνομα του ως μονάδα μέτρησης της χωρητικότητας στο SI, το *Farad* το οποίο συμβολίζεται με κεφαλαίο F και το συναντάμε στους ηλεκτρικούς πυκνωτές και περιγράφει την Ηλεκτρική του Χωρητικότητα.

Το 1834 ο ίδιος δημοσίευσε την έρευνα του πάνω στην ηλεκτροχημεία θεσπίζοντας τους «Νόμους της Ηλεκτρόλυσης» οι οποίοι για να κατανοηθούν θα χρειαστεί πρώτα να ληφθεί υπόψιν η διαδικασία της ηλεκτρόλυσης την οποία η οποία έχει αναληθεί στην αρχή του κεφαλαίου. Τα στοιχεία που θα χρειαστούν είναι, η σταθερά Faraday (F) 96485 Coulomb/mol, ο αριθμός Avogadro (N_A) $6,02 \times 10^{23}$ και η σταθερά του Ηλεκτρικού Φορτίου (Q) $1,6023 \times 10^{-19}$. Ξεκινώντας πρώτα με τα ποσοτικά μέτρα που θα χρειαστούν, τα οποία λαμβάνουν μέρος στην διαδικασία, η σχέση μεταξύ ρεύματος, φορτίου και του χρόνου. Για να εξηγηθεί τι είναι το ηλεκτρικό ρεύμα το οποίο είναι απαραίτητο για να ξεκινήσει και να ολοκληρωθεί το πείραμα. Το Ηλεκτρικό Ρεύμα προκύπτει όπου υπάρχει ροή φορτίων, για παράδειγμα ηλεκτρόνια, και ορίζεται ως ο ρυθμός με τον οποίο ρέει το φορτίο άρα η ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος καθορίζεται από την σχέση που συνδέει την σταθερά του Ηλεκτρικού Φορτίου με τον χρόνο:

$$\text{Ηλεκτρικό Ρεύμα} = \frac{\text{Ποσότητα Φορτίου}}{\text{Χρόνος}} \quad \text{ή} \quad A = \frac{Q}{t} \quad (1)$$

όπου A είναι η Ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος σε *Ampere* δηλαδή η ροή 1 coulomb φορτίου ανά δευτερόλεπτο, t είναι ο χρόνος και Q είναι η ποσότητα του φορτίου σε *Coulomb*. Το φορτίο που κουβαλάει το κάθε ηλεκτρόνιο είναι ίσο με $1,6023 \times 10^{-19}$ *Coulomb* άρα το συνολικό φορτίο που εμπεριέχεται σε ένα mole ηλεκτρονίων σύμφωνα με τον τύπο που συνδέει το φορτίο των ηλεκτρονίων με τον αριθμό Avogadro είναι:

$$6,022 \times 10^{23} * 1,6023 \times \frac{10^{-19} C}{mol} = 96485 C/mol \quad (2)$$

Συνεπώς, το αποτέλεσμα είναι 96485 C/mol είναι το συνολικό φορτίο που κουβαλάει 1 mole ηλεκτρονίου ή $6,022 \times 10^{23}$ ηλεκτρόνια, δηλαδή η ποσότητα του ηλεκτρικού ρεύματος που μεταφέρει 1 mole ηλεκτρονίων είναι γνωστό και αλλιώς ως 1 *Faraday*. Μια άλλη ποσοτική ιδιότητα είναι το Ισοδύναμο Βάρος ή Ισοδύναμη Μάζα η οποία

χρησιμοποιείται συνήθως σε ηλεκτρολυτικούς υπολογισμούς. Ο τύπος που χρησιμοποιείται για το Ισοδύναμο Βάρους ή Μάζα είναι:

$$E = \frac{\text{Ατομικό Βάρος ή Μάζα}}{\text{Σθένος}} \quad (3)$$

Το Σθένος είναι η ιδιότητα του ατόμου να δημιουργεί δεσμούς με άλλα άτομα και προσδιορίζεται ανάλογα με τον αριθμό ατόμων του υδρογόνου που μπορεί να ενωθεί με το άτομο ενός άλλου στοιχείου, το Ισοδύναμο Βάρος (E) το μετράμε σε γραμμάρια (grams) και το *Ατομικό Βάρος ή Μάζα* σε g/mol. Ένα παράδειγμα για την καλύτερη κατανόηση της διαδικασίας εξαγωγής ενός τέτοιου αποτελέσματος είναι παίρνοντας ένα στοιχείο του περιοδικού πίνακα, όπως το Αλουμίνιο ή Αργίλιο (Al) το οποίο έχει ως ατομικό βάρος 27 (Ar) και το σθένος (Valency) του είναι 3 καθώς 3 mole ηλεκτρονίων μπορούν να συνδυαστούν με ένα άλλο άτομο.

$$\text{Άρα, } E = \frac{\text{Ατομικό Βάρος Αργιλίου}}{\text{Σθένος}} = \frac{27g/mol}{3 eq Al} = 9 gr \quad (4)$$

Οι νόμοι της ηλεκτρόλυσης από τον Faraday είναι δυο και εξηγούν τον μηχανισμό και τους κανόνες που πρέπει να ληφθούν υπόψιν που βρίσκονται πίσω από αυτήν την μέθοδο. Ο Πρώτος Νόμος της Ηλεκτρόλυσης αναφέρει πως η χημική εναπόθεση εξαιτίας της ροής του ρεύματος μέσα από έναν ηλεκτρολύτη είναι άμεσα ανάλογη με την ποσότητα της ηλεκτρικής ενέργειας (σε *coulomb*) που διέρχεται από αυτήν. Η παρακάτω εξίσωση εξηγεί αυτό το φαινόμενο:

$$Q \rightarrow m = Z * Q \quad (5)$$

Όπου η Z είναι η σταθερά αυτής της αναλογικότητας και είναι γνωστή ως το ηλεκτροχημικό ισοδύναμο της ουσίας. Αν ληφθεί η τιμή $Q = 1 \text{ coulomb}$, το $Z = m$ που σημαίνει υποδηλώνει ότι το ηλεκτροχημικό ισοδύναμο οποιασδήποτε ουσίας είναι η ποσότητα της ουσίας που εναποτίθεται κατά το πέρασα 1 *coulomb* από το διάλυμα. Αυτή η σταθερά που αναλύει ουσιαστικά το ηλεκτροχημικό ισοδύναμο μπορεί να εκφραστεί ως mg/coulomb ή kg/coulomb. Μέχρι στιγμής, η μάζα της ουσίας που εναποτίθεται εξαιτίας της ηλεκτρόλυσης είναι ανάλογη με την ποσότητα του ηλεκτρικού ρεύματος που διέρχεται μέσα από τον ηλεκτρολύτη. Η μάζα της ουσίας που εναποτίθεται εξαιτίας της ηλεκτρόλυσης δεν είναι μόνο ανάλογη με την ποσότητα του ηλεκτρικού ρεύματος η οποία διέρχεται μέσα από τον ηλεκτρολύτη αλλά εξαρτάται και από άλλους παράγοντες.

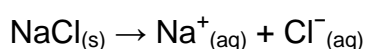
Κάθε ουσία έχει το δικό της ατομικό βάρος οπότε για τον ίδιο αριθμό ατόμων διαφορετικές ουσίες θα έχουν διαφορετικές μάζες. Θα πρέπει να αναφερθεί πάλι πως ο αριθμός των ατόμων που εναποτίθεται στα ηλεκτρόδια εξαρτάται από τον αριθμό τους σθένους. Αν το σθένος είναι μεγάλο τότε για την ίδια ποσότητα ηλεκτρισμού, ο αριθμός εναπόθεσης των ατόμων θα είναι λιγότερος και όταν το σθένος είναι χαμηλό για την ίδια ποσότητα ηλεκτρισμού που αναφέρθηκε πριν, τόσο μεγαλύτερος θα είναι και ο αριθμός των ατόμων που θα εναποτεθούν. Οπότε, για την ίδια ποσότητα ηλεκτρισμού που διέρχεται μέσα από διαφορετικούς ηλεκτρολύτες, η μάζα του εναποτιθέμενου χημικού στοιχείου είναι άμεσα ανάλογη με το ατομικό βάρος και αντίστροφος ανάλογη στο σθένος του. Σε αυτό το σημείο της εργασίας, ο Δεύτερος Νόμος της Ηλεκτρόλυσης ο οποίος αναφέρει πως όταν η ίδια ποσότητα ηλεκτρισμού διέρχεται μέσα από αρκετούς ηλεκτρολύτες, η μάζα της ουσίας που

εναποτίθεται είναι ανάλογη με το αντίστοιχο χημικό ισοδύναμο ή ισοδύναμο βάρος τους.

2.1.1 Ηλεκτρολύτες

Ο γενικός ορισμός του ηλεκτρολύτη χρησιμοποιείται για να χαρακτηρίσει μια ουσία που αναμιγνύοντας την με έναν πολικό διαλύτη όπως το νερό παράγει ένα ηλεκτρικά αγώγιμο διάλυμα, ο διαλυμένος ηλεκτρολύτης χωρίζεται σε κατιόντα και ανιόντα τα οποία διασκορπίζονται ομοιόμορφα στον διαλύτη. Το διάλυμα με τον ηλεκτρολύτη ηλεκτρικά είναι ουδέτερο, για να ενεργήσει ο ηλεκτρολύτης θα χρειαστεί η τροφοδοσία τάσης ρεύματος στο διάλυμα, αυτό θα ενεργήσει μετατοπίζοντας τα κατιόντα στο ηλεκτρόδιο που είναι αρνητικά φορτισμένο δηλαδή στο ηλεκτρόδιο που παρουσιάζει την μεγαλύτερη ροή ηλεκτρονίων και τα ανιόντα στο θετικά φορτισμένο ηλεκτρόδιο δηλαδή σε αυτό που παρουσιάζει μικρότερη ροή ηλεκτρονίων. Η ετυμολογία της λέξης ηλεκτρολύτης εξηγεί ακριβώς την λειτουργία της ουσίας, ηλεκτρο + λύτης που σημαίνει πως αφήνει τον ηλεκτρισμό να ρέει ελεύθερα, στη συγκεκριμένη εργασία μέσα από απιονισμένο νερό. Ένα παράδειγμα ενός ηλεκτρολύτη παρατηρείται καθημερινά στην κουζίνα η στο μπάνιο του σπιτιού μας τα οποία συσσωρεύονται στις μεταλλικές επιφάνειες μετά από την εξάτμιση του υγρού μέσου, κυρίως το νερό, από την οποία βρίσκονται διαλυμένα «άλατα» τα οποία αυξάνουν την ηλεκτρική αγωγιμότητα του μέσου.

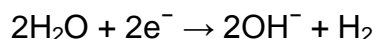
Ο σχηματισμός διαλυμάτων ηλεκτρολυτών γίνεται όταν άλας προστίθεται μέσα σε έναν διαλύτη όπως είναι το νερό τα οποία στην συνέχεια διαχωρίζονται λόγω των θερμοδυναμικών αλληλεπιδράσεων μεταξύ μορίων του διαλύτη και των διαλυμένων ουσιών μέσα σε αυτόν, αυτή η διεργασία αποκαλείται «διαλυτοποίηση». Ένα παράδειγμα αυτής της διαδικασίας είναι το διαλυμένο αλάτι ($NaCl$) μέσα σε νερό, αυτό σημαίνει πως το αλάτι το οποίο είναι στερεό υλικό διαλύεται στο νερό αποδίδοντας έτσι τα ιόντα που το σχηματίζουν. Αυτό μπορεί να εξηγηθεί καλύτερα με την παρακάτω αντίδραση:



Υπάρχει μια κατηγοριοποίηση αυτών των διαλυμάτων που περιέχουν διαλύτες οι οποία διαχωρίζει τα διαλύματα σε «Συγκεντρωμένα» και «Διαλυμένα» που αντίστοιχα εξηγούν την συγκέντρωση των ιόντων αλάτων στο διάλυμα. Στην ηλεκτροχημεία, όταν δυο ηλεκτρόδια τοποθετηθούν σε έναν ηλεκτρολύτη και σε αυτόν δωθεί τάση τότε ο ηλεκτρολύτης θα άγει το ηλεκτρικό ρεύμα, όπως αυτό δεν είναι εφικτό καθώς τα ηλεκτρόνια δεν μπορούν να περάσουν μέσα από τον ηλεκτρολύτη χωρίς να υπάρχει κάποιο άλλο μέσο από το οποίο μπορούν να δημιουργήσουν ένα ηλεκτρικό τόξο, αυτό δηλαδή προϋποθέτει την χρήση την ανόδου και της καθόδου. Αυτό φυσικά ακούγεται πολύ λογικό, όμως δεν είναι το ίδιο με την περίπτωση που υπάρχει χρήση διαλύτη όπου ο ηλεκτρολύτης είναι διαλυμένος μέσα σε αυτόν. Στην περίπτωση που εξετάζεται, στην κάθοδο γίνεται μια χημική αντίδραση η οποία προσδίδει ηλεκτρόνια στον ηλεκτρολύτη.

Στην άνοδο γίνεται άλλη μια χημική αντίδραση όπου καταναλώνει τα ηλεκτρόνια που υπάρχουν μέσα στον ηλεκτρολύτη από την πρώτη αντίδραση που έγινε στην κάθοδο. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να δημιουργείται ένα αρνητικά φορτισμένο νέφος

στον ηλεκτρολύτη γύρω από το την κάθοδο και ένα θετικά φορτισμένο γύρω από την άνοδο. Αυτό το φαινόμενο μαζί με τα ιόντα που υπάρχουν μέσα στον ηλεκτρολύτη κάνουν τα φορτία ουδέτερα και αυτό έχει ως αποτέλεσμα την κίνηση των ηλεκτρονίων από το ένα σημείο στο άλλο (κάθοδος-άνοδος) και την συνέχεια των αντιδράσεων που λαμβάνουν τόπο καθ' όλη την διεργασία της ηλεκτρόλυσης. Κάποια παραδείγματα για την καλύτερη κατανόηση του πειράματος σε αυτή την μέθοδο της ηλεκτρόλυσης είναι με τη χρήση του κοινού αλατιού που υπάρχει σε κάθε νοικοκυριό ($NaCl$), στις παρακάτω αντιδράσεις εμφανίζεται η κίνηση των ηλεκτρονίων σε κάθοδο και άνοδο ανάλογα με το που λαμβάνει μέρος η αντίδραση, για την κάθοδο:



Σε αυτήν την περίπτωση το υδρογόνο θα ξεκινήσει να εμφανίζεται σε μορφή φυσαλίδας στο ηλεκτρόνιο.

Και για την άνοδο:



Σε αυτήν την περίπτωση θα απελευθερωθεί το χλώριο σε αέρια μορφή όπως το υδρογόνο, σαν φυσαλίδα. Τα θετικά φορτισμένα ιόντα νατρίου θα αντιδράσουν προς την κάθοδο και θα εξουδετερώσουν τα αρνητικά φορτία των ιόντων OH^- , τα αρνητικά φορτισμένα ιόντα OH^- θα αντιδράσουν προς την άνοδο όπου θα εξουδετερώσουν τα θετικά φορτία Na^+ . Χωρίς τα ιόντα του ηλεκτρολύτη, τα φορτία γύρω από τα ηλεκτρόδια θα επιβράδυναν την συνεχή ροή των ηλεκτρονίων.

2.1.2 Οξυγόνο – Υδρογόνο

Το οξυγόνο και το Υδρογόνο είναι δυο τελείως διαφορετικά μεταξύ τους άτομα τα οποία συνδέονται αρμονικά σε διάφορες ενώσεις που μπορούν να βρεθούν στην φύση χωρίς την βοήθεια εργαστηριακού εξοπλισμού για την παραγωγή τους. Το υδρογόνο είναι ένα αμέταλλο χημικό στοιχείο με ατομικό αριθμό 1, συμβολίζεται με H και είναι στην πρώτη κύρια ομάδα του περιοδικού πίνακα με ατομική μάζα 1 το οποίο είναι ατομικά αποτελούμενο από 1 πρωτόνιο και 1 ηλεκτρόνιο χωρίς νετρόνια στον πυρήνα του. Το υδρογόνο διαθέτει ένα ηλεκτρόνιο στην στιβάδα s και τείνει να το μοιράζεται σχηματίζοντας μια γκάμα δεσμών.

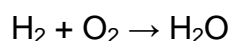
Το οξυγόνο είναι ένα αμέταλλο χημικό στοιχείο με ατομικό αριθμό 8, συμβολίζεται με O και βρίσκεται στην έκτη κύρια ομάδα του περιοδικού πίνακα και αποτελείται από 8 πρωτόνια και 8 νετρόνια στον πυρήνα του. Η ηλεκτρονιακή κατανομή του οξυγόνου είναι $1s^2 2s^2 2p^4$ άρα διαθέτει τα 8 ηλεκτρόνια του στις στιβάδες s και p . Είναι ένα ισχυρό ηλεκτροαρνητικό στοιχείο το οποίο σε σχέση με το υδρογόνο είναι αντίθετης πολικότητας όσον αφορά τα φορτία του και είναι ένα από τα στοιχεία που σχηματίζουν τον «Δεσμό Υδρογόνου», πρόκειται δηλαδή για έναν από τους «δότες» (O, N, F) του δεσμού υδρογόνου μαζί με το Άζωτο (N) και το Φθόριο (F). Στην εξωτερική του στιβάδα p διαθέτει 4 ηλεκτρόνια τα δυο από αυτά είναι δεσμικά και 2 από αυτά αντιδεσμικά με τα οποία σχηματίζει μόρια με άλλα στοιχεία. Το νερό είναι μια τέτοια ένωση που αποτελείται από αυτά τα διατομικά στοιχεία και ο μοριακός του τύπος γράφεται ως H_2O , όταν το οξυγόνο και το υδρογόνο ενωθούν

απελευθερώνεται ενέργεια με αποτέλεσμα νερό (H_2O) ή Υπεροξειδίο του υδρογόνου (H_2O_2). Για να γίνει πιο σωστή η επεξήγηση αυτού του μορίου που σχηματίζεται πρέπει να εξεταστεί ο τρόπος που γίνεται ο σχηματισμός δηλαδή, υπό ποιες συνθήκες, τα προϊόντα που προκύπτουν μαζί με τα θερμικά παράγωγα. Κοιτώντας την δομή του μορίου του νερού που θα σχηματιστεί παρατηρείται πως η τρισδιάστατη μορφή τού είναι:

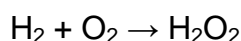


Σχήμα 1: Τρισδιάστατη Μορφή του Μορίου του Νερού (H_2O)

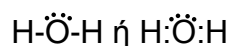
όπου το κόκκινο είναι το Οξυγόνο και τα δυο γκρι κυκλάκια είναι το υδρογόνο και προκύπτει από την αντίδραση. Εδώ προκύπτει το εξής ερώτημα, γιατί:



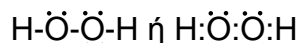
Και όχι:



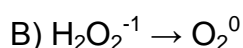
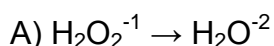
Αυτό συμβαίνει διότι το μόριο του νερού είναι πιο σταθερό από το μόριο του Υπεροξειδίου και στην μορφή Lewis εμφανίζεται ο τρόπος που συνδέονται μεταξύ τους:



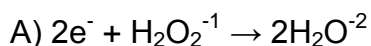
Έτσι γίνεται κατανοητό πως από τα 8 ηλεκτρόνια που διαθέτει το Οξυγόνο τα 4 από αυτά είναι αντιδεσμικά ενώ τα άλλα 4 είναι δεσμικά τα οποία συνδέονται με τα 2 ηλεκτρόνια του $2H$. Ενώ η μορφή του H_2O_2 θα είναι της μορφής:



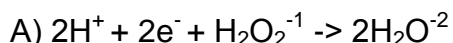
Η μορφή λοιπόν του μορίου του νερού θα είναι πιο σταθερή σε σχέση με του Υπεροξειδίου καθώς ο αριθμός οξειδωσης στο μόριο του νερού του Οξυγόνου θα είναι -2 ενώ στο Υπεροξειδίου θα είναι -1, άρα όσο μεγαλύτερος είναι ο αριθμός οξειδωσης τόσο πιο δυνατός θα είναι ο δεσμός που αναπτύσσεται στην δεύτερη περίπτωση το οξυγόνο θέλει την πιο σταθερή και δυνατή μορφή που μπορεί να πάρει για να μείνει σταθερό στην ένωση δηλαδή να επιτευχθεί ισορροπία άρα από -1 το φορτίο θα θέλει το οξυγόνο να μεταπηδήσει στην πιο σταθερή του μορφή και θα γίνει -2. Πριν γίνει αναφορά στα φορτία, πρέπει να σημειωθεί πως το H_2O_2 είναι ένα οξειδωτικό μέσο που προκαλεί οξειδωση δηλαδή να αποσπάσει ηλεκτρόνια από άλλα στοιχεία και το ίδιο στην συνέχεια ανάγεται. Παρακάτω, για την καλύτερη κατανόηση του πειράματος γίνεται μια εξίσωση με ημιαντιδράσεις οξειδοαναγωγής, οπότε χωρίζονται σε:



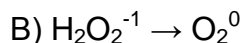
Στην πρώτη περίπτωση ο Αριθμός Οξειδωσης του Οξυγόνου από -1 πήγε στο -2 άρα λέμε ότι υπάρχει Οξειδωση καθώς έχασε ένα ηλεκτρόνιο. Πρέπει όμως να ισοσταθμιστεί η παραπάνω αντίδραση Α με βάση τα ηλεκτρόνια που δέχθηκε το οξυγόνο:



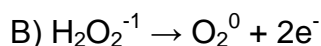
Στην συνέχεια πρέπει να ισοσταθμιστεί ο αριθμός των Υδρογόνων στην Α:



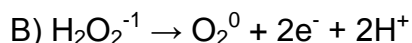
Στο επόμενο βήμα ισοσταθμίζεται η Β όπου το οξυγόνο Ανάγεται καθώς έχει πάρει ένα ηλεκτρόνιο, όταν ένα στοιχείο είναι μόνο του σε ημιαντίδραση οξειδοαναγωγής τότε αυτό έχει Αριθμό οξείδωσης ίσο με το 0, άρα:



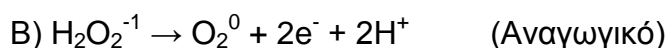
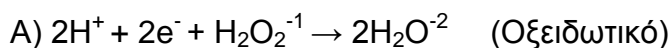
Ισοσταθμίζονται τα ηλεκτρόνια της Β:



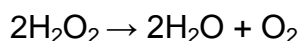
Και επειδή υπάρχουν δυο υδρογόνα θα πρέπει να ισοσταθμιστούν και αυτά για να είναι σωστή η ημιαντίδραση:



Τέλος, το αποτέλεσμα:



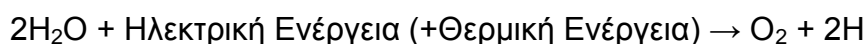
Το Υπεροξείδιο είναι μια μη σταθερή ένωση καθώς ακόμη και το ηλιακό φως μπορεί να το διασπάσει σε:



Βέβαια ο ρυθμός διάσπασης του αυξομειώνεται ανάλογα με την θερμοκρασία που βρίσκεται, σε θερμοκρασία δωματίου η διάσπαση είναι χαμηλή ενώ σε υψηλότερες θερμοκρασίες αυξάνεται.

2.1.3 Διαδικασία της Ηλεκτρόλυσης του νερού

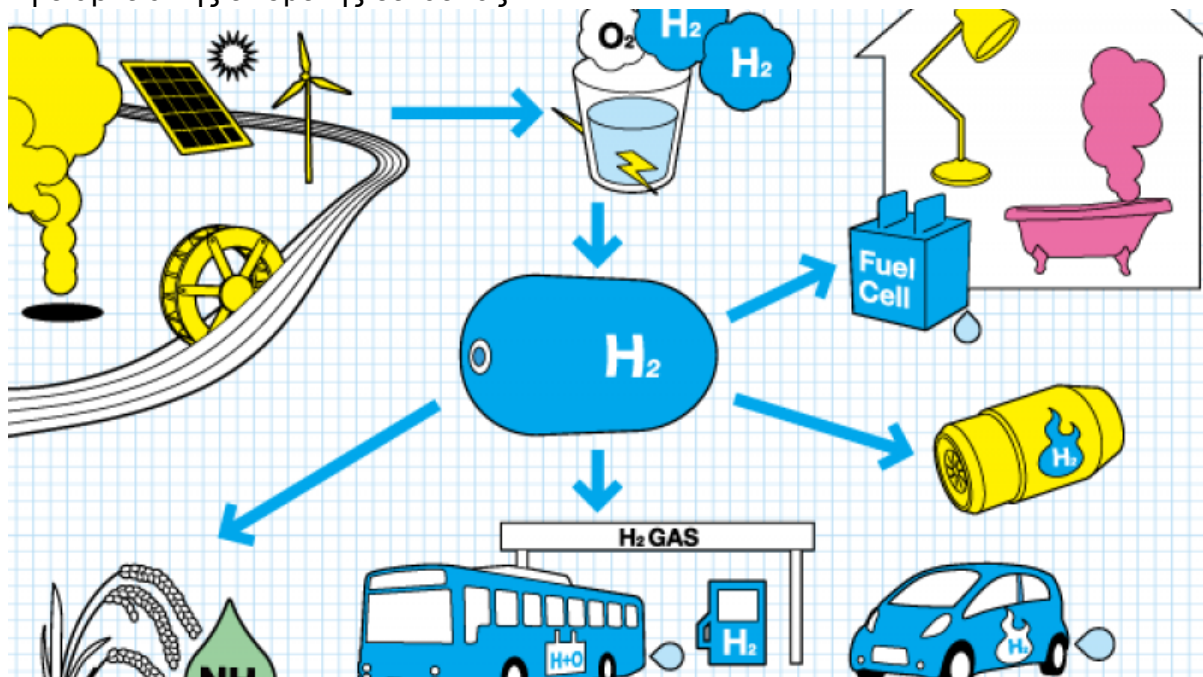
Πιο συγκεκριμένα, στην ηλεκτρόλυση του νερού, H_2O , γίνεται αποδόμηση αυτού του μορίου σε ηλεκτρικά θετικά φορτισμένο Υδρογόνο και σε αρνητικά φορτισμένο Οξυγόνο το οποίο επιτυγχάνεται με την κίνηση δημιουργία ενός ηλεκτρικού τόξου μεταξύ θετικά φορτισμένου ηλεκτροδίου και αρνητικά φορτισμένου ηλεκτροδίου και με την παραγωγή θερμότητας ταυτόχρονα. Όλα αυτά μπορούν να εξηγηθούν καλύτερα με την παρακάτω αντίδραση:



Πρέπει να σημειωθεί βέβαια ότι το σύνολο της ενέργειας που απαιτείται για την ηλεκτρόλυση του νερού με την θερμοκρασία αυξάνετε ελάχιστα, ενώ η απαιτούμενη ηλεκτρική ενέργεια μειώνεται. Γι' αυτό τον λόγο και δεν είναι προτιμητέα η διεργασία της ηλεκτρόλυσης σε υψηλές θερμοκρασίες, όταν δηλαδή υπάρχει διαθέσιμη θερμότητα υψηλής θερμοκρασίας.

Η ηλεκτρόλυση του νερού σήμερα είναι από τις ακριβότερες διεργασίες παραγωγής του υδρογόνου κυρίως για τον λόγο ότι απαιτείται μία σημαντική ποσότητα

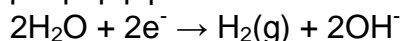
ηλεκτρικής ενέργειας. Αυτό το γεγονός όμως έχει αρχίσει να εξαλείφεται και το κόστος έχει αρχίσει να μειώνεται και μειώνεται συνεχώς, λαμβάνοντας υπόψη την υψηλή απόδοση των νέων συστημάτων και την ένταξη των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας οι οποίες είναι δυνατό να συνδυαστούν με την ηλεκτρόλυση του νερού. Μπορεί να γίνει συνδυασμός δυο τεχνολογιών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, (πρόκειται για μετατροπή από κινητική σε ηλεκτρική) την ηλιακή και αιολική ενέργεια, παρόλο που το κόστος και πάλι είναι υψηλό, αλλά αναμένεται να μειωθεί πολύ κατά τη διάρκεια της επόμενης δεκαετίας.



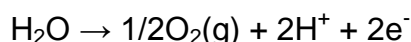
Εικόνα 3: Παραγωγή και χρησιμοποίηση του παραγόμενου υδρογόνου

Το Υδρογόνο με την μέθοδο της ηλεκτρόλυσης παράγεται επιτόπου και κατά παραγγελία. Δεν απαιτείται ούτε η μεταφορά του αλλά ούτε και η αποθήκευσή του, κάνοντας το έτσι οικονομικά βιώσιμο και ανταγωνιστικό. Το νερό μπορεί να διασπαστεί απλά περνώντας ηλεκτρικό ρεύμα μέσα από αυτό, όταν αυτό συμβαίνει τα ηλεκτρόνια από το ηλεκτρικό ρεύμα προκαλούν μια οξειδοαναγωγική αντίδραση. Στο ένα ηλεκτρόδιο, που ονομάζεται κάθοδος, τα ηλεκτρόνια περνούν μέσα στο υγρό διάλυμα και προκαλούν αναγωγή. Στο άλλο ηλεκτρόδιο, που ονομάζεται άνοδος, τα ηλεκτρόνια εξέρχονται από το υγρό διάλυμα ολοκληρώνοντας έτσι το ηλεκτρικό κύκλωμα και προκαλούν οξείδωση. Για να μπορεί να πραγματοποιηθεί η ηλεκτρόλυση στο υγρό διάλυμα αυτό πρέπει να μπορεί να άγει το ηλεκτρικό ρεύμα. Το καθαρό νερό είναι ένας πολύ κακός αγωγός του ηλεκτρισμού, για να αντιμετωπιστεί αυτό θα προστεθούν ηλεκτρολύτες στο νερό, οι οποίοι αποτελούνται κυρίως από άλατα, έτσι ώστε το νερό να μπορεί να άγει τον ηλεκτρισμό πολύ καλύτερα, άρα ενισχύεται την αγωγιμότητα αναμιγνύοντας στο νερό στοιχεία που άγουν καλύτερα το ηλεκτρικό ρεύμα, αυτά θα αναφερθούν και να εξηγηθούν καλύτερα στο κεφάλαιο με τους ηλεκτρολύτες. Ωστόσο, πρέπει να αναφερθεί πως με την προσθήκη ηλεκτρολύτη στο διάλυμα παρουσιάζεται ένα άλλο πρόβλημα. Ορισμένοι από τους ηλεκτρολύτες που μπορούν να προστεθούν στο νερό ηλεκτρολύονται ευκολότερα από το νερό. Ιόντα θείου δεν μπορούν να

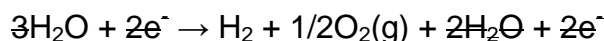
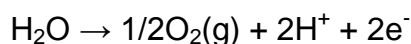
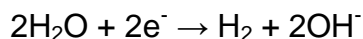
ηλεκτρολυθούν τόσο εύκολα όσο το νερό οπότε χρησιμοποιούνται για την ενίσχυση της αγωγιμότητας του νερού. Για την καλύτερη κατανόηση της ηλεκτρόλυσης που λαμβάνει μέρος, στο ένα από τα δυο ηλεκτρόδια υπάρχει η παροχή των ηλεκτρονίων συνδεδεμένο με μια πηγή (μπαταρία, φωτοβολταϊκό κτλ.) και στο άλλο ηλεκτρόδιο την έξοδο αυτών, στην κάθοδο λαμβάνει μέρος η εξής αναγωγική αντίδραση παράγοντας υδρογόνο σε αέρια μορφή:



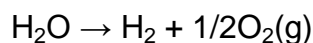
Επομένως, στο άλλο ηλεκτρόδιο, δηλαδή στην άνοδο, τα ηλεκτρόνια απομακρύνονται από το νερό και εισέρχονται στο ηλεκτρόδιο που όπως αναφέρεται αυτό ολοκληρώνει το κύκλωμα. Σε αυτό το ηλεκτρόδιο, στην άνοδο, το νερό οξειδώνεται:



Εφόσον η οξειδωση δεν μπορεί να συμβεί χωρίς την αναγωγή, αυτές οι δύο (ημιαντιδράσεις) πρέπει να γίνουν ταυτόχρονα. Αν προστεθούν και σβηστούν οι όμοιοι όροι τότε η ολοκληρωμένη αντίδραση που θα προκύπτει θα είναι:



Και προκύπτει η απάντηση:



Όπου συμπεραίνεται από το αποτέλεσμα της οξειδοαναγωγικής αντίδρασης πως με την ηλεκτρόλυση του νερού προκύπτουν 2 άτομα υδρογόνου και μισό οξυγόνου άρα θα έχει την διπλάσια παραγωγή αερίου υδρογόνου σε σχέση με αυτή του οξυγόνου.

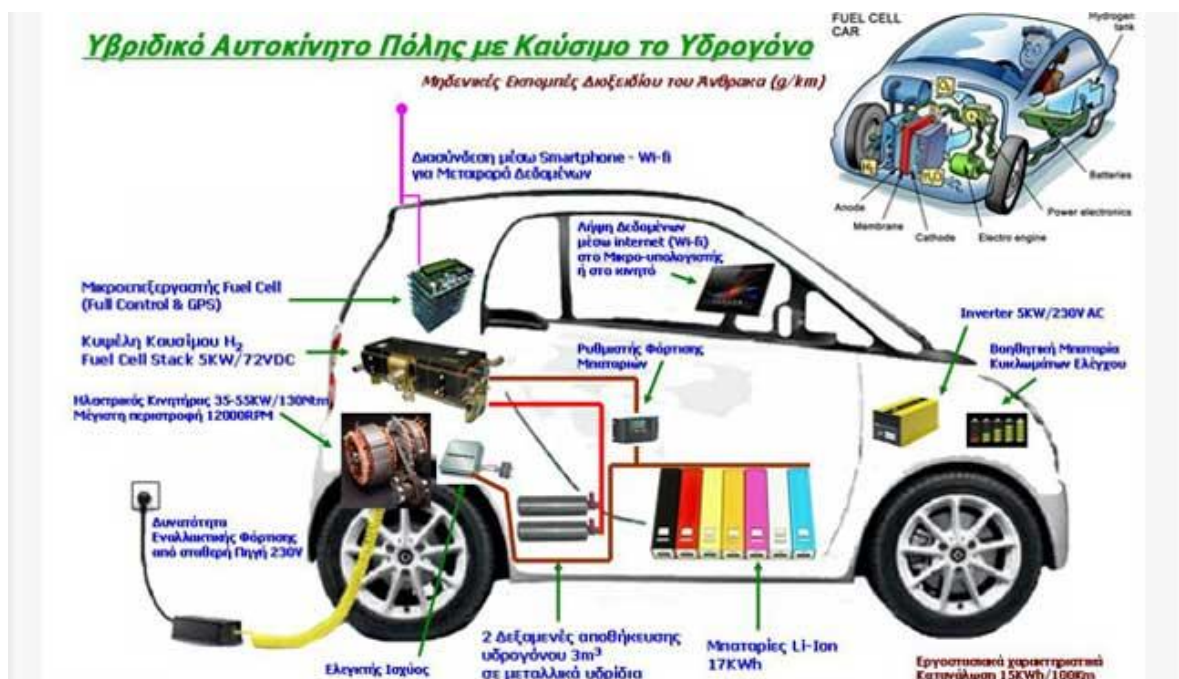
2.2 Εφαρμογές

Το υδρογόνο σύμφωνα με το δελτίο τύπου του Κέντρου Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (Κ.Α.Π.Ε), έχει κυρίως βιομηχανική χρήση ενώ οι ενεργειακές χρήσεις του αποτελούν ελάχιστο ποσοστό. Τα διυλιστήρια καταναλώνουν περίπου το 37% ενώ η βιομηχανία αμμωνίας περίπου το 50% του παραγόμενου υδρογόνου. Ο Βασικός όμως ενεργειακός χρήστης του υδρογόνου είναι η διαστημική βιομηχανία. Το υδρογόνο μπορεί να χρησιμοποιηθεί επίσης σαν εναλλακτικό καύσιμο σε πολλές τεχνολογίες καύσης, ειδικά τροποποιημένων, όπως καταλυτικούς καυστήρες, λέβητες αερίου, αεροστροβίλους και κινητήρες εσωτερικής καύσης. Κατά την καύση του υδρογόνου παράγεται νερό αλλά λόγω των υψηλών θερμοκρασιών καύσης, παράγονται και οξειδία του αζώτου. Αυτή την στιγμή υπάρχουν τρεις γνωστοί μέθοδοι παραγωγής υδρογόνου. Μία μέθοδος είναι η αναμόρφωση υδρογονανθράκων με ατμό (κυρίως Φυσικό Αέριο). Στη συνέχεια, η μέθοδος της μερικής οξειδωσης – αεριοποίησης βαρέων υδρογονανθράκων (κυρίως το

πετρέλαιο). Η Τρίτη μέθοδος είναι αυτή στην οποία θα γίνει αναφορά και ανάλυση της μεθόδου της ηλεκτρόλυσης του νερού.

Για την παραγωγή υδρογόνου από αναμόρφωση υδρογονανθράκων, καταναλώνεται περίπου το 20-30% του υδρογονάνθρακα και εκλύονται συνεπώς αέρια του «θερμοκηπίου». Το πρόβλημα της ρύπανσης παραμένει και στην περίπτωση της ηλεκτρόλυσης, εφόσον η ηλεκτρική ενέργεια προέρχεται από ορυκτά καύσιμα. Εάν όμως η ηλεκτρική ενέργεια έχει παραχθεί από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας, τότε κατά την παραγωγή του υδρογόνου εκλύονται μηδενικοί ρύποι. Οι κυψελίδες καυσίμου είναι μία σχετικά πρόσφατη τεχνολογία που επιτρέπει μέσω ηλεκτροχημικής αντίδρασης την παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος, με μόνο υποπροϊόν το νερό. Η λειτουργία τους είναι αντίστροφη από αυτή μιας ηλεκτρολυτικής μονάδας και προσομοιάζει τη λειτουργία μιας μπαταρίας, με τη διαφορά ότι δεν έχει τον περιορισμό της εξάντλησης του καυσίμου. Θέματα απεξάρτησης από εισαγόμενους υδρογονάνθρακες αφ' ενός αλλά και μείωσης των περιβαλλοντικών επιπτώσεων από τη χρήση ορυκτών καυσίμων αφ' ετέρου, οδηγούν στο συμπέρασμα ότι στο μέλλον το υδρογόνο που θα παράγεται από ΑΠΕ θα παίξει σημαντικό ρόλο:

- μεσοπρόθεσμα, ως μέσο αποθήκευσης ενέργειας
- μακροπρόθεσμα, ως καθαρό καύσιμο για αποκεντρωμένη παραγωγή ενέργειας (ηλεκτρική ή και για θέρμανση) ή για τις μεταφορές (καύσιμο στα αυτοκίνητα).



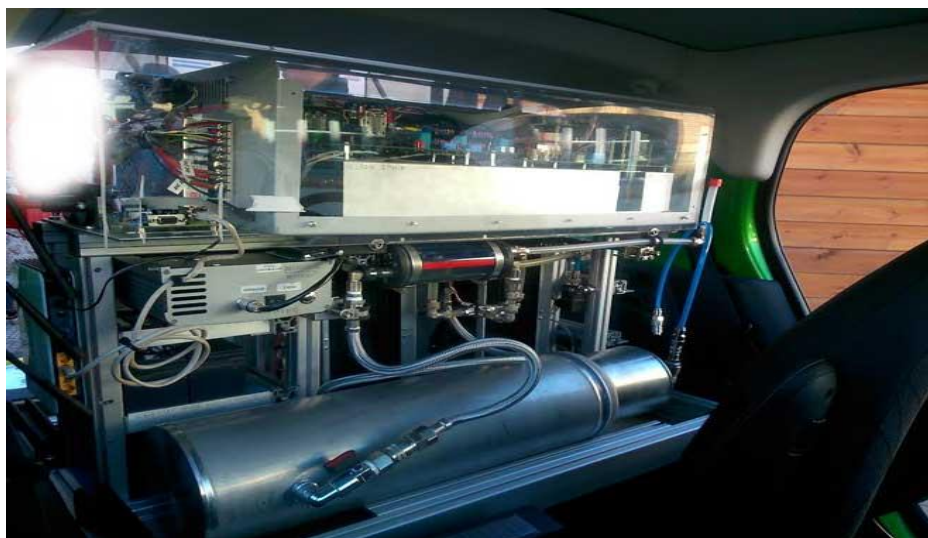
Εικόνα 4: Υβριδικό Αυτοκίνητο με Καύσιμο το Υδρογόνο

Στις φωτογραφίες πάνω και κάτω εμφανίζονται οι εικόνες όπου απεικονίζεται η Ελληνική Πατέντα Ελλήνων μαθητών το « Υβριδικό Ηλεκτρο – Υδρογόνο – κίνητο Αυτοκίνητο». Πρόκειται για ένα έργο του τομέα Ηλεκτρολόγων του δ/ου ΕΠΑ.Λ Ηρακλείου με την σύμπραξη των καθηγητών και των μαθητών όλων των Τομέων του σχολείου αλλά και την πολύτιμη οικονομική αρωγή του Δήμου Ηρακλείου.

Το αυτοκίνητο του Μέλλοντος δεν καταναλώνει καύσιμα (βενζίνη ή πετρέλαιο) που ρυπαίνουν το περιβάλλον και είναι αθόρυβο στη λειτουργία του. Στη θέση του ρεζερβουάρ των συμβατικών αυτοκινήτων έχει υποδοχή για την ηλεκτρική φόρτιση του. Η καινοτομία όμως δεν είναι εκεί αλλά στην μονάδα Κυψέλης Υδρογόνου που κατασκευάστηκε και από την οποία φορτίζεται το ηλεκτρικό αυτοκίνητο. Η μονάδα αυτή μπορεί να βρίσκεται μέσα στο αυτοκίνητο (στο πορτ μπαγκαζ) παρέχοντας πλήρη αυτονομία στην κίνηση του, προσεγγίζοντας πολλαπλάσια χιλιομετρική απόσταση από την εργοστασιακή. Η μονάδα αυτή είναι ένα πλήρες σύστημα Ηλεκτρονικού και Ηλεκτρο-μηχανολογικού ελέγχου, με όλα τα συστήματα ασφαλείας, καθώς επίσης και ένα ενσωματωμένο σύστημα πλοήγησης το οποίο μπορεί να επικοινωνεί με τοπικές και απομακρυσμένες κινητές συσκευές, μεταφέροντας δεδομένα και λειτουργικά στοιχεία μέσω internet. Το καύσιμο που χρησιμοποιεί είναι το Υδρογόνο το οποίο βρίσκεται αποθηκευμένο σε δύο φιάλες υδριδίων μετάλλων. Μέσω της Κυψέλης καυσίμου και ενός τροποποιημένου Inverter DC/AC πετυχαίνεται η ηλεκτρική φόρτιση του αυτοκινήτου.

Τα εργοστασιακά χαρακτηριστικά του αυτοκινήτου είναι τα ακόλουθα:

- Ισχύς ηλεκτροκινητήρα 35 kW
- Ροπή 130 Nm με Μέγιστη περιστροφή 12.000 RPM
- Κατανάλωση 15 kWh / 100 km
- Μέγιστη ταχύτητα 125 km
- Επιτάχυνση 0 – 60 km/h σε 5 sec & 0 – 100 km/h σε 12 sec
- Εργοστασιακή Αυτονομία 150 km (+ 450 km με την λειτουργία του Fuel Cell stack)
- Ισχύς Inverter 5 kW / 230V AC
- Ισχύς κυψέλης καυσίμου H₂ 5 kW / 72 V DC.
- Δύο φιάλες υδριδίων μετάλλων για την αποθήκευση του υδρογόνου, χωρητικότητας 2 x 3m³.



Εικόνα 5: Μονάδα Κυψέλης Υδρογόνου στο αυτοκίνητο

Αξίζει να σημειωθεί ότι το χρησιμοποιούμενο υδρογόνο της μονάδας προέρχεται από Ηλεκτρόλυση του Νερού (H₂O) μέσω Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας(ΑΠΕ) και συγκεκριμένα από φωτοβολταϊκά πάνελ. Έτσι το σύστημα είναι φιλικό προς το Περιβάλλον αφού αποτελεί καθαρή πηγή ενέργειας, χωρίς να μολύνει το περιβάλλον

τόσο κατά την διαδικασία παραγωγής του Υδρογόνου όσο και κατά την κίνηση του μέσα στην πόλη. Το συγκεκριμένο έργο εντάσσεται στα πλαίσια των Εκπαιδευτικών Δραστηριοτήτων της Δευτεροβάθμιας Επαγγελματικής Εκπαίδευσης, σκοπός των οποίων είναι οι μαθητές με την καθοδήγηση των Καθηγητών να υλοποιούν καινοτόμες δράσεις και κατασκευές αξιοποιώντας τις γνώσεις και την τεχνογνωσία που αποκομίζουν από τη φοίτηση τους στο Επαγγελματικό Λύκειο.

Μέσα από τα προγράμματα αυτά οι μαθητές αναδεικνύουν τεχνικές δεξιότητες σε πρωτοποριακά Συστήματα Παραγωγής, Ελέγχου και Αυτοματισμού με στόχο να μπορούν να ανταπεξέλθουν στις προκλήσεις της σύγχρονης αγοράς εργασίας και των προηγμένων τεχνολογικών επιτευγμάτων. » Υπό αυτό το σκεπτικό, η ευρωπαϊκή βιομηχανία έχει αποδοθεί σε έναν αγώνα δρόμου για να πλησιάσει τις ΗΠΑ και την Ιαπωνία στις τεχνολογίες για παραγωγή – χρήση υδρογόνου. Αντίστοιχα, η Ευρωπαϊκή Επιτροπή έχει σαν θέμα πρώτης προτεραιότητας την Έρευνα και Ανάπτυξη στο χώρο αυτό. Ορισμένες χώρες πλούσιες σε δυναμικό ΑΠΕ όπως η Νορβηγία και η Ισλανδία, έχουν ξεκινήσει σημαντικά εθνικά προγράμματα για την παραγωγή, χρήση και εξαγωγή υδρογόνου σε άλλες χώρες. Σε αυτό το ανταγωνιστικό περιβάλλον, η Ελλάδα δεν πρέπει να μείνει ουραγός και εν τέλει αποδέκτης τεχνολογιών που θα παράγονται στο εξωτερικό. Τμήματα του εξοπλισμού για την παραγωγή (ηλεκτρολυτική μονάδα) και χρήση του υδρογόνου (κυψελίδες καυσίμου) θα μπορούσαν να κατασκευαστούν στην Ελλάδα. Επιπλέον, εκτιμάται ότι στην «εποχή του υδρογόνου», η Ελλάδα θα μπορεί να παίξει έναν σημαντικό ρόλο σαν προμηθευτής του καυσίμου αυτού, μια και είναι προικισμένη με πλούσιο δυναμικό ΑΠΕ. Σε μία τέτοια εθνική προσπάθεια, σημαντικός είναι ο ρόλος του ΚΑΠΕ, το οποίο σαν Εθνικό Συντονιστικό Κέντρο για τις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας και την Ορθολογική Χρήση Ενέργειας, προχωρεί στην εξασφάλιση ελληνικής τεχνογνωσίας στις τεχνολογίες υδρογόνου μέσω της απόκτησης και λειτουργίας:

- εργαστηριακού εξοπλισμού για την παραγωγή υδρογόνου από ΑΠΕ,
- εξοπλισμού «βιομηχανικής κλίμακας» για την παραγωγή υδρογόνου από ηλιακή ή αιολική ενέργεια,
- εξοπλισμού για την αποθήκευση - μεταφορά και καθαρή χρήση του υδρογόνου (κυψελίδες καυσίμου) και
- μέσω της ανάπτυξης τεχνογνωσίας, λογισμικού και εξοπλισμού ή τμημάτων εξοπλισμού για την παραγωγή και χρήση υδρογόνου σε ενεργειακές εφαρμογές, στις μεταφορές, τη βιομηχανία ή στα κτίρια.

Η εμπειρία και ο ανωτέρω εξοπλισμός επιδιώκεται να αποκτηθούν μέσω ανταγωνιστικών προγραμμάτων της ΕΕ, εθνικών προγραμμάτων ή μέσω ιδίων κεφαλαίων. Μεταξύ άλλων, μέσω της Δ/σης ΑΠΕ και των Τμημάτων Υδρογόνου και Φωτοβολταϊκών Συστημάτων το ΚΑΠΕ συμμετέχει στα ακόλουθα ερευνητικά έργα της Ευρωπαϊκής Κοινότητας:

Α) Ανάπτυξης ενός συστήματος απρόσκοπτης λειτουργίας εφαρμογών τηλεπικοινωνιών (π.χ. αναμεταδότες κινητής τηλεφωνίας), με χρήση τεχνολογιών

υδρογόνου. Πρόκειται για ένα σύστημα που μπορεί να καλύψει φορτίο 5 kW για διακοπές ρεύματος διάρκειας έως 5 ώρες.



Εικόνα 6: Το "Upp" φορητός φορτιστής smartphone και tablet με κυψέλες υδρογόνου

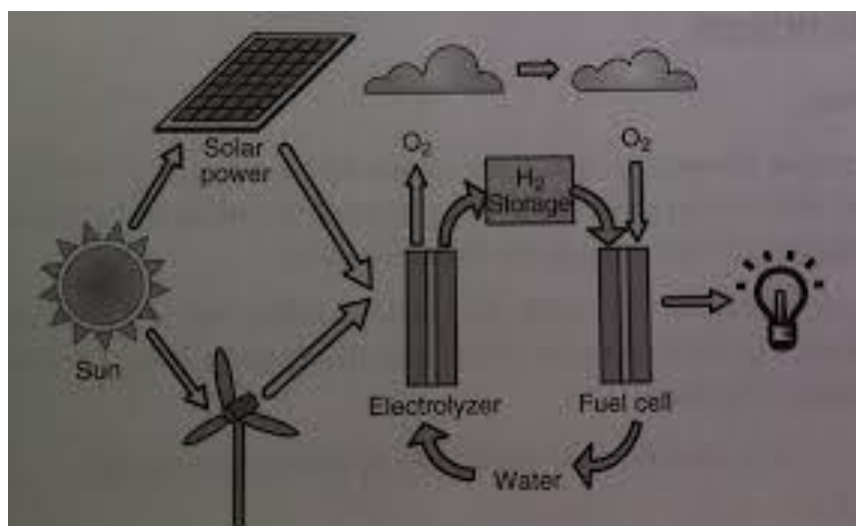
Την παραπάνω συσκευή – κυψέλη καυσίμου υδρογόνου την ανέπτυξε μία βρετανική εταιρεία. Είναι αρκετά φθηνή ώστε να μπορεί κάποιος να την αποκτήσει εύκολα και να την έχει μαζί του όποτε την έχει ανάγκη χρησιμοποιώντας την σε περιπτώσεις έκτακτης ανάγκης αφού δεν χρειάζεται να μπει στην πρίζα. Η ονομασία του είναι Upp και στην ουσία είναι ένας φορητός φορτιστής έξυπνων κινητών τηλεφώνων και tablets που τροφοδοτείται από κυψέλες καυσίμου υδρογόνου.

Β) Αντικατάστασης των συσσωρευτών που χρησιμοποιούνται σήμερα σε κινητά τηλέφωνα με αντίστοιχες τεχνολογίες υδρογόνου (αποθήκευση / παραγωγή υδρογόνου μέσω οξειδοαναγωγής δύο στερεών και χρήση υδρογόνου σε κυψέλες καυσίμου).



Εικόνα 7: Κυψέλες Καυσίμου Υδρογόνου ως αντικατάσταση των σημερινών συσσωρευτών στις φορητές συσκευές

Γ) Μελέτης της αγοράς σχετικά με την εφαρμογή τεχνολογιών υδρογόνου σε αποκεντρωμένα ηλεκτρικά συστήματα έως 200 kW ισχύος, τα οποία έχουν ενσωματωμένες τεχνολογίες ΑΠΕ.



Εικόνα 8: Διάγραμμα ροής λειτουργίας κα παραγωγής κυψέλης υδρογόνου με τη χρήση Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας

2.3 Κίνδυνοι

Το Υδρογόνο είναι άχρωμο και άγευστο αέριο. Η πυκνότητά του είναι 0.0899 g/L, πράγμα που το καθιστά πολύ πιο ελαφρύ από τον αέρα. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα κατά την ελευθέρωση του σε ατμοσφαιρικές συνθήκες να διαχέεται πάρα πολύ γρήγορα. Για το ενεργειακό περιεχόμενο του υδρογόνου πρέπει να σημειωθεί πως έχει το μεγαλύτερο ενεργειακό περιεχόμενο σε σχέση με το βάρος, σε σύγκριση με όλα τα υπόλοιπα συμβατικά καύσιμα. Συγκεκριμένα, αναγνωρίζεται ότι 1 kg υδρογόνου περιέχει το ίδιο ποσό ενέργειας όσο περιέχουν 2.1 kg φυσικού αερίου και 2.8 kg βενζίνης. Λόγω όμως του ότι έχει την μικρότερη πυκνότητα σε σχέση με τα υπόλοιπα συμβατικά καύσιμα όταν η αναγωγή του ενεργειακού περιεχομένου γίνεται με βάση τον όγκο αποθήκευσης οι όροι αντιστρέφονται. Στην καλύτερη περίπτωση το υδρογόνο στην υγρή του μορφή έχει ενεργειακό περιεχόμενο 2.36 kWh/L την στιγμή που το φυσικό αέριο περιέχει 5.8 kWh/L και η βενζίνη φτάνει τα 8.76 kWh/L. Το Υδρογόνο καίγεται μόνο όταν αυτό βρίσκεται σε αέρια μορφή και η θερμοκρασία της φλόγας φτάνει τους 2.318 °K.

Ως μέσο αποθήκευσης ενέργειας χρησιμοποιείται σε τρεις διαφορετικές μορφές: Σε υγρή μορφή, σε αέρια μορφή και σε στερεή μορφή. Οι παράγοντες επικινδυνότητας για τον κάθε ένα από τους τρεις διαφορετικούς τύπους διαφέρουν λίγο μεταξύ τους. Θα παρατεθούν παρακάτω οι παράγοντες επικινδυνότητας για τους δυο τύπους της αέριας και της υγρής μορφής. Στην Αέρια μορφή παρουσιάζονται οι εξής παράγοντες επικινδυνότητας με την περιγραφή τους στον Πίνακα 1.

Πίνακας 1: Παράγοντες Επικινδυνότητας Αέριο Υδρογόνου

Φυσικές ιδιότητες οι οποίες πρέπει να λαμβάνονται υπόψη στα θέματα ασφάλειας	<ul style="list-style-type: none"> •Ελαφρύτερο του αέρα •Υψηλή διαχυτικότητα •Εμφάνιση στατικού ηλεκτρισμού κατά την ροή. •Μικρό ιξώδες (μπορεί να διαρρεύσει εύκολα) •Άγευστο άχρωμο - άοσμο αέριο
Πίεση	<ul style="list-style-type: none"> •Αποθήκευση σε υψηλές πιέσεις (200 bar ή και μεγαλύτερη) η οποία μπορεί να επιφέρει επικίνδυνες ρωγμές και σπασίματα •Οι ατέλειες των σωληνώσεων του δικτύου προκαλούν φαινόμενα διαρροής. •Απομάκρυνση του οξυγόνου σε κλειστούς χώρους. •Η μη ελεγχόμενη εκτόνωση της πίεσεως του αερίου μπορεί να προκαλέσει καταστροφές όχι μόνο σε δομικά στοιχεία αλλά και σε ανθρώπους (κάψιμο δέρματος)
Χημικές ιδιότητες	<ul style="list-style-type: none"> •Ιδιαίτερα εύφλεκτο χωρίς ιδιαίτερα λαμπερή φλόγα κατά την καύση του και δεν παράγονται τοξικά προϊόντα. •Σχηματίζει εύφλεκτο μίγμα σε συγκεντρώσεις από 4%- 74% κατ' όγκο. •Σε συγκεντρώσεις από 18%-60% κατ' όγκο σχηματίζει ιδιαίτερα επικίνδυνα εκρηκτικά μίγματα. •Έχει χαμηλή ενέργεια έναυσης , από 0.02mJ έως και 1 mJ •Η θερμοκρασία αυτανάφλεξης είναι 574°C.
Θερμοκρασία	<ul style="list-style-type: none"> •Μπορεί να αποθηκευτεί σε θερμοκρασίες περιβάλλοντος
Συμβατότητα με άλλα υλικά	<ul style="list-style-type: none"> •Μπορεί να προκαλέσει ψαθυρή θραύση των μετάλλων •Μπορεί να προκαλέσει ψαθυρή θραύση των πλαστικών

Οι παράγοντες επικινδυνότητας με την περιγραφή τους για την υγρή του μορφή είναι οι εξής στον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 2: Παράγοντες Επικινδυνότητας Υγρού Υδρογόνου

Φυσικές ιδιότητες οι οποίες πρέπει να λαμβάνονται υπόψη στα θέματα ασφάλειας	<ul style="list-style-type: none"> •Εξαερώνεται (βράζει) που εύκολα εκπέμποντας θερμότητα και στην συνέχεια ως αέριο, είναι ελαφρύτερο του αέρα. •Εμφάνιση στατικού ηλεκτρισμού κατά την ροή. •Η πολύ γρήγορη μετατροπή της υγρής φάσης σε αέρια μπορεί να προκαλέσει φαινόμενα έκρηξης. •Το υδρογόνο σε υγρή μορφή μολύνεται εύκολα συμπυκνώνοντας τα αέρια του περιβάλλοντος χώρου όταν έρχεται σε επαφή απευθείας επαφή μαζί τους. •Είναι άχρωμο-άγευστο-άοσμο.
Πίεση	<ul style="list-style-type: none"> •Αποθηκεύεται κάτω από κανονικές πιέσεις (από 1- 20 bar)
Χημικές ιδιότητες	<ul style="list-style-type: none"> •Οι ίδιες με του αέριου υδρογόνου μόνο που όταν εξαερώνεται το αέριο είναι σε πολύ χαμηλή θερμοκρασία.
Θερμοκρασία	<ul style="list-style-type: none"> •Επειδή είναι σε κρυογενική μορφή η απότοκη επαφή προκαλεί εγκαύματα και κυρίως στα μάτια •Πιθανόν παρουσία χαμηλών θερμοκρασιών δίπλα σε αυτές τις εγκαταστάσεις •Η συμπύκνωση του αέρα γύρω από αυτές τις εγκαταστάσεις δημιουργεί περιοχές όπου ο ατμοσφαιρικός αέρας είναι πλούσιος σε οξυγόνο.
Συμβατότητα με υλικά	<ul style="list-style-type: none"> •Μπορεί να προκαλέσει ψαθυρή θραύση των μετάλλων •Επιπλέον τάσεις-φορτία δημιουργούνται όταν υπάρχουν θερμικές συστολές •Οι χυτοσίδηροι και οι απλοί χάλυβες δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε τόσο χαμηλές θερμοκρασίες •Τα υλικά θα πρέπει να είναι κατάλληλα για χαμηλές θερμοκρασίες

Στην συνέχεια, θα αναλυθούν οι κίνδυνοι σε εγκαταστάσεις υδρογόνου. Οι εγκαταστάσεις αποθήκευσης και διακίνησης υγρών και αέριων καυσίμων η κυριότερη

αιτία για κάθε ατύχημα μικρής ή μεγάλης έκτασης είναι η διαφυγή κάποιας ποσότητας καυσίμου, είτε υγρής είτε αέριας μορφής στην ατμόσφαιρα. Αυτές οι διαρροές πιθανόν να οφείλονται είτε σε αστοχίες των δεξαμενών, είτε των σωληνώσεων ή και άλλων εξαρτημάτων της εγκατάστασης, μέσα στις οποίες αποθηκεύεται και διακινείται. Στις εγκαταστάσεις μεταφοράς και αποθήκευσης υδρογόνου τα μέρη του εξοπλισμού που εμφανίζουν συνηθέστερα διαρροές είναι τα εξής:

- Σωληνώσεις Αγωγοί
- Φλαντζωτοί σύνδεσμοι
- Κοχλιωτές συνδέσεις μικρής διαμέτρου
- Βάνες
- Συνδέσεις γραμμών αποστράγγισης
- Ασφαλιστικά με εκροές στην ατμόσφαιρα
- Βραχίονες φόρτωσης (loading arms)

Για την περίπτωση της υγρής και της αέριας αποθήκευσης του υδρογόνου η διαρροή από τα τοιχώματα των δεξαμενών είναι πολύ σπάνια. Το είδος και ο ρυθμός της εκροής δηλ. αν θα είναι υγρό ή αέριο εξαρτώνται κυρίως από το μέγεθος και την θέση του ανοίγματος αλλά και από τις συνθήκες που επικρατούν στο σημείο της εκροής. Έχει παρατηρηθεί όμως ότι οι μεγαλύτεροι ρυθμοί διαρροών, συμβαίνουν κατόπιν πλήρους ρήξεως των γραμμών (guillotine rupture) στα σημεία σύνδεσης τους, με τις δεξαμενές ή τους συμπιεστές του υδρογόνου. Οι απαραίτητες προϋποθέσεις που χρειάζονται για να εκδηλωθεί κάποιο ατύχημα σε μία εγκατάσταση υδρογόνου είναι τρείς:

- A) Εμφάνιση διαρροής
- B) Παρουσία Οξυγόνου
- Γ) Παρουσία κάποιας πηγής έναυσης (σπίθας) στον γύρο χώρο

Τα πιο πιθανά σενάρια των επιπτώσεων έπειτα από κάποιο ατύχημα είναι τα εξής ανάλογα με το μέγεθος και το είδος της διαρροής:

- A) Το διαρρέον οξυγόνο να διαλυθεί στην ατμόσφαιρα χωρίς να δημιουργήσει κανένα πρόβλημα
- B) Να εμφανιστεί κάποια μικρής ή μεγάλης έκτασης φωτιά
- Γ) Να γίνει κάποιου είδους έκρηξη

Η ανάφλεξη του υδρογόνου μπορεί να συμβεί σε συνθήκες κανονικής θερμοκρασίας στον περιβάλλοντα αέρα, όταν βρίσκεται σε συγκεντρώσεις μεταξύ 4 – 75%, ενώ είναι δυνατόν να παρουσιαστούν φαινόμενα έκρηξης όταν αυτό βρίσκεται σε συγκεντρώσεις από 15 – 59%. Θα πρέπει να αναφερθεί επίσης ότι όταν η θερμοκρασία του αέριου μίγματος ξεπεράσει τους 585 °C τότε το υδρογόνο αναφλέγεται από μόνο του χωρίς την παρουσία κάποιας πηγής έναυσης. Ο Χώρος επίσης είναι ένας πάρα πολύ σημαντικός παράγοντας στην περίπτωση κάποιου ατυχήματος, δηλαδή αν αυτό τύχει και συμβεί σε ανοικτό ή σε κλειστό χώρο. Με

βάση τα αποτελέσματα ερευνών τα οποία έχουν πραγματοποιηθεί από άποψη επικινδυνότητας το υδρογόνο θεωρείται ότι σε σχέση με το πετρέλαιο και την μεθανόλη είναι λιγότερο επικίνδυνο όταν βρίσκεται σε ανοικτό χώρο. Στην περίπτωση όμως που θα βρίσκεται σε κλειστό χώρο και χωρίς καλό εξαερισμό αυτό αντιστρέφεται δραματικά.

Θα δοθεί ένα παράδειγμα με τον παρακάτω Πίνακα επικινδυνότητας:

Πίνακας 3: Πίνακας Επικινδυνότητας ανάλογα με τον χώρο που βρισκόμαστε και το καύσιμο από το 1 έως το 3

	ΥΔΡΟΓΟΝΟ	ΜΕΘΑΝΟΛΗ	ΠΕΤΡΕΛΑΙΟ
ΑΝΟΙΚΤΟΣ ΧΩΡΟΣ			
Δημιουργία αναφλέξιμου μίγματος	3	2	1
Μετάδοση φλόγας	2	2	1
Ορατότητα της φλόγας	1	1	3
ΚΛΕΙΣΤΟΣ ΧΩΡΟΣ			
Δημιουργία αναφλέξιμου μίγματος	1	2	3
Δημιουργία εκρηκτικού μίγματος	1	2	3

Βαθμός Επικινδυνότητας : 1 = Μεγάλος, 2 = Μεσαίος, 3 = Μικρός

Διάφορες επικίνδυνες καταστάσεις όμως μπορούν να προκύψουν από μία διαρροή ανάλογα με το γεγονός αν το υδρογόνο αναφλεγεί αμέσως ή όχι. Αυτές οι καταστάσεις είναι οι κάτωθι:

A) Γλώσσα φωτιάς (flame – Jet fire)

B) ανάφλεξη του αέριου νέφους με ταχύτητα μετάδοσης του ωστικού κύματος μικρότερη της ταχύτητας του ήχου (Deflagration)

Γ) Έκρηξη αερίου νέφους (UVDE – Detonation)

Δ) Φωτιά λίμνης (pool – fire)

A) Γλώσσα φωτιάς (flame – Jet fire)

Υπό την μορφή φλόγας (γλώσσα φωτιάς) σε περίπτωση ανάφλεξης, το υδρογόνο μπορεί να καεί, όταν αυτό δεν έχει αναμειχθεί με μεγάλη ποσότητα αέρα. Τέτοιου είδους καύση του υδρογόνου μπορεί να συμβεί όταν υπάρχει διαφυγή αερίου υδρογόνου από το δοχείο αποθήκευσης ή δίκτυο μεταφοράς υπό πίεση από κάποιο σημείο – ακροφύσιο. Από το σημείο διαρροής μέχρι το σημείο του χώρου όπου η συγκέντρωση του υδρογόνου φθάνει στο κατώτερο σημείο ανάφλεξης, η γλώσσα φωτιάς μπορεί να καίει. Λόγω του ότι το αέριο υδρογόνο είναι ελαφρύτερο του αέρα, η κατεύθυνση της φλόγας είναι κατακόρυφη. Γι' αυτό τον λόγο οι φωτιές του υδρογόνου είναι λιγότερο επικίνδυνες από αυτές των συμβατικών βενζινών. Πρέπει

να αναφερθεί ότι μόνο όταν ταυτόχρονα με το υδρογόνο καίγονται και άλλα υλικά, μπορεί κατά την καύση του να δημιουργηθεί καπνός. Ο κυριότερος μάλιστα τρόπος αναγνώρισης της καύσης του υδρογόνου συνήθως είναι η θερμική ακτινοβολία δηλαδή η θερμότητα που εκλύεται κατά την καύση του. Εδώ στην εικόνα γίνεται αντιληπτή η γλώσσα φωτιάς η οποία δημιουργήθηκε από την καύση του υδρογόνου, έπειτα από πειράματα μίας ερευνητικής ομάδας στην Βρετανία:



Εικόνα 9: Γλώσσα φωτιάς από καύσιμο υδρογόνο

B) Ανάφλεξη του αέριου νέφους με ταχύτητα μετάδοσης του ωστικού κύματος μικρότερη της ταχύτητας του ήχου (Deflagration)

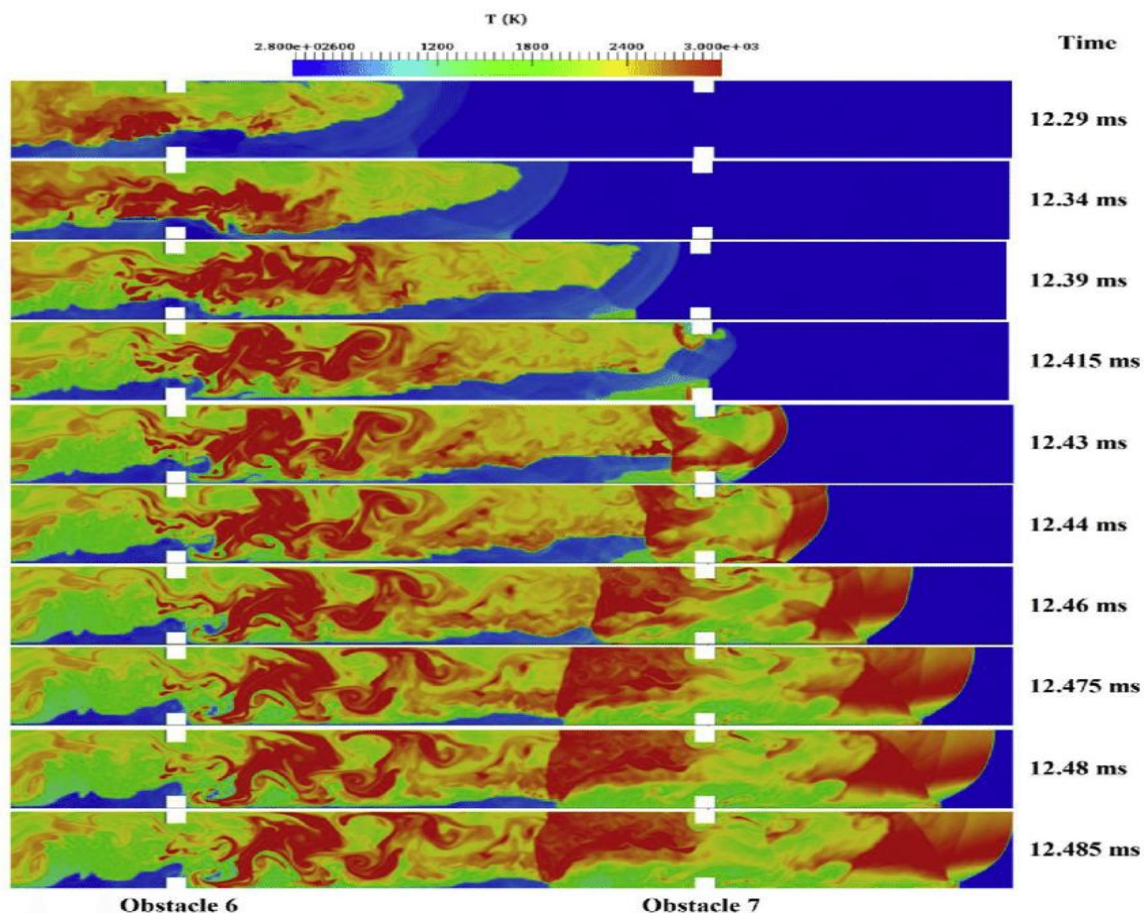
Σε περίπτωση όπου δεν θα υπάρξει άμεση ανάφλεξη μιας διαρροής υδρογόνου τότε στην γύρω περιοχή σχηματίζεται αέριο νέφος υδρογόνου. Όταν λοιπόν το νέφος αυτό βρίσκεται μέσα στα όρια αναφλεξιμότητας 4 – 75% τότε η ανάφλεξη του νέφους μπορεί να δημιουργηθεί από την παρουσία μιας εξωτερικής πηγής έναυσης μικρότερης και από 1 mJ. Όταν τώρα η ταχύτητα μετάδοσης του σωστικού κύματος από την θερμική εκτόνωση του υδρογόνου, είναι κάτω από την ταχύτητα του ήχου 350 m/sec και αναλόγως με το πώς μεταβάλλεται η συγκέντρωση του υδρογόνου, η ταχύτητα μετάδοσης της φλόγας μπορεί να κυμαίνεται από 102 – 346 cm/sec. Το μέγεθος των επιπτώσεων μιας τυχόν ανάφλεξης αέριου νέφους είναι συνάρτηση της ποσότητας της ουσίας που έχει διαρρεύσει καθώς και της έκτασης της περιοχής που καλύπτει το αέριο νέφος. Μάλιστα συνηθισμένες πηγές ανάφλεξης μπορούν να είναι κάποιες θερμές επιφάνειες του ίδιου του ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού της εγκατάστασης, ή κάποιο ηλεκτρικό βραχυκύκλωμα των καλωδιώσεων, ή τα διερχόμενα αυτοκίνητα, ή ακόμα και κάποιος εξωτερικός ανθρώπινος παράγοντας. Μια πολύ χαρακτηριστική περίπτωση εμφάνισης τέτοιου είδους ατυχήματος υπάρχει μεγάλη πιθανότητα να συμβεί κατά το γέμισμα μιας δεξαμενής ή ενός κυλίνδρου υδρογόνου από τα οποία δεν έχει απομακρυνθεί ο ατμοσφαιρικός αέρας. Όταν λοιπόν στην προκειμένη περίπτωση η συγκέντρωση του υδρογόνου βρίσκεται μέσα στα όρια αναφλεξιμότητας, η ροή του ίδιου του υλικού μέσα στην δεξαμενή ή στον κύλινδρο μπορεί να προκαλέσει τέτοιο στατικό ηλεκτρισμό ο οποίος να είναι ικανός να ανάψει το υδρογόνο. Για τον λόγο αυτό όλα τα σημεία στα οποία θα εισέλθει το

υδρογόνο όπως: οι δεξαμενές αποθήκευσης, οι σωληνώσεις - δίκτυα υδρογόνου και οι κύλινδροι μεταφοράς του, θα πρέπει να είναι εντελώς κενοί πριν εισέλθει το υδρογόνο μέσα σε αυτούς. Στην εικόνα που παρουσιάζεται ακριβώς παρακάτω, ένα πείραμα στο Ηνωμένο Βασίλειο που έγινε από ερευνητές και βιομήχανους για την μείωση του άνθρακα μία τέτοια ανάφλεξη:



Εικόνα 10: Πείραμα για ανάφλεξη σε σωληνώσεις από ερευνητές του Ηνωμένου Βασιλείου

Και στην κάτωθι φωτογραφία απεικονίζεται η ταχύτητα μετάδοσης της φλόγας από ανάφλεξη υδρογόνου και την θερμοκρασία αυτής:



Εικόνα 11: Ταχύτητα μετάδοσης της φλόγας από την ανάφλεξη και θερμοκρασίες

Γ) Έκρηξη Αερίου Νέφους (Vapor Cloud Explosion – Detonation)

Ένας από τους σοβαρότερους κινδύνους για τις εγκαταστάσεις μεταφοράς και αποθήκευσης υδρογόνου αποτελεί η έκρηξη αερίου νέφους σε ελεύθερο χώρο (Unconfined Vapor Explosion – Detonation). Το πρόβλημα με τις εκρήξεις του συγκεκριμένου τύπου είναι όχι μόνο οι καταστρεπτικές επιπτώσεις τους αλλά επίσης το γεγονός ότι η ανάφλεξη, όπως και στην προηγούμενη περίπτωση, μπορεί να συμβεί σε κάποια μεγάλη απόσταση από την πηγή έκλυσης - διαρροής του υδρογόνου, το οποίο θα έχει σαν αποτέλεσμα το φαινόμενο αυτό να μπορεί να εμφανιστεί και να απειλήσει μία αρκετά μεγάλης διαμέτρου περιοχή. Στην προκειμένη περίπτωση η συγκέντρωση του υδρογόνου στο αέριο νέφος θα πρέπει να είναι από 15% – 59% και η πηγή της έναυσης να είναι πάνω από 10 kJ, ενώ η ταχύτητα μετάδοσης του ωστικού κύματος εδώ είναι πάνω από 350 m/sec (Detonation – supersonic propagation).

Θα πρέπει να τονιστεί ότι η πίεση κατά την έκρηξη του αερίου νέφους είναι 14,5 φορές μεγαλύτερη της αρχικής. Οι επιπτώσεις από μια τέτοια έκρηξη κυρίως είναι πολύ σοβαρές όπως: ανθρώπινες βλάβες στα τύμπανα με σπάσιμο αυτών, πνευμονική αιμορραγία κ.α. όπως επίσης και υλικές ζημιές όπως καταστροφή κτιρίων, σπάσιμο τζαμιών κλπ. Κάτι το οποίο όμως θα πρέπει να προσεχθεί ιδιαίτερα είναι το ότι η ανάφλεξη του αερίου νέφους, όπου η μετάδοση του ωστικού κύματος είναι κάτω από την ταχύτητα του ήχου (deflagration), μπορεί κάτω από ορισμένες συνθήκες (όπως είναι η παρουσία μιας ισχυρής πηγής έναυσης όπως: ένα αρκετά μεγάλο νέφος, κατάλληλες κλιματολογικές συνθήκες, οι οποίες επιτρέπουν την γρήγορη ανάμιξη του υδρογόνου με τον αέρα) να καταλήξουν σε φαινόμενα έκρηξης (detonation).



Εικόνα 12: Έκρηξη από ανάφλεξη αερίου υδρογόνου

Δ) Φωτιά Λίμνης

Σε περίπτωση διαρροής υγρού υδρογόνου σε μεγάλες ποσότητες οδηγείται σε σχηματισμό λίμνης. Εκεί έχει και την εξαέρωση αμέσως του υγρού υδρογόνου το οποίο αν αναφλεγεί δημιουργείται το φαινόμενο που ονομάζεται φωτιά λίμνης. Όταν

γύρω από τις δεξαμενές - κυλίνδρους αποθήκευσης υγρού υδρογόνου, υπάρχει ανάχωμα δημιουργείται περιορισμένη λίμνη. Επίσης σε αυτή την περίπτωση από την ποσότητα του υδρογόνου που διαρρέει και από τη διάμετρο της λίμνης εξαρτώνται η διάρκεια και η ένταση του φαινομένου. Στην παρακάτω εικόνα, παρατηρείται σε πείραμα το φαινόμενο της φωτιάς λίμνης από μία ομάδα έρευνας και ανάλυσης τεχνολογικού κινδύνου στην Ινδία.



Εικόνα 13: Φαινόμενο Λίμνης Φωτιάς από ανάφλεξη υγρού υδρογόνου

Μια περιγραφή όλων των επικινδύνων καταστάσεων - ατυχημάτων τα οποία μπορεί να συμβούν από την διαρροή υδρογόνου φαίνεται στον Πίνακα 4.

Πίνακας 4: Επικίνδυνα ατυχήματα από διαρροή υδρογόνου

Αστοχία Δεξαμενής – Δικτύου ή Ιδριδίου		
	Καθυστερημένη Ανάφλεξη	Άμεση Ανάφλεξη
	- Σχηματισμός Αέριου Νέφους	- Γλώσσα Φωτιάς
	- Διασπορά στο Περιβάλλον	- Άμεση Ανάφλεξη
Μη Ανάφλεξη	Ανάφλεξη Στην Ζώνη Διασποράς	
- Όχι Άμεσες Συνέπειες	- Ανάφλεξη Αέριου Νέφους	- Έκρηξη Αέριου Νέφους

Η πρώτη ενέργεια που θα πρέπει να γίνει, σε μία στιγμή στην οποία θα εκδηλωθεί μία επικίνδυνη κατάσταση σε μία εγκατάσταση υδρογόνου ανεξαρτήτως αν έχει εμφανιστεί το φαινόμενο της καύσης ή όχι, είναι ο περιορισμός – κλείσιμο της διαρροής. Αυτό μπορεί να γίνει όταν χρησιμοποιηθούν – ενεργοποιηθούν οι βαλβίδες αποκοπής που υπάρχουν σε κάθε εγκατάσταση έτσι ώστε να αποκοπεί το σημείο διαρροής από το υπόλοιπο σύστημα. Στην περίπτωση της δεξαμενής αερίου υδρογόνου, θα πρέπει αμέσως να γίνει ψύξη της δεξαμενής, ούτως ώστε να μειωθεί η πίεση του αερίου και να περιοριστεί ο ρυθμός - ταχύτητα της διαρροής αν δεν μπορεί η διαρροή να σφραγιστεί εντελώς.

Αν στην αποθήκευση υγρού υδρογόνου σε κρυογενικές δεξαμενές τύχει και παρουσιαστεί διαρροή υγρής φάσης, τότε είναι καλό και εάν είναι εύκολο να γίνει, για να μειωθεί η διαρροή της υγρής φάσης, να ελευθερωθεί από το δοχείο η υπάρχουσα αέρια φάση. Αν γίνει αυτό τότε θα επιτευχθεί η μείωση της πίεσεως στο εσωτερικό του δοχείου, και έτσι λόγω της μικρότερης πίεσης που θα προκαλεστεί περιορίζεται η διαρροή της υγρής φάσης. Αυτό είναι πολύ σημαντικό για τον λόγο ότι θα περιοριστεί η ποσότητα διαρροής υγρού υδρογόνου γιατί όπως γνωρίζεται το υγρό υδρογόνο σε ατμοσφαιρικές συνθήκες όταν εξαερωθεί παράγει περίπου τον 850-πλάσιο όγκο αερίου. Στις δεξαμενές αποθήκευσης υγρού υδρογόνου θα πρέπει να δημιουργούνται τα κατάλληλα κανάλια και λεκάνες απορροής έτσι ώστε το υγρό υδρογόνο να μπορεί να απομακρυνθεί από τον συγκεκριμένο χώρο. Αυτό για τον λόγο ότι το υγρό υδρογόνο, το οποίο είναι βαρύτερο του αέρα και κατακάθεται στο έδαφος λόγω της πολύ χαμηλής του θερμοκρασίας, σε μεγάλες ποσότητες μπορεί να προκαλέσει την ψαθυρή θραύση - αστοχία δομικών στοιχείων της εγκατάστασης. Επίσης ο σχηματισμός λίμνης στο έδαφος είναι πιθανόν να οδηγήσει σε φωτιά λίμνης η οποία είναι αρκετά δύσκολο να αντιμετωπιστεί.

Η επόμενη κίνηση που θα πρέπει να γίνει σε περίπτωση εκδήλωσης πυρκαγιάς είναι το πάγωμα όλου του περιβάλλοντος εξοπλισμού έτσι ώστε να αποφευχθεί η περαιτέρω μετάδοση της φλόγας με ακτινοβολία. Παγώνοντας τα υλικά του περιβάλλοντος χώρου είναι πολύ σημαντικό όχι μόνο να περιοριστεί η επέκταση της πυρκαγιάς αλλά και να διασφαλιστεί ότι το διαχεόμενο υδρογόνο δεν θα μπορεί να ανάψει από πηγές θερμότητας που υπάρχουν σε αυτόν. Η κατάσβεση τώρα της φλόγας η οποία προέρχεται από την καύση του υδρογόνου μπορεί να γίνει με ψεκασμό με νερό αλλά μπορούν να χρησιμοποιηθούν επίσης ατμός, διάφορα αλογόνα, άζωτο και διοξείδιο του άνθρακα. Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζεται η ποσότητα που απαιτείται σε σχέση με την κατ' όγκο σύσταση του αέρα έτσι ώστε να γίνεται αποτελεσματική κατάσβεση πυρκαγιών από υδρογόνο και ταυτόχρονα γίνεται σύγκριση με τις αντίστοιχες ποσότητες που απαιτούνται για το προπάνιο και το μεθάνιο.

Πίνακας 5: Ποσότητες που απαιτείται για την αποτελεσματική κατάσβεση πυρκαγιών

ΚΑΤΑΣΒΕΣΤΙΚΟ ΜΕΣΟ ΣΕ ΑΕΡΙΑ ΜΟΡΦΗ	Αναφλεγόμενο αέριο		
	Υδρογόνο	Προπάνιο	Μεθάνιο
	Ποσότητα επί της % μίγματος του αερίου κατάσβεσης με τον ατμοσφαιρικό αέρα		
Αλογόνο 1301 (CF ₃ Br)	46	4,3	3,1
Αλογόνο 1211 (CF ₂ ClBr)	60	4,8	3,2
Διοξείδιο του άνθρακα	156	41	32
Ατμός	181	-	41
Άζωτο	313	76	66
Ήλιο	-	-	102

3. Κατασκευή

3.1 Δεξαμενή



Εικόνα 14: Δεξαμενή Ηλεκτρόλυσης με διάφανο plexiglass για τον σκοπό της επίδειξης

Η δεξαμενή είναι το δεύτερο πιο σημαντικό σημείο της εργασίας καθώς εδώ θα τοποθετηθεί το διάλυμα με τον διαλύτη για να μπορέσουν αργότερα τα υπόλοιπα εξαρτήματα να λάβουν τις πληροφορίες και να συνεχίσουν τις παρακάτω διεργασίες. Για την δεξαμενή χρησιμοποιήθηκε:

- Πλεξιγκλάς

5 χιλιοστών κομμένο σε 6 τμήματα, 4 πλευρές των 20 εκατοστών, καπάκι 20 εκατοστών και βάση 40 εκατοστών.

- Συγκόλληση

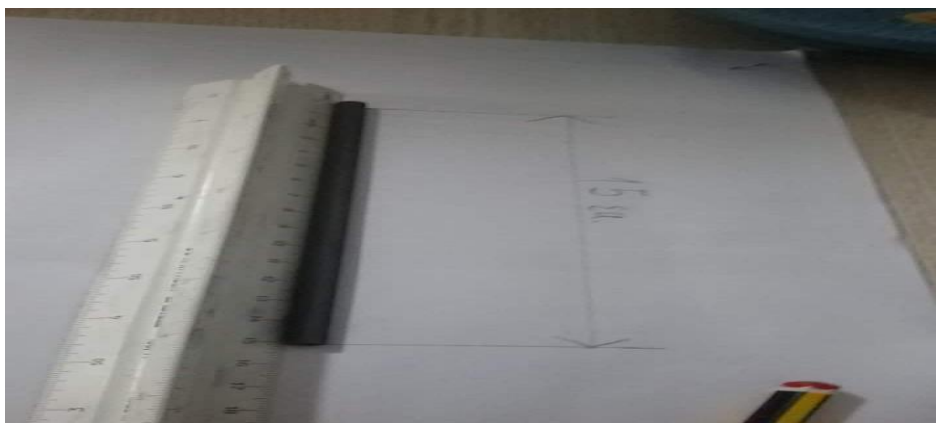
Η ένωση του πλεξιγκλάς είναι συνήθως ιδιαίτερη καθώς χρειάζεται ειδικού τύπου κόλλα για την συγκόλληση του. Στην προκειμένη περίπτωση χρησιμοποιήθηκε λευκή κόλλα σιλικόνη της Everbuild η οποία έχει μεγάλη αντοχή στο νερό και δεν αλληλοεπιδράει με κάποιο από τα ηλεκτρόδια η το μίγμα νερού - ηλεκτρολύτη και καλύφθηκε με 8 καλύμματα αλουμινίου των 5 εκατοστών.

- Ηλεκτρόδια

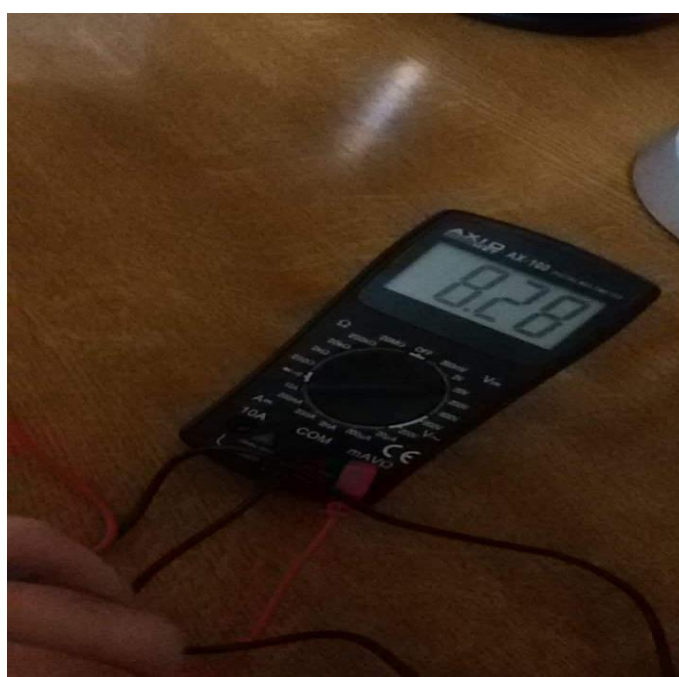
Για τα ηλεκτρόδια χρησιμοποιήθηκαν 5 ράβδοι καθαρού κατά 99% γραφίτη διαμέτρου 4 χιλιοστά, 15 εκατοστά μήκος και μια πλάκα γραφίτη 10 εκατοστά μήκος με 10 εκατοστά πλάτος και πάχους 1 εκατοστού. τα οποία αποτελούν την άνοδο και την κάθοδο. Πρέπει να ληφθεί υπόψιν πως η παρατεταμένη χρήση των ηλεκτροδίων φθείρει τα ηλεκτρόδια του γραφίτη με αποτέλεσμα να απελευθερώνονται κομμάτια στο διάλυμα με το νερό και τον ηλεκτρολύτη.

- Συλλέκτες

Για τους συλλέκτες και τα σωληνάκια που μεταφέρουν το οξυγόνο και το υδρογόνο τοποθετήθηκαν μπουκάλια νερού και ρετάλια από αλφαδολάσιχο.



Εικόνα 15: Ηλεκτρόδιο γραφίτη με διαστάσεις



Εικόνα 16: Μέτρηση τάσης στο ψηφιακό πολύμετρο

Η παροχή των ηλεκτρονίων στο διάλυμα απιονισμένου νερού με τον ηλεκτρολύτη γίνεται με την χρήση μπαταρίας 9V. Όπως φαίνεται στην παραπάνω εικόνα τα 8,28 είναι αυτά που περνούν μέσα από τα ηλεκτρόδια που παρουσιάστηκαν σε προηγούμενη σελίδα. Στην εικόνα 17 τα ηλεκτρόνια που διαπερνούν την κάθοδο από την αρνητική θέση της μπαταρίας και εισέρχονται στο διάλυμα το οποίο περιέχει μαγειρική σόδα (NaHCO_3) και νερό βρύσης. Ολοκληρώνοντας το κύκλωμα εξέρχονται από την άνοδο στον θετικό πόλο της μπαταρίας. Η κίνηση των ηλεκτρονίων και με την προσθήκη άλατος ως ηλεκτρολύτη στο νερό δίνει το φαινόμενο την ηλεκτρόλυσης που φαίνεται στην εικόνα 17 με τον σχηματισμό φυσαλίδων στην επιφάνεια των ηλεκτροδίων. Στην κάθοδο παρατηρείται μεγαλύτερος αριθμός φυσαλίδων σε σχέση με την άνοδο και αυτό σημαίνει πως ένα από τα δυο παραγόμενα αέρια παράγεται κατά δυο φορές περισσότερο από το άλλο. Στα προηγούμενα θέματα που αναλύθηκαν, το αέριο που θα παραχθεί σε

μεγαλύτερο βαθμό είναι το υδρογόνο (H) το οποίο εμφανίζεται στην κάθοδο των δυο ηλεκτροδίων και αυτό βρίσκεται στο αριστερό ηλεκτρόδιο της εικόνας.



Εικόνα 17: Ηλεκτρόδια γραφίτη με παροχή τάσης

Η παροχή ηλεκτρονίων μόνο από την μπαταρία δεν είναι αρκετή για να ηλεκτροδοτηθούν όλα τα εξαρτήματα, κυρίως ο μικροεπεξεργαστής που κάνει όλη την δουλειά γιαυτό ταυτόχρονα με την μπαταρία βρίσκεται και ο ίδιος συνδεδεμένος με έναν ηλεκτρικό υπολογιστή όπου από εκεί τρέχει και το πρόγραμμα το οποίο αναπαράγει τις λειτουργίες τις οποίες χρειάζεται ο αισθητήρας και η οθόνη LCD για να αλληλοεπιδρούν μεταξύ τους. Όσον αφορά το ηλεκτρονικό μέρος της κατασκευής που δέχεται τα δεδομένα και τα επεξεργάζεται τα υλικά έχουν ως εξής:

- Ηλεκτρονικός Εξοπλισμός

20 jumper wires 20 εκατοστών M/M, 6 jumper wires 15 εκατοστών, ποτενσιόμετρο 22kohm, 1 αισθητήρας MQ8 και 1 θήκη για τις υποδοχές του καθώς και ένα δισκάκι εξηγώντας την λειτουργία των pins (υποδοχών) του σένσορα, breadboard 400 pin μισού μεγέθους, LCD οθόνη, 2 καλώδια σύνδεσης με την μπαταρία (κροκοδειλάκια), 1 ψηφιακό πολύμετρο, 1 clips σύνδεσης μπαταρίας, 1 μπαταρία 9V, 1 breadboard (full size), 3 αντιστάσεις των 220 ohm, 1 LED κόκκινο και 1 Arduino UNO.

Η χρήση της μπαταρίας στο πείραμα έχει τον σκοπό να κάνει τον σένσορα «φορητό» έτσι ώστε η παροχή ρεύματος να μοιράζεται μεταξύ όλων των εξαρτημάτων και να μην επηρεάζονται οι μετρήσεις. Αφού ολοκληρωθεί το κύκλωμα, θα υπάρχει πλέον η παραγωγή αερίων όπου στην συνέχεια μπορεί να γίνει η αποθήκευση αυτών και έπειτα χρήση ως. Η αποθήκευση γίνεται με δεξαμενές που συνδέονται με την δεξαμενή παραγωγής των φυσαλίδων που προέρχονται από την ηλεκτροχημική αντίδραση σε κάθε ένα από τους συλλέκτες αντίστοιχα για οξυγόνο και υδρογόνο.

3.2 Αισθητήρες – Arduino

Η ηλεκτρονική κατασκευή έχει ως προαπαιτούμενο την συνεργασία διαφόρων μηχανισμών μετάδοσης ηλεκτρονίων και δεδομένων, πράγμα που για να γίνει εφικτό χρειάζεται η γνώση για τον τρόπο λειτουργίας του κάθε εξαρτήματος αλλά και αλληλεπίδρασης του με τα υπόλοιπα ηλεκτρονικά στοιχεία στο κύκλωμα. Οι αισθητήρες είναι το πιο σημαντικό και πιο ευαίσθητο κομμάτι ενός τέτοιου συστήματος καθώς είναι το εξάρτημα που ουσιαστικά αναγνωρίζει τις πληροφορίες που δεν μπορούν να εξαχθούν με πιο συμβατικά μέσα καθώς ο λόγος που υπάρχει το κάθε εργαλείο είναι διαφορετικός. Ένα από τα πολλά παραδείγματα που θα μπορούσαν να αναφερθούν είναι η αναγνώριση συγκεντρώσεων από διάφορα αέρια που εκλύονται ή υπάρχουν ήδη στον ατμοσφαιρικό αέρα.

Ο αισθητήρας είναι μια συσκευή, μια προσθήκη, ένα βοηθητικό σύστημα το οποίο ως ευρύτερη έννοια που το χαρακτηρίζει είναι η ιδιότητα του να αντιλαμβάνεται γεγονότα ή αλλαγές στο περιβάλλον του και να στέλνει αυτές τις αλλαγές ως πληροφορίες στα υπόλοιπα ηλεκτρονικά συστήματα με τα οποία είναι συνδεδεμένος, ένα από τα πιο συνηθέστερα είναι ο επεξεργαστής ο οποίος δέχεται τα δεδομένα και τα επεξεργάζεται για να δώσει ένα συμπέρασμα σχετικό με τον τρόπο που έχει προγραμματιστεί. Οι αισθητήρες είναι συσκευές που αναλαμβάνουν τον ενδιάμεσο ρόλο μεταφοράς λήψης - μετατροπής - μεταφοράς πληροφοριών με άμεσο τρόπο των πέντε αισθήσεων.

Οι αισθητήρες, εκτός από την πειραματική τους χρήση βρίσκουν εφαρμογή και στην καθημερινότητα κάνοντας την ζωή πιο εύκολη, όπως σε κουμπιά ευαίσθητα στην αφή όπως αναφέρθηκε πιο πριν όσον αφορά τις αισθήσεις του ανθρώπου όπου η αφή είναι η κύρια μορφή με την οποία μπορεί να αξιοποιηθεί καλύτερα ένας αισθητήρας στην καθημερινότητα. Οι υπόλοιπες αισθήσεις αξιοποιούνται καλύτερα στην ιατρική επιστήμη για διεξαγωγή πειραμάτων και για διαγνώσεις διάφορων ασθενειών που υπό διαφορετικές συνθήκες δεν θα ήταν εύκολη και γρήγορη η διάγνωσή τους. Κάποια από αυτά τα παραδείγματα όσον αφορά την αφή έχουν εφαρμογή σε κουμπιά ηλεκτρικών συσκευών μικρών ή ακόμη και μεγάλων όπως ένας ανελκυστήρας κατά την χρήση του σε έναν από τους ορόφους ενός κτιρίου απλά ακουμπώντας το δάκτυλό στον αριθμό πάνω στον πίνακα, αεροπλάνα, αυτοκίνητα και στη ρομποτική. Αυτό βέβαια δεν ισχύει σε ηλεκτρικές συσκευές όπως τα περιφερειακά ενός ηλεκτρικού υπολογιστή τα οποία περιλαμβάνουν στην κατηγορία τους ηχεία, ποντίκια, πληκτρολόγια, οθόνες κ.α.

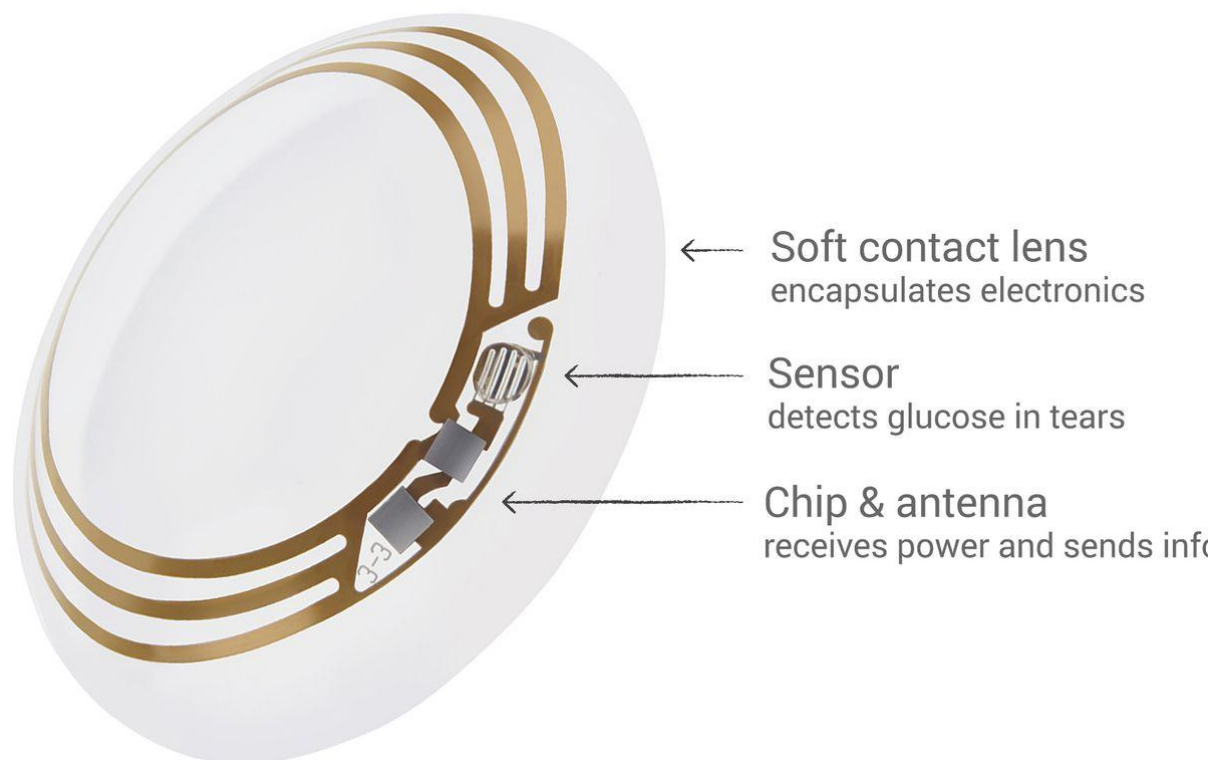
Μπορεί να θεωρηθεί στο πληκτρολόγιο πως γίνεται χρήση αισθητήρων πίεσης για την αναγνώριση των πλήκτρων που πατάμε αλλά στην πραγματικότητα δεν είναι, υπάρχει μια κατηγορία πληκτρολόγιων που αξιοποιούν αισθητήρες πίεσης για την μεταφορά πληροφοριών όμως τέτοιου είδους πληκτρολόγια είναι ακριβά όσον αφορά την τιμή του τα οποία χρησιμοποιούν αισθητήρες Hall Effect που ουσιαστικά είναι τσιπάκια που εντοπίζουν την κίνηση ενός μαγνήτη από την διαφορά της τάσης που ο μαγνήτης εμφανίζει με την τάση του καλωδίου και καθώς για καθημερινή χρήση μπορεί να είναι λίγο ακριβό για πληκτρολόγιο βρίσκει εφαρμογές στον στρατό και σε αποστολές στο διάστημα καθώς είναι αρκετά αξιόπιστο και μεταφέρει γρήγορα την πληροφορία. Ωστόσο υπάρχουν πληκτρολόγια και ποντίκια τα οποία αξιοποιούν πλήρως την αίσθηση της αφής τα οποία χρησιμοποιούν πυκνωτές, σε σχέση με το συμβατικό πληκτρολόγιο όπου με το πάτημα ενός κουμπιού ενεργοποιείται ο διακόπτης που βρίσκεται από κάτω ολοκληρώνοντας το κύκλωμα και συνεπώς επιτρέποντας την διέλευση ελάχιστης ροής ρεύματος να περάσει αναγνωρίζοντας

έτσι το κουμπί που έχει πατηθεί, στην περίπτωση των ηλεκτρολογίων αφής όμως αυτό δεν ισχύει καθώς το ρεύμα έχει συνεχή διέλευση σε όλο το ηλεκτρολόγιο και με το κάθε πάτημα ανιχνεύει την αλλαγή της χωρητικότητας του πυκνωτή/των που βρίσκεται στο ηλεκτρολόγιο.

Κάτω από κάθε κουμπί στατικά φορτία αποθηκεύονται σε έναν πυκνωτή και κάθε φορά που πατάμε το κουμπί αυτό συνδέεται στο κύκλωμα με αποτέλεσμα να δημιουργείται μια διαφορά στην χωρητικότητα του πυκνωτή, το ίδιο γίνεται και στα ποντίκια με κάθε κλικ, ωστόσο αν και ακριβό θεωρείται πολύ πιο αξιόπιστο από ένα συμβατικό ηλεκτρολόγιο και πιο γρήγορο καθώς η πληροφορία μεταφέρεται γρηγορότερα λόγω της συνεχόμενης ροής ρεύματος. Γνωρίζοντας αυτά τα παραδείγματα γίνεται κατανοητή η ευρύτερη χρήση αισθητήρων στην καθημερινότητα αλλά τον τρόπο λειτουργίας τους σε ένα κάποιες από τις πιο χρησιμοποιημένες συσκευές ενός γραφείου. Οι αισθητήρες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την μέτρηση της θερμοκρασίας, του φωτός, συγκεντρώσεις σε αέρια και υγρά, κίνησης, πίεσης, απόστασης κ.α εφαρμογές όπου αξιοποιούνται τα προαναφερόμενα. Αυτό θα γίνει αντιληπτό καλύτερα με την ευαισθησία που έχει ο κάθε αισθητήρας το οποίο σημαίνει πόσο καλύτερα αντιλαμβάνεται την αλλαγή στην προς μέτρηση ποσότητα, για παράδειγμα σε ένα θερμομέτρο υδραργύρου αν μετακινηθεί ο υδράργυρος 1 εκατοστό όταν η θερμοκρασία μεταβληθεί κατά 1 °C τότε η ευαισθησία του θα είναι 1cm/°C.

Ο μικροεπεξεργαστής Arduino είναι ένας μικροελεγκτής μονής πλακέτας, δηλαδή μια μητρική πλακέτα ανοιχτού κώδικα με ενσωματωμένο μικροελεγκτή και εισόδους/εξόδους. Αυτή η πλακέτα μπορεί να προγραμματιστεί με C++ και ένα σύνολο διαφορετικών βιβλιοθηκών για την προσθήκη λειτουργιών. Ο Arduino χρησιμοποιείται για την ανάπτυξη διαδραστικών διεργασιών με προγράμματα υπολογιστή αλλά και σε αυτοματισμούς. Μερικά από αυτά τα παραδείγματα είναι η κίνηση εξαρτημάτων στην ρομποτική όπως βραχίονες και προσάρτηση αισθητήρων πάνω σε αυτούς για την λήψη δεδομένων. Είναι ένας από τους πιο οικονομικούς μικροεπεξεργαστές και έχει μέχρι και το δικό του περιβάλλον προγραμματισμού από την σελίδα της εταιρίας που το κατασκευάζει, πρόκειται για το «Arduino IDE» το οποίο έχει πρόγραμμα που εγκαθίσταται στον υπολογιστή αλλά και επιλογή επεξεργασίας του προγράμματος του Arduino ακόμη και μέσα από την σελίδα τους χωρίς την λήψη κανενός αρχείου.

Υπάρχουν κάποιες περιπτώσεις όπου ο αισθητήρας επηρεάζει την ουσία προς μέτρηση όπως το παράδειγμα της μέτρησης της θερμοκρασίας σε ένα δωμάτιο, αν ο αισθητήρας εμβαπτιστεί σε ένα ποτήρι με νερό τότε το υγρό θα θερμάνει τον αισθητήρα με αποτέλεσμα την μείωση της θερμοκρασίας του υγρού. Γιαυτό οι αισθητήρες συνήθως σχεδιάζονται έτσι ώστε να έχουν πολύ μικρή επίδραση σε αυτά που θα μετρηθούν όπου αυτό επιτυγχάνεται πολλές φορές με την μείωση των διαστάσεων του. Πλέον οι αισθητήρες έχουν εξελιχθεί με την πρόοδο της τεχνολογίας και φτάνουν πλέον σε μικροσκοπικό μέγεθος το οποίο σημαίνει πως επηρεάζουν λιγότερο την ευαισθησία των μετρήσεων και πολλές φορές αυτές οι μετρήσεις πραγματοποιούνται πιο γρήγορα. Μια εφαρμογή ενός μικρο-αισθητήρα υπάρχει ήδη για την μέτρηση της πίεσης του ματιού ή ακόμη και εμφάνιση ενός «GUI» (Graphical User Interface) αλλιώς ένα γραφικό περιβάλλον στο οποίο θα υπάρχει η δυνατότητα εξαγωγής της πληροφορίας για την κατάσταση της υγείας σε μορφή φακών επαφής όπως στην εικόνα όπου υπάρχει ένας φακός επαφής σχεδιασμένος από την Google ο οποίος ακόμη δεν υπάρχει στην αγορά και βρίσκεται σε πειραματικό στάδιο.

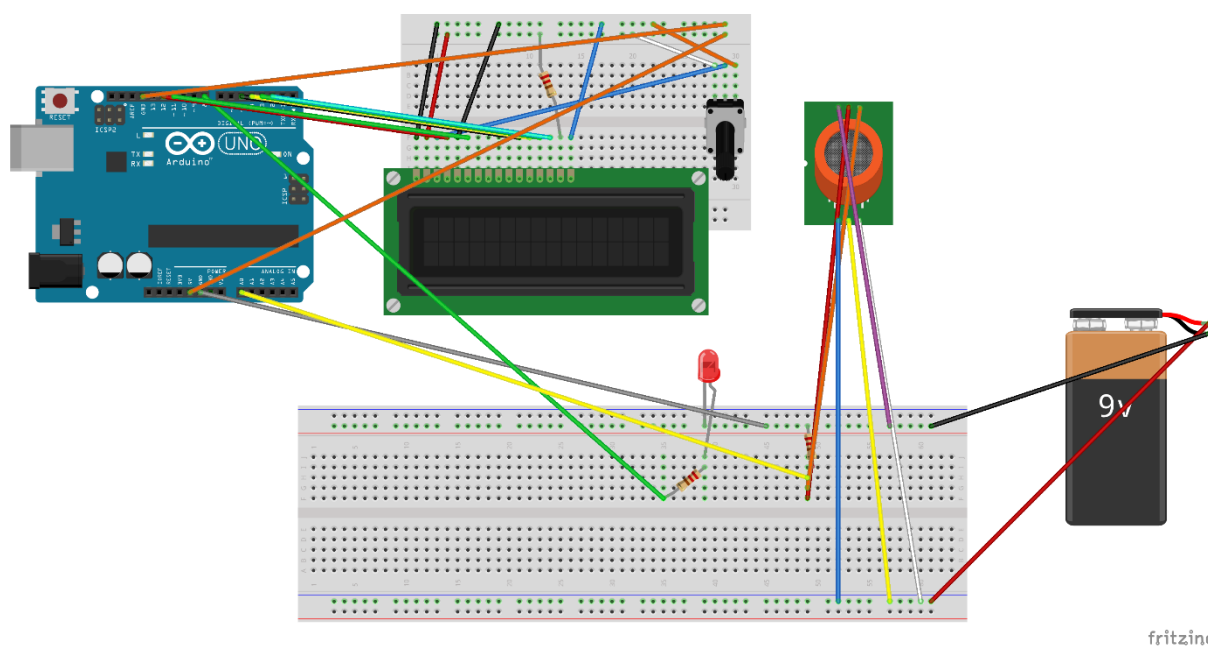


Εικόνα 18: "Εξυπνος" φακός επαφής

Όσον αφορά την παρούσα εργασία, πρόκειται για έναν χημικό αισθητήρα ο οποίος είναι μια συσκευή που μπορεί να δώσει πληροφορίες για την χημική σύσταση του περιβάλλοντος είτε αυτή είναι σε υγρή ή σε αέρια μορφή. Η πληροφορία παρέχεται με την μορφή ενός πρακτικού σήματος το οποίο μπορεί να μετρηθεί και να δώσει την τιμή με την οποία αντιστοιχεί σε συγκέντρωση συγκεκριμένων όμως χημικών τύπων ή αλλιώς αναλυτών. Δυο βασικά βήματα συμπεριλαμβάνονται στην διαδικασία λειτουργίας ενός τέτοιου είδους αισθητήρα, αυτά είναι αναγνώριση και η μεταγωγή. Στο βήμα της αναγνώρισης τα μόρια του αναλύτη επικοινωνούν επιλεκτικά με τους δέκτες του μορίου, δέκτες είναι η χημική δομή η οποία αποτελείται από πρωτεΐνες οι οποίοι δέχονται και μεταφέρουν σήματα τα οποία μπορούν έπειτα να ενσωματωθούν σε βιολογικά συστήματα. Συνεπώς, όταν μια χαρακτηριστική φυσική παράμετρος διαφέρει τότε αυτή η διαφορά αναγνωρίζεται ως μέσο αναφοράς το οποίο παράγει ένα σήμα.

Συμπερασματικά, ένας χημικός αισθητήρας είναι αυτός που αναγνωρίζει ένα τέτοιο σήμα το οποίο παράγεται από αυτή την διαφορά. Αφού εξηγήθηκε η λειτουργία των αισθητήρων αλλά και οι αισθητήρες που θα χρησιμοποιηθούν σε αυτή την κατασκευή γίνεται αναφορά στο πρόγραμμα που χρησιμοποιήθηκε για την σχεδίαση. Για τον σχεδιασμό χρησιμοποιήθηκε ψηφιακό πρόγραμμα σχεδίασης και προσομοίωσης κυκλωμάτων και ποιο συγκεκριμένα το όνομα του προγράμματος είναι «Fritzing» η αρχική ιδέα και υλοποίηση για το πρόγραμμα ήρθαν από την εταιρεία «FH Potsdam» που ειδικεύεται σε προγράμματα ψηφιοποιήσεων και στην συνέχεια ανέλαβαν την εταιρεία φίλοι του προγράμματος το οποίο έγινε ανοιχτού κώδικα και αναπτύσσεται και συντηρείται σταδιακά από μια κοινότητα ηλεκτρονικών προγραμματιστών. Στην εικόνα που ακολουθεί φαίνονται όλα τα εξαρτήματα τα

οποία είναι ακριβή αντίγραφα των εξαρτημάτων που χρησιμοποιήθηκαν για τις ηλεκτρονικές συνδέσεις και τη μεταφορά των δεδομένων.



Εικόνα 19: Ψηφιοποίηση της κατασκευής με το πρόγραμμα fritzing

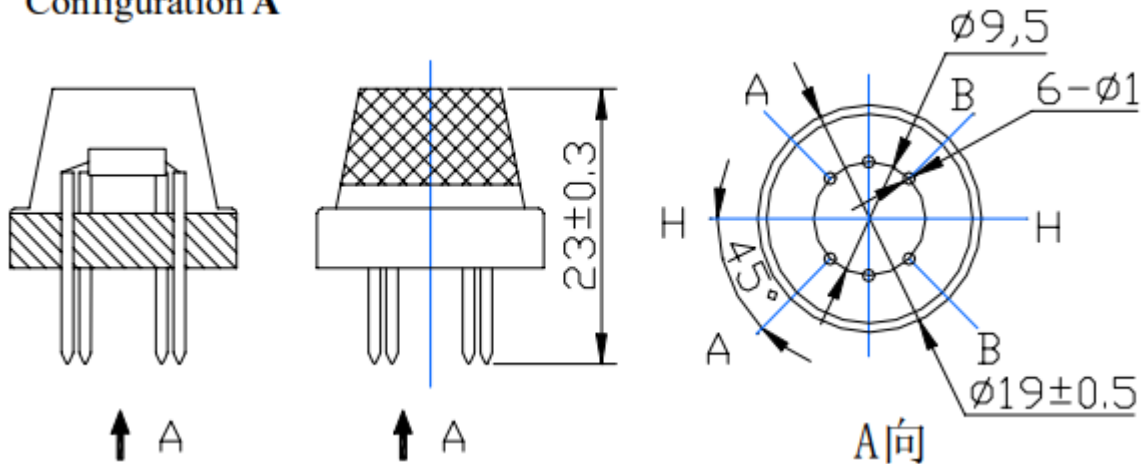
Το ηλεκτρονικό κύκλωμα ξεκινάει με την χρήση «Breadboard» και για την ακρίβεια δυο διαφορετικών μεταξύ τους τα οποία έχουν την δική τους ξεχωριστή χρήση. Ας επεκταθούμε λίγο στο «BreadBoard», για να κατανοηθεί καλύτερα αυτός ο όρος πρέπει να γίνει αναφορά σε παλαιότερες εποχές πριν ανακαλυφθούν αυτού του είδους οι ευκολίες στο prototyping κυκλώματα. Αρκετά χρόνια πριν ο όρος «BreadBoard» ήταν η λέξη που χρησιμοποιήθηκε για να εξηγηθεί η ξύλινη πλάκα όπου κόβεται το ψωμί, καθώς όμως δεν υπήρχαν πολλές λείες επιφάνειες για να γίνουν προσομοιώσεις ηλεκτρονικών κυκλωμάτων χρησιμοποιήθηκαν αυτές οι ξύλινες πλάκες, άρα ο όρος αυτός χρησιμοποιήθηκε κυριολεκτικά από πολλούς κι αργότερα στα πιο πρόσφατα χρόνια έμεινε ο όρος «Breadboard». Στο ηλεκτρονικό κύκλωμα που εξετάζεται, αφού έφυγε αυτό το μεγάλο ερωτηματικό από την μέση, στο πρώτο και μεγαλύτερο breadboard τοποθετήθηκαν τα ηλεκτρονικά εξαρτήματα που απαρτίζουν το κύκλωμα του αισθητήρα «MQ-8», στο δεύτερο breadboard υπάρχουν τα εξαρτήματα που διαθέτει την LCD Οθόνη και ένα ποτενσιόμετρο για εναλλαγή της τάσης που δέχεται η οθόνη έτσι ώστε τα αποτελέσματα να είναι εμφανή και τέλος ο Arduino Uno που ολοκληρώνει το κύκλωμα με την επεξεργασία των δεδομένων που δέχεται μέσω του προγράμματος που λειτουργεί μέσα από το Arduino IDE (Integrated Development Environment).

Η λειτουργία του ηλεκτρονικού κυκλώματος, ξεκινώντας από τον αισθητήρα ο οποίος αγοράστηκε χωρίς την πλάκα που διαθέτει από κάτω στην εικόνα για την εύκολη εφαρμογή του οπότε χρειάστηκε να γίνει έρευνα στο διαδίκτυο την εσωτερική λειτουργία του αλλά και την χρήση του κάθε «pin» που βρίσκεται κάτω από τον αισθητήρα. Ως «pins» ορίζονται οι ακίδες που βρίσκονται στα ηλεκτρονικά εξαρτήματα τα οποία μπορούν είτε να συγκολληθούν με κόλληση ή με ένα «θηλυκό-αρσενικό» καλώδιο το οποίο διαθέτει υποδοχή. Όλα όμως μοιάζουν μεταξύ τους στην περίπτωση του MQ-8 οπότε έγινε έρευνα για τις τεχνικές του πληροφορίες και

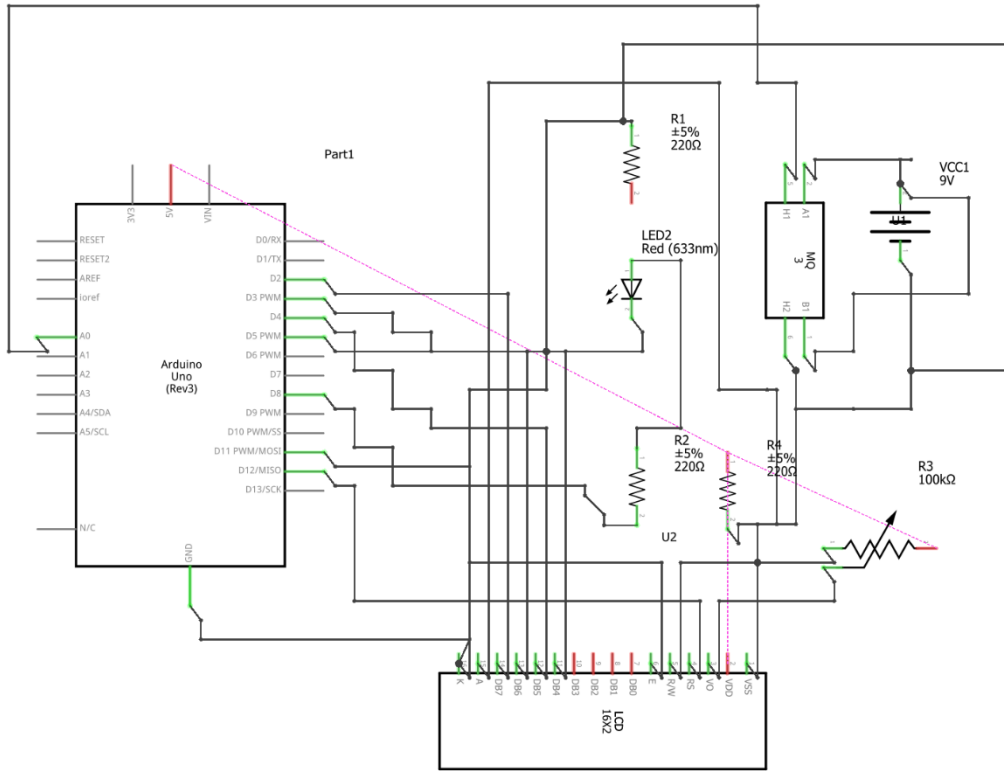
βρέθηκε η εσωτερική λειτουργία και την ευαισθησία του. Πριν εξηγηθεί η χρήση του κάθε pin, ο MQ-8 προέρχεται από μια σειρά αισθητήρων που ανιχνεύουν αέρια, ο συγκεκριμένος έχει ευαισθησία στο υδρογόνο που το αέριο προς μέτρηση. Ο αισθητήρας αποτελείται από το εξωτερικό περίβλημα του το οποίο χωρίζεται στο πάνω μέρος που περιέχει τον εσωτερικό μηχανισμό και στο κάτω μέρος που βρίσκονται τα pins. Στη παρακάτω εικόνα μπορεί να παρατηρηθεί ο τρόπος με τον οποίο είναι δομημένος ο αισθητήρας και με τις διαστάσεις του. Διακρίνοντας τα 6 pins που βρίσκονται στο κάτω μέρος του αισθητήρα, υπάρχουν έτοιμες πλακέτες με τον σένσορα να είναι ήδη συνδεδεμένος πάνω σε αυτές έτσι ώστε αν χρησιμοποιηθεί πολύ πιο εύκολα σε ένα κύκλωμα με μικροεπεξεργαστές, όμως σε αυτήν την περίπτωση χρειάστηκε να διαμορφωθεί το κύκλωμα έτσι ώστε συνδέεται ο αισθητήρας με τον υπόλοιπο κύκλωμα.

Στην εικόνα 20 φαίνονται όλες οι συνδέσεις που έχουν γίνει, για την επεξήγηση των pin θα χρησιμοποιηθεί η εικόνα 21, τα δυο κεντρικά pins είναι η παροχή που εμφανίζονται ως Vcc η οποία συνδέθηκε με την παροχή ρεύματος η οποία μπορεί να είναι είτε από θετικό πόλο είτε από αρνητικό αλλά κυρίως χρησιμοποιείται ο θετικός πόλος ανάλογα με την γείωση GND που συνδέθηκε πάνω στην γείωση του μικροεπεξεργαστή. Η παροχή Vcc εμφανίζεται ως Vcc(+5V) που σημαίνει πως θεωρητικά η παροχή έχει συνδεθεί με 5 Volts+, εδώ έρχεται η μπαταρία η οποία είναι 9V και παρέχει την απαραίτητη τάση για την λειτουργία του σένσορα. Για να αναληθεί ακόμη περισσότερο η επεξήγηση των H pins, αυτά τα δυο είναι άμεσα συνδεδεμένα με μια αντίσταση που θερμαίνεται ή αλλιώς το θερμικό πηνίο το οποίο θερμαίνεται.

Configuration A



Εικόνα 20: Τομή αισθητήρα και διαστάσεις



fritzing

Εικόνα 21: Ψηφιακή μορφή του ηλεκτρονικού σχεδίου με όλες τις συνδέσεις

Το πρόγραμμα είναι γραμμένο σε C/C++. Ο κώδικας που τρέχει πίσω από αυτό το σύστημα βρίσκεται από κάτω:

```
#include <Wire.h>
#include <LiquidCrystal.h>

LiquidCrystal lcd(12, 11, 5, 4, 3, 2); // Θέση ψηφίων στην εικόνα LCD

/*****Αισθητήρας*****/
#define MQ_PIN (0) //προσδιορισμός αναλογικού καναλιού
#define RL_VALUE (10) //προσδιορισμός αντίστασης σε kohm
#define RO_CLEAN_AIR_FACTOR (9.21) //RO_CLEAR_AIR_FACTOR=(RO είναι η αντίσταση του αισθητήρα στον καθαρό αέρα), το Ro παίρνει τις τιμές από το διάγραμμα που βρίσκεται στο εγχειρίδιο χρήσης

/*****Πρόγραμμα*****/
/**Ρύθμιση αισθητήρα**
#define CALIBRATION_SAMPLE_TIMES (50) //προσδιορισμός δειγμάτων
#define CALIBRATION_SAMPLE_INTERVAL (500) //προσδιορισμός περιόδου λήψης των δειγμάτων σε milliseconds
//
#define READ_SAMPLE_INTERVAL (50) //προσδιορισμός αριθμού λήψεων δειγμάτων που θα ληφθούν σε φυσιολογικές συνθήκες
#define READ_SAMPLE_TIMES (5) //προσδιορισμός κενού μεταξύ λήψεων
```

```

/*****Εφαρμογή προγράμματος*****/
#define          GAS_H2          (0)

/*****Κώδικας Αισθητήρα*****/
float          H2Curve[3] = {2.3, 0.93,-1.44}; //Επιλογή σημείων από
το διάγραμμα data format:{ x, y, slope}; point1: (lg200, lg8.5), point2:
(lg10000, lg0.03)

float          Ro          = 10;          //H Ro ενεργοποιείται
στην δηλωμένη τιμή

void setup() {
  lcd.begin(16, 2);
  Serial.begin(9600);          //Ρύθμιση του UART
(κύκλωμα των υπολογιστών το οποίο διαμεσολαβεί στην σειριακή επικοινωνία
υπολογιστών), baudrate = 9600bps (ταχύτητα επικοινωνίας, όσο πιο μεγάλη
τόσο πιο ευαίσθητο το κύκλωμα σε αλλαγές)
  Serial.print("Calibrating...\n");
  Ro = MQCalibration(MQ_PIN);          //Ρύθμιση του
αισθητήρα. Πρέπει να βρίσκεται σε περιβάλλον με καθαρό αέρα κατά την
ρύθμιση του αλλιώς προκύπτει σφάλμα
  Serial.print("Calibration is done...\n");
  Serial.print("Ro=");
  Serial.print(Ro);
  Serial.print("kohm");
  Serial.print("\n");
}
/**Ρύθμιση εικόνας LCD**
void LiquidCrystal()
{
  lcd.setCursor(0,0);
  lcd.print("");
}

void loop() {
  Serial.print("H2 Concentration:");
  Serial.print(MQGetGasPercentage(MQRead(MQ_PIN)/Ro,GAS_H2) );
  Serial.print(" ppm ");
  Serial.print("\n");
  delay(200);
  //lcd.print(MQGetGasPercentage(MQRead(MQ_PIN)/Ro,GAS_H2) );
  //lcd.clear();
  if (Serial.available()) {
    // wait a bit for the entire message to arrive
    delay(100);
    // καθαρισμός εικόνας
    lcd.clear();

    while (Serial.available() > 0) {
      lcd.write(Serial.read());
    }
  }
  // Θέση κέρσορα στην στήλη 0, γραμμή 1 (Γραμμή 1 είναι η δεύτερη καθώς το
μέτρομα ξεκινάει από το 0
  lcd.setCursor(0, 0);
  lcd.print("H2 Concentration:");
  lcd.setCursor(0, 1);
  lcd.print(MQGetGasPercentage(MQRead(MQ_PIN)/Ro,GAS_H2) );
  lcd.print(" ppm");
}

```

```

}}

//*****Sensor calibration settings*****
//*****MQResistanceCalculation *****
Input:   raw_adc - raw value read from adc, which represents the voltage
Output:  the calculated sensor resistance
Remarks: The sensor and the load resistor forms a voltage divider. Given
the voltage across the load resistor and its resistance, the resistance of
the sensor could be derived.
*****/
float MQResistanceCalculation(int raw_adc) {
    return ( ((float)RL_VALUE*(1023-raw_adc)/raw_adc));
}

/*****MQCalibration *****
Input:   mq_pin - analog channel
Output:  Ro of the sensor
Remarks: This function assumes that the sensor is in clean air. It use
MQResistanceCalculation to calculates the sensor resistance in
clean air and then divides it with RO_CLEAN_AIR_FACTOR. RO_CLEAN_AIR_FACTOR
is about 10, which differs slightly between different sensors.
*****/
float MQCalibration(int mq_pin) {
    int i;
    float val=0;

    for (i=0;i<CALIBARAION_SAMPLE_TIMES;i++) { //Λήψη πολλαπλών δειγμάτων
        val += MQResistanceCalculation(analogRead(mq_pin));
        delay(CALIBRATION_SAMPLE_INTERVAL);
    }
    val = val/CALIBARAION_SAMPLE_TIMES; //Υπολογισμός μέσης τιμής

    val = val/RO_CLEAN_AIR_FACTOR; //RO_CLEAN_AIR_FACTOR

    return val;
}
/*****MQRead*****
Input:   mq_pin - analog channel
Output:  Rs of the sensor
Remarks: This function use MQResistanceCalculation to calculate the sensor
resistance (Rs). The Rs changes as the sensor is in the different
concentration of the target gas. The sample times and the time interval
between samples could be configured by changing the definition of the
macros.
*****/
float MQRead(int mq_pin) {
    int i;
    float rs=0;

    for (i=0;i<READ_SAMPLE_TIMES;i++) {
        rs += MQResistanceCalculation(analogRead(mq_pin));
        delay(READ_SAMPLE_INTERVAL);
    }

    rs = rs/READ_SAMPLE_TIMES;

    return rds.;
}

/*****MQGetGasPercentage *****
Input:   rs_ro_ratio - Rs divided by Ro

```

```

    gas_id      - target gas type
Output: ppm of the target gas
Remarks: This function passes different curves to the MQGetPercentage
function which calculates the ppm (parts per million) of the target gas.
*****/
int MQGetGasPercentage(float rs_ro_ratio, int gas_id) {
    if ( gas_id == GAS_H2) {
        return MQGetPercentage(rs_ro_ratio,H2Curve);
    }
    return 0;
}

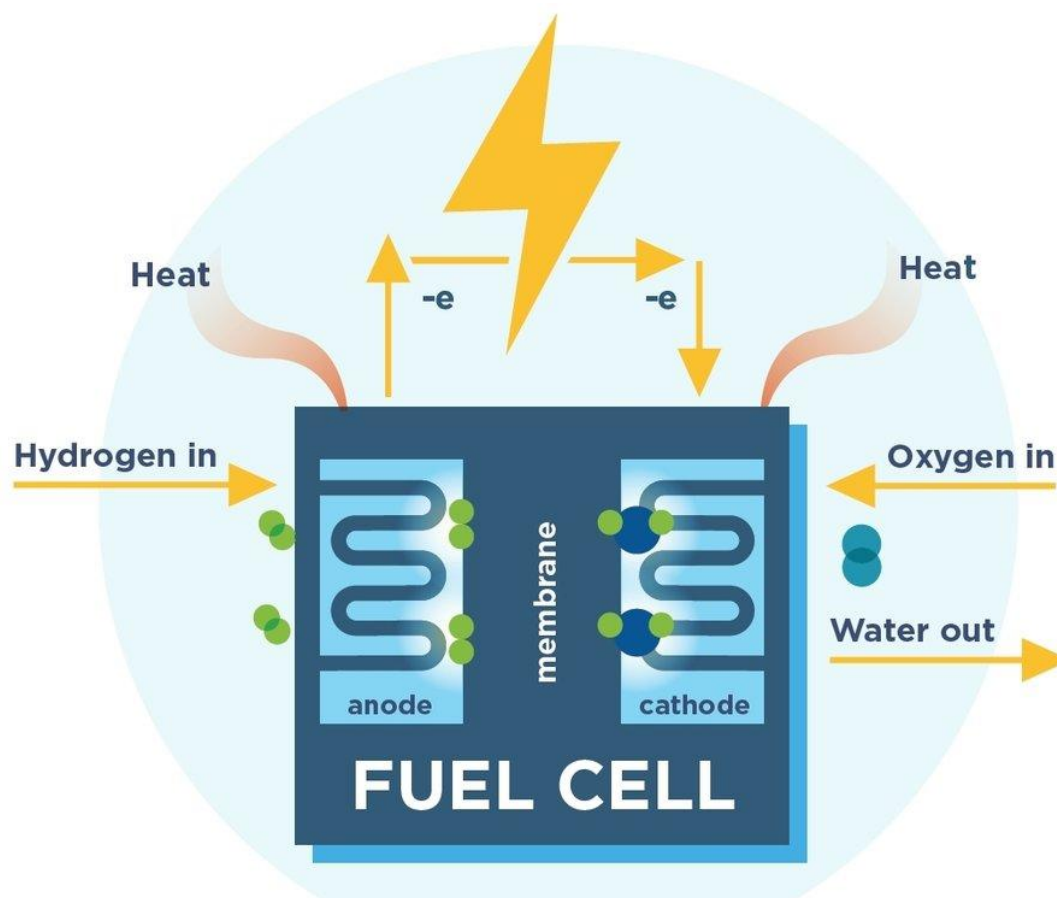
/*****MQGetPercentage *****/
Input:  rs_ro_ratio - Rs divided by Ro
        pcurve      - pointer to the curve of the target gas
Output: ppm of the target gas
Remarks: By using the slope and a point of the line. The x(logarithmic
value of ppm)of the line could be derived if y(rs_ro_ratio) is provided. As
it is a logarithmic coordinate, power of 10 is used to convert the result
to non-logarithmic value.
*****/
int MQGetPercentage(float rs_ro_ratio, float *pcurve) {
    return (pow(10, ( ((log(rs_ro_ratio)-pcurve[1])/pcurve[2]) + pcurve[0])));
}

```

Το πρόγραμμα είναι φτιαγμένο έτσι ώστε να κάνει δειγματοληψίες ανάλογα με τον χρόνο και τα διαστήματα που ορίζονται από τον χρήστη και τις δηλώνει σε μεταβλητές τις οποίες αργότερα περνάει σε μια καμπύλη και με λογάριθμο, στο τελευταίο σημείο του κώδικα, βγαίνει το αποτέλεσμα στην κονσόλα του περιβάλλοντος προγράμματος προγραμματισμού του Arduino. Μέσα στον κώδικα υπάρχουν σχόλια για περεταίρω εξήγηση των λειτουργιών.

4. Κυψέλη Καυσίμου

4.1 Κυψέλη Καυσίμου



Εικόνα 22: Σχεδιάγραμμα λειτουργίας μιας κυψέλης καυσίμου

Αντίθετα με τις συμβατικές τεχνολογίες καύσης καυσίμου όπου η ενέργεια από χημική με την χημική αντίδραση που παρέχεται μέσω της καύσης μετατρέπεται σε θερμική, η κυψέλη καυσίμου μετατρέπει την χημική ενέργεια ενός καυσίμου, με μεγάλη περιεκτικότητα σε υδρογόνο (όπως το CH_4), σε ηλεκτρική. Οι κυψέλες καυσίμου δεν χρειάζεται να επαναφορτίζονται όπως οι μπαταρίες και η παροχή ρεύματος είναι κάθε τι άλλο από περίπλοκη καθώς με την οποιαδήποτε παροχή ρεύματος, είτε είναι μέσο φωτοβολταϊκών που αποτελεί μέρος των ΑΠΕ (Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας) ή από κάποιας άλλης μορφή τροφοδοσία, υπάρχει η παραγωγή ρεύματος.

Η κυψέλη καυσίμου αποτελείται από μια άνοδο, μια κάθοδο και μια ηλεκτρολυτική μεμβράνη, στην άνοδο θα γίνεται η παραγωγή υδρογόνου και στην κάθοδο παραγωγή οξυγόνου μέσω της ανόδου και τις καθόδου αντίστοιχα. Στην άνοδο τα μόρια διαχωρίζονται σε ηλεκτρόνια και πρωτόνια. Τα πρωτόνια περνάνε μέσα από την ηλεκτρολυτική μεμβράνη ενώ τα ηλεκτρόνια περνούν μέσα από το κύκλωμα όπου παράγουν ηλεκτρικό ρεύμα και περίσσεια θερμότητα. Στην κάθοδο τα πρωτόνια, ηλεκτρόνια και το οξυγόνο συνδυάζονται παράγοντας νερό το οποίο το βρίσκεται στην έξοδο ως απόρριψη. Συνεπώς, λόγω της μεγάλης απόδοσης τους, πρόκειται για μια πολύ τεχνολογία όπου παράγεται ενέργεια με μηδενικό

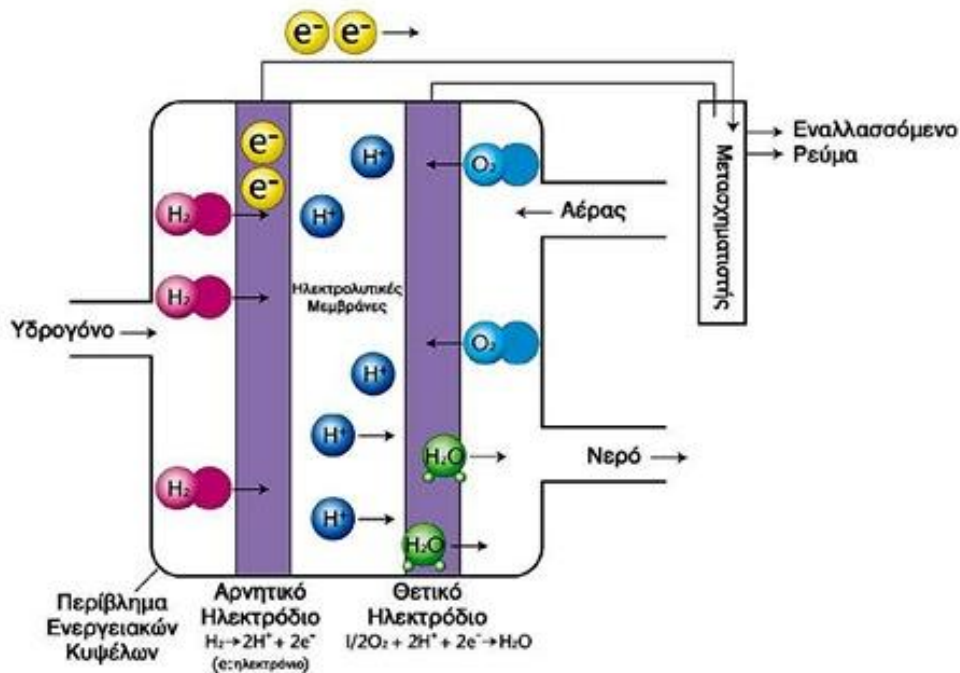
περιβαλλοντικό αποτύπωμα με τα μόνα προϊόντα της να είναι το νερό, περίσσεια θερμότητα και ηλεκτρικό ρεύμα και εφόσον πρόκειται για μια τεχνολογία χωρίς κινούμενα μηχανικά μέρη είναι σχεδόν αθόρυβη. Η κυψέλες καυσίμου μπορούν να αλλάξουν τις διαστάσεις τους. Αυτό σημαίνει πως η κάθε κυψέλη καυσίμου μπορεί εφαρμοστεί πάνω από την άλλη έτσι ώστε να δημιουργήσουν μια σειρά από κυψέλες καυσίμου για να διαμορφώσουν ένα μεγαλύτερης ισχύς σύστημα. Το αποτέλεσμα αυτής της σύνθεσης διαφορετικών μεγεθών έδωσε την δυνατότητα χρήσης αυτής της τεχνολογίας σε διαφορετικές συσκευές αλλά και στην μεγαλύτερη παραγωγή ρεύματος όπως ένα εργοστάσιο παραγωγής. Κάποιες εφαρμογές έχουν ήδη εγκατασταθεί σε “smart” κινητά τηλέφωνα, σε ηλεκτρικά οχήματα αλλά ακόμη και σε εργοστασιακή παροχή ρεύματος για την παραγωγή πολλών megawatt απευθείας στο δίκτυο. Κάποια από τα πολλαπλά πλεονεκτήματα αυτής της τεχνολογίας είναι:

- Χαμηλή ή και μηδενική παραγωγή επιβλαβών για το περιβάλλον αερίων
- Μεγάλη απόδοση
- Αξιόπιστη
- Δυνατότητα χρήσης διαφορετικού τύπου καυσίμων
- Σταθερή παραγωγή
- Αντοχή
- Μεγάλη ευελιξία στο εφαρμοζόμενο μέγεθος της
- Αθόρυβη λειτουργία

Ο σκοπός της κυψέλης καυσίμου είναι η παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος το οποίο μπορεί να μεταφερθεί μέσω του δικτύου. Το ηλεκτρικό ρεύμα συμπεριφέρεται έτσι ώστε να επιστρέφει πίσω στην κυψέλη καυσίμου, όμως για το πιο σημαντικό στοιχείο σε αυτήν την τεχνολογία είναι οι χημικές αντιδράσεις οι οποίες καθιστούν δυνατή αυτή τη παροχή.

Υπάρχουν διαφορετικών ειδών κυψέλες καυσίμου και η κάθε μια έχει τον ξεχωριστό τρόπο λειτουργίας της αλλά σε γενικές γραμμές άμα χρειαστεί η περιγραφή για τον τρόπο λειτουργίας, ξεκινώντας από την παροχή ατόμων υδρογόνου σε μια κυψέλη καυσίμου από την άνοδο όπου μια χημική αντίδραση του αφαιρεί ένα ηλεκτρόνιο. Τα άτομα του υδρογόνου έχουν πλέον ιονιστεί που σημαίνει ότι φέρουν θετικό ηλεκτρικό φορτίο και τα αρνητικά φορτισμένα ηλεκτρόνια μεταφέρονται μέσα από το δίκτυο παρέχοντας με ηλεκτρικό ρεύμα, αυτή η παροχή βέβαια πρόκειται για συνεχές ρεύμα (DC), σε περίπτωση που χρειάζεται όμως η παροχή εναλλασσόμενου ρεύματος (AC) τότε θα πρέπει κατά την έξοδο του ρεύματος από την κυψέλη να περνάει μέσα από μια συσκευή inverter. Από την μεριά του οξυγόνου, περνάει από την κάθοδο στην κυψέλη όπου εκεί συνδυάζεται με τα ηλεκτρόνια που επιστρέφουν από το δίκτυο και ιόντα υδρογόνου που μεταφέρθηκαν στην κυψέλη μέσω του ηλεκτρολύτη από την άνοδο. Σε κάποιους τύπους κυψελών καυσίμου το οξυγόνο δεσμεύει τα ηλεκτρόνια και μετά μεταφέρεται μέσω του ηλεκτρολύτη στην άνοδο όπου εκεί πλέον συνδυάζεται με το υδρογόνο. Ορισμένες εταιρίες αυτοκινήτων, όπως η BMW με το «Hydrogen Next», έχουν προσαρμόσει κυψέλες καυσίμου στα οχήματα τους σε παλαιότερα αλλά και πιο καινούργια μοντέλα σε μορφή υβριδικής λειτουργίας με βενζίνη ή ακόμη και με ηλεκτρική μπαταρία. Στο παράδειγμα της BMW δεν υπάρχει μηχανή εσωτερικής καύσης και το όχημα κινείται εξ ολοκλήρου από την ενέργεια που παράγεται μέσω των εσωτερικών κυψελών καυσίμου. Τέτοιου είδους παραδείγματα

βρίσκονται ακόμη σε πειραματικά στάδια πριν κάνουν την εμφάνιση τους στο εμπόριο και το συγκεκριμένο θα εμφανιστεί το 2025. Ωστόσο, υπάρχει η λειτουργία εναλλαγής του καυσίμου από βενζίνη σε υδρογόνο. Τρανταχτό παράδειγμα είναι ο «Κινητήρας Βάνκελ» ή περιστροφικός κινητήρας, όπου εισέρχεται το μίγμα καυσίμου-αέρα το οποίο ακολουθεί την περιστροφή εφόσον ωθείται από τη γωνία του τριγωνικού εμβόλου, στο οποίο παρέχουν στεγανότητα τα ελατήρια του τοιχώματος του κυλίνδρου. Έτσι, το μίγμα μεταφέρεται μετά από περιστροφή ορισμένων μοιρών στο στάδιο πλήρους συμπίεσης. Εκεί δέχεται σπινθηρισμό με τη βοήθεια αναφλεκτήρα (μπουζί) και ακολουθεί καύση και εκτόνωση των καυσαερίων, καθώς ο όγκος μέσα στον οποίο περιέχονται αυξάνεται λόγω της περιστροφής του εμβόλου. Τέλος, τα καυσαέρια εξωθούνται από το θάλαμο καύσης από την εξαγωγή. Η περιστροφή συνεχίζεται όσο υπάρχει καύση. Ο κινητήρας όμως έχει προβλήματα, καίει το ψυκτικό λάδι της μηχανής, έχει μειωμένη απόδοση κατά την καύση. Η Mazda έφτιαξε ένα μοντέλο το οποίο ήταν υβριδικό, υπήρχε η δυνατότητα εναλλαγής του καυσίμου από βενζίνη σε υδρογόνο και κυκλοφόρησε μόνο στην Ιαπωνία (2006). Το υδρογόνο σε αυτήν την Μηχανή Εσωτερικής Καύσης έχει το πλεονέκτημα έναντι της βενζίνης να δημιουργεί ένα ομοιόμορφο μίγμα με τον αέρα αυξάνοντας την απόδοση, ένα άλλο πλεονέκτημα είναι η ενέργεια που απαιτείται για την ανάφλεξη του υδρογόνου σε σχέση με την βενζίνη η οποία είναι πολύ χαμηλότερη κ.α.



Εικόνα 23: Λειτουργία μιας "Κυψέλης Καυσίμου"

Ο ηλεκτρολύτης βέβαια παίζει τον κύριο ρόλο στην λειτουργία της κυψέλης καυσίμου καθώς πρέπει να επιτρέπει την κίνηση μόνο των σωστών ιόντων κάθε φορά μεταξύ της ανόδου και της καθόδου, αν επέτρεπε την μεταφορά ελεύθερων ηλεκτρονίων ή άλλων ουσιών αυτό θα σταματούσε την χημική αντίδραση που παράγει το ηλεκτρικό ρεύμα. Θα πρέπει να αναφερθεί εδώ πως είτε συνδυαστούν στην άνοδο ή στην κάθοδο, το οξυγόνο και το υδρογόνο, σχηματίζουν νερό και αυτό σημαίνει πως σταδιακά εξασθενεί το «καύσιμο» της κυψέλης καυσίμου αλλά θα παραμείνει η

συνεχή παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος. Η ιδιότητα αυτής της τεχνολογίας παραγωγής ρεύματος είναι πως καθ' όλη την λειτουργία της το ρεύμα παράγεται με χημικό τρόπο, αυτό σημαίνει πως οι νόμοι της θερμοδυναμικής δεν εφαρμόζονται σε αυτήν την περίπτωση όπου περιορίζουν έναν συμβατικό πάροχο ηλεκτρικού ρεύματος όπου χρησιμοποιείται η καύση ορυκτών καυσίμων.

Συμπερασματικά η κυψέλη καυσίμου έχει μεγαλύτερη αποδοτικότητα κατά την εξαγωγή της ενέργειας από το καύσιμο που εκμεταλλεύεται, κατά την χρήση της βέβαια μπορεί να υπάρξει και παραγωγή θερμότητας η οποία διαφεύγει στο περιβάλλον αλλά ακόμη και γι' αυτό το πρόβλημα υπάρχει η δυνατότητα να συλληχθεί και αργότερα να αξιοποιηθεί καθιστώντας την μια μέθοδο όπου η μεγαλύτερη ποσότητα της εκμεταλλεούμενης ενέργειας αξιοποιείται και ενισχύεται περαιτέρω. Είναι σωστό να σημειωθεί σε αυτό το σημείο τον λόγο που περιορίζεται ένας συμβατικός σταθμός παραγωγής ρεύματος που μπορεί να εξηγηθεί μέσω της «Θεωρίας του Καρνότ» όπου αυτό πρόκειται για ένα θεωρητικό όριο που περιορίζει την απόδοση μιας μηχανής καύσεως. Πήρε το όνομα της από έναν Γάλλο επιστήμονα «Sadi Carnot (1796-1832)»

4.2 Διαφορετικοί τύποι Κυψελών Καυσίμου

Καθώς ο τρόπος απεικόνισης της λειτουργίας μιας κυψέλης καυσίμου μπορεί να μην φαίνεται δύσκολος όμως η κατασκευή μιας έμπιστης, αποδοτικής και φθηνής κυψέλης καυσίμου μπορεί να είναι περίπλοκος. Γιαυτό τον λόγο, επιστήμονες και επενδυτές έχουν σχεδιάσει διάφορους τύπους κυψελών καυσίμου που η καθεμία τους λειτουργεί διαφορετικά με διαφορετικό βαθμό απόδοσης αλλά και καύσιμο. Ο μόνος περιορισμός κατά την ανάπτυξη ενός νέου τύπου αυτής της τεχνολογίας είναι ο ηλεκτρολύτης που θα χρησιμοποιηθεί. Ο σχεδιασμός των ηλεκτροδίων για παράδειγμα και τα υλικά που θα χρησιμοποιηθούν για την κατασκευή τους εξαρτώνται από τον ηλεκτρολύτη. Σήμερα, οι πιο γνωστοί ηλεκτρολύτες είναι αλκαλικοί, τετηγμένο ανθρακικό, φωσφορικό οξύ, μεμβράνη εναλλαγής πρωτονίων, στερεού οξειδίου όπου τα τρία πρώτα είναι σε υγρή μορφή και τα υπόλοιπα σε στερεή. Το είδος του καυσίμου, επίσης, εξαρτάται από τον ηλεκτρολύτη και αυτό συμβαίνει διότι κάποιοι τύποι κυψελών χρειάζονται παροχή καθαρού υδρογόνου και αυτό προϋποθέτει την χρήση συμπληρωματικών συσκευών για την εξυγίανση του όπως ένας μετατροπέας για την εξυγίανση του καυσίμου.

Ωστόσο, σε κάποιες κυψέλες, ακόμη και χωρίς την προστιθέμενη μέθοδο της εξυγίανσης, μπορούν να χρησιμοποιήσουν το χρησιμοποιούμενο καύσιμο χωρίς προβλήματα αλλά χρειάζονται μεγαλύτερα ποσά θερμοκρασίας για να λειτουργήσουν αποδοτικά. Στις κυψέλες καυσίμου όπου λειτουργούν με υγρό ηλεκτρολύτη χρειάζεται η χρήση αντλίας. Σε άλλες κυψέλες πάλι ο ηλεκτρολύτης καθορίζει μέχρι και την θερμοκρασία λειτουργίας, όπως το τετηγμένο ανθρακικό όπου από το όνομα γίνεται γνωστό πως η θερμοκρασία λειτουργίας της είναι μεγάλη και συγκεκριμένα κοντά στους 650 °C. Ως συμπέρασμα όμως, βέβαια αυτή η τεχνολογία δεν είναι αρκετά αποδοτική και φθηνή για να αντικαταστήσει τις συμβατικές τεχνολογίες παραγωγής ρεύματος όπως τα ορυκτά καύσιμα, υδροηλεκτρικά ή ακόμη και την πυρηνική ενέργεια. Παρακάτω υπάρχει μια λίστα όπου αναλύονται πέντε από τους πιο κοινούς τύπους κυψελών καυσίμου:

1. Οι αλκαλικές (Alkali Fuel Cells) κυψέλες καυσίμου λειτουργούν με τροφοδοσία πεπιεσμένου υδρογόνου και οξυγόνου. Χρησιμοποιούν διάλυμα Υδροξειδίου

του Καλίου ή αλλιώς καυστική ποτάσα ως ηλεκτρολύτη η οποία πρόκειται για ισχυρή βάση με χημικό τύπο KOH. Η απόδοση μιας τέτοιας κυψέλης είναι 70% και η θερμοκρασία λειτουργίας κυμαίνεται στα 150 – 200°C. Η παραγόμενη ισχύς κυμαίνεται στα 300 Watts με 5 Kilowatts. Χρειάζονται εξυγιασμένο υδρογόνο κατά την λειτουργία τους και οι καταλύτες των ηλεκτροδίων τους είναι κατασκευασμένα από λευκόχρυσο όπου καθιστά το κόστος κατασκευής αρκετά υψηλό. Ένα παράδειγμα χρήσης της μπορεί να παρατηρηθεί στο διαστημόπλοιο «Apollo» όπου είχαν τοποθετηθεί για την παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος αλλά και νερού.

2. Οι κυψέλες τετηγμένου ανθρακικού (MCFC) χρησιμοποιούν στοιχεία, όπως το Νάτριο ή το Μαγνήσιο, τα οποία βρίσκονται στην κατηγορία των αλάτων ως ηλεκτρολύτη. Η απόδοση κυμαίνεται σε 60 – 80% και η θερμοκρασία λειτουργίας στους 650°C. Έχουν παραγόμενη ισχύ έως 2 MW όμως έχουν κατασκευαστεί κομμάτια που φθάνουν μέχρι και τα 100 MW. Οι μεγάλες θερμοκρασίες περιορίζουν την φθορά από το μονοξειδίο του άνθρακα το οποίο είναι υπαίτιο για την «δηλητηρίαση» της κυψέλης αλλά και τη μείωση του βαθμού απόδοσης λόγω της απορριπτόμενης θερμότητας. Όμως αυτό το πρόβλημα της μεγάλης θερμότητας που χάνεται στο περιβάλλον μπορεί να λυθεί χρησιμοποιώντας την παραγόμενη θερμότητα που χάνεται ανακυκλώνοντας την αυξάνοντας την απόδοση της κυψέλης. Όσον αφορά τους καταλύτες της, χρησιμοποιεί ηλεκτρόδια – καταλύτες νικελίου που έχουν σχετικά πολύ μικρότερο κόστος από αυτά του λευκόχρυσου που χρησιμοποιούν άλλες κυψέλες καυσίμου. Ωστόσο, αυτή η κυψέλη έχει ένα πλεονέκτημα που καθιστά την χρήση της στην καθημερινότητα αλλά και σε άλλες περιπτώσεις δύσκολη, επειδή η θερμοκρασίες λειτουργίας είναι αρκετά υψηλές οι επιλογές στα υλικά που μπορούν να χρησιμοποιηθούν είναι ελάχιστες έτσι ώστε να μπορούν να αντέξουν την συνεχόμενη χρήση και περιορίζεται ταυτόχρονα και η ασφάλεια. Βέβαια, λόγω των αυξημένων θερμοκρασιών η οικιακή χρήση είναι σχεδόν απαγορευτική. Τέλος, ιόντα ανθρακικού από τον ηλεκτρολύτη καταναλώνονται κατά την αντίδραση χεριάζοντας έτσι την συνεχόμενη παροχή διοξειδίου του άνθρακα για να καλυφθεί αυτό το κενό.
3. Οι κυψέλες Φωσφορικού Οξέος (PAFC) χρησιμοποιούν φωσφορικό οξύ (H_3PO_4) ως ηλεκτρολύτη. Η απόδοση είναι γύρω στα 40 – 80%, δεν είναι ιδιαίτερα σταθερή όπως φαίνεται με μεγάλο εύρος που τα διαχωρίζει 40%. Η θερμοκρασία λειτουργίας κυμαίνεται στα 150 – 200°C. Η ενεργειακή τους απόδοση φθάνει τα 200 KW. Αναφέρεται πως σε κάποιες κυψέλες η «δηλητηρίαση» από μονοξειδίο του άνθρακα μειώνει την απόδοση και γι' αυτό τον λόγο πρέπει να χρησιμοποιείται μόνο εξυγιασμένο υδρογόνο, όμως στην περίπτωση της κυψέλης Φωσφορικού Οξέος μπορεί να υπάρχει σε συγκέντρωση έως και 1,5% οπότε αυτό μεγαλώνει τον αριθμό επιλογών που υπάρχουν σε καύσιμα. Υπάρχουν και περιορισμοί, αν χρησιμοποιηθεί βενζίνη τότε θα πρέπει να αφαιρεθεί το θείο. Ωστόσο, εδώ χρειάζονται ηλεκτρόδια-καταλύτες από λευκόχρυσο αλλά και εξαρτήματα που μπορούν να αντέξουν

σε οξειδωτικές συνθήκες το οποίο καθιστά το κόστος της εγκατάστασης μεγάλο.

4. Κυψέλες Μεμβράνης Εναλλαγής Πρωτονίων (PEM) είναι κυψέλες που λειτουργούν με συνθετικό ηλεκτρολύτη σε μορφή ενός λεπτού, διαπερατού φύλου. Η απόδοση τους φτάνει το ποσοστό των 40 – 50% και η θερμοκρασία λειτουργίας τους 80°C. Η ενεργειακή απόδοση τους ξεκινάει από 50 KW και φτάνει έως τα 250 KW. Ο στερεός, ελαστικός ηλεκτρολύτης δεν στάζει, δεν ραγίζει και ένα σημαντικό πλεονέκτημα τους είναι η θερμοκρασία στην οποία μπορούν να λειτουργήσουν καθώς αυτό τους δίνει την δυνατότητα να χρησιμοποιηθούν σε σπίτια αλλά και σε οχήματα. Όμως, τα καύσιμα τους πρέπει να εξαγιαστούν πριν την χρήση και ο καταλύτης που θα χρησιμοποιηθεί και στις δύο πλευρές της μεμβράνης είναι από λευκόχρυσο αυξάνοντας έτσι το κόστος κατασκευής – αγοράς.
5. Κυψέλες Στερεού Οξειδίου (SOFC) χρησιμοποιούν ένα σκληρό, κεραμικό μίγμα από οξειδία μετάλλων ως ηλεκτρολύτη. Μπορεί να επιτύχει 60% απόδοση και έχει ως θερμοκρασία λειτουργίας τους 1000°C. Η ηλεκτρική τους απόδοση ανέρχεται στα 100 kW. Σε τόσο μεγάλες θερμοκρασίες μια συσκευή μετατροπής τους υδρογόνου από το καύσιμο δεν είναι απαραίτητη και η θερμότητα που θα μπορούσε να χαθεί στο περιβάλλον μπορεί εύκολα να ανακυκλωθεί για να ανεβάσει την απόδοση συνεπώς και την παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος. Βέβαια, σε τόσο μεγάλες θερμοκρασίες λειτουργίας μειώνει τις εφαρμογές της κυψέλης καθώς εκτός από τη μεγάλη θερμοκρασία, καταλαμβάνουν μεγάλη μάζα καθώς το μέγεθος τους είναι μεγάλο. Ωστόσο, πρέπει να σημειωθεί πως αν και δεν υπάρχει φόβος για δημιουργία συμπυκνωμάτων και βέβαια στάξιμο, υπάρχει ο φόβος να ραγίσει.

5. Αποτελέσματα – Σύγκριση - Συμπεράσματα

5.1 Κοστολόγιο – Υλικά

Τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν για την κατασκευή της εργασίας μελετήθηκαν πριν αγοραστούν για την σωστή συνεργασία, χημική και πρακτική, μεταξύ τους και με κύριο γνώμονα την αποτελεσματικότητα αλλά και το κόστος. Ορισμένα από τα υλικά δεν υπήρχε διαθεσιμότητα στην Ελλάδα οπότε χρειάστηκε να γίνει έρευνα αγοράς σε άλλες χώρες όπως η Κίνα για την αγορά τους μέσω ebay το οποίο είναι μια πλατφόρμα αγοραπωλησιών διεθνούς επιπέδου.

Πίνακας 6: Κοστολόγιο Δεξαμενής - Ηλεκτροδίων

Δεξαμενή		Ηλεκτρόδια	
6 τεμ. 5mm πλεξιγκλάς (4 πλευρές των 20 cm 1 καπάκι των 20 cm 1 βάση των 40 cm)	25 €	5 τεμ. Ράβδοι γραφίτη διαμέτρου 4mm και μήκος 15 cm	4 €
Κόλλα σιλικόνη Everbuild	10 €	1 τεμ. πλάκα γραφίτη 10cm μήκος, 10cm πλάτος και 1cm πάχος	4 €
8 τεμ. Αλουμινίου μήκους 20 cm και πλάτους 2.50 cm.	0 €	Σετ μύτες μολυβιών	2 €
Σύνολο	35 €	Σύνολο	10 €

Πίνακας 7: Κοστολόγιο Ηλεκτρονικών εξαρτημάτων - Συλλέκτες

Ηλεκτρονικά Εξαρτήματα		Συλλέκτες	
20 τεμ. jumper wires 20 cm M/M	2,90 €	2 τεμ. μπουκάλια νερού	1 €
6 τεμ. jumper wires 15 cm	1,45 €	2 τεμ. Αλφαδολάστιχο 15cm	0 €
1 τεμ. Ποτενσιόμετρο 22kohm	0,65 €		
1 τεμ. αισθητήρας MQ8	2,34 €		
1 τεμ. θήκη για τις υποδοχές	0,32 €		
1 τεμ. δισκάκι οδηγός	0,97 €		
1 τεμ. breadboard 400 pin μισού μεγέθους	2,58 €		
1 τεμ. LCD οθόνη	3,15 €		
2 τεμ. καλώδια κροκοδειλάκια	2,82 €		
1 τεμ. ψηφιακό πολύμετρο	9,60 €		
1 τεμ. clips σύνδεσης μπαταρίας	0,20 €		
1 τεμ. μπαταρία 9V	3,06 €		
1 τεμ. breadboard (full size)	4,06 €		
3 τεμ. αντιστάσεις 220 ohm	0,08 €		
1 τεμ. LED κόκκινο	0,16 €		
1 τεμ. Arduino UNO	21 €		
Σύνολο	55,34 €	Σύνολο	1 €

Το συνολικό κόστος της κατασκευής εκτιμάται στα 100,34 ευρώ.

5.2 Συμπέρασμα

Πριν την διεξαγωγή του τελικού πειράματος, εφαρμόστηκε η μέθοδος της ηλεκτρόλυσης για την παραγωγή υδρογόνου σε μικρότερης κλίμακας δοχεία όπως ένα μπουκάλι νερό στο οποίο έγιναν δυο οπές στο κάτω μέρος όπου τα ηλεκτρόδια εισήλθαν στο δοχείο και στερεώθηκαν με σιλικόνη για να εμποδίσει τυχόν υγρά σωματίδια να δραπτετεύσουν από τις σχισμές που δημιουργήθηκαν, με αυτόν τον τρόπο γίνεται η αποφυγή βραχυκυκλώματος. Στην πράξη, ο σένσορας θέλει περίπου μια μέρα για να ρυθμιστεί σε θερμοκρασίες δωματίου, ωστόσο για μικρής κλίμακας

πειράματα δεν χρειάζεται να επιτευχθεί η ιδανική ευαισθησία του οργάνου οπότε 5 λεπτά αρκούν για να δείξουν την ένδειξη πως υπάρχει όντως παραγωγή υδρογόνου. Πρέπει να σημειωθεί πως η παραγωγή υδρογόνου με ηλεκτρόλυση νερού ακολουθεί την απελευθέρωση οξυγόνου το οποίο επηρεάζει επίσης τον σένσορα αλλά όχι τόσο σημαντικά έτσι ώστε να δημιουργηθεί πρόβλημα με τις μετρήσεις παρά μόνο ένα μικρό σφάλμα όπως και με την ρύθμιση του αισθητήρα.

Με την σύνδεση πηγής ενέργειας, μπαταρία 9V, η πρώτη ένδειξη του αισθητήρα βρίσκεται στα 22 ppm, το οποίο αν κάποιος ενδιαφερθεί να κοιτάξει τον κώδικα θα καταλάβει πως καταγράφει δεκάδες μετρήσεις και βγάζει τον μέσο όρο αυτών εμφανίζοντας τον στην οθόνη. Μετά από κάποια δευτερόλεπτα αρχίζει να πέφτει η συγκέντρωση του υδρογόνου και σταθεροποιείται γύρω στα 17-18 ppm. Όταν συνδεθούν οι ακροδέκτες με τα ηλεκτρόδια γραφίτη θα παρατηρηθεί πως την πρώτη φορά δεν θα επιτευχθεί ηλεκτρόλυση στο νερό. Αυτό συμβαίνει όταν γίνεται προσπάθεια να ασκηθεί ηλεκτρική τάση σε απιονισμένο νερό που σημαίνει πως το νερό δεν άγει το ηλεκτρικό ρεύμα καθώς δεν υπάρχουν διαλυμένα άλατα, γι' αυτό τον λόγο συνιστάται η προσθήκη μικρής ποσότητας αλατιού 5 γραμμαρίων το οποίο είναι ικανό με μικρή τάση 5V από την μπαταρία να ενεργοποιηθεί η ηλεκτρόλυση στο διάλυμα πλέον όπου προστέθηκε ηλεκτρολύτης. Ακόμη και όταν θερμανθεί ο αισθητήρας δεν υπάρχει κίνδυνος, συμβαίνει λόγω της θέρμανσης του heat coil που βρίσκεται εσωτερικά, ουσιαστικά ο αισθητήρας έχει ως θερμοκρασία εκκίνησης τα 5V. Μόλις τοποθετηθεί ο αισθητήρας κοντά στο στόμιο του μπουκαλιού θα παρατηρηθεί ένα peak στις μετρήσεις της τάξης των 50-80 ppm με έκθεση στο υδρογόνο 2 δευτερολέπτων. Οι φυσαλίδες που δημιουργούνται στην επιφάνεια των ηλεκτροδίων έχουν εγκλωβίσει τα διασπασμένα αέρια, οξυγόνο και υδρογόνο αντίστοιχα.

Από τα αποτελέσματα προκύπτει:

H2 Concentration(ppm)	Μέση τιμή (ppm) (18 τιμές)
625	916.5
674	
691	
816	
794	
818	
813	
665	
925	
954	
908	
961	
1078	
995	
1227	
1253	
1177	
1043	

Παρατηρούμε αύξηση της παραγωγής υδρογόνου όσο περνάει ο χρόνος. Η μέση τιμή παραγωγής υδρογόνου μέσω της ηλεκτρόλυσης του νερού είναι 916,5 ppm σε διάστημα χρόνου 20 λεπτών. Πράγμα που δείχνει πως με την διαρκή παροχή

ηλεκτρονίων στο διάλυμα η θερμοκρασία αυξάνεται με αποτέλεσμα αυτό να μειώνει το απαιτούμενο ηλεκτρικό δυναμικό που χρειάζεται για τη διάσπαση του. Το πείραμα δεν είναι από μόνο του επικίνδυνο από την στιγμή που η διεξαγωγή του έγινε σε ανοιχτό, από όλες τις πλευρές, χώρο με αποτέλεσμα το υδρογόνο να χάνεται και να μην προλαβαίνει να αναπτύξει μεγάλες συγκεντρώσεις για τον κίνδυνο ανάφλεξης από κάποια πηγή ή αυτανάφλεξης του λόγω θερμοκρασιών που ενδέχεται να υπάρχουν σε κάποιο από τα ηλεκτρονικά εξαρτήματα από κάποια σπίθα. Η θερμοκρασία αυτανάφλεξης του στον αέρα είναι 500 °C. Η ανάφλεξη του υδρογόνου είναι μια αντίδραση εξωθερμική, προκαλώντας έκρηξη και ως αποτέλεσμα της χημικής αντίδρασης υπάρχει νερό.

5.3 Μελλοντική επέκταση εργασίας

Η προστασία του περιβάλλοντος θα πρέπει να βρίσκεται στις προτεραιότητες όλων ως Μηχανικοί καθώς εμείς καλούμαστε να βρούμε λύσεις σε πολλά αδιέξοδα της ανθρωπότητας. Η παρουσίαση νέων τεχνολογιών αλλά και η εξέλιξη των υπάρχοντων μπορούν να βελτιώσουν την ποιότητα της καθημερινότητας αρκετά και αυτό με σεβασμό προς το οικοσύστημα του οποίου είμαστε μέρος. Με την χρήση των παραπάνω πληροφοριών, πάνω στο ζήτημα της πράσινης ενέργειας, ο καθένας μπορεί να εξελίξει την ιδέα που έχει ανεξάρτητα από τον κλάδο τον οποίο προέρχεται. Μελλοντικά, θα θέλαμε να διεξάγουμε έρευνες που θα μειώσουν την επικινδυνότητα και θα αυξήσουν την χρήση του υδρογόνου ως εναλλακτική μορφή παροχής ενέργειας.

6. Βιβλιογραφία

6.1 Ελληνική

1. Δ. Α. Γιαννακουδάκη, Εφαρμογές Ηλεκτροχημικών Συστημάτων, Α.Π.Θ. 1984.
2. Ι. Α. Μουμτζή, Δ. Σάζου Ηλεκτροχημεία, Β Έκδοση Εκδόσεις Ζήτη.
3. Αμπατζόγλου Γιάννης, Ηλεκτρονικός Μηχανικός, καθηγητής ΠΕ84. Arduino Available at:
http://users.sch.gr/jabatzo/files/yliko/live%20ebooks/robotiki_G_2018_final/arduino.html

6.2 Ξενόγλωσση

1. G.Q Lu,C.Y Wang (2004) Electrochemical and flow characterization of a direct methanol fuel cell.
2. P. Famouri ; R.S. Gemmen (2003) Electrochemical circuit model of a PEM fuel cell
3. Youssef Naimi and Amal Antar (August 22nd 2018). Hydrogen Generation by Water Electrolysis, Advances In Hydrogen Generation Technologies, Murat Eyvaz, IntechOpen, DOI: 10.5772/intechopen.76814. Available from:
<https://www.intechopen.com/books/advances-in-hydrogen-generation-technologies/hydrogen-generation-by-water-electrolysis>
4. CK-12 Foundation by Sharon Bewick, Richard Parsons, Therese Forsythe, Shonna Robinson, and Jean Dupon. 24-11-2019 23.9: ELECTROLYSIS OF WATER Available from:
[https://batch.libretexts.org/print/A4/url=https://chem.libretexts.org/Bookshelves/Introductory_Chemistry/Book%3A_Introductory_Chemistry_\(CK-12\)/23%3A_Electrochemistry/23.09%3A_Electrolysis_of_Water.pdf](https://batch.libretexts.org/print/A4/url=https://chem.libretexts.org/Bookshelves/Introductory_Chemistry/Book%3A_Introductory_Chemistry_(CK-12)/23%3A_Electrochemistry/23.09%3A_Electrolysis_of_Water.pdf)
5. Mamadou Lamine Doumbia and Kodjo Agbossou (December 1st 2009). Photovoltaic/Wind Energy System with Hydrogen Storage, Renewable Energy, T J Hammons, IntechOpen, DOI: 10.5772/7367. Available from:
<https://www.intechopen.com/books/renewable-energy/photovoltaic-wind-energy-system-with-hydrogen-storage>
6. FCHEA (Fuel Cell & Hydrogen Energy Association), “Hydrogen and Fuel Cell Safety Report”, <http://www.hydrogenandfuelcellsafety.info/>
7. Pacific Northwest National Laboratory, USA, “H2 Tools, Lessons Learned”, <https://h2tools.org/lessons>

6.3 Ιστοσελίδες

1. [Smart Technical Solutions - Τι είναι Ηλεκτρόλυση](#)
2. [Wikipedia - Electrolysis](#)
3. [New World Encyclopedia - Electrolysis](#)
4. [Wikipedia - Μαγνητική Δυναμική γραμμή](#)
5. [Wikipedia – Michael Faraday](#)
6. [Study - Faraday's Laws](#)
7. [Περιοδικός Πίνακας](#)
8. [Wikipedia - Valency](#)

9. Chem.ucla.edu – Mass Equivalent
10. [Electrical4u](#) - Laws of Electrolysis
11. [Wikipedia](#) - Δεσμός Υδρογόνου
12. Chemistry.stackexchange – H₂O₂
13. [Wikipedia](#) – Sensors
14. [MQ](#) - 8 Technical Sheet
15. [Fuel Cell Association](#)
16. [American History](#) - Basics of Fuel Cells
17. [Wikipedia](#) - Valence
18. digipac.ca - Electrolysis Procedure
19. [Wikipedia](#) - Solvation
20. [ScienceDaily](#) - Methane Fuel Cell
21. [Wikipedia](#) - Wankel Engine