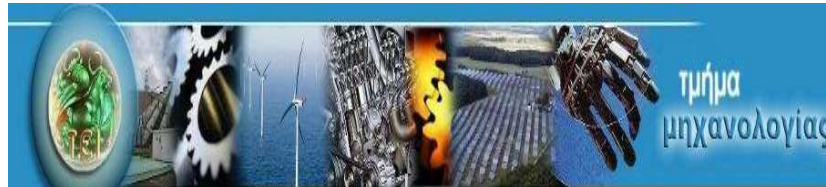


ΑΚΑΔΗΜΙΑ ΕΜΠΟΡΙΚΟΥ ΝΑΥΤΙΚΟΥ

ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ



ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ



**ΘΕΜΑ : ΧΡΗΣΗ ΥΔΡΟΓΟΝΟΥ ΣΕ ΕΜΒΟΛΟΦΟΡΕΣ ΜΕΚ:
ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΚΑΥΣΗΣ, ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΑΠΟΛΟΣΗ ΚΑΙ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ
ΕΚΠΟΜΠΩΝ ΤΟΥ.**

ΣΠΟΥΔΑΣΤΗΣ : ΚΙΟΣΣΕΣ ΑΘΑΝΑΣΙΟΣ

**ΕΠΙΒΛΕΠΟΥΣΑ ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ : Κ_α
ΜΠΑΚΟΓΙΑΝΝΗ**

ΝΕΑ ΜΗΧΑΝΙΩΝΑ 2016 ΑΚΑΔΗΜΙΑ

ΕΜΠΟΡΙΚΟΥ ΝΑΥΤΙΚΟΥ

ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΘΕΜΑ : ΧΡΗΣΗ ΥΔΡΟΓΟΝΟΥ ΣΕ ΕΜΒΟΛΟΦΟΡΕΣ ΜΕΚ:
ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΚΑΥΣΗΣ, ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΑΠΟΔΟΣΗ ΚΑΙ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ
ΕΚΠΟΜΠΩΝ ΤΟΥ.**

ΣΠΟΥΔΑΣΤΗΣ : ΚΙΟΣΣΕΣ ΑΘΑΝΑΣΙΟΣ

ΑΜ : 4794

ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ ΠΑΡΑΔΟΣΗΣ :

Βεβαιώνεται η ολοκλήρωση της παραπάνω πτυχιακής εργασίας

Η καθηγήτρια

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Είναι ξεκάθαρο ότι ο συνδυασμός του σύγχρονου τρόπου ζωής, η αυξημένη κατανάλωση ενέργειας και η ανάγκη μείωσης των εκπομπών αερίων ρύπων σε παγκόσμια κλίμακα, όπου εντείνουν το απειλητικό φαινόμενο του θερμοκηπίου, μας έχουν αναγκάσει να στραφούμε τα τελευταία χρόνια σε άλλες, περισσότερο ήπιες μορφές ενέργειας. Ανάμεσά τους εντάσσεται και το υδρογόνο, το οποίο αντιμετωπίζεται ως η κορυφαία εναλλακτική πηγή ενέργειας.

Τόσο στην Ευρώπη, όσο και στις υπόλοιπες ανεπτυγμένες χώρες, έχουν εντατικοποιηθεί οι προσπάθειες για την εδραίωση της «οικονομίας του υδρογόνου», με σημαντικότερα ποσά να επενδύονται στην έρευνα και την ανάπτυξη προς αυτή την κατεύθυνση.

Οι αλληπάλληλες αυξήσεις στη τιμή της βενζίνης έχουν φέρει σε απόγνωση τους οδηγούς ΙΧ, που πλέον αναζητούν ολοένα και περισσότερους τρόπους οικονομικότερης μετακίνησης. Δεν είναι τυχαίο ότι μέχρι πρότινος άνθιζε η αγορά των συστημάτων υγραεριοκίνησης, λόγω της χαμηλής τιμής του υγραερίου ως καύσιμο. Όμως, αυτή η μορφή κίνησης δεν κατάφερε να κερδίσει την πλειοψηφία των οδηγών, λόγω της ψυχολογικής σύνδεσης του υγραερίου με κάτι εύφλεκτο και εκρηκτικό, καθώς και κάποιων καίριων ερωτημάτων που ποτέ δεν αποσαφηνίστηκαν: Είναι ασφαλές το υγραέριο και αν ναι, πόσο ασφαλές είναι; Θα αυξηθεί η τιμή του υγραερίου κίνησης ακολουθώντας την αύξηση της τιμής της βενζίνης και του πετρελαίου; Επειδή οι απαντήσεις σε αυτά τα ερωτήματα δεν είναι και τόσο ξεκάθαρες, η απάντηση στις συνεχιζόμενες αυξήσεις της τιμής της βενζίνης μπορεί να δοθεί μέσω της νέας εναλλακτικής μορφής υβριδικής κίνησης, την λεγόμενη «υδρογονοκίνηση»

ABSTRACT

It is clear that the combination of modern life, the increased energy consumption and the need to reduce global emissions of gaseous emissions, which intensify the sinister global warming, have forced us to move in recent years to other, more renewable energy sources. Among them is and hydrogen, which is seen as the leading alternative energy source. Both in Europe and in other developed countries have intensified efforts to consolidate the 'hydrogen economy', with most importantly amounts to be invested in research and development in this direction. Successive increases in the price of gasoline have brought despair to IX drivers, now looking more and more ways economical movement. It is no coincidence that until recently flourished in LPG systems market, due to the low price of gas as a fuel. However, this form of motion failed to win the majority of drivers because of the psychological association of LPG with something flammable and explosive, and some key questions that never clarified: Is it safe LPG and if so, how safe is it? Will raise the price of gas motion following the increase in the price of petrol and oil? Because the answers to these questions are not so clear, the answer to the continuing increases in the price of gasoline can be given through the new alternative hybrid drive form, the so-called "hydrogen power"

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Όπως είναι ευρέως γνωστό τα τελευταία χρόνια, οι αλλαγές στο παγκόσμιο κλίμα και η ρύπανση του περιβάλλοντος έχουν σηματοδοτήσει την αφύπνιση της παγκόσμιας επιστημονικής κοινότητας. Οι καταστροφές που έχουν προκληθεί από μεγάλης έντασης καιρικά φαινόμενα, η άνοδος της μέσης θερμοκρασίας του πλανήτη, φαινόμενα όπως η διαβρωτική όξινη βροχή, η ερημοποίηση των εδαφών λόγω παρατεταμένης ανομβρίας και ξηρασίας και το ταχύτερο απ' ό,τι είχε προβλεφτεί λιώσιμο των πάγων στους πόλους αποτελούν τις αποδείξεις του περιβαλλοντικού εγκλήματος που συντελείται στις μέρες μας. Κύριος ένοχος, η αλόγιστη χρήση των ορυκτών καυσίμων ως η εύκολη και οικονομικότερη λύση της κάλυψης των παγκόσμιων ενεργειακών αναγκών. Η σημαντική αύξηση των εκπεμπόμενων αέριων του θερμοκηπίου (διοξείδιο του άνθρακα, οξείδια του αζώτου κ.λπ.) από τις ανθρώπινες δραστηριότητες έχουν ως συνέπεια τον εγκλωβισμό της υπέρυθρης ακτινοβολίας του Ήλιου στην ατμόσφαιρα με αποτέλεσμα την άνοδο της μέσης θερμοκρασίας του πλανήτη.

Λύσεις για την αποφυγή της επερχομένης καταστροφής υπάρχουν στοιχίζουν όμως ακόμη αρκετά. Οι εναλλακτικές έχουν μπει στο μικροσκόπιο των ερευνητικών και τεραστία κονδύλια διατίθενται πλέον σε πανεπιστήμια και ερευνητικά κέντρα για την ερευνά με σκοπό την απεξάρτηση από τα ορυκτά καύσιμα. Όσες διαφωνίες και να υπάρχουν για τις μεταβατικές τεχνολογίες, όλες οι επιστημονικές απόψεις συμπίπτουν στην τελική λύση. Η οικονομία του υδρογόνου είναι αυτή που πιθανότατα θα διαδεχτεί την οικονομία του μαύρου χρυσού.

Φαίνεται λοιπόν ότι το υδρογόνο, το πολύτιμο αυτό στοιχείο που αποτελεί την βάση του σύμπαντος και υπάρχει σε αφθονία στη γη, αλλά σχεδόν πάντα ενωμένο με άλλα στοιχεία, αποτελεί μια από τις σημαντικότερες λύσεις για την κάλυψη των μεταφορικών ανάγων του μέλλοντος.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο

Γενικά για το υδρογόνο



Το υδρογόνο ανακαλύφθηκε το 1766 από τον H. Cavendish και χαρακτηρίστηκε σαν «εύφλεκτος αέρας». Το 1923 ο Σκοτσέζος J. B. S. Haldane αναφέρει σε δημοσίευσή του ότι το υδρογόνο είναι το καύσιμο του μέλλοντος, όπου αυτό θα παράγεται από ανεμόμυλους που θα παράγουν ηλεκτρική ενέργεια και θα διασπούν το νερό ηλεκτρολυτικά σε υδρογόνο και οξυγόνο. Το υδρογόνο θα αποθηκεύεται σε δεξαμενές με περίβλημα κενού και θα χρησιμοποιείται σε «οξειδωτικές κυψελίδες», την τότε πρόσφατη εφεύρεση του Sir Williams Grove. Όπως φαίνεται δεν απείχε πολύ από τη σημερινή πραγματικότητα. Η πρώτη πρακτική χρήση του υδρογόνου ήταν για την ανύψωση των αερόστατων. Σημαντική έρευνα (1920-1930) για τη χρήση του υδρογόνου στις μεταφορές έκανε ο Γερμανός μηχανικός Rudolf Erren ο οποίος μετέτρεψε πλήθος κινητήρων για να καίνε υδρογόνο με εφαρμογές σε αυτοκίνητα ή φορτηγά ή τρένα. Μελέτησε ακόμα τορπίλες που καίνε υδρογόνο για να μην αφήνουν πίσω τους ίχνος από τα καυσαέρια των συμβατικών κινητήρων τους.

Το υδρογόνο αποτελεί το 90% της συνολικής μάζας του σύμπαντος και είναι το ελαφρύτερο στοιχείο που υπάρχει στη φύση. Σε καθαρή μορφή (αέρια) στο περιβάλλον της γης σπάνια συναντάται, αλλά δεσμευμένο, υπάρχει σχεδόν σε όλα τα ορυκτά της. Το υδρογόνο συναντιέται και σε πολλές σημαντικές δοκιμές ενώσεων στην κερατίνη, στα ένζυμα που συντελούν στη πέψη και στα μόρια του DNA.

Επίσης, υπάρχει άφθονο και στις διάφορες τροφές που καταναλώνει ο άνθρωπος, υπό τη μορφή των λιπών, των πρωτεϊνών και των υδρογονανθράκων. Λόγω του μικρού του βάρους, δεν αποτελεί περισσότερο από το 1% της συνολικής μάζας της γης. Καθώς το υδρογόνο συντήκεται, παράγονται διάφορα βαρύτερα στοιχεία από αυτό, με σημαντικότερο μεταξύ αυτών το Ήλιο (He). Η συγκεκριμένη διαδικασία της σύντηξης του υδρογόνου παράγει την ενέργεια που εκλύουν τα άστρα μέσα στο σύμπαν, ενώ βάσει αυτής πιστεύεται ότι δημιουργήθηκε αρχικά και το ίδιο το σύμπαν.

Σε συνήθη θερμοκρασία περιβάλλοντος, το υδρογόνο βρίσκεται πάντα σε αέρια φάση, στην οποία σαν υλικό είναι άχρωμο, άοσμο, και εύφλεκτο. Όταν καίγεται με το οξυγόνο του ατμοσφαιρικού αέρα (ή και με το καθαρό οξυγόνο), το υδρογόνο σχηματίζει νερό και παράγει θερμότητα σύμφωνα με την παρακάτω αντίδραση : $2\text{H}_2 + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{H}_2\text{O} + \text{heat}$. Η ονομασία του, οφείλεται στον Γάλλο χημικό Antoine Lavoisier και προέρχεται από τη σύμπτυξη δύο αρχαιοελληνικών λέξεων: ύδωρ και γίνομαι . Ως ξεχωριστό χημικό στοιχείο αναγνωρίστηκε για πρώτη φορά από τον Άγγλο χημικό Henry Cavendish το 1766. Το υδρογόνο κατέχει την πρώτη θέση στον περιοδικό πίνακα των χημικών στοιχείων και το άτομό του συμβολίζεται με το λατινικό γράμμα H. Κάθε άτομο του αποτελείται από ένα πρωτόνιο και από ένα ηλεκτρόνιο, ενώ κατά την ένωση δύο διαφορετικών ατόμων του παράγεται ένα μόριο υδρογόνου με μοριακό τύπο: H_2 (H – H). Το υδρογόνο μπορεί να συνδυαστεί χημικά με σχεδόν οποιοδήποτε άλλο χημικό στοιχείο και έτσι δίνει τις περισσότερες χημικές ενώσεις από οποιοδήποτε άλλο του περιοδικού πίνακα. Στις σημαντικότερες από τις ενώσεις του συγκαταλέγονται το νερό, οι ενώσεις του με τον άνθρακα (οργανικές ενώσεις) και οι διάφοροι φυσικοί υδρογονάνθρακες όπως το πετρέλαιο και το φυσικό αέριο.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο

Γενικά για το υδρογόνο ως καύσιμο



Από κάθε οπτική γωνία, τεχνολογική ή οικονομική, το υδρογόνο φαίνεται να είναι ο πιο πιθανός υποψήφιος για την αντικατάσταση των καυσίμων που βασίζονται στους ορυκτούς υδρογονάνθρακες (βενζίνη, ντίζελ, μεθάνιο κ.λπ.). Το υδρογόνο μπορεί να παρασκευαστεί με πολλούς και διάφορους τρόπους όπως για παράδειγμα από την πυρηνική ενέργεια μέσω θεριακής αποσύνθεσης (decomposition) του νερού ή από την ηλιακή ενέργεια μέσω ηλεκτρόλυσης του νερού, και έχει προταθεί από την επιστημονική κοινότητα σαν το πιο πιθανό καύσιμο του μέλλοντος λόγω των σημαντικών ιδιοτήτων του, εις αντικατάσταση των παραγώγων του πετρελαίου, καυσίμων του σήμερα.

Το υδρογόνο είναι ένα εξαιρετικά καλό καύσιμο για τους κινητήρες εσωτερικής καύσης, διότι οι ιδιότητες καύσης του, εξασφαλίζουν υψηλό βαθμό απόδοσης και απρόσκοπτη λειτουργία. Οι εκπεμπόμενοι ρύποι των ΜΕΚ υδρογόνου, αν και θεωρητικά έπρεπε να είναι μηδενικοί, στην πραγματικότητα είναι απειροελάχιστοι σε σχέση με τους κινητήρες βενζίνης. Κατά την καύση του υδρογόνου παράγονται ορισμένα οξείδια του αζώτου τα οποία οφείλουν την ύπαρξή τους στην καύση του υδρογόνου με αέρα ο οποίος περιέχει κατά 79% άζωτο. Η παρουσία του αζώτου και του οξυγόνου στις υψηλές θερμοκρασίες του θαλάμου καύσης δημιουργεί τις συνθήκες διάσπασης για την παραγωγή οξειδίων του αζώτου στα παράγωγα της καύσης του υδρογόνου. Κάποιοι άκαυστοι υδρογονάνθρακες μαζί με αμελητέες ποσότητες μονοξειδίου και διοξειδίου του άνθρακα οφείλονται στα κατάλοιπα του λιπαντικού που πάντα καταφέρνει να εισχωρήσει στον θάλαμο καύσης κατά την λειτουργία του κινητήρα.

Το υδρογόνο αντιδρά εύκολα με τον αέρα και το μίγμα είναι αρκετά σταθερό σε θερμοκρασία περιβάλλοντος. Παρόλα αυτά, η ενέργεια ανάφλεξης του υδρογόνου είναι πολύ χαμηλή σε σχέση με άλλα υγρά ή αέρια καύσιμα. Το υδρογόνο αναφλέγεται ακόμα και σε ιδιαίτερα χαμηλή περιεκτικότητα του στον αέρα. Τα όρια αναφλεξιμότητας του υδρογόνου βρίσκονται μεταξύ 4 και 75% περιεκτικότητάς του κατ' όγκο, στον αέρα, σε κανονικές συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίας. Κατά συνέπεια από την καύση μιγμάτων αέρα – υδρογόνου σε διαφορετικές περιεκτικότητες του υδρογόνου στον αέρα, μπορεί να επιτευχθεί ένα ευρύ φάσμα ταχυτήτων καύσης και μέγιστων θερμοκρασιών στο θάλαμο καύσης.

Οι κινητήρες βενζίνης, πλέον λόγω και της καταλυτικής τεχνολογίας, πρέπει να λειτουργούν με στοιχειομετρική αναλογία αέρα – καυσίμου, δημιουργώντας έτσι τις συνθήκες για το σχηματισμό οξειδίων του αζώτου, άκαυστων υδρογονανθράκων και μονοξειδίου του άνθρακα στα παράγωγα της καύσης. Απ' την άλλη πλευρά, το υδρογόνο μπορεί να καίγεται σε πολύ πτωχά μίγματα με αποτέλεσμα την εντυπωσιακή μείωση των οξειδίων του αζώτου (NO_x), χωρίς καν τη χρήση καταλυτικού μετατροπέα, λόγω των μειωμένων θερμοκρασιών στο θάλαμο καύσης.

Η μεγάλη ταχύτητα καύσης του υδρογόνου έχει ως αποτέλεσμα τους υψηλούς ρυθμούς αύξησης της πίεσης καθώς και την 'τραχιά' λειτουργία του κινητήρα. Ένα άλλο πρόβλημα, που αποτελεί ίσως την κυριότερη τροχοπέδη στην γενικευμένη χρήση του υδρογόνου ως καύσιμο, έχει να κάνει με την πολύ μικρή κατ' όγκο περιεκτικότητα ενέργειας του καυσίμου εξαιτίας της μικρής του πυκνότητας, παρόλο που κατά βάρος περικλείει 2,5 φορές περισσότερη θερμογόνο δύναμη από εκείνη της βενζίνης.

Επίσης τα μίγματα αέρα – υδρογόνου εξαιτίας της χαμηλότερης ενέργειας ανάφλεξης σε σχέση με τα μίγματα αέρα – βενζίνης, είναι πιο ευαίσθητα στην πυρανάφλεξη εξαιτίας υπέρθερων σημείων στο θάλαμο καύσης. Υπάρχουν διάφορα πιθανά υπέρθερμα σημεία στο θάλαμο καύσης μίας MEK υδρογόνου τα οποία μπορεί να προκαλέσουν πυρανάφλεξη. Αυτά μπορεί να είναι εναποθέσεις άνθρακα στα τοιχώματα του θαλάμου καύσης από την πυρόλυση του λιπαντικού καθώς και οι ίδιοι οι σπινθηριστές που εξαιτίας ανεπαρκούς θερμικής αγωγιμότητας ή προβληματικής ψύξης υπερθερμαίνονται κατά τη λειτουργία του κινητήρα και αναφλέγουν το μίγμα πριν τη χρονικά ελεγχόμενη εκκένωση του σπινθηριστή. Επίσης αν η απαγωγή της θερμότητας από τις βαλβίδες εξαγωγής είναι για κάποιο

λόγο προβληματική τότε οι ίδιες οι βαλβίδες, οι οποίες έτσι και αλλιώς αναπτύσσουν υψηλές θερμοκρασίες, μπορούν να αποτελέσουν αιτία πυρανόφλεξης. Η πυρανόφλεξη μπορεί να οδηγήσει στο φαινόμενο της προανάφλεξης δηλαδή την πρωθύστερη ανάφλεξη του μίγματος κατά το χρόνο της συμπίεσης αρκετά πριν την άφιξη του πιστονιού στο άνω νεκρό σημείο και την προγραμματισμένη ανάφλεξη του μίγματος από την ηλεκτρική εκκένωση του σπινθηριστή. Η προανάφλεξη έχει ως αποτέλεσμα την ανάπτυξη ιδιαίτερα υψηλών θερμοκρασιών στις επιφάνειες του θαλάμου καύσης και μπορεί να αποτελέσει αιτία για σημαντικές φθορές στο χώρο της μηχανής όπως λιώσιμο μετάλλων και ολοσχερή καταστροφή των εμβόλων (διάνοιξη οπής στην επιφάνειά τους).

Η πυρανόφλεξη είναι ένα από τα κυριότερα προβλήματα που πρέπει να αντιμετωπιστούν κατά τη διαδικασία προσαρμογής των MEK βενζίνης να λειτουργούν με καύσιμο το υδρογόνο διότι η ύπαρξη του φαινομένου στους κινητήρες υδρογόνου, όπως και στους κινητήρες βενζίνης εξάλλου, έχει ως αποτέλεσμα την απώλεια ισχύος, την ‘τραχιά’ λειτουργία καθώς και την υπερθέρμανση του κινητήρα. Πρέπει τέλος να σημειωθεί ότι οι θερμοκρασίες των αερίων που παρατηρούνται στο τέλος της καύσης σε μια MEK υδρογόνου είναι υψηλότερες από τις αντίστοιχες σε μία MEK βενζίνης. Και έτσι αναμένονται υψηλότερες εκπομπές οξειδίων του αζώτου από την καύση υδρογόνου.

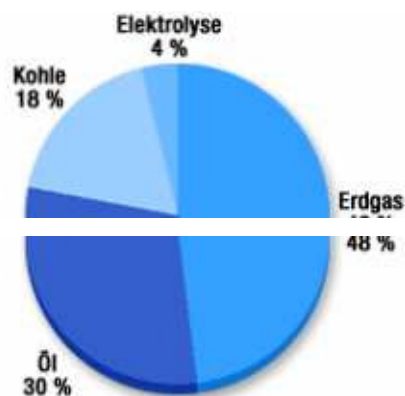
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο

Μέθοδοι παραγωγής του υδρογόνου

Μία πρώτη γενική διάκριση των μεθόδων παραγωγής του υδρογόνου μπορεί να βασιστεί πάνω στον τύπο της ενέργειας που χρησιμοποιείται στη διεργασία διάσπασης του συνδέσμου που η φύση το συνδέει με το οξυγόνο (στο νερό) ή με τον άνθρακα (υδρογονάνθρακες, βιομάζα).

Μπορούν να θεωρηθούν κυρίως τρεις κατηγορίες μεθόδων παραγωγής του υδρογόνου.

- **Θερμοδυναμικές μέθοδοι παραγωγής:** Αυτές επιτρέπουν την εξαγωγή του υδρογόνου χρησιμοποιώντας θερμική ενέργεια. Το 96% της παρούσας παραγωγής υδρογόνου παράγεται από αναμόρφωση οργανικών υλών και ιδιαιτέρως υγραερίου ή καθαρού μεθανίου. Το υπόλοιπο 4% παράγεται από ηλεκτρόλυση του νερού.

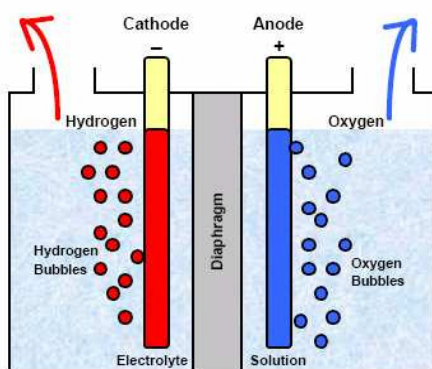


Πηγές Υδρογόνου

Με τον όρο αναμόρφωση χαρακτηρίζουμε την μετατροπή υδρογονανθράκων και αλκοολών σε υδρογόνο. Ως δευτερογενή παράγωγα, έχουμε υδρατμό, μονοξείδιο του άνθρακα και διοξείδιο του άνθρακα. Αν χρησιμοποιήσουμε αέρα ως οξειδωτικό μέσο έχουμε ως παράγωγο και άζωτο. Η αντίδραση αναμόρφωσης αποτελείται από πολλά βήματα, τα οποία ειδικά για υψηλούς υδρογονάνθρακες, δεν έχουν κατανοηθεί πλήρως. Οι αντιδράσεις μπορούν να επιταχυνθούν με χρήση καταλυτών. Εκτός των υψηλών θερμοκρασιών που κυμαίνονται από 700 °C - 900 °C και χρήση καταλύτη, χρειάζεται και μέσο οξείδωσης, όπως π.χ υδρατμός ή αέρας.

- **Ηλεκτρολυτικές μέθοδοι:** Οι μέθοδοι αυτές επιτρέπουν την εξαγωγή του υδρογόνου χρησιμοποιώντας ηλεκτρική ενέργεια (ηλεκτρόλυση, φωτοηλεκτρόλυση).

Στην ηλεκτρόλυση μετατρέπεται η ηλεκτρική σε χημική ενέργεια. Ειδικά στην περίπτωση της διάσπασης νερού σε υδρογόνο και οξυγόνο, αυτός είναι και ο σκοπός της ηλεκτρόλυσης. Η ηλεκτρόλυση δεν έχει παράγωγα CO₂, γεγονός το οποίο την κάνει πολύ φιλική ως διαδικασία παραγωγής υδρογόνου για αποθήκευση ανανεώσιμων ροών ηλεκτρικής ενέργειας. Η διαδικασία αυτή είναι κυρίως φτηνή όταν υπάρχει φτηνή τροφοδοσία ηλεκτρικής ενέργειας και το παραγόμενο καθαρό οξυγόνο μπορεί να χρησιμοποιηθεί εκ περαιτέρω, παρά να ελευθερωθεί άσκοπα στον αέρα. Η παλαιότερη και πιο αξιόπιστη τεχνολογία είναι η αλκαλική ηλεκτρόλυση, η οποία χαρακτηρίζεται από χαμηλή τιμή ρεύματος και συχνά εφαρμόζεται σε συνδυασμό με υδρογεννήτριες ιδιαίτερα στη Νορβηγία και στην Ισλανδία. Η αντίδραση συμβαίνει μέσα σε ένα δοχείο το οποίο είναι γεμάτο από αγωγίμους ηλεκτρολύτες (άλατα, οξέα) και περιέχει δύο ηλεκτρόδια τα οποία διαρρέονται από συνεχές ρεύμα. Η διαδικασία παραγωγής δουλεύει σε δύο στάδια, στην άνοδο και στην κάθοδο.



Standard Electrolysis

Στην άνοδο απελευθερώνονται ηλεκτρόνια τα οποία απορροφούνται από την κάθοδο. Αυτές οι δύο διαδικασίες αποτελούν μαζί μια ολοκληρωμένη αντίδραση στην οποία είναι φανερή η διαδικασία διαχωρισμού, δηλαδή το νερό διασπάται στα 2 βασικά του συστατικά το υδρογόνο και το οξυγόνο. Επειδή το φυσικό νερό είναι κακός αγωγός του ηλεκτρικού ρεύματος και περιέχει λίγα ιόντα, συνήθως το εμπλουτίζουμε με οξέα, τα οποία αυξάνουν την ποιότητά του με οικονομικό τρόπο.

- **Βιοχημικές μέθοδοι :** Αυτές επιτρέπουν την εξαγωγή του υδρογόνου χρησιμοποιώντας φύκια και μικροοργανισμούς (ζηνώσεις).

Μια άλλη ουσιαστική κατάταξη των μεθόδων παραγωγής του υδρογόνου μπορεί να είναι εκείνη που γίνεται σε συνάρτηση της πηγής εωέργειας που χρησιμοποιείται:

- **Μη ανανεώσιμες πηγές ενέργειας**
 - Φυσικό αέριο (reforming)
 - Κάρβουνο (πυρόλυση αεροποίησης)
 - Προϊόντα πετρελαίου (μερική οξείδωση)
 - Πυρηνική ενέργεια (θερμόλυση)
- **Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας**
 - Αιολική ενέργεια, υδροενέργεια ηλιακή ενέργεια (φωτοβολταϊκά στοιχεία)
 - Γεωθερμική ενέργεια (ηλεκτρόλυση)
 - Βιομάζα (θερμοχημικές και βιοχημικές μέθοδοι)

Κεφάλαιο 4^ο

Βαθμός Απόδοσης Υδρογόνου

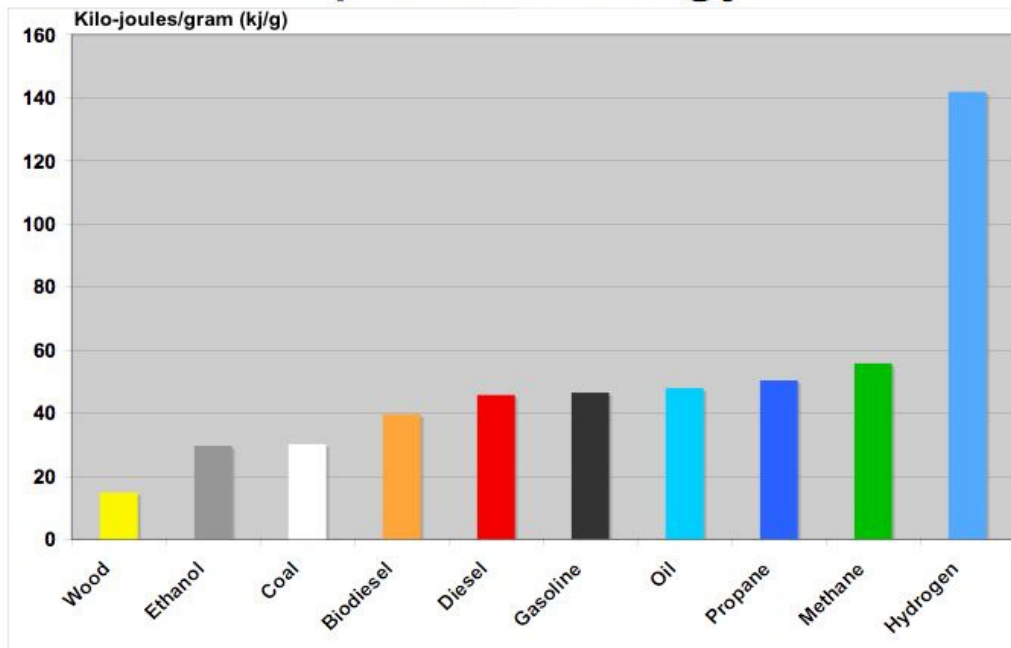
Αν κοιτάξουμε το βαθμό απόδοσης μιας μηχανής με χρήση διαφορετικών καυσίμων, αλλά με τον ίδιο λόγο συμπίεσης και ίδιες συνθήκες περιβάλλοντος, οι τιμές που θα προκύψουν θα διαφέρουν πολύ λίγο μεταξύ τους για διάφορα καύσιμα – και μάλιστα, η απόδοση της μηχανής με χρήση υδρογόνου είναι μεγαλύτερη από αυτή που επιτυγχάνεται με άλλα καύσιμα. Όμως, αν «παίζουμε», τόσο με τον λόγο συμπίεσης όσο και με το λόγο αέρα – καυσίμου, μπορούμε να καταλάβουμε καλύτερα το πλεονέκτημα χρήσης υδρογόνου, κυρίως επειδή το υδρογόνο μπορεί να καεί σε εξαιρετικά φτωχά μίγματα και να «αντέξει» σημαντικά μεγαλύτερους λόγους συμπίεσης της μηχανής. Συγκρίνοντας, λοιπόν, την απόδοση μηχανών με μίγματα διαφορετικών καυσίμων, μπορούμε να πούμε τα ακόλουθα:

Ο βαθμός απόδοσης μιας «ιδανικής μηχανής Otto» που καίει φυσικό αέριο είναι λίγο μεγαλύτερος από αυτόν μιας μηχανής βενζίνης κυρίως λόγω του μεγαλύτερου λόγου συμπίεσης που μπορεί να «αντέξει» το μίγμα αέρα / φυσικού αερίου. Από την άλλη, η μηχανή φυσικού αερίου χρησιμοποιεί την ίδια μέθοδο μεταβολής του φορτίου με τη μηχανή βενζίνης: η τιμή του λόγου αέρα – καυσίμου διατηρείται στοιχειομετρική, με βάση το άνοιγμα της πεταλούδας του γκαζιού (έλεγχος μίγματος με βάση την ποσότητα). Έτσι, οι διαφορές παρασιτικές απώλειες της μηχανής φυσικού αερίου είναι ίδιες με αυτές της μηχανής βενζίνης και οφείλονται, ακριβώς, στην παρεμβολή μιας πεταλούδας στη ροή αέρα προς του κυλίνδρους.

Αν συγκρίνουμε, τώρα, το βενζινοκινητήρα με μια «ιδανική μηχανή Otto» όπου το καύσιμο είναι υδρογόνο, το οποίο αναμιγνύεται με τον αέρα μέσω εμμέσου ψεκασμού, θα διαπιστώσουμε ότι ο κινητήρας υδρογόνου, ακόμα κι αν έχει λίγο μικρότερο λόγο συμπίεσης, θα έχει ελαφρά μεγαλύτερο βαθμό απόδοσης από το βενζινοκινητήρα. Η αιτία γι' αυτό βρίσκεται στη δυνατότητα του κινητήρα υδρογόνου να λειτουργήσει με μεγαλύτερο λόγο αέρα – καυσίμου (δηλαδή, με «φτωχότερο» μίγμα).

Η λειτουργία με φτωχό μίγμα προκαλεί κάποιες απώλειες απόδοσης, οι οποίες προέρχονται κυρίως από το γεγονός ότι, λόγω της χαμηλής ταχύτητας διάδοσης του μετώπου της, η καύση δεν προλαβαίνει να ολοκληρωθεί κανονικά μέχρι το τέλος του

Specific Energy



Source: DOE, Green Econometrics research

χρόνου εκτόνωσης της μηχανής, ενώ υπάρχουν και κάποιες επιπρόσθετες απώλειες που σχετίζονται με τις «μη ιδανικές» συνθήκες καύσης των φτωχών μιγμάτων. Από την άλλη όμως, οι απώλειες θερμότητας μέσω των τοιχωμάτων της μηχανής είναι μικρότερες, λόγω της χαμηλότερης θερμοκρασίας καύσης του φτωχότερου μίγματος.

Ένα σημαντικό όμως πλεονέκτημα της μηχανής υδρογόνου (παραπλήσιο με αυτό των Diesel) είναι οι χαμηλότερες απώλειες κατά την εισρόφηση του μίγματος αέρα καυσίμου μέσα στον κύλινδρο. Κι αυτό, επειδή η μηχανή λειτουργεί με την πεταλούδα του γκαζιού τελείως ανοιχτή και ο εκάστοτε καθορισμός του λόγου αέρα-καυσίμου γίνεται με προσαρμογή της ποσότητας ψεκασμού του υδρογόνου για την εισαγωγή της μηχανής (έλεγχος μίγματος με βάση την ποιότητα).

Αν ανεβάσουμε, σε μία ιδανική μηχανή Otto, το λόγο συμπίεσης στο 13:1 και την τροφοδοτήσουμε με υδρογόνο μέσω άμεσου ψεκασμού μέσα στον κύλινδρο, η απόδοση της φτάνει να είναι σχεδόν ίδια με αυτή μιας μηχανής άμεσου ψεκασμού βενζίνης στρωματοποιημένου μίγματος. Παρά τον μεγαλύτερο λόγο αέρα καυσίμου (φτωχότερο μίγμα), το πλεονέκτημα της μηχανής υδρογόνου από αυτής της βενζίνης. Έτσι, οι απώλειες που σχετίζονται με την «πραγματική» ή «μη ιδανική» καύση της μηχανής υδρογόνου, αποδεικνύεται ότι, τελικά, είναι λιγότερες από αυτές

της καύσης ενός βενζινοκινητήρα που λειτουργεί με άμεσο ψεκασμό και διαστρωμάτωση του μίγματος.

Αν τώρα πάμε σε ακόμα μεγαλύτερο λόγο συμπίεσης (18:1, ας πούμε), τότε ο βαθμός απόδοσης της ιδανικής μηχανής Otto που καίει υδρογόνο ξεπερνάει αυτόν μιας μηχανής Diesel με παρόμοιο λόγο συμπίεσης. Οι απώλειες που σχετίζονται με τη «μη ιδανική» καύση του υδρογόνου είναι, τώρα, μικρότερες από αυτές της καύσης Diesel. Βέβαια, υπάρχει και ο αντίλογος, λόγω της μεγαλύτερης ταχύτητα καύσης του υδρογόνου, η πίεση και η θερμοκρασία που επιτυγχάνονται μέσα στη μηχανή είναι μεγαλύτερες, γεγονός που, τελικά, οδηγεί σε μεγαλύτερες απώλειες θερμότητας. Η θερμική της απόδοση είναι όμως λίγο χαμηλότερη από αυτή της μηχανής πετρελαίου, αλλά, από την άλλη, η ενδεικνυόμενη απόδοση της είναι μεγαλύτερη. Αυτό συμβαίνει, κατά πρώτον, λόγω της γρηγορότερης ταχύτητας καύσης του υδρογόνου, που μειώνει τις απώλειες «μη ιδανικής» καύσης και κατά δεύτερο, λόγω των σημαντικά μικρότερων απωλειών κατά την εισαγωγή του μίγματος στη μηχανή, καθώς η πεταλούδα του γκαζιού παραμένει πάντα τελείως ανοιχτή. Η διαφορά της τάξης του 8%, μεταξύ της ενδεικνυόμενης απόδοσης της μηχανής βενζίνης και της ενδεικνυόμενης απόδοσης της μηχανής υδρογόνου, οδηγεί σε μία μικρότερη κατανάλωση καυσίμου από τη μηχανή υδρογόνου, της τάξης του 25%.

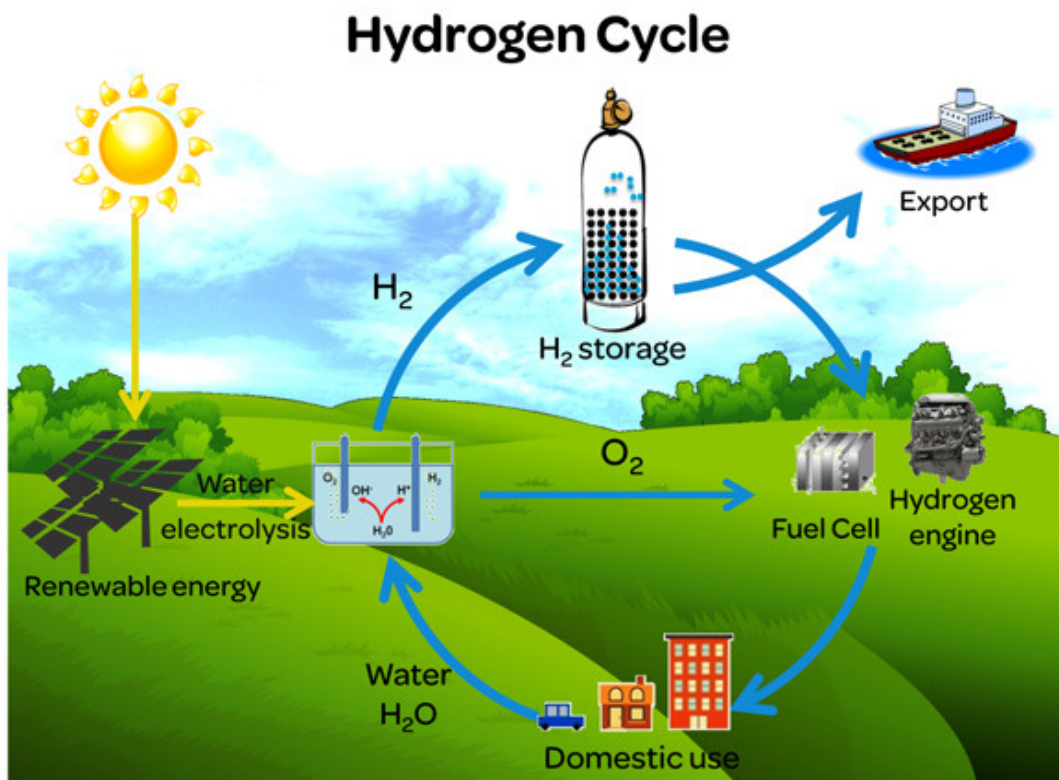
Κεφάλαιο 5^ο

Μελέτη των Ρύπων

Η χρήση του υδρογόνου ως καύσιμο με αντίδραση του με οξυγόνο παράγει ηλεκτρισμό και θερμότητα και μοναδικό υποπροϊόν υδρατμούς και καθαρό νερό. Έτσι η τεχνολογία του υδρογόνου μπορεί να συμβάλει στη μείωση των αερίων θερμοκηπίου και στη βελτίωση της ποιότητας του ατμοσφαιρικού αέρα, φαινόμενα που έχουν προκληθεί από τη χρήση των συμβατικών μορφών καυσίμων. Ωστόσο, για τη χρήση του υδρογόνου ως καύσιμο απαιτείται η παραγωγή του, εφόσον δεν απαντάται μόνο του στη φύση. Έχουν αναπτυχθεί ποικίλες τεχνολογίες, οι περισσότερες, όμως, από τις οποίες έχουν ως αποτέλεσμα την εκπομπή ρυπογόνων αερίων. Για παράδειγμα, η πλέον διαδεδομένη και οικονομικά βιώσιμη μέθοδος παραγωγής είναι η αναμόρφωση υδρογονανθράκων (κυρίως φυσικού αερίου) με ατμό. Ποσότητα υδρογονανθράκων αναμιγνύεται αρχικά με υπέρθερμο ατμό υπό πίεση και παρουσία καταλύτη. Ο άνθρακας στο καύσιμο οξειδώνεται από το οξυγόνο του ατμού και παράγει μονοξείδιο του άνθρακα και το υδρογόνο μέσα από τον ατμό ελευθερώνεται. Το μονοξείδιο του άνθρακα στη συνέχεια υφίσταται μία κατεργασία με υδρατμό σε θερμοκρασία ειδική για να παραχθεί επιπλέον υδρογόνο αλλά ταυτόχρονα παράγεται και διοξείδιο του άνθρακα αποτελώντας τελικά την περιβαλλοντική αδυναμία της μεθόδου.

Τα τελευταία χρόνια έχει αναβιώσει η τεχνολογία των κυψελίδων καυσίμων με χρήση υδρογόνου. Οι κυψελίδες καυσίμου εφευρέθηκαν το 1839 και βασίζονται στην αντίστροφη ηλεκτρόλυση: παράγουν ηλεκτρική ενέργεια καταναλώνοντας υδρογόνο ως καύσιμο το οποίο οξειδώνεται ηλεκτροχημικά με οξυγόνο, με ταυτόχρονη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, θερμότητας και μοναδική εκπομπή το νερό. Η τεχνολογία των κυψελίδων καυσίμου καθιστά το υδρογόνο παραγωγό ηλεκτρικής ενέργειας τελικής χρήσης χωρίς επιβλαβείς εκπομπές και με μηδενικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Δύναται να βρουν εφαρμογή στον τομέα των μεταφορών (οχήματα) αλλά και στην ηλεκτροπαραγωγή. Οι ερευνητικές προσπάθειες έχουν δώσει ενθαρρυντικά αποτελέσματα και οι πρώτες επιδεικτικές εφαρμογές βρίσκονται κοντά στην εμπορευματοποίηση. Από την άλλη πλευρά, δύναται η παραγωγή υδρογόνου από ΑΠΕ, κυρίως αιολική ενέργεια και

φωτοβολταϊκά όπου δεν υπάρχει καμία περιβαλλοντική επιβάρυνση από την παραγωγή και χρήση του υδρογόνου οπότε και το καθιστά το πλέον φιλικό καύσιμο για το περιβάλλον. Ωστόσο, η μέθοδος αυτή δεν είναι ακόμη οικονομικά ανταγωνιστική, απαιτεί μεγάλες εκτάσεις για την εγκατάσταση των συστημάτων ΑΠΕ ενώ μπορεί να χαρακτηριστούν ρυπογόνες οι διαδικασίες κατά την κατασκευή, μεταφορά και εγκατάσταση των τεχνολογιών μετατροπής της αιολικής (ανεμογεννήτριες) ή ηλιακής (φωτοβολταϊκά) ενέργειας και ίσως της ενέργειας για την μεταφορά του υδρογόνου.



An area of just 100×100 km (10,000 km²) of solar panels with an efficiency of 10 % - for example in the Great Sandy in Western Australia - would produce enough energy for 1 billion people with an average consumption of 5kW per person.

Κεφαλαίο 6^ο

Πλεονεκτήματα Υδρογόνου

Θετικά Υδρογόνου έναντι συμβατικών πηγών ενέργειας

Στη συνέχεια θα αναφέρουμε συνοπτικά τα πλεονεκτήματα που παρουσιάζει το υδρογόνο σαν μέσο παραγωγής ενέργειας, έναντι των συμβατικών ορυκτών καυσίμων που χρησιμοποιούνται σήμερα για το σκοπό αυτό: Σε σχέση με οποιοδήποτε συμβατικό καύσιμο, το υδρογόνο παρουσιάζει όπως έχουμε πει την μεγαλύτερη ικανότητα παραγωγής ενέργειας ανά μονάδα βάρους του, η οποία ισούται περίπου με 120.7 kJ/kg. Η ενέργεια αυτή, είναι τρεις φορές μεγαλύτερη περίπου από την ενέργεια 1 kg συμβατικής βενζίνης. Κατά την καύση του (ή κατά την ηλεκτρόλυσή του μέσα σε κυψέλες καυσίμου), το υδρογόνο παράγει ελάχιστους ρύπους, οι οποίοι είναι πολύ λιγότεροι από αυτούς που παράγονται κατά την καύση των ορυκτών καυσίμων. Όσο περισσότερο «καθαρή» είναι η ποσότητα του υδρογόνου που καίγεται με το οξυγόνο, τόσο λιγότεροι ρύποι εκλύονται κατά την καύση αυτή. Παρουσία «καθαρού» οξυγόνου, η καύση του «καθαρού» υδρογόνου παράγει μόνο νερό και θερμότητα, ενώ όταν το συμμετέχον οξυγόνο αντιδρά σαν «ατμοσφαιρικό» παράγονται και ορισμένα οξείδια του αζώτου (λόγω της παρουσίας του αζώτου στον ατμοσφαιρικό αέρα). Οι ποσότητες όμως αυτές είναι πολύ μικρές για να επηρεάσουν σημαντικά την ατμόσφαιρα της γης, ακόμα και για μαζικής κλίμακας κατανάλωση του υδρογόνου. Όπως αναφέραμε πριν, η καύση (ή η ηλεκτρόλυση) του υδρογόνου με τον ατμοσφαιρικό αέρα παράγει σαν κύριο προϊόν της το νερό. Οι ποσότητες όμως αυτού, όπως και οι αντίστοιχες ποσότητες των οξειδίων του αζώτου, είναι πολύ μικρές, ακόμα και για μαζική κατανάλωση του υδρογόνου, ώστε να επηρεάσουν σημαντικά το γήινο περιβάλλον.

Εξάλλου, η πλεονάζουσα ποσότητα του νερού που παράγεται κατά την ένωση του υδρογόνου με το οξυγόνο μέσα σε ενεργειακές διατάξεις, μπορεί να χρησιμοποιηθεί στη συνέχεια για περαιτέρω σκοπούς (π.χ. άρδευση γης, υδροδότηση πόλεων από σταθερές διατάξεις παραγωγής ενέργειας υδρογόνου). Εκτός από αυτό, όπως έχουμε ήδη αναφέρει, μια δυνατή μέθοδος παραγωγής του υδρογόνου είναι και η παραγωγή του μέσω της ηλεκτρόλυσης του νερού, οπότε οι παραπάνω ποσότητες νερού που παράγονται από τη χρήση του μπορούν να ξαναχρησιμοποιηθούν για την εκ νέου παραγωγή του, βάζοντας έτσι το παραγόμενο από αυτό νερό σε έναν

ημιανανεώσι'Β5ο κύκλο ζωής. Η διαδικασία αυτή αναμένεται να εφαρμοστεί στη πράξη στα επόμενα χρόνια, με την αντίστοιχη ανάπτυξη των εναλλακτικών τεχνολογιών παραγωγής του μέσω ηλεκτρόλυσης (π.χ. χρήση ηλιακής ή αιολικής ενέργειας).

Το υδρογόνο είναι το ίδιο ακίνδυνο, από πλευράς αυθόρμητης ανάφλεξης, σε σχέση με τα υπόλοιπα συμβατικά ορυκτά καύσιμα που χρησιμοποιούνται σίορα (π.χ. βενζίνη, πετρέλαιο, φυσικό αέριο κ.τ.λ.). Μάλιστα, κατά την απουσία ατμοσφαιρικού αέρα και υπό συνήθεις συνθήκες περιβάλλοντος ($T = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ και $P = 1\text{atm}$), το υδρογόνο είναι λιγότερο εύφλεκτο από αυτά τα καύσιμα, έχοντας για θερμοκρασία αυθόρμητης ανάφλεξης του τους $585\text{ }^{\circ}\text{C}$ (αντίστοιχη θερμοκρασία αυθόρμητης ανάφλεξης της βενζίνης, απουσία ατμοσφαιρικού αέρα: $230\text{ }^{\circ}\text{C}$. $480\text{ }^{\circ}\text{C}$).

Μπορεί να συμβάλει σταδιακά στη μείωση του ρυθμού κατανάλωσης των ορυκτών καυσίμων, επιφέροντας έτσι σημαντικές ωφέλειες στον περιβαλλοντικό, ενεργειακό αλλά και οικονομικό τομέα, μέσω της δημιουργίας νέων θέσεων εργασίας για τον τελευταίο. Αν και σε πολλές περιπτώσεις τα διάφορα ορυκτά καύσιμα χρησιμοποιούνται και τα ίδια σαν πρώτες ύλες για την παρασκευή του υδρογόνου, το ενεργειακό και περιβαλλοντικό όφελος που προκύπτει από τη χρησιμοποίηση του υδρογόνου ως φορέα ενέργειας είναι μεγαλύτερο από το αντίστοιχο των ορυκτών καυσίμων. Όπως έχουμε αναφέρει, η πιο αποδοτική και συμφέρουσα οικονομικά μέθοδος παρασκευής του υδρογόνου αυτή τη στιγμή, βασίζεται στην αναμόρφωση του φυσικού αερίου. Το φυσικό αέριο είναι ένα ορυκτό, το οποίο είναι αρκετά φθηνό, πολύ αποδοτικό και υπάρχει ακόμα σε μεγάλες διαθέσιμες ποσότητες στη φύση.

Βεβαίως, η χρησιμοποίησή του δεν σημαίνει ότι δεν θα πρέπει να γίνει αξιοποίηση των διαφόρων ΑΠΕ για την παραγωγή του υδρογόνου, οι οποίες μάλιστα μελλοντικά θα πρέπει και να το αντικαταστήσουν σ' αυτήν τη λειτουργία. Η χρησιμοποίησή του πάντως, αποτελεί ένα καλό προσωρινό μέτρο για την παραγωγή υδρογόνου με περιβαλλοντικά φιλικούς τρόπους, μέχρις ότου η μαζική χρησιμοποίηση των διαφόρων ΑΠΕ γι' αυτόν τον σκοπό γίνει πραγματικότητα.

Ένα άλλο θετικό του υδρογόνου είναι ότι είναι το περισσότερο διαδεδομένο στοιχείο με αποτέλεσμα να παράγεται με διαφορετικούς τρόπους και αποκεντρωμένα και από τοπικές πηγές με αποτέλεσμα να εγγυάται έτσι για την προμήθειά του η παγκόσμια ασφάλεια και ειρήνη.

Τέλος, το υδρογόνο μπορεί να παρασκευαστεί με πολυάριθμες μεθόδους και σε οποιοδήποτε μέρος της γης και επομένως μπορεί να βοηθήσει πολλά κράτη που είναι «φτωχά» σε διαθέσιμα κοιτάσματα ορυκτών καυσίμων να αναπτύξουν τα δικά τους αυτόνομα και ολοκληρωμένα ενεργειακά συστήματα. Μέσου αυτού τα συγκεκριμένα κράτη, που ως γνωστόν είναι τα πολυπληθέστερα πάνω στον πλανήτη, θα μπορέσουν να αναπτύξουν τις δικές τους αυτόνομες ενεργειακές οικονομίες, ξεφεύγοντας από τον φαύλο κύκλο της ενεργειακής τους εξάρτησης από άλλα κράτη – προμηθευτές τους σε ορυκτά καύσιμα. Να αναφερθεί επίσης, ότι στα πλαίσια της ενεργειακής ανεξαρτησίας που προσφέρει το υδρογόνο ως καύσιμο ανήκει και η υψηλή αυτονομία και αυτοδιαχείριση που προσφέρει όταν καταναλώνεται στα πλαίσια ενός ενεργειακού συστήματος, η οποία συντελεί στο να προφυλάσσεται ικανοποιητικά το σύστημα αυτό όταν στο δίκτυό του συμβούν διάφορες καταστροφές λόγω δυσμενών γεγονότων (π.χ. πυρκαγιές, πλημμύρες, σεισμοί κ.τ.λ.), αφού η διακοπή της λειτουργίας μερικών τμημάτων του δεν έχει οπωσδήποτε σαν αποτέλεσμα την καθολική του κατάρρευση, μιας και τα διάφορα τμήματα που το αποτελούν είναι, λίγο ή περισσότερο ανεξάρτητα το ένα με το άλλο.

Πλεονεκτήματα Υδρογονοκίνησης

Τα πλεονεκτήματα της χρήσης υδρογόνου ως καύσιμο είναι πολύ μεγάλα. Δεν θα υπάρχουν πλέον τα επικίνδυνα καυσαέρια, δεν θα εκπέμπεται διοξείδιο του άνθρακα το οποίο βοηθά εκτός των άλλων στην αύξηση της θερμοκρασίας στον πλανήτη και δεν θα υπάρχουν πλέον προβλήματα λόγω έλλειψης καυσίμων κάτι που θα έχει με τη σειρά του ευεργετικές συνέπειες στην οικονομία αλλά και στην τσέπη των καταναλωτών. Πιο συγκεκριμένα:

- Ελάχιστες εκπομπές ρύπων. Προστασία της ατμόσφαιρας, φιλικός προς το περιβάλλον ηλεκτρισμός.
- Οι κυψέλες δεν έχουν κινητά μέρη. Ήσυχη λειτουργία και μικρή συντήρηση.
- Μεγάλη απόδοση στην μετατροπή ηλεκτρισμού της τάξης του 40-65% .
Εξοικονόμηση ενέργειας.

- Προσαρμοζόμενος σχεδιασμός για εφαρμογές από watt μέχρι megawatt.
- Σαν αέριο ή υγρό, το υδρογόνο μπορεί εύκολα να μεταφερθεί, να φυλαχθεί και τελικά μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε κάθε εφαρμογή όπου χρησιμοποιούνται σήμερα τα καύσιμα.
- Κοστίζει λιγότερο για να μετακινηθεί το υδρογόνο σε άλλες ηπείρους ως συμπιεσμένο αέριο με τη βοήθεια σωλήνων, από ένα ίσο ποσό ηλεκτρικής ενέργειας. Το υγρό υδρογόνο είναι η ασφαλέστερη και πιο οικονομική επιλογή για την κίνηση της ενέργειας από τους ωκεανούς.
- Το υδρογόνο είναι το πιο ασφαλές από όλα τα καύσιμα. Το αέριο υδρογόνο είναι 14 φορές ελαφρύτερο από τον αέρα και για αυτό διαχέεται ταχέως στην ατμόσφαιρα στην περίπτωση ενός ατυχήματος. Ενώ τα άλλα καύσιμα έχουν μεγάλο χρόνο επικινδυνότητας έως ότου αυτά ξεφύγουν από την θέση τους.

Αρνητικά υδρογόνου

Αρνητικά Υδρογόνου έναντι των συμβατικών πηγών ενέργειας

Όσον αφορά τώρα τα μειονεκτήματα του υδρογόνου έναντι των υπολοίπων συμβατικών πηγών ενέργειας, τα περισσότερα από αυτά έχουν να κάνουν με την σχετικά πρόσφατη στροφή της έρευνας προς την αξιοποίηση του υδρογόνου ως καύσιμο, με αποτέλεσμα να μην έχουν ακόμα εξελιχθεί οι κατάλληλες τεχνικές, ώστε να είναι ικανό να αξιοποιηθεί σε μαζική κλίμακα στη πράξη. Συνοπτικά, τα μειονεκτήματα αυτά έχουν ως εξής: Το μεγαλύτερο πρόβλημα που αντιμετωπίζει σήμερα το υδρογόνο σαν καύσιμο, αλλά και γενικότερα σαν βιομηχανικό προϊόν, είναι αυτό της αποτελεσματικής και ασφαλούς αποθήκευσής του.

Δεδομένου ότι το υδρογόνο είναι ένα στοιχείο που σε αέρια κατάσταση είναι πολύ ελαφρύ, η συμπίεση μεγάλης ποσότητάς του σε πολύ μικρού μεγέθους δεξαμενές είναι ακόμα αρκετά δύσκολη, εξαιτίας των υψηλών πιέσεων που χρειάζονται γι' αυτό (ή αντίστοιχα εξαιτίας των πολύ χαμηλών θερμοκρασιών που χρειάζονται για την αποθήκευσή του σαν υγρό). Εκτός από αυτό, οι ακραίες συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίας που απαιτούνται για την αέρια ή την υγρή του αποθήκευση,

συνεπάγονται και την κατανάλωση μεγάλων ποσοτήτων ενέργειας για την επίτευξή τους, με αποτέλεσμα η αέρια ή η υγρή αποθήκευση του υδρογόνου να είναι αρκετά δαπανηρή σαν μέθοδος αποθήκευσής του. Για τον λόγο αυτό και η έρευνα που γίνεται σήμερα πάνω στην αποθήκευση του υδρογόνου έχει στραφεί προς νέες τεχνικές μεθόδους, οι οποίες αφενός έχουν σαν πεδίο αναφοράς τους την αποθήκευσή του σε νανοδομημένα υλικά (αύξηση της ποσότητας αποθήκευσής του) και στην δέσμευσή του από στερεά υλικά τα οποία το αποθηκεύουν στη μάζα τους με τη μορφή «στερεού» (προσροφημένο ή απορροφημένο μεταξύ των στερεών τους μορίων). Η «στερεή» αποθήκευση του υδρογόνου στα συγκεκριμένα υλικά, έχει σαν αποτέλεσμα να μειώνονται δραματικά οι ακραίες συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίας που απαιτούνται κατά την αποθήκευσή του σαν υγρό ή σαν αέριο.

Ένα άλλο σημαντικό πρόβλημα που αντιμετωπίζει το υδρογόνο σαν καύσιμο παραγωγής ενέργειας είναι και το γεγονός, ότι το παγκόσμιο δίκτυο διανομής του προς το παρόν δεν υφίσταται, με αποτέλεσμα να μην μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε μαζική κλίμακα και από όλες τις χώρες του κόσμου. Επιπλέον, λόγω της ανυπαρξίας του δικτύου διανομής του, το κόστος ανεφοδιασμού του υδρογόνου σε παγκόσμια κλίμακα παραμένει ακόμα υψηλό, μιας και οι διάφορες τεχνολογίες παραγωγής του μέσω ΑΠΕ δεν έχουν εξελιχθεί ακόμα σε ικανοποιητικό βαθμό. Το γεγονός όμως αυτό αναμένεται να αλλάξει στο μέλλον, όσο η κατανάλωσή του σαν καύσιμο θα αρχίσει να αυξάνεται και όσο η παραγωγή του από ΑΠΕ θα γίνεται όλο και περισσότερο φθηνότερη. Ένα τελευταίο πρόβλημα που αντιμετωπίζει σήμερα το υδρογόνο σαν καύσιμο μαζικής παραγωγής ενέργειας, είναι και το αυξημένο κόστος των διαφόρων ενεργειακών διατάξεων που χρησιμοποιούνται για την αξιοποίησή του σαν καύσιμο (των κυψελών καυσίμου και των ΜΕΚ υδρογόνου). Η τεχνολογία των διατάξεων αυτών, προς το παρόν, δεμπορεί ακόμα να θεωρηθεί ολοκληρωτικά αξιόπιστη, μιας και κατά την εφαρμογή τους παρουσιάζονται ορισμένα τεχνικά και οικονομικής φύσης προβλήματα που δεν καθιστούν ικανή τη μαζική χρησιμοποίησή τους.

Αρνητικά Υδρογονοκίνησης

- "Πράσινος" κίνδυνος η χρήση του υδρογόνου ως πηγή ενέργειας τις επόμενες δεκαετίες ίσως βλάψει σημαντικά το στρώμα του όζοντος, σύμφωνα με έρευνα που δημοσιεύεται στο περιοδικό Science. Η ερευνητική ομάδα του Τεχνολογικού Ινστιτούτου της Καλιφόρνιας (CalTech) υποστηρίζει ότι το υδρογόνο που διαρρέει στο περιβάλλον θα ανεβαίνει πολύ γρήγορα στη στρατόσφαιρα - το υδρογόνο είναι το πιο ελαφρύ στοιχείο - όπου θα αντιδρά με το οξυγόνο για το σχηματισμό νερού.
- Άγνωστες παράμετροι. Σύμφωνα με υπολογισμούς, η διαρροή από τις μονάδες παραγωγής, αποθήκευσης και διανομής του καυσίμου θα αντιστοιχεί στο 20% της ολικής ποσότητας υδρογόνου.
- Διάχυση τεχνολογίας. Προκύπτει ένα ερώτημα για την δημιουργία αυτοκινήτου με υδρογόνο το οποίο είναι αν θα μπορέσουν όλοι να διεξάγουν έρευνα και εξέλιξη πάνω στις κυψέλες υδρογόνου, με σχετικά μικρούς προϋπολογισμούς κι όχι τους τεράστιους που καθιστούν αναγκαίους οι ξαφνικές αλλαγές στη νομοθεσία περί εκπομπής ρύπων. Επίσης, ένας άλλος λόγος για τον οποίον μια τέτοια μετάβαση δείχνει βολική για τις εταιρείες είναι το ότι θα μπορέσουν να συνεχίσουν να πουλάνε τα υπάρχοντα προϊόντα τους προβαίνοντας μόνο σε μικρές και σχετικά φθηνές αλλαγές στους κινητήρες τους.

Κεφάλαιο 7^ο

Συστήματα Ανεφοδιασμού



Σωλήνας πλήρωσης για ανεφοδιασμό με υγρό υδρογόνο.

Τα περισσότερα καύσιμα έχουν υψηλή ενεργειακή περιεκτικότητα και πρέπει να χειρίζονται με ασφάλεια. Το υδρογόνο, λοιπόν, δεν διαφοροποιείται από τα άλλα καύσιμα. Δεν θεωρείται ούτε λιγότερο ούτε περισσότερο επικίνδυνο σε σύγκριση με τα συμβατικά καύσιμα. Ο σωστός και ασφαλής χειρισμός ενός καυσίμου εξαρτάται από την καλή γνώση των φυσικών, χημικών και θερμικών του ιδιοτήτων, οπότε διαθέτοντας τις γνώσεις αυτές, και ο χειρισμός του υδρογόνου ως καύσιμο μπορεί να επιτευχθεί με ασφάλεια. Μάλιστα, μελέτες που έχουν διεξαχθεί χαρακτηρίζοντας με έναν συντελεστή ασφαλείας τα καύσιμα ανά ιδιότητά τους, κατατάσσουν το υδρογόνο συνολικά ως το πιο ασφαλές καύσιμο. Τα επίπεδα ασφαλείας ενός καυσίμου καθορίζονται από την τοξικότητά τους αλλά και τους κινδύνους πυρκαγιάς (επίπεδα ανάφλεξης).

Γενικότερα, τα καύσιμα από μόνα τους είναι τοξικά. Η τοξικότητά τους αυξάνεται καθώς ο λόγος άνθρακα / υδρογόνου αυξάνεται. Το υδρογόνο καθώς και τα κύρια προϊόντα καύσης του, όπως το νερό ή οι υδρατμοί, δεν είναι τοξικά. Ωστόσο οξείδια του αζώτου μπορεί να παραχθούν από την καύση του με τον αέρα, τα οποία παρουσιάζουν τοξικότητα, όπως όμως, συμβαίνει και με την καύση των ορυκτών καυσίμων.



Σωλήνας ανεφοδιασμού με υγρό υδρογόνο στη πίστα δοκιμών της BMW.

Μικρότερη πυκνότητα αερίου το καθιστά ασφαλέστερο, εφόσον αυξάνει την άνωσή του και την ταχύτητα διάχυσης σε περίπτωση διαρροής. Η πυκνότητα του υδρογόνου είναι 14,4 φορές μικρότερη από αυτήν του αέρα καθιστώντας το ιδιαίτερα πτητικό. Έτσι, ανεβαίνει γρήγορα ψηλά στον αέρα σε αντίθεση με το προπάνιο ή τους ατμούς βενζίνης που παραμένουν στο έδαφος. Κατά συνέπεια η χρήση του ενδείκνυται για εξωτερικούς ή καλά αεριζόμενους χώρους. Για τον ίδιο λόγο, όσο πιο μεγάλος είναι ο συντελεστής διάχυσης του αερίου τόσο πιο ασφαλές είναι το αέριο. Έτσι, το υδρογόνο, με το μεγαλύτερο συντελεστή διάχυσης ($0,61\text{cm}^3/\text{sec}$ σε σχέση π.χ. με το φυσικό αέριο $0,15\text{cm}^3/\text{sec}$) καίγεται στον αέρα σε πολύ μεγαλύτερο εύρος συγκεντρώσεων από ότι το μεθάνιο και τα όρια έκρηξης του είναι επίσης μεγαλύτερα, ωστόσο διαχέεται πιο γρήγορα από το μεθάνιο και τις βενζίνες.



Μεταφορά και διανομή υγρού υδρογόνου.

Το υδρογόνο δεν έχει τις ιδιότητες που να προειδοποιούν την παρουσία του. Είναι διαυγές, άχρωμο, άοσμο, και άγευστο και καίγεται σε αόρατη φλόγα. Συνεπώς, είναι δύσκολο να εντοπιστεί η φλόγα, ωστόσο ακτινοβολεί ελάχιστη ενέργεια ώστε οι πυροσβέστες να μπορούν να πλησιάσουν πολύ κοντά. Επίσης, δύναται να προστεθούν ορισμένα χημικά ώστε να παρέχουν την απαραίτητη φωτεινότητα. Αντίστοιχα, η χαμηλή εκπεμπτικότητα της φλόγας του, αποτρέπει τον κίνδυνο να αναφλεγούν παρακείμενα αντικείμενα. Επιπρόσθετα, το καύσιμο καίγεται γρήγορα και συνεπώς καταναλώνεται σε μικρό χρονικό διάστημα.



Βαλβίδα ασφαλείας σε ντεπόζιτο υγρού υδρογόνου.

Τέλος, το υδρογόνο είναι άμεσα συγκρίσιμο όσον αφορά θέματα ασφαλείας με το φυσικό αέριο το δίκτυο μεταφοράς του οποίου είναι 1000 φορές λιγότερο επικίνδυνο από τα τάνκερ μεταφοράς αργού πετρελαίου, ανά μονάδα ενέργειας.

ΕΠΙΛΟΓΟΣ

Συμπερασματικά φαίνεται ότι η μηχανή εσωτερικής καύσης υδρογόνου δεν αποτελεί ουτοπία, ούτε όραμα για το μέλλον αλλά σύγχρονη πραγματικότητα. Ακόμα και η προσαρμογή μιας σύγχρονης MEK βενζίνης στην καύση του υδρογόνου υπό προϋποθέσεις, χωρίς υψηλές απαιτήσεις λειτουργίας, δεν είναι δύσκολο να επιτευχθεί. Το δύσκολο είναι η σωστή, ομαλή και αξιόπιστη λειτουργία της μηχανής, με βελτιστοποίηση της απόδοσης και επίτευξη ικανοποιητικής ισχύος απουσία φαινομένων ανώμαλης καύσης. Όλα τα παραπάνω είναι εφικτά, αρκεί να τηρηθούν βασικές αρχές σχεδιασμού των επιμέρους τμημάτων και υποσυστημάτων της μηχανής, με γνώμονα τις ιδιαιτερότητες του υδρογόνου και να υιοθετηθούν ρυθμίσεις με οδηγό τις τόσο διαφορετικές από την βενζίνη ιδιότητες καύσης του νέου καυσίμου.

Τέλος, πρέπει να επισημανθεί ότι οι κεκτημένες τεχνολογίες από τις MEK βενζίνης όπως η ανακύκλωση των καυσαερίων και ο μεταβλητός χρονισμός των βαλβίδων, η κατάλυση των προϊόντων της καύσης και τα συστήματα αμέσου εγχύσεως υψηλής πίεσης επιδρούν και στην περίπτωση των MEK υδρογόνου ευεργετικά βελτιώνοντας σε μεγάλο βαθμό τα χαρακτηριστικά λειτουργίας τους.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

<http://www.caroto.gr/>

<http://www.physics4u.gr/>

<http://www.tropical.gr/>

<http://www.netinform.net/h2/H2Mobility/Default.aspx>

<http://www.carshybrid.gr/>

<https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%A5%CE%B4%CF%81%CE%BF%CE%B3%CF%8C%CE%BD%CE%BF>

<http://hybridcarsgr.blogspot.gr/>

https://en.wikipedia.org/wiki/Hydrogen_vehicle

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Περίληψη.....	3
Abstract.....	4
Πρόλογος.....	5
Κεφάλαιο 1 : Γενικά για το υδρογόνο.....	6
Κεφάλαιο 2 : Γενικά για το υδρογόνο ως καύσιμο.....	8
Κεφάλαιο 3 : Μέθοδοι παραγωγής του υδρογόνου.....	11
Κεφάλαιο 4 : Βαθμός Απόδοσης Υδρογόνου.....	14
Κεφάλαιο 5 : Μελέτη των Ρύπων.....	17
Κεφάλαιο 6 : Πλεονεκτήματα Υδρογόνου.....	19
Κεφάλαιο 7 : Συστήματα Ανεφοδιασμού.....	25
Επίλογος.....	28
Βιβλιογραφία.....	29