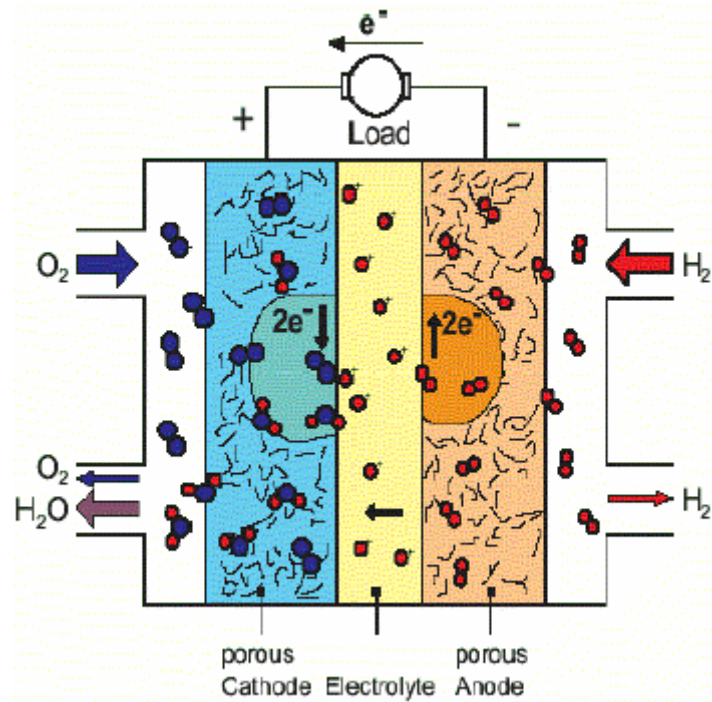


ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΣΕΡΡΩΝ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΑΣ



ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ ΤΟΥ ΣΠΟΥΔΑΣΤΗ :
ΣΟΥΡΒΑ ΔΗΜΗΤΡΙΟΥ

Εισηγητης: ΠΡΟΔΡΟΜΟΥ ΙΩΑΝΝΗΣ

ΘΕΜΑ ΠΤΥΧΙΑΚΗΣ

ΚΥΨΕΛΕΣ ΚΑΥΣΙΜΟΥ

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

- 1.1 Εισαγωγή
- 1.2 Φυσικές ιδιότητες
- 1.3 Χημικές ιδιότητες
- 1.4 Ιστορία των κυψελών καυσίμου

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

- 2.1 Εφαρμογές κυψελών καυσίμων
- 2.2 Ωφέλει της χρήσης κυψελών καυσίμου
- 2.3 Πλεονεκτήματα χρήσης υδρογόνου ως ενεργειακού φορέα
- 2.4 Μειονεκτήματα χρήσης υδρογόνου ως ενεργειακού φορέα

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

- 3.1 Κυψέλες καυσίμου- αρχή λειτουργίας
- 3.2 Κύρια δομικά μέρη κυψέλης καυσίμου
- 3.3 Τύποι κυψελών καυσίμου
- 3.4 Συγκρίνοντας μερικά στοιχεία γύρω από τις κυψέλες καυσίμου
- 3.5 Πλεονεκτήματα κυψελών καυσίμου
- 3.6 Μειονεκτήματα κυψελών καυσίμου

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

- 4.1 Κυψέλες μεμβράνης ανταλλαγής πρωτονίων (PEM) λειτουργία της κυψέλης καυσίμου (PEM)
- 4.2 Εφαρμογή κυψελών PEM στα οχήματα
- 4.3 Οικονομική παρουσίαση των συστημάτων SOFC
- 4.4 Συστήματα SOFC για σταθμούς συμπαραγωγής
- 4.5 Συστήματα SOFC με έμμεση αεριοποίηση

Κεφάλαιο 5

- 5.1 Μέθοδοι παραγωγής και περιγραφή των υπάρχουσών τεχνολογιών παραγωγής υδρογόνου
- 5.2 Μέθοδοι παραγωγής H₂
- 5.3 Αεριοποίηση άνθρακα- Coal Gasification
- 5.4 Αναμόρφωση μεθανίου με ατμό- Steam Methane Reforming
- 5.5 Βιομάζα
- 5.6 Δέσμευση του διοξειδίου του άνθρακα
- 5.7 Ηλεκτρόλυση

Κεφάλαιο 6

- 6.1 Μέθοδοι αποθήκευσης υδρογόνου
- 6.2 Τρόποι αποθήκευσης υδρογόνου

Κεφαλαίο 7

- 7.1 Χρήση υδρογόνου σε μηχανές εσωτερικής καύσης
- 7.2 Συγκέντρωση ισχύος

Βιβλιογραφία

1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το θέμα της οικολογικότερης διαχείρισης των πηγών ενέργειας που διαθέτει ο άνθρωπος αποκτά σήμερα ιδιαίτερη σημασία, όχι μόνο λόγω της τεράστιας οικολογικής καταστροφής που έχει επιφέρει η τεχνολογική ανάπτυξη στον πλανήτη γη, όσο και λόγω της διεύρυνσης των παραγόντων που οδηγούν στην οικολογική επιβάρυνση του πλανήτη: ανατρέχοντας σε ιστορικά στοιχεία, τα πρώτα μέτρα προστασίας του περιβάλλοντος ελήφθησαν στην αρχαία Ρώμη (ρύπτοι από βυρσοδεψία και σφαγεία) και στην Αγγλία του Μεσαίωνα (απαγορευτικές διατάξεις για την καύση του άνθρακα στις τότε ανερχόμενες μανιφακτούρες), ενώ τέτοιου είδους κανόνες νομοθετήθηκαν εκτενώς μετά την βιομηχανική επανάσταση για τις (τότε εξαιρετικά ρυπογόνες) βιομηχανίες. Η διαφορά του σήμερα με εκείνα τα οικολογικά προβλήματα δεν είναι μόνο ποσοτική (πολλαπλάσιες παραγωγικές μονάδες) αλλά και ποιοτική: στην μόλυνση του περιβάλλοντος «συμμετέχει» πια και ο τομέας της οικιακής κατανάλωσης ενέργειας. Αιτίες αυτού, πέρα από τις «αντικειμενικές» (εκθετική ανάπτυξη πληθυσμού στα αστικά κέντρα, άνοδος του βιοτικού επιπέδου), υπήρξαν οι ανάγκες που η αγορά δημιούργησε και ικανοποίησε, χωρίς κανένα άλλο σκεπτικό πέρα από το κέρδος (π.χ. η ανάγκη για μετακίνηση ικανοποιήθηκε όχι με μέσα μαζικής μεταφοράς αλλά με ατομικά αυτοκίνητα, τα προβλήματα του θερμοκηπίου «καταπολεμήθηκαν» με τον οικιακό κλιματισμό, ο οποίος δημιούργησε ένα φαύλο κύκλο στις πόλεις, η εκμηδένιση δημόσιων/κοινόχρηστων χώρων οδήγησε σε επιπλέον ανάγκη κάθε ατόμου για θέρμανση, ηλεκτρισμό, η εξωφρενική χρήση πλαστικών υλών χωρίς κανένα σχεδιασμό ανακύκλωσης κτλ.).

Όλα τα παραπάνω αποτελούν αίτια ασύδοτης οικιακής χρήσης της τεχνολογίας, τα οποία προστίθενται στην ήδη μεγάλη επιβάρυνση του περιβάλλοντος από την βιομηχανία. Επιπλέον, σε ζητήματα όπως το φαινόμενο του θερμοκηπίου και το αστικό νέφος, ο «ατομικός» παράγοντας παίζει εφάμιλλο αν όχι υπέρτερο ρόλο από αυτόν της βιομηχανίας. Ο κυριότερος παράγοντας

είναι φυσικά τα ατομικά μέσα μεταφοράς, τα οποία κάνουν χρήση υγρών ορυκτών καυσίμων (fossil fuels), δηλαδή παραγώγων του πετρελαίου. Έτσι, πέρα από την ανάγκη οικολογικότερων μορφών ενέργειας στη βιομηχανία, σήμερα αναζητείται λύση και για τον περιορισμό των ρύπων που προέρχονται από την ατομική/οικιακή χρήση.

Όλα τα παραπάνω δεν πρέπει να θεωρούνται στατικά φαινόμενα, αλλά δυναμικά μεταβαλλόμενα: Η παγκόσμια ενεργειακή ζήτηση τις επόμενες δεκαετίες αναμένεται να αυξηθεί γοργά μέσα στον αιώνα που διανύουμε. Οι αίτια είναι τα εξής:

- η εκθετική ανάπτυξη του πληθυσμού. Παραφράζοντας τη γνωστή ρήση του Μάλθους, μπορούμε να πούμε ότι η γραμμική αύξηση/ανάπτυξη των ενεργειακών πόρων δυσκολεύονται να «ακολουθήσουν» την εκθετική αύξηση του πληθυσμού. Βρισκόμαστε αντιμέτωποι με ένα ερώτημα επάρκειας των ενεργειακών πόρων αλλά και με ένα ζήτημα αντοχής της φύσης. Με τις υπάρχουσες «ρυπογόνες» μορφές ενέργειας και με την αύξηση των ενεργειακών αναγκών, μπαίνει το ζήτημα της εύρεσης νέων, οικολογικά ανώτερων μορφών ενέργειας.
- Άνοδος του βιοτικού επιπέδου, η οποία συνδυάζεται με ραγδαία αύξηση της οικιακής κατανάλωσης ενέργειας.
- Οι υψηλότεροι ρυθμοί ανάπτυξης που τίθενται ως στόχοι από όλα τα κράτη, ρυθμοί οι οποίοι απαιτούν μια όλο και πιο εντατική χρήση της ενέργειας.

Απέναντι σε όλα αυτά, διάφορες λύσεις προτείνονται από την επιστημονική κοινότητα. Η στροφή προς ήπιες, ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και κυρίως της τεχνολογίες υδρογόνου και κυψελών καυσίμου φαντάζει ως η ιδανική λύση. Λόγω της υψηλής απόδοσης της καθαρότητας εκπομπών και της λειτουργικής απλότητας είναι μια κατεύθυνση προς την οποία πρέπει να στραφεί σήμερα η επιστήμη.

1.2 ΦΥΣΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ

Όπως και τα περισσότερα αέρια, το μόριο του υδρογόνου είναι διατομικό. Το αέριο υδρογόνο είναι πολύ πιο ελαφρύ από τον αέρα. Συγκεκριμένα, στους 0oC έχει πυκνότητα 0,899 kg·m⁻³, περίπου 10 φορές μικρότερη από αυτή του αέρα και για αυτό το λόγο δε βρίσκεται σε μεγάλες ποσότητες στην ατμόσφαιρα αφού σε συνδυασμό με τη μικρή του μάζα μπορεί να διαφύγει από τις βαρυτικές δυνάμεις της γης. Με εξαίρεση το ήλιο, το υδρογόνο έχει το χαμηλότερο σημείο βρασμού και πήξεως (20oC και 14oC αντίστοιχα). Υδρογόνο σε υγρή φάση επιτεύχθηκε πρώτη φορά από τον Άγγλο χημικό Sir James Dewar το 1898, είναι άχρωμο σε μικρές ποσότητες αλλά ανοιχτό μπλε σε λεπτά δείγματα. Το στερεό υδρογόνο είναι επίσης άχρωμο.

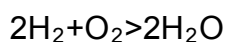
Στη φύση συναντώνται τρία διαφορετικά ισότοπα. Το ισότοπο που αποτελεί το 99,98% των ατόμων υδρογόνου ονομάζεται πρώτιο (1H) και αποτελείται από ένα πρωτόνιο και ένα ηλεκτρόνιο. Σε ποσοστό 0,02% συναντούμε ένα δεύτερο ισότοπο, το δευτέριο (2H) το οποίο αποτελείται από ένα πρωτόνιο, ένα νετρόνιο και ένα ηλεκτρόνιο. Το δευτέριο χρησιμοποιείται σε πλήθος επιστημονικών εφαρμογών. Τέλος, το τρίτο ισότοπο ονομάζεται τρίτιο (3H) αποτελούμενο από ένα πρωτόνιο, δύο νετρόνια και ένα ηλεκτρόνιο και αντιστοιχεί ένα σε 10000 άτομα υδρογόνου. Το τρίτιο είναι ραδιενεργό με χρόνο ημίσειας ζωής τα 12,4 χρόνια.

Φυσικές Ιδιότητες Υδρογόνου	
Φυσική κατάσταση	Αέριο
Πυκνότητα	0.08988 g/l , (0 °C, 101.325 KPa)
Σημείο πήξεως	14.01 K (-259.14 °C)
Σημείο βρασμού	20.28 K (-252.87 °C)
Τριπλό σημείο	13.8033 K , 7.042 Kpa
Θερμοχωρητικότητα	28.836 J/(mol·K) , (25°C)

Φυσικές ιδιότητες υδρογόνου

1.3 ΧΗΜΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ

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



Τα άτομα υδρογόνου σχηματίζουν ομοιοπολικούς δεσμούς μεταξύ τους, αλλά και με άλλα στοιχεία, όπως στην περίπτωση του μεθανίου (CH_4) και του νερού. Το υδρογόνο επίσης σχηματίζει ιοντικούς δεσμούς όπως για παράδειγμα το υδροχλώριο (HCl). Τέλος, το υδρογόνο μπορεί να σχηματίσει το λεγόμενο δεσμό υδρογόνου (hydrogen bond). Ο δεσμός αυτός γίνεται μόνο μεταξύ υδρογόνου και ενός από τα στοιχεία O, S, N, F ή Cl . Η ενέργεια του δεσμού αυτού είναι μικρή. Χαρακτηριστικότερο παράδειγμα αυτού αποτελεί το νερό όπου κάθε μόριο του –σε μη υψηλές θερμοκρασίες- συνδέεται με 4 γειτονικά δημιουργώντας συμπλέγματα πολλών μορίων H_2O . Ο δεσμός υδρογόνου κατά ένα μέρος οφείλεται σε δυνάμεις Van Der Waals ενώ έχουμε επιπρόσθεση δυνάμεων καθαρά χημικού δεσμού.

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

1.4 ΙΣΤΟΡΙΑ ΤΩΝ ΚΥΨΕΛΩΝ ΚΑΥΣΙΜΩΝ

Οι επιστήμονες μελετούν τις κυψέλες καυσίμων αρκετά χρόνια τώρα. Το υδρογόνο πρωτοπαράχθηκε γύρω στα 1400 όταν Ευρωπαίοι επιστήμονες

μελέτησαν την διάβρωση μετάλλων σε οξέα. Με το πέρασμα των χρόνων χρησιμοποιήθηκε σε πλήθος εφαρμογών, από πολύ απλές μέχρι και την εκτόξευση πυραύλων. Σήμερα είναι αρκετά διαδεδομένες τόσο για τη παραγωγή ενέργειας ή την κίνηση οχημάτων όσο και σε πιο εξειδικευμένες εφαρμογές, όπως σε διαστημικά προγράμματα.

Η πρώτη κυψέλη καυσίμων φτιάχτηκε το 1839 από τον Sir William Grove, έναν Ουαλλό δικαστή και πειραματικό επιστήμονα. Όμως σοβαρό ενδιαφέρον για τη κυψέλη καυσίμων ως πρακτική γεννήτρια δεν άρχισε παρά μόνο τη δεκαετία του '60, όταν επέλεξε το διαστημικό πρόγραμμα των ΗΠΑ τις κυψέλες καυσίμων κι όχι την επικίνδυνη πυρηνική ενέργεια και την ακριβότερη ηλιακή ενέργεια. Τα κυψέλες καυσίμων εφοδίασαν ενέργεια το διαστημικό σκάφος Gemini και Apollo, και παρέχουν ακόμα ηλεκτρική ενέργεια και νερό για το Διαστημικό Λεωφορείο

2.1 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΚΥΨΕΛΩΝ ΚΑΥΣΙΜΩΝ

Υπάρχουν αρκετές εφαρμογές των κυψελών καυσίμου μέχρι σήμερα όπως στα μέσα μεταφοράς, στη κάλυψη των αναγκών διαφορών δραστηριοτήτων σε κτήρια όπως νοσοκομεία, ξενοδοχεία και τράπεζες, στη σήμανση των αυτοκινητοδρόμων, ακόμα και σε μικρότερες συσκευές όπως ηλεκτρικές σκούπες κλπ. Πολύ μικρές κυψέλες σε κινητά τηλέφωνα, φορητούς Η/Υ, και γενικά σε φορητές ηλεκτρονικές συσκευές βρίσκονται στο δρόμο προς την αγορά.

Αναλυτικότερα περισσότερες από 2500 κυψέλες καυσίμου σε όλο τον κόσμο έχουν εγκατασταθεί σε νοσοκομεία, κέντρα υγείας, ξενοδοχεία, κτίρια γραφείων, σχολεία, σταθμούς, αεροδρόμια, εξασφαλίζοντας μείωση του κόστους για την ενεργεία που απαιτείται για τις διάφορες ανάγκες ή δραστηριότητες κατά 20% έως 40% πέρα από τη κάλυψη αναγκών θερμότητας. Είναι ιδανικές για παραγωγή ισχύος, και συνδεδεμένες στο ηλεκτρικό δίκτυο μπορούν να

προσφέρουν συμπληρωματική ή εφεδρική ισχύ. Εγκατεστημένες ανεξάρτητα από το δίκτυο μπορούν να προσφέρουν ενέργεια σε περιοχές όπου δεν είναι δυνατόν να εξυπηρετηθούν από αυτό. Συμβάλλουν στη μείωση της ηχορύπανσης και τις ατμοσφαιρικής ρύπανσης, ενώ η θερμότητα που παράγεται μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη θέρμανση κατοικιών ή για ζεστό νερό.

Στις μεταφορές είναι χαρακτηριστικό ότι όλες οι μεγάλες αυτοκινητοβιομηχανίες πειραματίζονται σε οχήματα που χρησιμοποιούν κυψέλες καυσίμου. Παρόλα αυτά δεν προβλέπεται να αναπτυχθούν εμπορικά τέτοιου είδους οχήματα πριν το 2010 τουλάχιστον. Έχουν όμως εφαρμοστεί σε λεωφορεία, σιδηρόδρομους, αεροπλάνα κλπ.

Πολύ μικρές κυψέλες θα επιτρέπουν στους καταναλωτές να μιλούν στο κινητό τους τηλέφωνο για περισσότερο από ένα μήνα χωρίς να απαιτείται επαναφόρτιση και θα τροφοδοτούν φορητούς Η/Υ για πολλές περισσότερες ώρες από ότι οι συνηθισμένες μπαταρίες . Θα αλλάξουν τις παγκόσμιες τηλεπικοινωνίες, και θα εφαρμοστούν σε οικιακές συσκευές, φορητά εργαλεία, ανιχνευτές καπνού, αντικλεπτικούς συναγερμούς κλπ .

Τέλος οι κυψέλες καυσίμου λειτουργούν σε χώρους υγειονομικής ταφής και βιολογικούς καθαρισμούς, παράγοντας ενέργεια από το αέριο μεθάνιο που παράγεται εκεί.



διάφορες εφαρμογές

2 . 2 ΟΦΕΛΗ ΤΗΣ ΧΡΗΣΕΙΣ ΚΥΨΕΛΩΝ ΚΑΥΣΙΜΟΥ

Η χρήση κυψελών καυσίμου μπορεί να συμβάλει στην απεξάρτηση από το πετρέλαιο. Στις ΗΠΑ η εξάρτηση αυτή σήμερα είναι μεγαλύτερη και από την πετρελαϊκή κρίση τη δεκαετία του '70. Για τη κίνηση των οχημάτων απαιτείται καθημερινά το 85% των εισαγόμενων ποσοτήτων πετρελαίου, ενώ εκτιμάται ότι αν το 20% των οχημάτων χρησιμοποιούσαν κυψέλες καυσίμου οι εισαγωγές θα μειωνόντουσαν κατά 1,5 εκατομμύρια βαρέλια την ημέρα. Ακόμα η χρήση τους συμβάλλει στην απεξάρτηση από κεντρικούς σταθμούς παραγωγής ενέργειας και δίκτυα μεταφοράς υψηλής τάσης μεγάλων αποστάσεων.

Οι κυψέλες καυσίμου προσφέρουν καθαρή και υψηλής ποιότητας ενέργεια , ενώ εφεδρικά συστήματα μπορούν να παρέχουν ενέργεια όταν το δίκτυο καταρρεύσει, κάτι πολύ σημαντικό για την τροφοδοσία ιατρικών μηχανημάτων και Η/Υ.

Σημαντική είναι η ποικιλία καυσίμων που χρησιμοποιούνται καθώς το υδρογόνο μπορεί να παραχθεί από πάρα πολλές πηγές. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί ακόμα και αέριο που παράγεται από βιομάζα, υγειονομική ταφή απορριμμάτων και βιολογικούς καθαρισμούς. Η ηλεκτρική ενέργεια που απαιτείται για την ηλεκτρόλυση μπορεί να αντληθεί από ηλιακά ή αιολικά συστήματα.

Είναι πιο αποδοτικές από τα συστήματα καύσης λόγω του ότι η ενέργεια παράγεται ηλεκτροχημικά χωρίς καύση του καυσίμου. Εκτός αυτού, αν τοποθετηθούν κοντά στο σημείο χρήσης η θερμότητα που εκλύεται μπορεί να χρησιμοποιηθεί μειώνοντας έτσι το κόστος θερμότητας κατά 20% έως 40%. Αναφέρεται ότι συστήματα με υδρογόνο μπορούν επιτύχουν απόδοση πάνω από 50%, ενώ σε συνδυασμένη χρήση της εκλυόμενης θερμότητας η συνολική απόδοση φθάνει το 85%. Σε επιβατηγά οχήματα αναμένεται η χρήση των κυψελών να είναι τρεις φορές πιο αποδοτική σε σχέση με τις μηχανές εσωτερικής καύσης.

Οι κυψέλες καυσίμου μπορούν να μειώσουν την ατμοσφαιρική ρύπανση και να βοηθήσουν στην εξάλειψη της τα επόμενα χρόνια. Στη παραγωγή ενέργειας το ποσοστό ρύπων ανά 1000 kW-h είναι μηδαμινό σε σχέση με τις συμβατικές μεθόδους, ενώ σε χρήση τους σε οχήματα προκαλούν μηδενική ρύπανση, έχοντας σαν μόνα παραπροϊόντα νερό και θερμότητα, μειώνοντας ταυτόχρονα τις εκπομπές CO₂ στο μισό. Ανεξάρτητα από το είδος του καυσίμου, συστήματα που φέρουν μετατροπέα υγρού καυσίμου σε υδρογόνο μπορούν να μειώσουν την αιθαλομίχλη κατά 90%, ενώ σε δοκιμές που έχουν διεξαχθεί σε λεωφορεία τα ποσοστά ρύπων ήταν αρκετά χαμηλότερα από αυτά που προβλέπουν οι προδιαγραφές του 1998.

Ένα προσόν των κυψελών καυσίμου είναι ότι μπορούν να κλιμακωθούν σε συστήματα μέχρι να φθάσουν το επιθυμητό ποσό ενέργειας. Μια αυτόνομη κυψέλη μπορεί να δώσει 0,7 Volts, αρκετά για να τροφοδοτήσουν ένα λαμπτήρα,

και αν συνδεθούν σε σειρά αποδίδουν πολλαπλάσιο αριθμό Volts ανάλογα με των αριθμό των κυψελών στη συνδεσμολογία. Ταυτόχρονα προσφέρουν μεγαλύτερο χρόνο λειτουργίας από μια μπαταρία με μικρότερο ή ίδιο βάρος ανά μονάδα ισχύος και μικρότερο όγκο.

Τέλος σημαντική είναι η προσφορά τους στο στρατό εξασφαλίζοντας ενέργεια, ενώ δε γίνονται αντιληπτές λόγω της χαμηλής θερμότητας και θορύβου. Προσφέρουν ενέργεια για ειδικές δραστηριότητες και μπορούν να μεταφερθούν σε απόμακρες περιοχές. Οι κυψέλες καυσίμου εισάγονται στην αγορά την εποχή που αυξάνεται η πίεση για χρήση εναλλακτικών μορφών ενέργειας. Η πρόκληση για τη βιομηχανία είναι να προσφέρει ανταγωνιστικά συστήματα όσο οι απαιτήσεις αυξάνονται, με την ουσιαστική μείωση που αυτά προσφέρουν στη μόλυνση του περιβάλλοντος, και την ταυτόχρονη απεξάρτηση από τον άνθρακα και το πετρέλαιο σαν καύσιμα.

2 . 3 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΧΡΗΣΗΣ ΥΔΡΟΓΟΝΟΥ ΩΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟΥ ΦΟΡΕΑ

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

- Το υδρογόνο έχει το υψηλότερο ενεργειακό περιεχόμενο ανά μονάδα βάρους από οποιοδήποτε άλλο γνωστό καύσιμο, 120,7 KJ/Kgr και περίπου τρεις φορές μεγαλύτερο από αυτό της συμβατικής βενζίνης.

- Κάνει καθαρή καύση. Όταν καίγεται με οξυγόνο παράγει μόνο νερό και θερμότητα. Όταν καίγεται με τον ατμοσφαιρικό αέρα, ο οποίος αποτελείται περίπου από 68% άζωτο, παράγονται επίσης μερικά οξείδια του αζώτου σε αμελητέο ωστόσο βαθμό.

- Για το λόγο ότι κάνει καθαρή καύση δε συμβάλει στη μόλυνση του περιβάλλοντος. Το ποσό του νερού που παράγεται κατά τη καύση είναι τέτοιο ώστε να θεωρείται επίσης αμελητέο και μη ικανό επομένως να επιφέρει κάποια κλιματολογική αλλαγή δεδομένης ακόμα και μαζικής χρήσης.

- Είναι το ίδιο ακίνδυνο όσο η βενζίνη, το πετρέλαιο diesel ή το φυσικό αέριο. Το υδρογόνο μάλιστα είναι το λιγότερο εύφλεκτο σε απουσία αέρα με θερμοκρασία αυθόρμητης ανάφλεξης τους 585οC (230-480οC η αντίστοιχη της βενζίνης).

- Μπορεί να συμβάλει στη μείωση του ρυθμού κατανάλωσης των περιορισμένων φυσικών καυσίμων. Αν και σε πολλές περιπτώσεις αυτά τα ίδια καύσιμα χρησιμοποιούνται για την παρασκευή υδρογόνου το ενεργειακό όφελος είναι μεγάλο. Μάλιστα η πιο συμφέρουσα οικονομικά αυτή τη στιγμή μέθοδος παρασκευής υδρογόνου βασίζεται στη μετατροπή του μεθανίου του φυσικού αερίου.

- Μπορεί να παρασκευαστεί με πάρα πολλές μεθόδους σε οποιαδήποτε χώρα και σε οποιοδήποτε μέρος κι επομένως μπορεί να βοηθήσει στην ανάπτυξη αποκεντροποιημένων συστημάτων παραγωγής ενέργειας. Αυτό θα ωφελήσει φτωχότερα και λιγότερο αναπτυγμένα κράτη τα οποία σήμερα εξαρτώνται ενεργειακά από άλλα ισχυρότερα. Επιπλέον, η περίπτωση δυσλειτουργίας ενός συστήματος παραγωγής ενέργειας δε θα επηρεάσει τη λειτουργία των άλλων.

2 . 4 ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΧΡΗΣΗΣ ΥΔΡΟΓΟΝΟΥ ΩΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟΥ ΦΟΡΕΑ

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

- Ένα πρόβλημα είναι αυτό της αποθήκευσης του, Δεδομένου του ότι το υδρογόνο είναι πολύ ελαφρύ, η συμπίεση μεγάλης ποσότητας σε μικρού μεγέθους δεξαμενή είναι δύσκολη λόγω των υψηλών πιέσεων που χρειάζονται για να επιτευχθεί η υγροποίηση. Δεύτερο πρόβλημα αποτελεί η έλλειψη οργανωμένου δικτύου διανομής του.

- Λόγω του παραπάνω και η τιμή του επίσης είναι σχετικά υψηλή σε σύγκριση με αυτή της βενζίνης ή του πετρελαίου. Η περισσότερο διαδεδομένη λόγω χαμηλού κόστους μέθοδος παραγωγής υδρογόνου αυτή τη στιγμή είναι η μετατροπή του φυσικού αερίου. .στόσο όσο εξελίσσονται και άλλες μέθοδοι, όπως η μετατροπή της αιολικής ενέργειας, το κόστος θα συνεχίσει να μειώνεται.

- Επίσης αν και στο μεγαλύτερο μέρος των περιπτώσεων το υδρογόνο θεωρείται περισσότερο ασφαλές από οποιοδήποτε άλλο καύσιμο, κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες μπορεί να γίνει εξαιρετικά επικίνδυνο. Για παράδειγμα, μπορεί να εκτοπίσει το οξυγόνο ενός χώρου και να δράσει ως ασφυξιογόνο.

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

3 . 1 ΚΥΨΕΛΕΣ ΚΑΥΣΙΜΟΥ-ΑΡΧΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ

Η κυψέλη καυσίμου αποτελεί μια ηλεκτροχημική συσκευή που μετατρέπει τη χημική ενέργεια σε ηλεκτρική, για όσο παρέχονται σε αυτή καύσιμο και οξειδωτικό. Αποτελείται από δύο επίπεδα μεταλλικά ηλεκτρόδια, την άνοδο και την κάθοδο, που χωρίζονται από ένα λεπτό στρώμα ηλεκτρολύτη. Κατά τη λειτουργία της κυψέλης το υδρογόνο ρέει στην πλευρά της ανόδου, όπου ιονίζεται ελευθερώνοντας ηλεκτρόνια και παράγοντας ιόντα υδρογόνου. Η αντίδραση αυτή ελευθερώνει ενέργεια. Στην κάθοδο, το οξυγόνο αντιδρά με τα

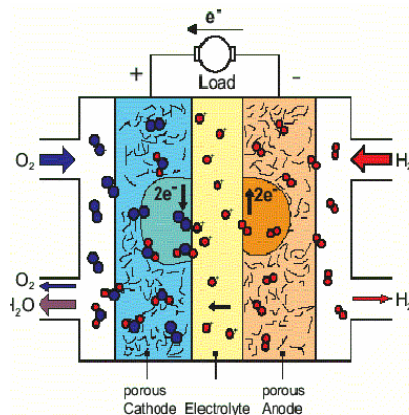
ηλεκτρόνια, που διοχετεύονται από την άνοδο στην κάθοδο μέσω εξωτερικού κυκλώματος, και τα ιόντα υδρογόνου που περνούν μέσα από τον ηλεκτρολύτη, σχηματίζοντας νερό.

Η τάση που παράγεται σε μια κοινή κυψέλη είναι 0.7V. Για να παραχθεί εκμεταλλεύσιμη τάση χρειάζεται να συνδεθούν κυψέλες σε σειρά. Η διάταξη αυτή λέγεται συστοιχία και προκύπτει συνδέοντας είτε την άκρη κάθε ανόδου με την κάθοδο της επόμενης κυψέλης, είτε όλη την επιφάνεια μιας καθόδου με αυτήν της ανόδου της επόμενης. Μια κυψέλη καυσίμου αποτελείται από τρία υποσυστήματα.

(α) Το σύστημα επεξεργασίας καυσίμου, όπου συμβαίνει η αναμόρφωση του αρχικού καυσίμου σε αέριο καύσιμο κατάλληλο για την κυψέλη.

(β) Το σύστημα της κυψέλης καυσίμου, όπου συμβαίνει η μετατροπή της ενέργειας.

(γ) Το σύστημα επεξεργασίας της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας, το οποίο αποτελείται από μετατροπείς συνεχούς ρεύματος σε εναλλασσόμενο, (INVERTER).



Αρχή λειτουργίας κυψέλης καυσίμου

3 . 2 ΚΥΡΙΑ ΔΟΜΙΚΑ ΜΕΡΗ ΚΥΨΕΛΗΣ ΚΑΥΣΙΜΟΥ

Ηλεκτρολύτης :

Μονωτής του ηλεκτρικού ρεύματος, άγει τα παραγόμενα ιόντα.

Ηλεκτρόδια :

Μέσω των πόρων τους διαχέονται οι αντιδρούσες ύλες. Φέρουν τον καταλύτη στην επιφάνεια του οποίου επιτελούνται οι αντιδράσεις

Στρωματά υποστήριξης των ηλεκτροδίων :

Ισοκατανέμουν τα αντιδρώντα ρεύματα στις επιφάνειες των ηλεκτροδίων

Συλλέκτες ρεύματος :

Συνδέουν τις κυψέλες μεταξύ τους σε συστοιχίες, άγουν το παραγόμενο ηλεκτρικό ρεύμα «τροφοδοτώντας» το κύκλωμα της κατανάλωσης

3 . 3 ΤΥΠΟΙ ΚΥΨΕΛΩΝ ΚΑΥΣΙΜΟΥ :

Μεμβράνης ανταλλαγής πρωτονίων (PEM):

Αυτού του τύπου οι κυψέλες λειτουργούν σε σχετικά χαμηλά θερμοκρασίες (περίπου 90 °C), έχουν υψηλή πυκνότητα ισχύος, μπορούν να μεταβάλλουν την ισχύ εξόδου ώστε να ανταποκρίνονται σε αλλαγές της απαιτούμενης ισχύος, και ταιριάζουν σε εφαρμογές, όπως σε αυτοκίνητα, όπου απαιτείται το γρήγορο ξεκίνημα. Είναι ευαίσθητες σε κατάλοιπα καυσίμου ενώ η ισχύς που αποδίδουν καλύπτει μια κλίμακα από 50 Watts έως 75 KW.

Φωσφορικού Οξέος (PEFC):

Είναι εμπορικά διαθέσιμες και εκατοντάδες συστήματα κυψελών αυτού του τύπου είναι εγκατεστημένες σε 19 κράτη, σε νοσοκομεία, ξενοδοχεία, κτίρια γραφείων και λοιπές εφαρμογές. Μπορούν να παράγουν ηλεκτρική ενέργεια με αποδοτικότητα μεγαλύτερη από 40% και σχεδόν το 85% της ισχύος που παράγεται από τις κυψέλες χρησιμοποιείται σε εφαρμογές. Οι κυψέλες φωσφορικού οξέος χρησιμοποιούνται σαν ηλεκτρολύτη υγρό φωσφορικό οξύ και λειτουργούν σε θερμοκρασία περίπου 260 °C. Ένα βασικό τους πλεονέκτημα είναι ότι μπορούν να χρησιμοποιήσουν σαν καύσιμο υδρογόνο, ενώ μπορούν να ανεχθούν συγκέντρωση CO μέχρι 1,5% περίπου κάτι που διευρύνει τους τομείς εφαρμογών τους. Αν χρησιμοποιείται βενζίνη το θείο πρέπει να απομακρύνεται.

Αλκαλικές:

Επιτυγχάνουν αποδοτικότητα ηλεκτροπαραγωγής πάνω από 70%. Χρησιμοποιήθηκαν για καιρό από τη NASA για διαστημικές αποστολές. Λειτουργούν στους 80°C περίπου και σαν ηλεκτρολύτη χρησιμοποιείται υδροξείδιο του καλίου. Είναι ευάλωτες στον άνθρακα και απαιτούν φτωχό υδρογόνο και οξυγόνο.

Χυτού διοξειδίου του άνθρακα:

Χρησιμοποιείται ένας ηλεκτρολύτης από μίγμα άλατος λιωμένου CO₂ ιωρούμενου σε πορώδες χημικά αδρανούς πίνακα. Λειτουργούν σε υψηλές θερμοκρασίες, περίπου 730°C. Απαιτείται CO₂ και οξυγόνο στη κάθοδο ενώ μέχρι σήμερα έχουν χρησιμοποιηθεί με Υδρογόνο, CO, φυσικό αέριο, προπάνιο, κλπ. Κυψέλες ισχύος 10kW έως 2MW έχουν δοκιμαστεί με ποικιλία καυσίμων ενώ αρχικά στόχευαν σε ηλεκτρικές εφαρμογές.

Αναγεννητικές κυψέλες:

Αποτελούν ένα κλειστό βρόγχο παραγωγής ισχύος. Νερό διαχωρίζεται σε υδρογόνο και οξυγόνο μέσω ενός ηλιακού ηλεκτρολύτη, τα οποία τροφοδοτούν την κυψέλη για παραγωγή ηλεκτρισμού, θερμότητας και νερού. Το νερό που παράγεται επιστρέφει στον ηλεκτρολύτη και η διαδικασία επαναλαμβάνεται.

Ψευδαργύρου –Αέρα:

Σε αυτές τις κυψέλες υπάρχει αέριο διαχεόμενο ηλεκτρόδιο (μια διαπερατή μεμβράνη που επιτρέπει στο οξυγόνο της ατμόσφαιρας να διέρχεται), ο ψευδάργυρος που διαχωρίζεται στην άνοδο από ηλεκτρολύτη, και μερικοί τύποι μηχανικών διαχωριστών. Το οξυγόνο μετατρέπεται σε ιόντα υδροξυλίου και νερό. Τα ιόντα υδροξυλίου μέσω ενός ηλεκτρολύτη φθάνουν στο ηλεκτρόδιο ψευδαργύρου, όπου αντιδρούν με τον ψευδάργυρο και κάποια οξείδια του. Έτσι δημιουργείται ηλεκτρικό δυναμικό, και ένα σύνολο συνδεδεμένων κυψελών αυτού του τύπου μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν πηγή ηλεκτρικής ισχύος. Απαιτείται μια δεξαμενή και ένα ψυγείο ψευδαργύρου ώστε αυτόματα να αναγεννάτε το καύσιμο. Ηλεκτρισμός δημιουργείται κατά την ένωση ψευδαργύρου και οξυγόνου παρουσία ηλεκτρολύτη με αποτέλεσμα οξείδια του ψευδαργύρου. Όταν η κυψέλη έχει χρησιμοποιηθεί το σύστημα συνδέεται στο ηλεκτρικό δίκτυο και η διαδικασία αναστρέφεται, ενώ η ανάστροφη αυτή διαδικασία διαρκεί περίπου 5 λεπτά. Το κύριο πλεονέκτημα αυτού του τύπου είναι η υψηλή ειδική ενέργεια, μια συνιστώσα που καθορίζει τη διάρκεια λειτουργίας σχετικά με το βάρος. Ακόμα λόγω της αφθονίας ψευδαργύρου στη γη, το κόστος των υλικών για τη κυψέλη αυτή είναι χαμηλό.

Κεραμική πρωτονίων:

Βασίζεται σε ένα κεραμικό υλικό για ηλεκτρολύτη, το οποίο παρουσιάζει υψηλή πρωτονιακή αγωγιμότητα σε υψηλές θερμοκρασίες λειτουργίας, απαραίτητες για να επιτύχουμε πολύ υψηλή αποδοτικότητα με καύσιμο υδρογονάνθρακα. Στις κυψέλες αυτές γίνεται ηλεκτροχημική οξειδωση φυσικών καυσίμων κατευθείαν στην άνοδο.

ΚΥΨΕΛΗ ΚΑΥΣΙΜΟΥ ΣΤΕΡΕΟΥ ΟΞΕΙΔΙΟΥ (SOFC)

Η συσκευή SOFC ανήκει στις κεραμικές κυψέλες καυσίμου τα συστήματα χρησιμοποιούν συνήθως ως ηλεκτρολύτη ένα σκληρό κεραμικό υλικό στερεού οξειδίου ζirkονίου και μια μικρή ποσότητα πυρίτιου, αντί για ηλεκτρολύτη υγρής μορφής, Είναι μια συσκευή υψηλής θερμοκρασίας (λειτουργούν στους 700 - 1000°C) και είναι στερεάς κατάστασης. Ανήκει στις πιο επιθυμητές κυψέλες καυσίμου για την παραγωγή ηλεκτρισμού από υδρογονάνθρακες. Κι αυτό γιατί είναι απλές, σημαντικά αποτελεσματικές και ανεκτικές σε ρύπους και έχουν τη δυνατότητα να ανασχηματίσουν εσωτερικά τουλάχιστον εν μέρει τα καύσιμα υδρογονανθράκων Ένα από τα μεγαλύτερα προτερήματα των SOFC είναι ότι είναι σε στερεά κατάσταση. Αυτό σημαίνει ότι δεν είναι πια απαραίτητη η χρήση αντλιών, αντίθετα, κυψέλες καυσίμου στερεού οξειδίου 1 KW μπορούν να κατασκευαστούν σε πολύ λεπτά φύλλα και να αποτελέσουν ένα πολύ εργονομικό πακέτο. Ένα ακόμα πλεονέκτημα είναι ότι τόσο το υδρογόνο όσο και το μονοξείδιο του άνθρακα χρησιμοποιούνται στη κυψέλη ως καύσιμα, σε αντίθεση με τις συσκευές εναλλαγής πρωτονίων (PEM) όπου είναι «δηλητήρια». Απόρροια αυτού είναι ότι οι SOFC μπορούν εύκολα και ασφαλώς να χρησιμοποιήσουν συνήθη καύσιμα υδρογονανθράκων όπως το φυσικό αέριο, το πετρέλαιο diesel, τη βενζίνη, το οινόπνευμα και το φωταέριο. Επίσης, ενώ στις συσκευές PEFC είναι απαραίτητος ένας εξωτερικός αναμορφωτής για την παραγωγή υδρογόνου, στις SOFC αυτά τα καύσιμα μπορούν να μετασχηματιστούν σε υδρογόνο και

μονοξειδίου του άνθρακα μέσα στη κυψέλη. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα σε μερικές από τις υψηλές θερμοκρασίες η σπαταλούμενη θερμική ενέργεια να επαναχρησιμοποιείται στο καύσιμο. Επειδή, οι χημικές αντιδράσεις γίνονται καλύτερες σε υψηλές θερμοκρασίες λειτουργίας δεν χρειάζεται συμπίεση του αέρα. Ειδικότερα σε μικρότερα συστήματα έχει ως αποτέλεσμα την απλοποίησή του, την ήσυχη λειτουργία του και τις υψηλές αποδόσεις του, όπως επίσης δεν είναι απαραίτητοι και οι εξειδικευμένοι καταλύτες. Πολλές κυψέλες καυσίμου απαιτούν ένα ακριβό υγρό σύστημα ψύξης σε αντιπαράθεση με τις συσκευές SOFC που δεν χρειάζονται. Βασικά η μόνωση είναι αυτή που διατηρεί την θερμοκρασία της κυψέλης σε μικρά συστήματα. Η κυψέλη ψύχεται εσωτερικά από τις ενέργειες ανασχηματισμού του καυσίμου και από τον ψυχρό εξωτερικό αέρα που παρασέρνεται μέσα στην κυψέλη. Μερικά λεπτά καύσης είναι απαραίτητα για την επίτευξη της θερμοκρασίας λειτουργίας της κυψέλης, κι αυτό γιατί οι SOFC δεν λειτουργούν σε θερμοκρασία χαμηλότερη των 650ο C. Παρόλο που οι SOFC θεωρούνται ως αυτοκίνητες πηγές ισχύος, αυτή η χρονική καθυστέρηση θεωρείται ως μειονέκτημα. ωστόσο, για συστήματα ισχύος που λειτουργούν συνεχώς το παραπάνω δεν αποτελεί πρόβλημα. Οι περισσότερες εφαρμογές είναι σε εγκαταστάσεις ή και σε μεγαλύτερα σχηματισμένα συστήματα (μονάδες βοηθητικής ενέργειας σε οχήματα) όπου η υψηλή θερμοκρασία παρέχει μεγάλη θερμότητα. ωστόσο, πρόσφατη έρευνα άνοιξε τις πόρτες και για εφαρμογή των SOFC συσκευών και σε φορητές εφαρμογές. Αυτό επιτρέπει και άλλα οφέλη αυτών των συσκευών να ενισχύσουν την αγορά των φορητών συσκευών. Οι συσκευές στερεού οξειδίου γίνονται όλο και πιο αποδοτικές από τις άλλες τεχνολογίες κυψελών καυσίμου (γρήγορες αντιδράσεις ανάλογες με την υψηλή θερμοκρασία).

ΚΥΨΕΛΗ ΚΑΥΣΙΜΟΥ ΜΕΘΑΝΟΛΗΣ (DMFC)

Όπως υποδηλώνει το όνομα της, η μεθανόλη χρησιμοποιείται απευθείας ως καύσιμο σ' αυτή τη κυψέλη καυσίμου. Συχνά θεωρούνται ως μέρος των

συστημάτων PEM, αφού οι περισσότερες DMFC συσκευές χρησιμοποιούν επίσης μεμβράνες ανταλλαγής πρωτονίων. Έτσι, πολλές μελέτες DMFC συστημάτων (θερμοκρασία, πίεση, διαχείριση νερού) είναι πανομοιότυπες με αυτές που χρειάστηκαν στις PEM. Και σε αυτές τις κυψέλες καυσίμου, το οξυγόνο από τον περιβάλλοντα αέρα είναι το οξειδωτικό μέσο, ωστόσο, η υγρή μεθανόλη είναι το καύσιμο το οποίο οξειδώνεται απευθείας στην άνοδο. Αυτό εκμηδενίζει την ανάγκη για ξεχωριστό αναμορφωτή καυσίμων, ή της διαχείρισης του καυσίμου υδρογόνου, και απλοποιεί σε μεγάλο βαθμό τα συστήματα των DMFC. Η τεχνολογία κυψελών καυσίμου μεθανόλης, σχετικά νέα στο χώρο σε σχέση με αυτή που χρησιμοποιεί το υδρογόνο, έχει διάφορες προκλήσεις να αντιμετωπίσει. Πρόσφατες έρευνες υπήρξαν ουσιώδεις σχετικά με την ανάπτυξη της τεχνολογίας των DMFC, επιτυγχάνοντας ένα μεγάλο μέρος της επίδοσης των κυψελών καυσίμου υδρογόνου. Παρόλα αυτά υπάρχουν ακόμα σημαντικά εμπόδια για να ξεπεραστούν δυστυχώς, λόγω του μικρού μεγέθους του μορίου της μεθανόλης (CH_3OH), μπορεί και διασχίζει την μεμβράνη από την άνοδο προς τη κάθοδο, πράγμα ανεπιθύμητο, διότι αυτό το «crossover» μειώνει την απόδοση της καθόδου του αέρα και έτσι ξοδεύεται καύσιμο. Έτσι, κρίνεται απαραίτητη η χρήση μεγάλης ποσότητας ακριβού καταλύτη πλατίνας, αρκετά μεγαλύτερης από αυτή που χρησιμοποιείται στις κυψέλες καυσίμου πολυμερισμένου ηλεκτρολύτη υδρογόνου/αέρα. Ακόμα, η ταχύτητα της αντίδρασης οξείδωσης είναι σχετικά αργή, οπότε η επίδοση της DMFC μπορεί να επηρεαστεί δυσμενώς και να γίνει διάσπαση της ένωσης σε απλούστερα στοιχεία με τον χρόνο.

Πλεονεκτήματα στη χρήση της μεθανόλης είναι, ότι είναι ήδη διαθέσιμη σε βιομηχανικές ποσότητες και έχει υψηλό ποσοστό υδρογόνου στο ολικό μοριακό βάρος της ένωσης, οπότε και είναι καλή υποψήφια λύση για πρακτικά συστήματα καυσίμων. Για την προμήθεια μεγάλων ποσοτήτων μεθανόλης είναι αλήθεια ότι χρειάζονται κάποια έργα υποδομής, ωστόσο ήδη μερικές αντλίες είναι έτοιμες για αυτό το σκοπό. Σημαντικό είναι ακόμη το ότι στις DMFC δεν είναι απαραίτητος ένας ογκώδης και βαρύς αποθηκευτικός χώρος υδρογόνου ή ένα υποσύστημα αναμόρφωσης. Αυτό είναι θετικό, όσον αφορά την απλότητα και το κόστος της κατασκευής μιας DMFC, και αποτελεί μία εναλλακτική ελκυστική λύση έναντι του

υδρογόνου ή των αναμορφωμένων συστημάτων τροφοδοσίας. Επιπροσθέτως, η κυψέλη καυσίμου μεθανόλης θεωρείται ως μηδενικής εκπομπής συσκευή.

Ο αποδοτικότερος τύπος αφορά στην κυψέλη ανταλλαγής πρωτονίων (PEM) ή οποία κατά κύριο λόγο «καίει» υδρογόνο αν και υπάρχουν περιπτώσεις όπου η προσθήκη ενός καταλυτικού μετατροπέα διαχωρίζει τα μόρια υδρογόνου, από καύσιμα, όπως το μεθάνιο κ.α

3 . 4 ΣΥΓΚΡΙΝΟΝΤΑΣ ΜΕΡΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΓΥΡΩ ΑΠΟ ΤΙΣ ΚΥΨΕΛΕΣ ΚΑΥΣΙΜΟΥ

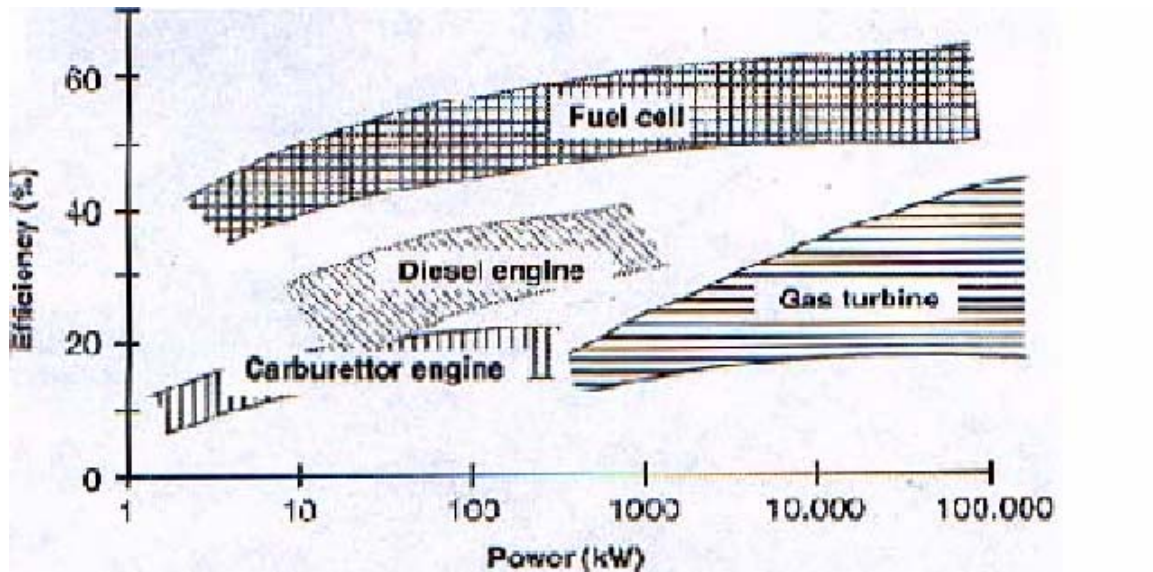
Συγκρίνοντας ένα όχημα κυψελών καυσίμου με ένα κλασσικό ηλεκτροκίνητο όχημα θα διαπιστώσουμε ότι έχει όλα τα πλεονεκτήματα του τελευταίου ενώ δεν απαιτεί πολύ χρόνο για φόρτιση των μπαταριών. Ακόμα η αυτονομία ενός τέτοιου οχήματος είναι πολύ μεγαλύτερη σε σχέση με τα χιλιόμετρα που μπορεί να διανύσει ένα ηλεκτροκίνητο όχημα μεταξύ δυο φορτίσεων.

Τα οχήματα με κυψέλες καυσίμου επιτυγχάνουν αποδόσεις 40 έως 50% ποσοστά σημαντικά υψηλότερα σε σχέση με τις μηχανές εσωτερικής καύσης οι οποίες περιορίζονται κάτω από τους νόμους της θερμοδυναμικής. Σε ένα συμβατικό όχημα το 85% της ενέργειας χάνεται σε θερμότητα και το υπόλοιπο αποδίδεται σε μηχανικό έργο.

Πολλές συζητήσεις γίνονται σχετικά με την ασφάλεια του υδρογόνου, το οποίο είναι ελαφρώς εύφλεκτο και απαιτείται μικρή μόνο περιεκτικότητα στον αέρα για καύση. Αν χρησιμοποιείται όμως με προσοχή και σύμφωνα με τις προδιαγραφές που έχουν θεσπιστεί είναι αρκετά πιο ασφαλές από τα συνηθισμένα καύσιμα.

Τέλος αρκετοί απορούν τι γίνεται με το νερό που παράγεται από μια κυψέλη καυσίμου. Βασικό είναι να θυμόμαστε ότι και η καύση αρκετών συμβατικών

καυσίμων παράγει νερό υπό τη μορφή υδρατμών κατά τη παραγωγή ενέργειας. Μάλιστα σε αρκετές περιπτώσεις το ποσοστό υδρατμών που παράγεται είναι μεγαλύτερο από αυτό που παράγεται από τις κυψέλες καυσίμου. Ακόμα μην ξεχνάμε ότι για το διαχωρισμό του υδρογόνου χρησιμοποιείται νερό, δηλαδή το νερό που παράγεται μπορεί να ξαναχρησιμοποιηθεί για τη παραγωγή υδρογόνου.



Διάγραμμα διαφόρων βαθμών απόδοσης

Ενέργεια στην αναλογία βάρους (Wh/kg)	Ενέργεια στην αναλογία όγκου (Wh/l)
Mn-C (μπαταρία) 25-70	120-190
Alk-Mn (μπαταρία) 80-120	200-300
Pb (συσσωρευτής) 20-45	20-100
Ni-Cd (συσσωρευτής) 40-55	30-80
H ₂ (υγρό στάδιο) 33.300	2.360
H ₂ (MPA 30) 33.300	750
H ₂ (υδρίδιο μετάλλων) 580	3.180
Μεθανόλη (υγρό) 5.600	4.420
Βενζίνη (υγρό) 12.700	8.760
Diesel (υγρό) 11.600	9.700

Διάγραμμα σύγκρισης διάφορων μορφών ενέργειας

3 . 5 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΚΥΨΕΛΩΝ ΚΑΥΣΙΜΟΥ :

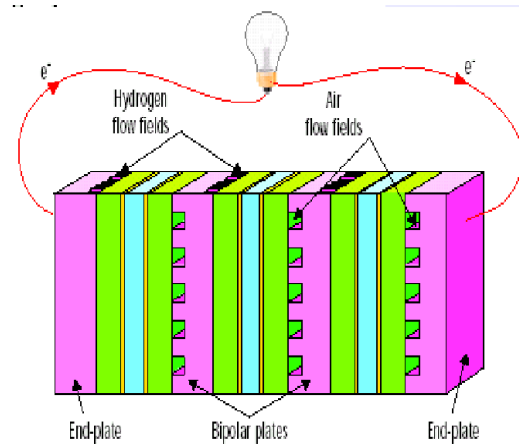
1. Υψηλός ηλεκτρικός βαθμός απόδοσης
2. Υψηλή απόδοση σε μερικό φορτίο
3. Χαμηλές εκπομπές ρυπαντών και θορύβου
4. Απουσία κινούμενων μερών-απλή συντήρηση
5. Εύκολη επέκταση της ονομαστικής ισχύος του συστήματος
6. Ποικιλία εφαρμογών

3 . 6 ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ :

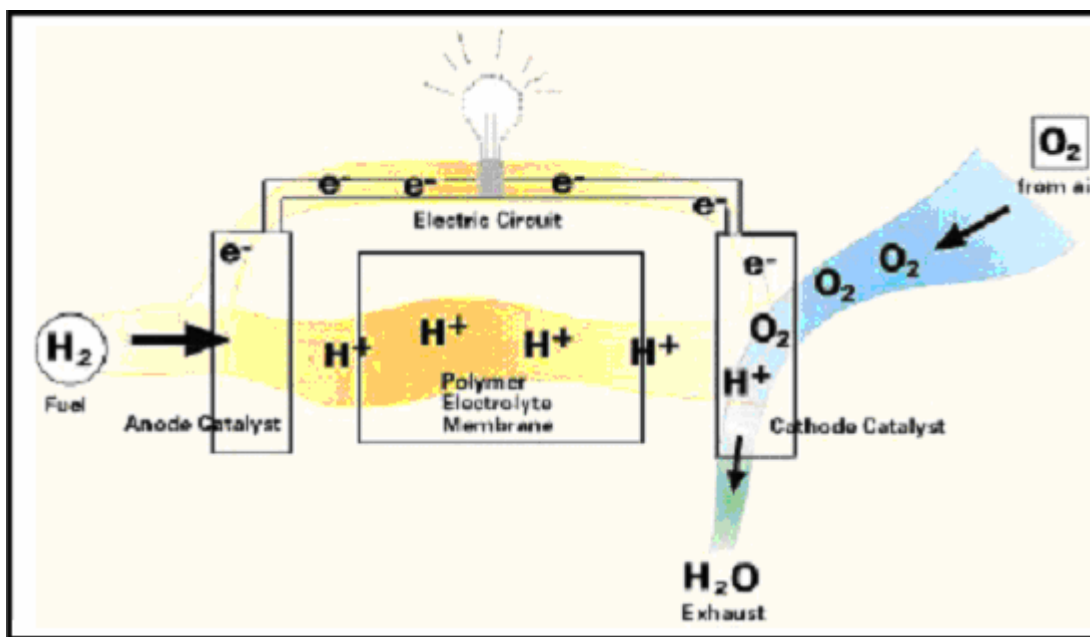
1. Ο χρόνος ζωής τους παραμένει άγνωστος, εκτιμάται ωστόσο ακόμη περιορισμένος
2. Υψηλό κόστος κτήσεως των συστημάτων
3. Σταθερή υποβάθμιση της απόδοσης αυξανόμενου του χρόνου λειτουργίας
4. Λίγοι κατασκευαστές, περιορισμένο δίκτυο υποστήριξης
5. Μικρή εμπειρία εφαρμογών
6. Πολύπλοκα συστήματα

4.1 ΚΥΨΕΛΕΣ ΜΕΜΒΡΑΝΗΣ ΑΝΤΑΛΛΑΓΗΣ ΠΡΩΤΟΝΙΩΝ (PEM) ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΤΗΣ ΚΥΨΕΛΗΣ ΚΑΥΣΙΜΟΥ (PEM)

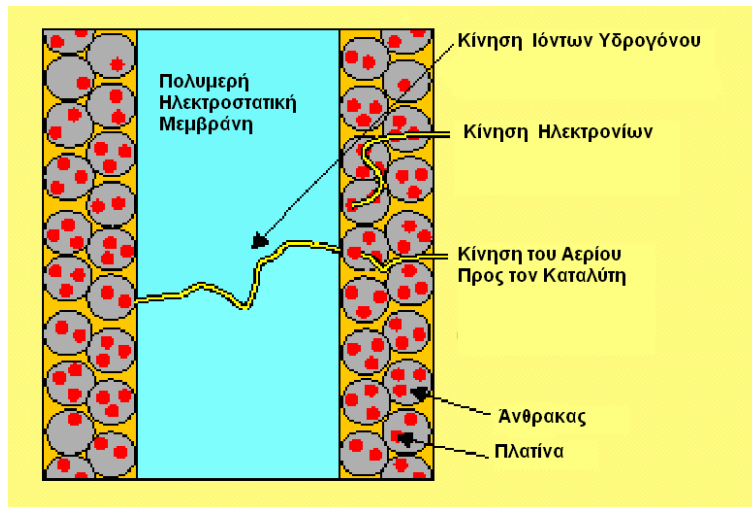
Οι κυψέλες καυσίμου πολυμερησμένης μεμβράνης είναι η τεχνολογία που επιλέγεται από την πλειοψηφία των ερευνητών πάνω στις κυψέλες καυσίμου χαμηλής θερμοκρασίας. Η κυψέλη καυσίμων λειτουργεί παρόμοια με μια μπαταρία.. Έχει δύο ηλεκτρόδια, μια άνοδο και μια κάθοδο τα οποία διαθέτουν ηλεκτροχημική επικάλυψη συνήθως λευκόχρυσος (πλατίνα) από ενεργό κατάλυτη, και χωρίζονται από μια μεμβράνη μόλις μερικών δεκάτων του χιλιοστού. Το οξυγόνο περνά πάνω από το ένα ηλεκτρόδιο και το υδρογόνο από το άλλο. Το υδρογόνο αντιδρά με έναν καταλύτη στην άνοδο (+) που μετατρέπει το αέριο υδρογόνου σε αρνητικά φορτισμένα ηλεκτρόνια (e^-) και θετικά φορτισμένα ιόντα (H^+). Λόγω των ιδιοτήτων τους τα απελευθερωμένα ηλεκτρόνια δεν μπορούν να διαπεράσουν την μεμβράνη και εξαναγκάζονται να κινηθούν όλα μαζί προς την κατεύθυνση του καταναλωτή που μπορεί να έχει την μορφή ενός μετασχηματιστή, ηλεκτροκινητήρα κ.α. Το ταξίδι όμως των ηλεκτρονίων συνεχίζεται γύρω από την μεμβράνη μέχρι να συναντηθούν με τα ιόντα του υδρογόνου (τα πρωτόνια) που έχουν από πριν διαπεράσει την μεμβράνη. Τα ηλεκτρόνια ρέοντας από την κυψέλη αποτελούν ένα ρεύμα που χρησιμοποιείται ως ηλεκτρική ενέργεια. Όπως είναι προφανές αυτή η κίνηση των πρωτονίων δημιουργεί την ηλεκτρική τάση. Τα ιόντα του υδρογόνου τώρα κινούνται μέσω της ηλεκτρολυτικής μεμβράνης προς την κάθοδο (-) όπου ενώνονται με το οξυγόνο και τα ηλεκτρόνια για να παραγάγουν το νερό. Αντίθετα από τις μπαταρίες, οι κυψέλες καυσίμων ποτέ δεν φορτίζονται απ' έξω. Όπως καταλαβαίνουμε η μεμβράνη πολυμερών ηλεκτρολυτών PEM είναι το κλειδί στην τεχνολογία κυψελών υδρογόνου πρέπει να επιτρέψει μόνο στα απαραίτητα ιόντα να περάσουν μεταξύ της ανόδου και της καθόδου. Άλλες ουσίες που θα περνούσαν μέσω του ηλεκτρολύτη θα 'αναστάτωναν' τη χημική αντίδραση. Μία κυψέλη καυσίμου παράγει περίπου 0.6 Volt και πολλές μαζί συνδυάζονται για να δώσουν την ηλεκτρική ισχύ που χρειάζεται.



Συστοιχία κύψελων καύσιμου



Διάγραμμα λειτουργίας κυψέλης καύσιμου (PEM)



Λειτουργία πολυμερής μεμβράνης



Κυψελες καυσιμου

4 . 2 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΚΥΨΕΛΩΝ ΡΕΜ ΣΤΑ ΟΧΗΜΑΤΑ

Γενικά οι ΡΕΜ εμφανίζουν αρκετά πλεονεκτήματα εξαιτίας της ύπαρξης του πολυμερικού ηλεκτρολύτη. Ένα από αυτά είναι η λειτουργία σε χαμηλές θερμοκρασίες, που εξασφαλίζει μια γρήγορη εκκίνηση του συστήματος.

Επιπλέον το πολύ μικρό πάχος στο οποίο μπορεί να κατασκευαστεί ο ηλεκτρολύτης, δίνει την δυνατότητα για κατασκευή πολύ λεπτών και συμπαγών κυψελών. Κάτι άλλο που έχει πολύ μεγάλη σημασία είναι το γεγονός ότι δεν υπάρχει ο κινδυνός διάβρωσης, εφόσον δεν υπάρχουν υγρά υλικά και έτσι η κυψέλη μπορεί να λειτουργεί με οποιονδήποτε προσανατολισμό. Αυτό καθιστά τις PEM κατάλληλες για χρήση σε οχήματα.

Συγκριτικά με τις ΜΕΚ ,οι οποίες αποτελούν την πλέον συμβατική τεχνολογία στα οχήματα, οι κυψέλες PEM πλεονεκτούν. Ειδικότερα οι ΜΕΚ λειτουργούν με θορυβώδεις, υψηλής θερμοκρασίας εκρηξιές σαν αποτέλεσμα της καύσης του καυσίμου με το οξυγόνο του αέρα. Μετατρέπουν έτσι την χημική ενέργεια του καυσίμου σε θερμική για να παράγουν μηχανική ενέργεια. Αντίθετα σε ένα όχημα με κυψέλες PEM το υδρογόνο και το οξυγόνο υφίστανται μια σχετικά κρύα, ηλεκτροχημική αντίδραση που παράγει κατευθείαν ηλεκτρική ενέργεια, χωρίς να εμπειρέχεται καθόλου ανάφλεξη. Επιπλέον δεν εκπέμπονται καυσαέρια και ο βαθμός απόδοσης είναι μεγαλύτερος, καθώς δεν περιορίζεται από τον κύκλο CARNOT.

Τέλος οι PEM κυψέλες εξετάζονται από τους κατασκευαστές οχημάτων σε όλο τον κόσμο σαν εναλλακτική λύση στις ΜΕΚ εξαιτίας πλεονεκτημάτων όπως μικρό μέγεθος, μικρό βάρος, γρήγορο επαναγέμισμα καυσίμου, μικρές απαιτήσεις συντήρησης και μεγάλη αυτονομία.

4 . 3 ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ SOFC

Τα κύρια μειονεκτήματα για την είσοδο στην αγορά των συστημάτων SOFC είναι προς το παρόν οι οικονομικοί περιορισμοί και δευτερευόντως τα τεχνολογικά εμπόδια. Ακόμα και εάν οι τεχνολογικές προκλήσεις για την εφαρμογή του μεθανίου προερχόμενου από συστήματα SOFC αντιμετωπιστούν, θα απομένει η κύρια πρόκληση που δεν είναι άλλη από την επίτευξη σχετικά

χαμηλού κόστους παραγωγής ηλεκτρισμού. Το μέσο κόστος ηλεκτρισμού στο Ευρωπαϊκό Ανταλλακτήριο Ενέργειας (EEX) κυμαίνεται μεταξύ 2 και 4 ct ανά kWh για το έτος 2002. Τα κοινά συστήματα με ηλεκτρική απόδοση μεταξύ 45% (χωρίς μικροτουρμπίνα) και 55% (με μικροτουρμπίνα) δεν μπορούν να φτάσουν αυτά τα κόστη ακόμα και εάν θεωρήσουμε ιδανικές οικονομικές συνθήκες (π.χ. 7500 full load hours, 5% επιτόκιο, 20 χρόνια) ή επιτευχθεί ένας στόχος κόστους της επένδυσης της τάξεως 3000 €/kW. Γι' αυτό το λόγο η εφαρμογή αυτών των συστημάτων θα περιορίζεται στις συγκεκριμένες. Όπως πρωταρχική ενέργεια χωρίς χρηματοδότηση. Ο μοναδικός τρόπος για να γίνουν αυτά τα συστήματα ανταγωνιστικά στις σημερινές συνθήκες της αγοράς είναι είτε να μειώσουμε το κόστος καυσίμου είτε να αυξήσουμε τα έσοδα. Ειδικά τα συστήματα μικρής κλίμακας επιτρέπουν να επιτύχουμε επιπλέον έσοδα στη περίπτωση που η άχρηστη"-αποβαλλόμενη θερμότητα της ατμοπαραγωγής μπορεί να πουληθεί. Έτσι ο συνδυασμός παραγωγής ισχύος και θερμότητας είναι η πιο υποσχόμενη επιλογή για να κάνουμε τα συστήματα SOFC ανταγωνιστικά ακόμα σε πραγματικές συνθήκες κόστους.

4 . 4 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ SOFC ΓΙΑ ΣΤΑΘΜΟΥΣ ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗΣ

Τα έσοδα από τη θερμότητα εξαρτώνται κυρίως από τη συνολική απόδοση του συστήματος, δηλαδή τη συνολική χρήση καυσίμου. Αλλά αυτή η χρήση καυσίμου εξαρτάται δραστικά από το σχεδιασμό του συστήματος εξαγωγής καυσαερίων. Οι απώλειες θερμότητας οφείλονται κυρίως στις απώλειες της καπνοδόχου όπως είναι η αντοχή και οι θερμοδυναμικές καταπονήσεις.

Τα συνήθη πρότυπα της καπνοδόχου αποβάλλουν τις απώλειες θερμότητας μέσω ρευμάτων αέρα. Παρόλα αυτά ο αέρας πρέπει να προθερμανθεί για να αποφευχθούν θερμικές καταπονήσεις. Αυτό σημαίνει ότι ο τροφοδοτούμενος αέρας καθορίζει τη παροχή αέρα, η οποία είναι απαραίτητη για να εξαλείφει αυτή η επιπλέον θερμότητα: t_{air} .

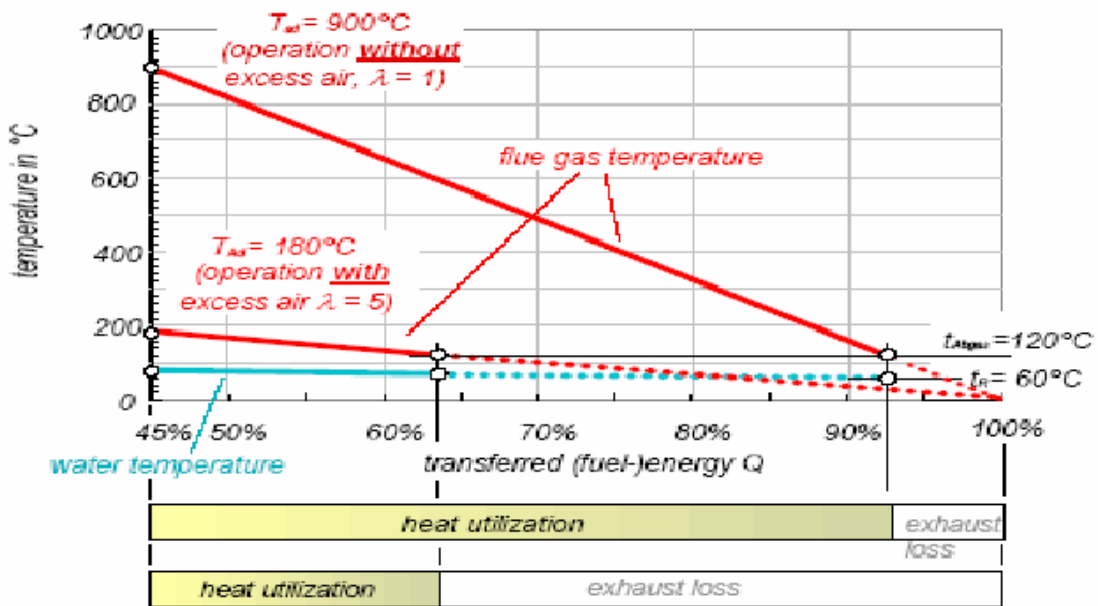
$$Q_{waste-heat} = (1 - \eta) \cdot \dot{m}_{fuel} \cdot H_u = \dot{m}_{air} \cdot c_{p,air} \cdot (t_{air} - t_{stack})$$

Έτσι η παροχή μάζας στην έξοδο $m_{exhaust}$ η οποία ισοδυναμεί περίπου με τη παροχή του αέρα εξαρτάται επίσης από τη θερμοκρασία εισόδου της καμινάδας t_{air} .

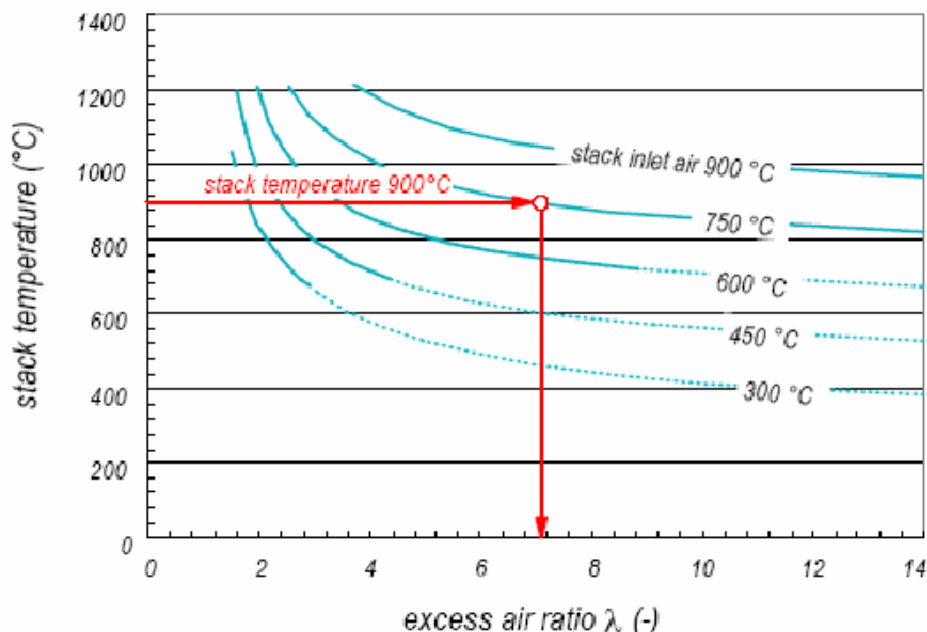
$$\dot{m}_{exhaust} \approx \dot{m}_{air} = \frac{(1 - \eta) \cdot \dot{m}_{fuel} \cdot H_u}{c_{p,air} \cdot (t_{air} - t_{stack})}$$

Τα παραπάνω μας δείχνουν ότι ο προθερμασμένος αέρας αυξάνει τη παροχή μάζας στην έξοδο και επομένως το λόγο αέρα λ μειώνοντας τη θερμοκρασία εξόδου του συστήματος της κυψέλης καυσίμου. Το διάγραμμα Q,t (Σχήμα 1) απεικονίζει τις συνέπειες αυτής της ενέργειας για την εκμετάλλευση καυσίμου σε ένα σταθμό συμπαραγωγής (CHP). Στην περίπτωση που στην έξοδο της καμινάδας περιέχεται το 55% ($\eta=45\%$) της συνολικής ενέργειας εισόδου $\dot{m}_{fuel} \cdot H_u$ ένας λόγος αέρα καύσης $\lambda=5$ μειώνει τη θερμοκρασία εξόδου στους 180°C . Έτσι μονό ένα μικρό μέρος της θερμότητας που απορρίπτεται μπορεί να αξιοποιηθεί από έναν εναλλακτική θερμότητας. Ένας λόγος αέρα-καύσης $\lambda=1$ (με θερμοκρασία εξόδου των καυσαερίων στους 900°C) θα οδηγήσει σε μια σημαντικά υψηλότερη θερμική χρήση και θα μας επιτρέψει να εκμεταλλευτούμε το καύσιμο σε ποσοστό 90% (Σχήμα 1). Στο Σχήμα 2 φαίνεται η υψηλή εξάρτηση της θερμοκρασίας εξόδου των καυσαερίων με λόγο αέρα καύσης λ όταν η θερμοκρασία του προθερμασμένου εισερχόμενου αέρα κυμαίνεται από τους 300 έως τους 900°C , προθερμαίνοντας τον αέρα εισόδου στους 750°C προϋποθέτει ένα λόγο αέρα καύσης $\lambda=7$ έτσι ώστε να απομακρυνθούν τα καυσαέρια από την καπνοδόχο με 900°C . Το παράδειγμα στο Σχήμα 2 παρουσιάζει ότι είναι εξαιρετικά σημαντικό να μειώσουμε το λόγο αέρα καύσης στην κυψέλη καυσίμου στην περίπτωση που η αποβαλλόμενη θερμότητα των καυσαερίων θα χρησιμοποιηθεί για περαιτέρω θερμικές εφαρμογές. Μειώνοντας τη θερμοκρασία στην καπνοδόχο για παράδειγμα από τους 900°C στους 750°C επιδεινώνει ακόμα περισσότερο την

κατάσταση. Επομένως το σύστημα ψύξης είναι το πιο σημαντικό στοιχείο ενός συστήματος SOFC στην περίπτωση που αυτό θα χρησιμοποιηθεί σε CHP εφαρμογές. Ψύχοντας με υψηλό λ μειώνεται η θερμότητα εξόδου άρα και η οικονομική απόδοση αυτών των σύστημα των.

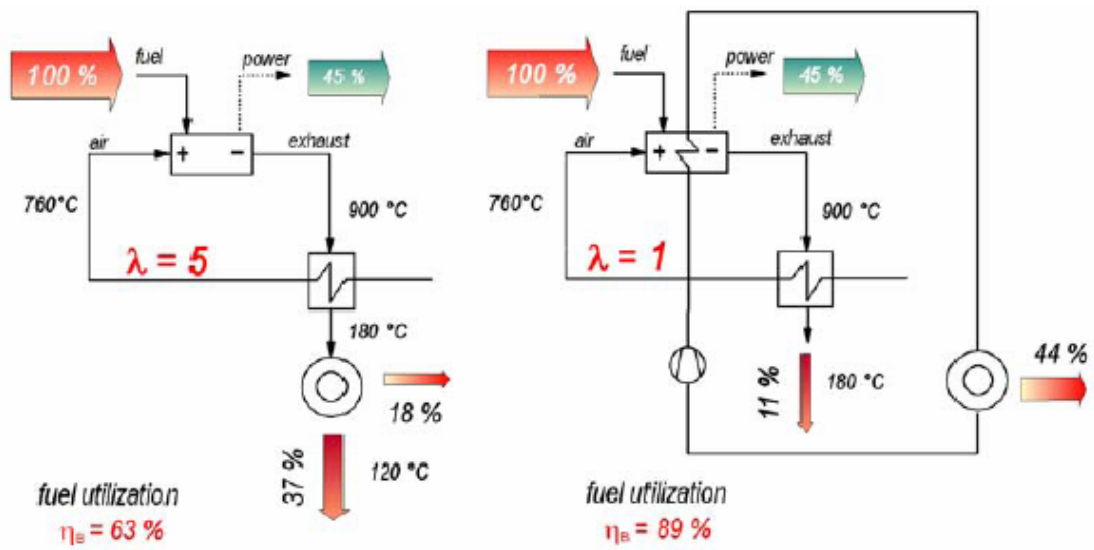


Σχημα 1 Βαθμός εκμετάλλευσης ενέργειας

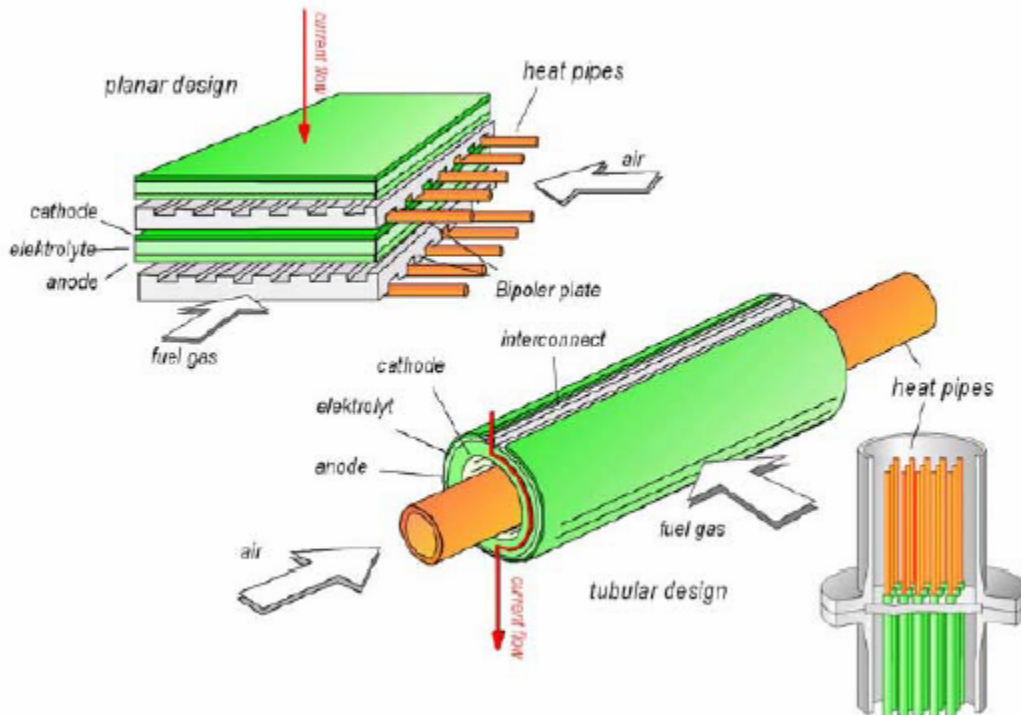


Σχημα 2 Λόγος αέρα καύσης και θερμοκρασία εξόδου των καυσαερίων

Ο καλύτερος τρόπος να ξεπεράσουμε αυτά τα προβλήματα είναι να χρησιμοποιήσουμε ένα ξεχωριστό σύστημα ψύξης – heat pipes. Ένα ξεχωριστό κύκλωμα ψύξης επιτρέπει την απομάκρυνση μέρους της θερμότητας από την καμινάδα χωρίς την αύξηση της παροχής αέρα (Σχήμα 3). Οι heat pipes είναι απλά και αξιόπιστα συστήματα (Σχήμα 4). Κάθε υγρό εξατμίζεται στο ένα άκρο του κλειστού σωλήνα. Ο ατμός συμπυκνώνεται στη ζώνη συμπύκνωσης που βρίσκεται στο άλλο άκρο όπου και απελευθερώνει θερμότητα. Οι heat pipes υγρού μετάλλου χρησιμοποιούνται συνήθως σε θερμοκρασίες μεγαλύτερες των 400°C. Χαμηλής τήξης μέταλλα λειτουργούν ως μέσα μεταφοράς θερμότητας. Η εισαγωγή των heat pipes σε ένα σύστημα κυψέλης καυσίμου θα αυξήσει τον βαθμό εκμετάλλευσης καυσίμου σε κάθε CHP σύστημα. Ένα επιπλέον πλεονέκτημα που προέρχεται από τους heat pipes οφείλεται στο γεγονός ότι μπορούν να εγγωθηθούν μια σχεδόν ισοθερμική και επομένως πιο αποδοτική λειτουργία της συνολικής εγκατάστασης.



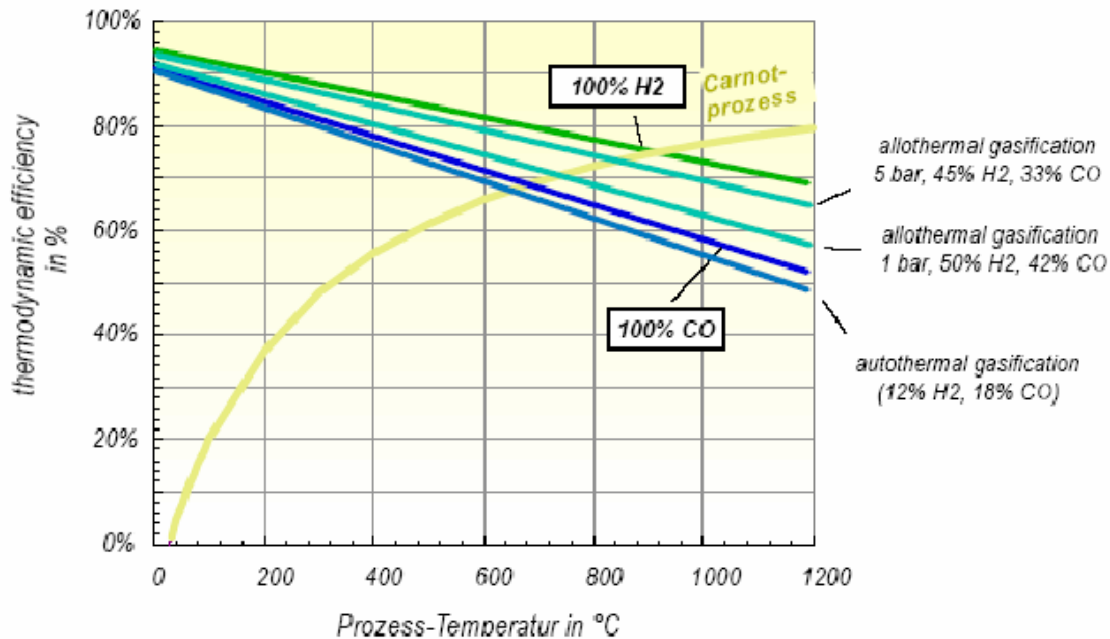
Σχημα 3 Μονογραμμικό διάγραμμα της εγκατάστασης



Σχήμα 4. HEAT PIPES

4 . 5 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ SOFC ΜΕ ΕΜΜΕΣΗ ΑΕΡΙΟΠΟΙΗΣΗ

Εξαιτίας της ανθεκτικότητας τους οι κυψέλες καυσίμου SOFC εφαρμόζονται σε πολλές εφαρμογές για τη χρήση αεριοποιημένων καυσίμων από βιομάζα, λειτουργούν σε θερμοκρασίες μεταξύ 800 και 1000°C και έχουν τη δυνατότητα να μετασχηματίσουν όχι μόνο υδρογόνο αλλά επίσης διοξείδιο του άνθρακα ακόμα και υδρογονάνθρακες. Το βασικό πλεονέκτημα των συστημάτων SOFC έναντι των άλλων κυψελών καυσίμου είναι ότι απαιτούν μόνο την απομάκρυνση θείου, σκόνης και βαρέων μετάλλων. Οι υψηλής θερμοκρασίας κυψέλες καυσίμου όπως οι SOFC είναι οι πιο υποσχόμενες επιλογές για τα επερχόμενα συστήματα κυψελών καυσίμου με ενσωματωμένη αεριοποίηση. Αλλά ακόμα και αν το αέριο καύσιμο ταιριάζει με τις απαιτήσεις των μεμβρανών SOFC , η κύρια πρόκληση της μετατροπής του βιοαερίου είναι η επίτευξη της απαιτούμενης απόδοσης του συστήματος κυψελών καυσίμου. Κοινά συστήματα κυψελών καυσίμου με βιομάζα σε πραγματικές συνθήκες πολύ δύσκολα θα επιτύχουν απόδοση υψηλότερη του 30% εξαιτίας: α) της μικρής περιεκτικότητας υδρογόνου και μεθανίου στο βιοαέριο β) του φυσικού περιορισμού της απόδοσης των ψυχρών αερίων σε οποιοδήποτε σύστημα αεριοποίησης.



Σχημα 5 Επηρεασμός των συστατικών καυσίμου στα θερμοδυναμική απόδοση των SOFC

Ο δεύτερος περιορισμός προέρχεται από την απόδοση του αεριοποιεΐτο. Οι περισσότεροι αεριοποιητές δουλεύουν με άμεση αεριοποίηση. Το κύριο μειονέκτημα τους είναι η χαμηλή θερμική αξία του παραγομένου αερίου. Εάν ο αεριοποίησης δουλεύει με αέρα το άζωτο διαλύεται στο παραγόμενο αέριο το οποίο περιέχει μόνο το 70% της συνολικής ενέργειας των χημικών δεσμών. Εξαιτίας της μεγάλης παροχής μάζας και θερμοκρασίας (περίπου 800oC) διαφεύγει περισσότερο από 30% της εισερχόμενης ενέργειας με τη μορφή θερμότητας. Το κύριο πλεονέκτημα της έμμεσης αεριοποίησης είναι ότι δίνει προϊόντα υψηλότερης θερμικής αξίας. Το κύριο μειονέκτημα της έμμεσης αεριοποίησης είναι ότι μέρος του παραγομένου αερίου πρέπει να χρησιμοποιηθεί σε εξωτερικό κλίβανο για την τροφοδότηση θερμότητας για την ενδόθερμη μετατροπή

5 . 1 ΜΕΘΟΔΟΙ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΩΝ ΥΠΑΡΧΟΥΣΩΝ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΥΔΡΟΓΟΝΟΥ.

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται τεχνολογίες για την παραγωγή υδρογόνου, την δέσμευση του διοξειδίου του Άνθρακα CO₂, Οι τεχνολογίες αυτές είτε εφαρμόζονται ήδη είτε βρίσκονται στα τελευταία στάδια της έρευνας. Δεν έχουν συμπεριληφθεί τεχνολογίες οι οποίες είναι σε εργαστηριακό επίπεδο διότι η παρούσα μελέτη εξετάζει την διείσδυση του υδρογόνου στην παραγωγή ενέργειας για το άμεσο μέλλον και οι τεχνολογίες που βρίσκονται σε αυτό το επίπεδο είναι άγνωστο αν θα είναι τεχνοοικονομικά αποδεκτές.

5 . 2 ΜΕΘΟΔΟΙ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ Η₂

Η παραγωγή του υδρογόνου το 2020 πιστεύεται ότι θα στηριχθεί σε τεχνολογίες οι οποίες δεν παράγουν CO₂ όπως, ανανεώσιμες πηγές (άνεμος), πυρηνική ενέργεια και τεχνολογίες ορυκτών καυσίμων με δέσμευση του CO₂ . Οι υπάρχουσες τεχνολογίες προσφέρουν την δυνατότητα παραγωγής σε κεντρικές μονάδες παραγωγής μακριά από την κατανάλωση και αποκεντρωμένα κοντά στον τελικό καταναλωτή. Δεν είναι δυνατόν σήμερα να καθοριστεί ποιες τεχνολογίες θα επικρατήσουν το 2020 διότι υπάρχουν τεχνικά και οικονομικά προβλήματα που επιζητούν λύση.

Η πυρηνική ενέργεια και τα ορυκτά καύσιμα ως πρωτογενείς μορφές ενέργειας είναι κατάλληλα για κεντρική παραγωγή, ενώ οι ανανεώσιμες πηγές είναι πιο κατάλληλες για αποκεντρωμένη παραγωγή λόγω της δυσκολίας στην μεταφορά. Παράδειγμα αυτού είναι η μη αποδοτική μεταφορά της βιομάζας και της θερμικής ηλιακής ενέργειας. Το φυσικό αέριο είναι κατάλληλο και για τις δύο επιλογές, στην αποκεντρωμένη παραγωγή όμως, δεν είναι οικονομικά βιώσιμο. Η πυρηνική ενέργεια στον κύκλο ζωής της παράγει μικρές ποσότητες CO₂. Βέβαια

υπάρχουν κίνδυνοι από ραδιενεργά απόβλητα. Για το λόγο αυτό είναι πολιτική απόφαση το εάν θα χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή ενέργειας. Οι καλύτερες λύσεις μακροπρόθεσμα θα καθοριστούν από τους κανόνες της αγοράς.

Με την αποκεντρωμένη παραγωγή αποφεύγεται η μεταφορά του υδρογόνου και δύναται να χρησιμοποιηθούν τοπικές πηγές ενέργειας. Βέβαια απαιτείται χαμηλό κόστος παραγωγής και υψηλός βαθμός ασφάλειας ώστε να μπορεί να το χρησιμοποιεί προσωπικό δίχως ιδιαίτερη κατάρτιση. Με την κεντρική παραγωγή το μείζον ζήτημα πέραν του βαθμού απόδοσης, κόστους και παραγωγής CO₂ είναι η διανομή και η διάθεση προς κατανάλωση. Ανάμεσα στην κεντρική και αποκεντρωμένη παραγωγή του υδρογόνου πέρα από τις τεχνικές διαφορές, υπάρχουν εντελώς διαφορετικές απαιτήσεις υποδομής.

Η παραγωγή του υδρογόνου είναι μια πολύπλοκη διαδικασία και απαιτούνται εγκαταστάσεις με πολλά εξαρτήματα εκ των οποίων τα περισσότερα βρίσκονται σε υψηλό επίπεδο τεχνικής.

Οι μέθοδοι παραγωγής υδρογόνου σήμερα είναι :

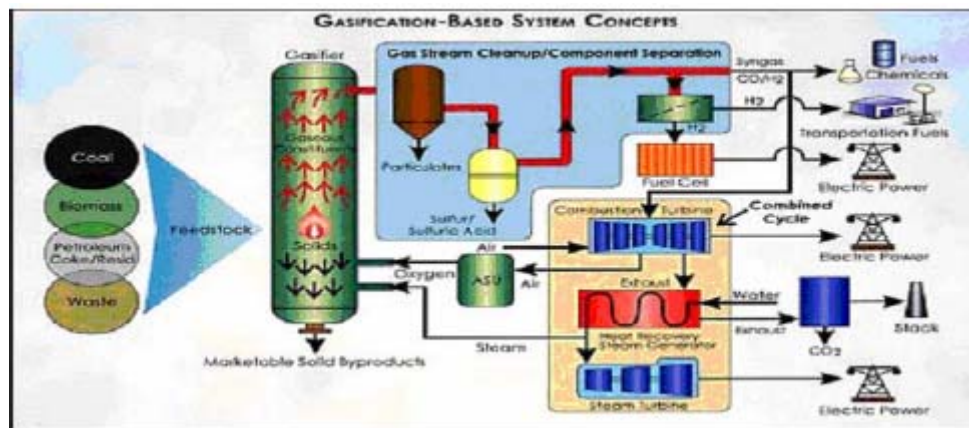
- Αεριοποίηση άνθρακα – βιομάζα
- Αναμόρφωση φυσικού αερίου
- Ηλεκτρόλυση νερού
- Θερμο -χημική διεργασία
- Φωτοηλεκτρόλυση
- Βιοφωτόλυση και φωτοζύμωση
- Πυρόλυση φυσικού αερίου, βαρέων καυσίμων πετρελαίου ή βιομάζας

Από τις παραπάνω μεθόδους παραγωγής η αεριοποίηση, η αναμόρφωση και η ηλεκτρόλυση είναι ήδη ανεπτυγμένες σήμερα και δύναται να βελτιωθούν περαιτέρω στο μέλλον. Η ηλεκτρόλυση μπορεί να πραγματοποιηθεί χρησιμοποιώντας

ως αρχική πηγή ενέργειας ηλεκτρισμό από πυρηνική ενέργεια από ανεμογεννήτριες όπως και από φωτοβολταϊκά συστήματα .

5.3 ΑΕΡΙΟΠΟΙΗΣΗ ΆΝΘΡΑΚΑ- Coal Gasification

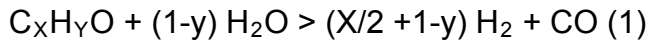
Η κεντρική μονάδα του συστήματος αποτελείται από τον αεριοποιητή, ο οποίος μετατρέπει τους στερεούς υδρογονάνθρακες σε αέρια φάση, με πρόσδοση θερμότητας και εφαρμογή πίεσης παρουσία ατμού. Η διαδικασία περιλαμβάνει «μερική οξειδωση» του αρχικού καυσίμου, η οποία παρέχει την απαραίτητη θερμότητα για να πραγματοποιηθούν οι αντιδράσεις ώστε η μεγαλύτερη ποσότητα του άνθρακα να μετατραπεί σε συνθετικό αέριο (syngas). Το συνθετικό αέριο είναι κυρίως υδρογόνο (H_2) και μονοξείδιο του άνθρακα (CO). Η αναλογία υδρογόνου και μονοξειδίου του άνθρακα στο παραγόμενο αέριο εξαρτάται από το είδος του υδρογονάνθρακα με το οποίο τροφοδοτείται το σύστημα και από τις συνθήκες που επικρατούν στον αεριοποιητή.



Σχήμα 2.1 Μονάδα αεριοποίησης

Η διαδικασία της Αεριοποίησης περιλαμβάνει την ανάμιξη του κονιοποιημένου Λιθάνθρακα ή Λιγνίτη με το οξειδωτικό μέσο (Αέρα ή οξυγόνο και ατμό).

Το μίγμα εισέρχεται στον Αεριοποιητή και θερμαίνεται στους 1000-1500°C . Οι υδρογονάνθρακες αντιδρούν σύμφωνα με την αντίδραση :



όπου παράγεται συνθετικό αέριο. Οι διαφορές μεταξύ τεχνολογιών Αεριοποίησης του Άνθρακα εστιάζονται στον τρόπο τροφοδοσίας – προετοιμασίας του μίγματος, στην αποβολή της τέφρας και στη σχετική διάταξη των τμημάτων της παραγωγικής διαδικασίας.

Για την παραγωγή καθαρού υδρογόνου, το αέριο επεξεργάζεται σε αντιδραστήρες αναμόρφωσης (Water Gas Shift Reactors). Κατά την καταλυτική αντίδραση CO και ατμός αντιδρούν προς παραγωγή H₂ και CO₂ . Η αντίδραση είναι :



Στην επεξεργασία του άνθρακα το WGSR πραγματοποιείται σε δύο στάδια. Το πρώτο σε υψηλή θερμοκρασία και το δεύτερο σε χαμηλή. Στο στάδιο της χαμηλής θερμοκρασίας χρησιμοποιείται ως καταλύτης το Cu/ZnO/AL₂O₃ σε θερμοκρασία 200-250°C. Στο στάδιο υψηλής θερμοκρασίας χρησιμοποιείται Fe₂O₃-Cr₂O₃ σε θερμοκρασία 320-450°C. Το κύριο μειονέκτημα των καταλυτών είναι η ευαισθησία σε ακαθαρσίες όπως Θείο S και ακαθαρσίες Cl (μεταλλικών οξειδίων). Υπάρχουν και άλλοι καταλύτες που μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε ένα μεγαλύτερο εύρος θερμοκρασιών, όπως το Co/Al₂O₃, οι οποίοι είναι πιο ανθεκτικοί σε ακαθαρσίες.

5 . 4 ANAMORΦΩΣΗ ΜΕΘΑΝΙΟΥ ΜΕ ΑΤΜΟ- Steam Methane Reforming

Η τεχνολογία της παραγωγής υδρογόνου με αναμόρφωση μεθανίου χρησιμοποιείται στα διυλιστήρια και στη χημική βιομηχανία περισσότερο από δύο δεκαετίες. Λόγω της μακροχρόνιας εφαρμογής της, διαφορετικές τεχνολογικές

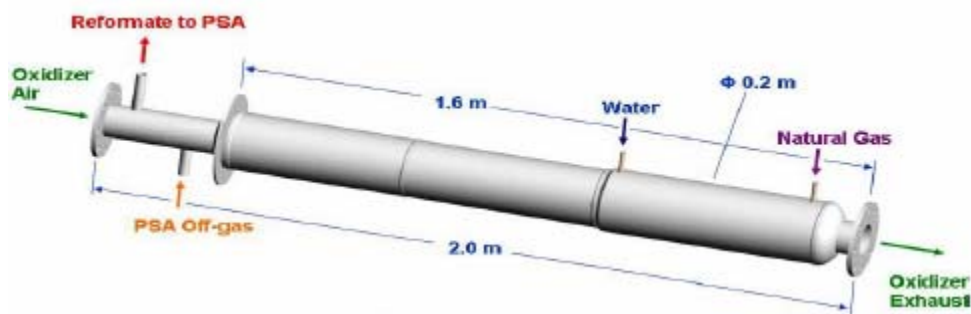
λύσεις είναι σε λειτουργία, διαφοροποιούμενες ανάλογα με την παλαιότητα και τις αναβαθμίσεις του τεχνολογικού εξοπλισμού των μονάδων. Σε παλαιές εγκαταστάσεις λειτουργούν Αναμορφωτές Μεθανίου με Ατμό όπου οι υδρογονάνθρακες του μεθανίου μετατρέπονται σε συνθετικό αέριο. Ακολούθως, το μίγμα μεταφέρεται στους αναμορφωτές υψηλής (high temperature shift converters - HTSC) και χαμηλής θερμοκρασίας (low temperature shift converters - LTSC) για τη μέγιστη παραγωγή υδρογόνου.

Παρότι πλούσιο σε υδρογόνο, το αέριο που προκύπτει απαιτείται να καθαριστεί από το CO_2 με θερμό ανθρακικό κάλιο ή με διάλυμα Αλκαλοαμινών (MEA solution). Τέλος, το υπόλοιπο CO και CO_2 μετατρέπεται πάλι σε μεθάνιο και νερό. Το τελικό προϊόν έχει καθαρότητα περίπου 95% με 97% υδρογόνου.



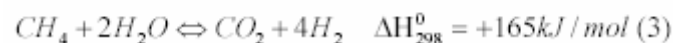
Εγκατάσταση αναμόρφωσης Φυσικού αερίου

Οι νεότερες τεχνολογικές επιλογές διαφοροποιούνται ως προς την μεθοδολογία απομάκρυνσης του CO₂. Πλέον χρησιμοποιείται η PSA (Pressure Swing Adsorption) που επιτυγχάνει παραγωγή υδρογόνου υψηλής καθαρότητας (99.99%), χωρίς την χρήση LTSC, καθώς δύναται να απορροφά τις ακαθαρσίες. Επίσης, έχουν γίνει και αρκετές βελτιώσεις στο σχεδιασμό, οι οποίες επιτρέπουν μεγαλύτερες αποδόσεις και χαμηλότερο κόστος.



Μονάδα Pressure Swing Adsorption

Η αναμόρφωση του Μεθανίου (Φυσικού Αερίου) γίνεται σύμφωνα με τρεις αμφίδρομες αντιδράσεις εκ των οποίων οι δύο είναι ενδόθερμες και η άλλη εξώθερμη



:

Το CO₂ παράγεται και από την (2) και από την (3). Λόγω των ενδόθερμων αντιδράσεων, η Αναμόρφωση Μεθανίου ευνοείται από υψηλές θερμοκρασίες. Επίσης, επειδή η αντίδραση συνοδεύεται από αύξηση του όγκου μπορεί να πραγματοποιηθεί σε χαμηλή πίεση. Η αύξηση της παραγωγής υδρογόνου απαιτεί αύξηση της ποσότητας του ατμού συνεπώς θα είναι αναγκαία περισσότερη ενέργεια. Στην πράξη, η αναλογία ατμού - Μεθανίου είναι $P(\text{H}_2\text{O})/P(\text{CH}_4)=3$.

Η διαδικασία περιλαμβάνει δύο στάδια:

1^ο Στους 800-1000°C και πίεση 30-40 bar, λαμβάνει χώρα η αναμόρφωση με τις αντιδράσεις (1) και (3)

2^ο (shift section) σε χαμηλότερη θερμοκρασία (συνήθως 200-400°C) για την αύξηση της μετατροπής του υδρογόνου από την αντίδραση (2).

5.5 ΒΙΟΜΑΖΑ

Οι τεχνολογίες της παραγωγής υδρογόνου από τη Βιομάζα είναι η **αεριοποίηση** και η **πυρόλυση**.

Η απευθείας **Αεριοποίηση** της Βιομάζας είναι παρόμοια διαδικασία με την αεριοποίηση των στέρεων καυσίμων. Η επεξεργασία της βιομάζας πραγματοποιείται σε υψηλή θερμοκρασία, με αεριοποιητή ατμού προσδίδοντας οξυγόνο ή ατμοσφαιρικό αέρα ώστε να παραχθεί συνθετικό αέριο. Το αέριο αυτό μπορεί να περιέχει πίσσα και ατμό. Τα υπολείμματα άνθρακα και η τέφρα παραμένουν στον αεριοποιητή. Όπως και στην αεριοποίηση του άνθρακα, μετά τον αεριοποιητή ακολουθεί η αναμόρφωση (Shift reaction) και τέλος ο καθαρισμός του H₂.

Η **πυρόλυση** είναι η θερμική διάσπαση που πραγματοποιείται απουσία οξυγόνου και σε θερμοκρασία 450-550 °C. Το παράγωγο της πυρόλυσης είναι

σε υγρή φάση (bio-oil), το οποίο αποτελείται από οξυγονούχες οργανικές ουσίες και νερό. Η αναμόρφωση του bio-oil πραγματοποιείται με ατμό χρησιμοποιώντας καταλύτη με βάση το Νικέλιο στους 750 – 850 °C, ακολουθούμενη από την αντίδραση μετατροπής του CO σε CO₂. Οι αντιδράσεις που περιγράφουν την επεξεργασία της βιομάζας είναι :

Βιομάζα + Ενέργεια > Bio-oil + Char + Ακαθαρσίες (Πυρόλυση)

Bio-oil + H₂O > CO + H₂ (Αναμόρφωση)

CO + H₂O > CO₂ + H₂ (Shift reaction)

Η πυρόλυση περιορίζεται από έναν μέγιστο ρυθμό παραγωγής που είναι 8.6g H₂ / 100g biooil

Η τεχνολογία της αεριοποίησης της βιομάζας βρίσκεται σε προβιομηχανικό στάδιο. Υπάρχουν ακόμα σημαντικά στοιχεία εξέλιξης της τεχνολογίας (όπως η απομάκρυνση της πίσσας η οποία παράγεται και περιέχεται στο αέριο) έτσι ώστε η τεχνολογία να καταστήσει δυνατή την παραγωγή υδρογόνου υψηλής καθαρότητας σε εμπορικό επίπεδο. Η πίσσα μπορεί να καταστρέψει μηχανικά μέρη αν χρησιμοποιηθεί το παραγόμενο αέριο για απευθείας παραγωγή ενέργειας σε αεροστροβίλους ή να απενεργοποιήσει τους καταλύτες αν χρησιμοποιηθεί στις τεχνολογίες αξιοποίησης του υδρογόνου. [03] Η απομάκρυνση της πίσσας μπορεί πραγματοποιείται με διάφορες μεθόδους καθαρισμού. Σε μεγάλη κλίμακα η διαδικασία αυτή παρουσιάζει πολλές τεχνικές δυσκολίες. Οι ερευνητικές δραστηριότητες εστιάζουν στον τρόπο καθαρισμού του παραγόμενου αερίου, ώστε να αποφευχθεί η καταστροφή μερών της εγκατάστασης παραγωγής. Για τον καθαρισμό του αερίου από τα σωματίδια μετά από τον αεριοποιητή μπορεί να χρησιμοποιηθεί κυκλώνας.

5 . 6 ΔΕΣΜΕΥΣΗ ΤΟΥ ΔΙΟΞΕΙΔΙΟΥ ΤΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ

Στις τεχνολογίες που παρουσιάστηκαν παραπάνω για την παραγωγή υδρογόνου παράγεται και CO₂. Για να καταστεί το υδρογόνο ως περιβαλλοντικά αποδεκτός ενεργειακός φορέας, είναι απαραίτητη η δέσμευση του CO₂ κατά την παραγωγή του. Η δέσμευση του CO₂ είναι μια διαδικασία η οποία περιλαμβάνει: 1) την απομόνωση του CO₂ από τα καυσαέρια 2) την μεταφορά του 3) την μόνιμη αποθήκευση του. Η εφαρμογή των τεχνολογιών δέσμευσης παρουσιάζουν επιστημονικές και τεχνολογικές προκλήσεις άλλα και οικονομικό κόστος. Οι υπάρχουσες τεχνολογίες χρειάζεται να τροποποιηθούν και ακόμα να αναπτυχθούν νέες. Απαιτείται να αναπτυχθεί δίκτυο διανομής και να εξασφαλισθούν οικονομικές και βιώσιμες λύσεις για την αποθήκευση.

Υπάρχουν πολλές διαθέσιμες τεχνολογίες σήμερα που είναι ικανές να διαχωρίσουν το CO₂ από αέρια. Οι τεχνολογίες αυτές, δεν έχουν ακόμα εφαρμοστεί σε μεγάλη κλίμακα Η εφαρμογή της κάθε τεχνολογίας εξαρτάται από την σύνθεσή, την θερμοκρασία, την πίεση και την συγκέντρωση του αερίου μίγματος που περιέχει το CO₂ καθώς και από το ποσοστό CO₂ που αφαιρείται. Το κύριο μειονέκτημα που παρουσιάζουν αυτές οι τεχνολογίες είναι οι μεγάλες απαιτήσεις σε ενέργεια που επηρεάζοντας την απόδοση της εγκατάστασης αυξάνουν και το κόστος παραγωγής ενέργειας. Εκτιμάται ότι η εξέλιξη στον τομέα των μεμβρανών που κατασκευάζονται για την απορρόφηση αερίων θα μπορέσει να προσφέρει αξιόπιστες λύσεις με σημαντικό πλεονέκτημα για την δέσμευση του CO₂.

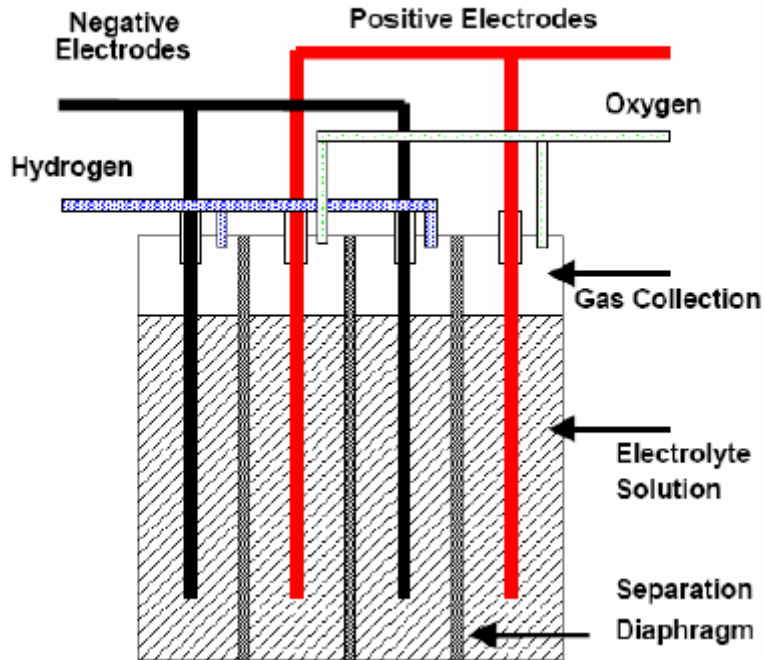
Η μεταφορά του CO₂ δεν παρουσιάζει τεχνολογικά εμπόδια. Σήμερα μπορεί να μεταφερθεί μέσω χαλύβδινων αγωγών σε υψηλές πιέσεις (100-200 bar). Για το μέλλον ως εναλλακτική λύση έχει προταθεί η μεταφορά με δεξαμενόπλοια για αποθήκευση σε ωκεανούς μακριά από το σημείο παραγωγής. Η μεταφορά του CO₂ δεν παρουσιάζει τεχνολογικά εμπόδια. Σήμερα μπορεί να μεταφερθεί μέσω χαλύβδινων αγωγών σε υψηλές πιέσεις (100-200 bar). Για το

μέλλον ως εναλλακτική λύση έχει προταθεί η μεταφορά με δεξαμενόπλοια για αποθήκευση σε ωκεανούς μακριά από το σημείο παραγωγής.

Το ποσό του CO₂ που μπορεί να αξιοποιηθεί είναι πολύ μικρό σε σύγκριση με τις ποσότητες που παράγονται. Επομένως, είναι απαραίτητο να αποθηκευτεί μόνιμα, με ασφάλεια, χαμηλό κόστος και με τέτοιο τρόπο ώστε να εναρμονίζεται με το περιβάλλον, τις διεθνείς και τις κρατικές νομοθεσίες. Οι κύριες επιλογές είναι η υπόγεια αποθήκευση σε γεωλογικούς σχηματισμούς και στον ωκεανό. Εντούτοις, υπάρχει αναγκαιότητα πλήρους προσδιορισμού των περιβαλλοντικών επιπτώσεων μιας τέτοιας ενέργειας για το οικοσύστημα και τις ενδεχόμενες καταστροφικές συνέπειες στην θαλάσσια ζωή από την αύξηση της οξύτητας του νερού λόγω του CO₂.

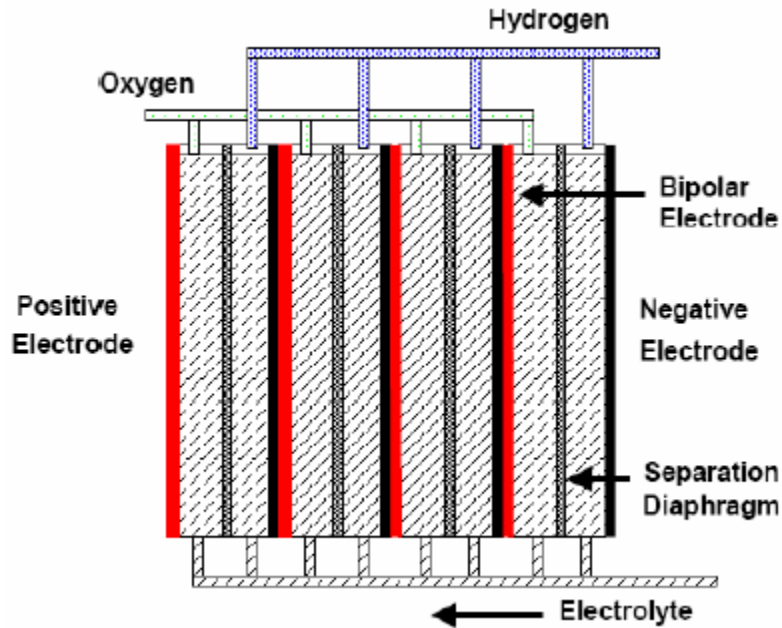
5.7 ΗΛΕΚΤΡΟΛΥΣΗ

Η ηλεκτρόλυση είναι η διαδικασία κατά την οποία ηλεκτρικό ρεύμα διασπά τα μόρια του νερού H₂O σε H₂ και O₂. Υπάρχουν τρεις τύποι βιομηχανικών ηλεκτρολυτών που βρίσκονται σε παραγωγή σήμερα. Δύο λειτουργούν με υδατικό διάλυμα υδροξειδίου του καλίου (KOH) το οποίο χρησιμοποιείται λόγω της μεγάλης αγωγιμότητας του. Οι μονάδες αυτές μπορεί να είναι μονοπολικές ή διπολικές. Ο μονοπολικός ηλεκτρολύτης είναι δεξαμενή που έχει παράλληλα συνδεδεμένα ηλεκτρόδια (σχήμα 2.3). Μια μεμβράνη τοποθετείται ανάμεσα στην άνοδο και τη κάθοδο, διαχωρίζοντας το οξυγόνο από το υδρογόνο κατά την παραγωγή των αερίων και επιτρέποντας την διέλευση ιόντων.



Μονοπολικός Ηλεκτρολύτης

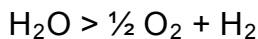
Οι διπολικοί ηλεκτρολύτες είναι δυνατόν να παρομοιαστούν με φίλτρα πίεσης (σχήμα 2.4) τα οποία αποτελούνται από κελιά συνδεδεμένα σε σειρά. Στη μία πλευρά παράγεται υδρογόνο ενώ στην άλλη οξυγόνο. Όπως και προηγουμένως και σε αυτή την εφαρμογή μια μεμβράνη διαχωρίζει την άνοδο από την κάθοδο.



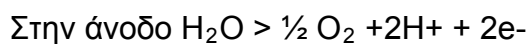
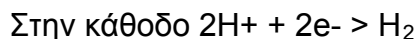
Διπολικός Ηλεκτρολύτης

Ο τρίτος τύπος ηλεκτρολύτη ονομάζεται Solid Polymer Electrolyte (SPE) electrolyzer. Αυτό το σύστημα αναφέρεται και ως PEM Proton Exchange Membrane. Σε αυτήν την τεχνολογία ο ηλεκτρολύτης αποτελείται από μια στερεή αγωγίμη μεμβράνη ιόντων σε υδατικό αλκαλικό διάλυμα όπως στους αλκαλικούς ηλεκτρολύτες. Η μεμβράνη επιτρέπει στα ιόντα του υδρογόνου H^+ να μεταφερθούν από την άνοδο στη κάθοδο όπου δημιουργείται το υδρογόνο. Οι κυριότεροι κατασκευαστές σήμερα είναι οι Norsk Hydro, Stuart, Teledyne και η Avalence.

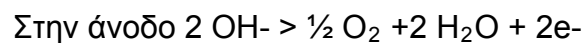
Ανεξαρτήτως της τεχνολογίας, η διαδικασία της ηλεκτρόλυσης είναι η ίδια :

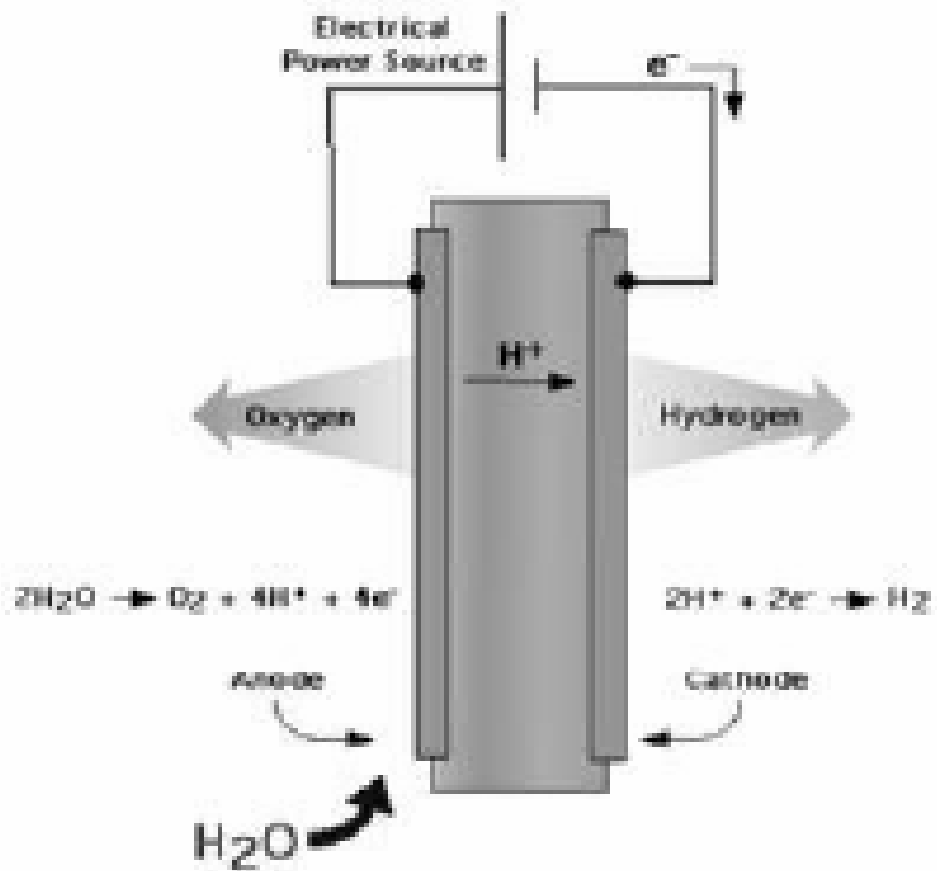


Όμως σε κάθε ηλεκτρόδιο υπάρχει διαφορά μεταξύ PEM και αλκαλικών συστημάτων. Στο PEM οι αντιδράσεις στα ηλεκτρόδια είναι :



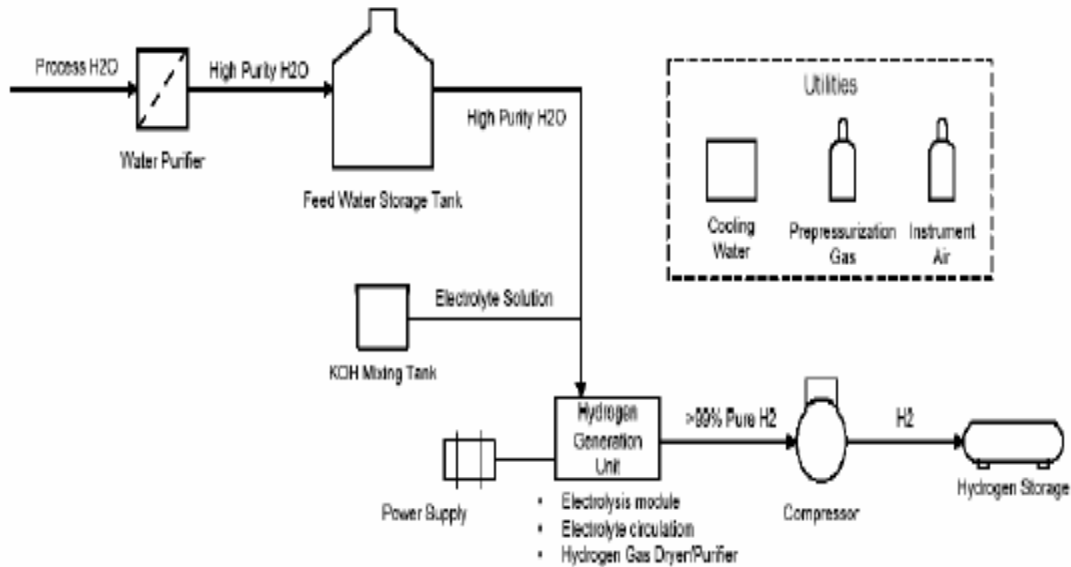
Σε αλκαλικό σύστημα οι αντιδράσεις είναι : την κάθοδο $2 H_2O + 2e^- > H_2 + 2OH^-$





Ηλεκτρολύτης PEM

Στο σχήμα 2.6 παρουσιάζεται ένα τυπικό διάγραμμα για την παραγωγή υδρογόνου από Ηλεκτρόλυση. Ο κάθε ηλεκτρολύτης έχει διαφορετικές απαιτήσεις όσον αφορά την καθαρότητα του νερού. Μερικές μονάδες έχουν δικούς τους σύστημα καθαρισμού νερού ενώ άλλες χρειάζονται εξωτερική μονάδα απίονισμού ή μονάδα αντίστροφης όσμωσης. Οι εταιρίες παρέχουν ολοκληρωμένα συστήματα τα οποία τοποθετούνται ανά τεμάχιο (module) για λόγους οικονομίας χώρου και απλότητας. Σε μερικές μονάδες περιλαμβάνεται συμπίεση του υδρογόνου στα 30 bar.



Εγκατάσταση Ηλεκτρόλυσης

6 . 1 ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΥΔΡΟΓΟΝΟΥ

Στην συνέχεια θα αναφερθούμε στην αποθήκευση του υδρογόνου, που ουσιαστικά με αυτόν τον όρο υπονοούμε τη μείωση ενός πολύ μεγάλου όγκου αερίου υδρογόνου. Για την πρακτική επομένως χρήση του πρέπει να αυξηθεί η πυκνότητα του. Αυτό γίνεται είτε αυξάνοντας την πίεση του είτε μειώνοντας τη θερμοκρασία του είτε, τέλος, μειώνοντας την άπωση μεταξύ των μορίων καθώς αυτό αντιδρά με κάποιο υλικό. Επίσης πολύ σημαντικό κριτήριο είναι κατά πόσο η διαδικασία της αποθήκευσης είναι αντιστρέψιμη. Έτσι πιο συγκεκριμένα το υδρογόνο μπορεί να αποθηκευτεί με υψηλής πίεσης φιάλες αέριο, ως υγρό σε κρυογονικές δεξαμενές, προσροφημένο σε υλικά με μεγάλη ειδική επιφάνεια, ροφημένο σε ενδοπλεγματικές θέσεις σε μέταλλα και με χημικούς δεσμούς (ιοντικής ή ομοιοπολικής φύσης).

Καταρχάς όσον αφορά τις φιάλες αερίου αυτές είναι πίεσης 5000 psi φτάνοντας κάποιες φορές και τα 10000 psi. Σε τέτοιες πιέσεις η ογκομετρική πυκνότητα των περίπου $36\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$, περίπου η μισή του υγρού υδρογόνου σε θερμοκρασία εξατμίσεως. Αυτές οι φιάλες αποτελούνται από πολλαπλά στρωματά. Για την ενίσχυση της ανθεκτικότητας τους στις υψηλές πιέσεις μπορούν να χρησιμοποιηθούν και στρωματά νανοσωλήνων άνθρακα. Από την τύπο:

$$\Delta G = RT \ln(p / p_0)$$

υπολογίζεται, υποθέτοντας ισόθερμη συμπίεση, θεωρητικά το έργο το οποίο απαιτείται για τη συμπίεση του αερίου υδρογόνου μέσα στη φιάλη. Η τελική πίεση συμβολίζεται στον παραπάνω τύπο ως p και η αρχική ως p_0 . Σε πραγματικές διεργασίες το έργο είναι μεγαλύτερο καθώς η συμπίεση δεν είναι ισόθερμη. Τα μειονεκτήματα αυτής της μεθόδου είναι η χαμηλή πυκνότητα του υδρογόνου καθώς και οι υψηλές πιέσεις που απαιτούνται. Επίσης, οι περισσότερες φιάλες σήμερα χρησιμοποιούν κράματα χαλκού ή αλουμινίου. Φιάλες από πιο ανοξειδωτά υλικά μετάλλων ο σίδηρος ή το τιτάνιο δεν είναι κατάλληλα καθώς το υδρογόνο μπορεί να προκαλέσει μέχρι και την ολική θραύση της φιάλης. Το υδρογόνο σε χαμηλές πιέσεις διαχέεται μέσω των πόρων ενός στερεού και συγκεντρώνεται σε χώρους όπου υπάρχουν ατέλειες στη κρυσταλλική δομή. Τότε, αναφερόμενοι σε ανοξειδωτά υλικά, το υδρογόνο αντιδρά με τις προσμίξεις του υλικού και σχηματίζει κάποιο υδρίδιο. Το υδρίδιο αυτό παραμένει στο χώρο όπου σχηματίζεται και αυξανόμενο σε συγκέντρωση ασκεί πιέσεις στο γύρω όγκο του στερεού. Αυτές οι πιέσεις από ένα όριο και πάνω ανάλογα το υλικό μπορούν να προκαλέσουν την θραύση του. Μέχρι το σημείο της θραύσης το φαινόμενο είναι αντιστρεπτό στην περίπτωση που απομακρυνθεί το υδρογόνο. Σε υψηλές πιέσεις, όπως αυτές που συγκεντρώνουν το μεγαλύτερο ενδιαφέρον το υδρογόνο συσσωρεύεται κυρίως στα όρια των κόκκων του μετάλλου και η θραύση του υλικού ξεκινάει από αυτές τις περιοχές, με αποτέλεσμα να γίνεται και κατάλληλη μελέτη για την κατασκευή τους.

Το υγρό υδρογόνο αποθηκεύεται σε κρυογονικές δεξαμενές, θερμικά μονωμένες. Η πυκνότητα του υγρού υδρογόνου είναι $70,8 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$. Είναι γνωστό ότι το μόριο του υδρογόνου συνίσταται από δύο πρωτόνια και δύο ηλεκτρόνια. Λαμβάνοντας υπόψη εκτός από τα ηλεκτρονικά spins και τα πυρηνικά οδηγούμεστε στο διαχωρισμό των μορίων υδρογόνου σε δύο ομάδες. Ανάλογα με το ολικό πυρηνικό spin έχουμε και δύο διαφορετικά είδη υδρογόνου. Αν $I=0$ (αντιπαράλληλα πυρηνικά spin) έχουμε το λεγόμενο παρά-υδρογόνο και για $I=1$ (παράλληλα πυρηνικά spin) το όρθο-υδρογόνο. Σε θερμοκρασίες δωματίου 25% του υδρογόνου βρίσκεται στην πάρα μορφή του και το υπόλοιπο 75% στην όρθο. Οι δύο αυτές μορφές διαφέρουν στην ενέργεια και επομένως στις φυσικές ιδιότητες τους. Η εξώθερμη αυτή μετατροπή από τη μια μορφή στην άλλη είναι εξαιρετικά αργή, με χρόνο ημιζωής μεγαλύτερο από έτος για τη θερμοκρασία των 28°C , ενώ η θερμότητα η οποία παράγεται εξαρτάται από τη θερμοκρασία, αφού μέχρι τους 28°C αυξάνεται όσο η θερμοκρασία μειώνεται ενώ για ακόμα χαμηλότερες θερμοκρασίες παραμένει σταθερή. Η συνέπεια των παραπάνω είναι ότι αν αρχικά αποθηκευτεί υγρό υδρογόνο σε κάποια δεξαμενή κατά τη μετατροπή από το ένα είδος υδρογόνου στο άλλο θα εκλυθεί θερμότητα η οποία θα προκαλέσει την εξάτμιση του υγρού υδρογόνου. Για να αποφευχθεί αυτό η μετατροπή επιταχύνεται καταλυτικά από κατάλληλες επιφάνειες παραμαγνητικών υλικών (όπως βολφράμιο, νικέλιο, οξείδιο του χρωμίου). Η διαδικασία μπορεί να κρατήσει μέχρι και μερικά λεπτά ενώ ο δεσμός μεταξύ των ατόμων του υδρογόνου παραμένει ανεπηρέαστος. Το μειονέκτημα αυτής της μεθόδου είναι τα μεγάλα ποσά ενέργειας που πρέπει να καταναλωθούν για την υγροποίηση του υδρογόνου. Για αυτό και αυτή η μέθοδος χρησιμοποιείται σε εφαρμογές όπου δεν τίθεται θέμα κόστους ενώ παράλληλα χρειάζεται να γίνει κατανάλωση του υδρογόνου σε μικρό χρονικό διάστημα, όπως σε διαστημικές εφαρμογές.

Όσον αφορά την αποθήκευση υδρογόνου σε ένα μέταλλο γίνεται με την εισχώρηση του ατομικού υδρογόνου στο πλέγμα του μετάλλου. Η διαδικασία αυτή προκειμένου να έχει πρακτική αξία πρέπει να είναι αντιστρεπτή για αυτό το λόγο οι προσπάθειες συν τοις άλλοις επικεντρώνονται στη μείωση της

απαιτούμενης θερμοκρασίας αποδέσμευσης των σταθερών ή στη μείωση της απαιτούμενης πίεσης απορρόφησης των μη σταθερών υδριδίων. Εδώ αξίζει να σημειωθεί ότι η δυναμική ενέργεια του ατομικού υδρογόνου έχει μια τιμή, ενώ η ανάλογη του μοριακού βρίσκεται υψηλότερα τόσο όσο υποδεικνύει η ενέργεια διάσπασης του στα 2 άτομα που το αποτελούν. Έτσι πλησιάζοντας στην επιφάνεια έχουμε την φυσική προσρόφηση του μοριακού υδρογόνου από το μέταλλο στο ελάχιστο της καμπύλης, σύμφωνα με τη θεωρία των δυνάμεων Van Der Waals. Για μικρότερες αποστάσεις το δυναμικό που βλέπει το μοριακό υδρογόνο λόγω της επιφάνειας απειρίζεται ενώ οι καμπύλες ατομικού και μοριακού τέμνονται σε κάποιο μεταβατικό σημείο αμέσως μετά το οποίο παρατηρείται η χημειορρόφηση του ατομικού. Όσο μικραίνουν οι αποστάσεις, το μόριο χάνει συνεχώς κινητική ενέργεια ενώ ο διατομικός δεσμός γίνεται όλο και πιο ασθενής λόγω της παράλληλης κίνησης των ατόμων. Πάνω στην επιφάνεια τα άτομα υδρογόνου αλληλεπιδρούν και σχηματίζουν μια επιφανειακή φάση. Καθώς τα άτομα αυτά βρίσκουν κατάλληλα σημεία, εισχωρούν βαθύτερα στο μέταλλο με συνέπεια τη διάχυση (diffusion) του υδρογόνου στο εσωτερικό του μέταλλο. Η διαδικασία αυτή πραγματοποιείται και στην εκρόφηση του υδρογόνου. Αξίζει να σημειωθεί εδώ ότι αναφερόμαστε σε μέταλλα με καθαρή επιφάνεια γιατί εφόσον υπάρχει στρώμα προσμίξεων θα πρέπει το στρώμα αυτό να αφαιρεθεί με υψηλές θερμοκρασίες και πιέσεις. Σημειώνεται ότι η ταχύτητα της διαδικασίας επηρεάζεται από τη δομή του μετάλλου, την καθαρότητα της επιφάνειας, την παρουσία καταλυτών και τη μεταφορά της θερμότητας, αφού ο σχηματισμός του υδριδίου είναι εξώθερμη διαδικασία. Γενικά ένα υδρίδιο μετάλλου θα πρέπει για να είναι κατάλληλο για την αποθήκευση του υδρογόνου να έχει υψηλή χωρητικότητα σε υδρογόνο, υψηλή κινητική υδρογόνωσης και αφυδρογόνωσης, εύκολη ενεργοποίηση, και ελάχιστη αλλοίωση στη σύσταση κατά συνεχείς κύκλους υδρογόνωση και αφυδρογόνωσης .

Τέλος το υδρογόνο μπορεί να αποθηκευτεί στις νανοϊνες άνθρακα ανάμεσα στα επίπεδα του γραφίτη όπου την αποτελούν και συγκρατείται με δυνάμεις Van Der Waals . Ανάλογα με τον προσανατολισμό των επιπέδων

αλλάζει και η μέγιστη ποσότητα που μπορεί να αποθηκευτεί. οστόσο, αν και οι νανοϊνες άνθρακα παρουσιάζουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον για την αποθήκευση υδρογόνου, εμείς θα αναφερθούμε αποκλειστικά στην αποθήκευση υδρογόνου σε νανοσωλήνες άνθρακα καθώς η περισσότερη έρευνα, πειραματικά και θεωρητικά, σήμερα εστιάζεται σε αυτούς. Η αποθήκευση στους νανοσωλήνες γίνεται με δύο τρόπους, ή με φυσική προσρόφηση του υδρογόνου σε αυτούς ή με χημική προσρόφηση. Όπως γνωρίζουμε, στην πρώτη περίπτωση αυτό γίνεται με το υδρογόνο να διατηρεί τη μοριακή του δομή και να "δένεται" στην επιφάνεια με δυνάμεις Van Der Waals . Στη δεύτερη γίνεται με το ατομικό υδρογόνο να δημιουργεί χημικούς δεσμούς με τους άνθρακες των νανοσωλήνων. Έτσι πιο συγκεκριμένα το υδρογόνο μπορεί να αποθηκευτεί στους νανοσωλήνες στο εσωτερικό τους, στην εσωτερική επιφάνεια των μονοφλοικών η στην εξωτερική επιφάνεια των πολυφλοικών, μεταξύ των εσωτερικών επιφανειών των πολυφλοικών, καθώς επίσης και μεταξύ των νανοσωλήνων όταν αυτοί βρίσκονται σε συστοιχία, με τους νανοσωλήνες να έχουν καλύτερες αποθηκευτικές ιδιότητες από ότι τα απλά στρώματα γραφίτη.

6 . 2 ΤΡΟΠΟΙ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΕΙΣ ΥΔΡΟΓΟΝΟΥ

Υδρογόνο σε Αέρια Μορφή

Στην περίπτωση αυτή χρησιμοποιούνται σφαιρικά δοχεία στα οποία το αέριο υδρογόνο βρίσκεται σε μεσαία συμπίεση (της τάξεως των 1 ~ 1,5 MPa για κάποιες 10 000 m³). Η αποθήκευση για ακόμα μεγαλύτερες ποσότητες, της τάξεως των 10⁶ m³, γίνεται σε υπόγειες σπηλιές με πορώδη υδροφόρα πετρώματα. Σε μερικές βιομηχανικές εφαρμογές χρησιμοποιούνται μικρότερα δοχεία υψηλής πίεσης χωρητικότητας 50 λίτρων και πίεσης περίπου 20MPa, καθώς και μεσαίου μεγέθους κυλινδρικά δοχεία (10 ~ 20 m³, πίεσης > 20MPa).

Στο στάδιο της μελέτης βρίσκονται τεχνολογίες οι οποίες θα χρησιμοποιηθούν για αποθήκευση υδρογόνου σε κινούμενα μέσα. Στόχος της είναι η επίτευξη πιέσεων της τάξεως των 20 ~30 MPa. Το περίβλημα των δοχείων αυτών κατασκευάζεται από συνθετικό πλαστικό ενώ το εσωτερικό μέρος τους από ατσάλι ή αλουμίνιο υψηλής αντοχής.

Για Υδρίδια με Μέταλλα

Τα υδρίδια μετάλλου χρησιμοποιούνται για την αποθήκευση υψηλά πεπιεσμένου υδρογόνου με πίεση της τάξεως των 3 ~ 6 MPa. Κατάλληλα μεταλλικά κράματα παρέχουν κενά στο δομικό τους πλέγμα στα οποία «φιλοξενούνται» τα άτομα του πεπιεσμένου υδρογόνου. Αυτή η απορρόφηση των ατόμων υδρογόνου από το μεταλλικό κράμα ελευθερώνει θερμότητα η οποία πρέπει να αποβληθεί κατάλληλα ώστε να μην αναπτυχθούν υψηλές θερμοκρασίες που θα θέσουν σε κίνδυνο τις αποθηκευτικές εγκαταστάσεις. Υδρίδια υψηλών θερμοκρασιών είναι πιο αποδοτικά από τα αντίστοιχα χαμηλών θερμοκρασιών. Το γεγονός αυτό οφείλεται στο ότι σε υψηλές θερμοκρασίες ξεκινάει η διαδικασία απελευθέρωσης του αποθηκευμένου υδρογόνου. Σε περιπτώσεις όμως όπως στην αυτοκίνηση αναγκαζόμαστε να χρησιμοποιήσουμε υδρίδια χαμηλής θερμοκρασίας επειδή είναι απαγορευτική η ανάπτυξη υψηλών θερμοκρασιών στον κινητήρα των αυτοκινήτων. Τελευταία διεξάγονται πειράματα έτσι ώστε να κατασκευαστούν υδρίδια που να λειτουργούν σε μέσες θερμοκρασίες έτσι ώστε να πετύχουμε βέλτιστο συνδυασμό βαθμού απόδοσης και θερμοκρασιών λειτουργίας. Τα συστήματα αυτά μπορούμε να πούμε ότι είναι ένας πολύ ασφαλής τρόπος αποθήκευσης υδρογόνου για οικιακές χρήσεις.

Πορώδης Σίδηρος

Η τεχνολογία αποθήκευσης σε πορώδη σίδηρο βασίζεται στο γεγονός ότι μειώνεται η περιεκτικότητα του οξειδίου του σιδήρου (Fe_3O_4) με την προσθήκη είτε υδρογόνου ή μονοξειδίου του άνθρακα, απελευθερώνοντας ταυτόχρονα νερό υπό μορφή υγρασίας ή διοξείδιο του άνθρακα. Το προϊόν αυτής της διαδικασίας είναι καθαρός σίδηρος. Όταν θελήσουμε να χρησιμοποιήσουμε το αποθηκευμένο υδρογόνο εισάγουμε στο μέσο υγρασία, με συνέπεια να αποβληθεί το καθαρό υδρογόνο σε υγρή μορφή που προέκυψε από την αντίδραση οξείδωσης. Πλεονέκτημα αυτής της διαδικασίας είναι ότι αποτελεί μια οικονομική λύση στο πρόβλημα αποθήκευσης. Συγκριτικά με άλλες μεθόδους είναι τουλάχιστον μία τάξη φθηνότερη. Τέλος, το βάρος της όλης αποθηκευτικής εγκατάστασης είναι αποδεκτό σε ατμοσφαιρικές συνθήκες λειτουργίας (έχει το μισό βάρος των υδριδίων και το διπλάσιο της εγκατάστασης πεπιεσμένου υδρογόνου).

Υδρογόνο Σε Υγρή Μορφή

Το υγρό υδρογόνο αποθηκεύεται σε μικρές δεξαμενές των 100 λίτρων ή ακόμα και σε σφαιρικές δεξαμενές χωρητικότητας άνω των 2000 m³. Μεταξύ του εξωτερικού και εσωτερικού τοιχώματος των δεξαμενών υπάρχει κενό αέρος που λειτουργεί ως μονωτικό. Σε δεξαμενές μεγάλων χωρητικότητων χρησιμοποιείται συνήθως ως μόνωση περλίτης, σε αντίθεση με τις μικρές ή μεσαίες δεξαμενές. Οι κινητές δεξαμενές, λόγω του ότι υφίστανται μεγαλύτερη καταπόνηση, εξοπλίζονται με ειδική μόνωση που αποτελείται από ένα αριθμό (30 περίπου) φύλλων αλουμινίου συνδυαζόμενα με φύλλα πλαστικού. Οι ρυθμοί εξάτμισης του υγρού υδρογόνου στις σύγχρονες δεξαμενές είναι της τάξεως των 0,1% ημερησίως για σταθερές δεξαμενές μεγάλης χωρητικότητας (100 m³ έως 1000 m³), 1% για κινητές κυλινδρικές δεξαμενές χωρητικότητας 38 ~ 55 m³ και περίπου 1,7 ~ 3% για μικρότερης χωρητικότητας (100 έως 400 λίτρων).

Κρυο-Προσρόφηση

Το υδρογόνο σε αέρια μορφή έχει φυσικό χαρακτηριστικό το να προσροφάται σε πορώδη υλικά, κυρίως ενεργό άνθρακα, σε χαμηλές θερμοκρασίες (της τάξεως των $17 \sim 40^{\circ}\text{C}$). Η πυκνότητα αποθήκευσης που επιτυγχάνεται με την μέθοδο αυτή προσεγγίζει εκείνη των μεθόδων με υδρογόνο σε υγρή μορφή και με συστήματα υψηλής πίεσης. Η μέθοδος της κρυο-προσρόφησης είναι και κατάλληλη για αποθήκευση υδρογόνου σε οχήματα. Στα $3,5 \text{ MPa}$ μπορούν να αποθηκευτούν περίπου 25 g υδρογόνου ανά λίτρο στους 77 K , πυκνότητα η οποία είναι σχεδόν 30% αυτής του υγρού υδρογόνου. Η ίδια πυκνότητα επιτυγχάνεται σε κανονικές θερμοκρασίες με συστήματα υψηλής πίεσης με πιέσεις τάξεως των 30 MPa . Σε θερμοκρασία 175 K και πίεση $3,5 \text{ MPa}$ η πυκνότητα αποθήκευσης είναι 8 g υδρογόνου ανά λίτρο, πυκνότητα η οποία αντιστοιχεί σε πεπεσμένη αποθήκευση των 10 MPa .

Για Υγρά Υδρίδια

Τα υγρά υδρίδια είναι χημικές ενώσεις οι οποίες έχουν την δυνατότητα να ενώνουν το υδρογόνο. Τέτοια υδρίδια αποτελούν το μεθυλο-κυκλοεξάνιο, η αμμωνία, η μεθανόλη, κλπ. Το πλεονέκτημα της συγκεκριμένης μεθόδου αποθήκευσης είναι η ικανότητα αποθήκευσης για μεγάλα χρονικά διαστήματα κάτω από συνθήκες που παρουσιάζουν είτε ευστάθεια ή αστάθεια. Με αυτόν τον τρόπο μπορεί να επιτευχθεί εποχιακή αποθήκευση, πχ. από καλοκαιρινή σε χειμερινή περίοδο, με σχετικά μικρό όγκο και με μόνη συνέπεια την υδρογονοποίηση και αποϋδρογονοποίηση (dehydrogenation) χωρίς απώλειες αποθήκευσης. Το μειονέκτημα της μεθόδου αποθήκευσης είναι ότι παρουσιάζει δυσκολίες όταν πρόκειται να εφαρμοστεί για σκοπούς αυτοκίνησης. Επειδή η μέθοδος αυτή χρησιμοποιεί την διαδικασία αποϋδρογονοποίησης απαιτείται η τοποθέτηση της αντίστοιχης μονάδας στο όχημα, η οποία αποτελεί επιπλέον

βάρος στο όχημα. Επίσης το υγρό-φορέας υδρογόνου πρέπει να συλλεχθεί και να ξαναχρησιμοποιηθεί, πράγμα που προσθέτει και πάλι βάρος στο όχημα.

7 . 1 ΧΡΗΣΗ ΥΔΡΟΓΟΝΟΥ ΣΕ ΜΗΧΑΝΕΣ ΕΣΩΤΕΡΙΚΗΣ ΚΑΥΣΗΣ

Το υδρογόνο διαθέτει ένα πλήθος ιδιοτήτων από όπου και πηγάζουν τόσο πλεονεκτήματα όσο και ορισμένα μειονεκτήματα. Τα πλεονεκτήματα της χρήσης υδρογόνου σε μια μηχανή εσωτερικής καύσης θα μπορούσαν να συνοψισθούν στα παρακάτω:

- Υψηλή Θερμογόνος ικανότητα: Η καύση ενός κιλού υδρογόνου έχει την ίδια θερμογόνος ικανότητα όσο η καύση 2.8 κιλών βενζίνης ή 2.1 κιλών φυσικού αερίου. Έτσι με λιγότερη ποσότητα καυσίμου επιτυγχάνουμε αποτέλεσμα ίδιο με άλλα καύσιμα χρησιμοποιούμενα σε μηχανές εσωτερικής καύσης.

- Ευστάθεια και χαμηλό βάρος: Γενικά το υδρογόνο είναι ευσταθές και δεν αντιδρά με τον αέρα παρά μόνο με κάποια εξωγενή επίδραση (π.χ μέσω της θέρμανσης του λόγω ύπαρξης φλόγας). Επιπλέον, λόγω της χαμηλής του πυκνότητας ζυγίζει λιγότερο από όλα τα παράγωγα του πετρελαίου.

- Μεγάλη διάρκεια ζωής της μηχανής: Λόγω του ότι το υδρογόνο δεν περιέχει άνθρακα (εν αντιθέσει με τα παράγωγα του πετρελαίου που αποτελούν το κατ' εξοχήν καύσιμο των μηχανών εσωτερικής καύσης) δεν έχουμε συσσώρευση καταλοίπων άνθρακα στα τοιχώματα του κινητήρα αλλά και στα μπουζί.

- Υψηλή θερμοκρασία αυτανάφλεξης: Το γεγονός αυτό είναι ιδιαίτερος σημαντικό ειδικά σε περιπτώσεις όπου το μίγμα αέρα-υδρογόνου συμπιέζεται. Γενικά η θερμοκρασία αυτανάφλεξης ενός καυσίμου βοηθά στον προσδιορισμό της λόγου συμπίεσης μιας μηχανής εσωτερικής καύσης αφού μας καθορίζει μια μέγιστη τιμή του λόγου αυτού, θέτοντας ως όριο την μη υπέρβαση της θερμοκρασία αυτανάφλεξης κατά την συμπίεση. Έτσι, στις μηχανές που χρησιμοποιούν το υδρογόνο ως καύσιμο μπορούμε εύκολα να επιτύχουμε υψηλούς λόγους συμπίεσης γεγονός που οδηγεί σε καλύτερους βαθμούς

απόδοσης της μηχανής όπως αυτός ορίζεται από τη σχέση του κύκλου του Otto. Σε καμία περίπτωση πάντως δεν θα πρέπει η συμπίεση που υφίσταται το καύσιμο να οδηγήσει σε θερμοκρασία μεγαλύτερης της αυτανάφλεξης διότι τότε έχουμε εμφάνιση ανεπιθύμητης κρουστικής καύσεως.

- Υψηλή ταχύτητα διάδοσης της φλόγας: Αυτή η ιδιότητα του υδρογόνου βοηθά με την σειρά της στην ανάφλεξη μεγάλου εύρους μιγμάτων αέρα-υδρογόνου. Γενικά το υδρογόνο προκειμένου να μπορεί να καεί στοιχειομετρικά, πρέπει να έχει λόγο αέρα-καυσίμου ίσο με 34:1, λόγω όμως της υψηλής ταχύτητας διάδοσης της φλόγας μπορεί να επιτευχθεί και λόγος έως 180:1. Το κύριο πλεονέκτημα της ιδιότητας αυτής του υδρογόνου συνίσταται στο γεγονός ότι η μηχανή μπορεί να λειτουργήσει με πτωχό μίγμα καυσίμου γεγονός που οδηγεί σε χαμηλές θερμοκρασίες καύσης και άρα σε χαμηλότερες εκπομπές ρύπων. Πάντως σε κάθε περίπτωση δεν θα πρέπει το μίγμα να είναι εξαιρετικά πτωχό σε καύσιμο και αυτό διότι τότε έχουμε χαμηλή απόδοση της μηχανής.

- Εύκολη ανάφλεξη: Η εύκολη ανάφλεξη του υδρογόνου συμβάλλει καταλυτικά στην επιτυχή ανάφλεξη πτωχών μιγμάτων αέρα-υδρογόνου και διασφαλίζει την σωστή ανάφλεξη του μίγματος.

- Ελάχιστοι ρύποι: Θεωρητικά η καύση του υδρογόνου έχει ως αποτέλεσμα την παραγωγή μόνο νερού. Βέβαια στην πραγματικότητα, λόγω της ύπαρξης και του αζώτου στην ατμόσφαιρα έχουμε παραγωγή και οξειδίων του αζώτου.

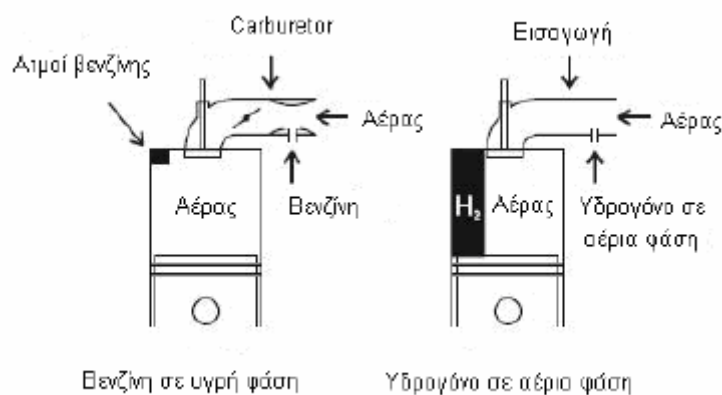
Από την άλλη πλευρά τα βασικά προβλήματα τα οποία πηγάζουν από την χρήση του υδρογόνου είναι τα εξής:

- Εύκολη ανάφλεξη σε πτωχά μίγματα: Όπως είδαμε προηγουμένως η εύκολη ανάφλεξη του υδρογόνου μπορεί να αποτελέσει πλεονέκτημα διότι έτσι διασφαλίζεται η σωστή ανάφλεξη του μίγματος. Βέβαια το γεγονός αυτό μπορεί μερικές φορές να οδηγήσει στην πρόωρη ανάφλεξη του μίγματος λόγω κάποιων «θερμών περιοχών» (για παράδειγμα, κατάλοιπα καυσαέρια) που πιθανώς να υπάρχουν εντός του θαλάμου καύσεως. Έτσι, μπορεί να εμφανιστεί ανεπιθύμητη κρουστική καύση.

- Αποθήκευση του υδρογόνου: Γενικά το υδρογόνο χρειάζεται περίπου 4 φορές τον όγκο που χρειάζεται η αποθήκευση της βενζίνης. Το γεγονός αυτό αποτελεί αρνητικό παράγοντα στην χρήση των μηχανών εσωτερικής καύσης υδρογόνου ιδιαίτερα σε μικρά οχήματα αφού οι χώροι που απαιτούνται για την αποθήκευση του υδρογόνου είναι ιδιαίτερα αυξημένοι.

ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ ΙΣΧΥΟΣ

Η συγκέντρωση ισχύος σε μια μηχανή εσωτερικής καύσης υδρογόνου, εξαρτάται κατά κύριο λόγο από το είδος του μίγματος αέρα-καυσίμου που θα χρησιμοποιηθεί (πλούσιο ή πτωχό) και από τον τρόπο εισαγωγής αυτού εντός του κυλίνδρου. Όπως ήδη έχει αναφερθεί η στοιχειομετρική αναλογία καύσης υδρογόνου είναι 34:1. Σε αυτήν την περίπτωση το 71% του κυλίνδρου καλύπτεται από αέρα και το 29% από H_2 εν αντιθέσει με την περίπτωση καύσεως της βενζίνης όπου το καύσιμο καταλαμβάνει περίπου το 1% του κυλίνδρου. Αποτέλεσμα αυτού πρακτικά, είναι οι μειωμένες επιδόσεις σε σχέση με τις αντίστοιχες των βενζινοκινητήρων μιας και δεν είναι εφικτή η εισαγωγή τόσο μεγάλης ποσότητας αέρα.



Πλήρωση θαλάμου καύσης από βενζίνη και υδρογόνο αντίστοιχα

Βιβλιογραφία

Ιστοτόποι :

www.fuelcells.org

www.eere.energy.gov

www.hy2.gr

www.wikipedia.org

www.ecotec.gr

www.physics4u.gr

www.google.gr

www.thermo.hut.fi

www.greencarcongress.com

www.new-cars.com/

en.wikipedia.org/

www.greencarcongress.com/

www.biofuels.gr

users.rod.sch.gr/

www.fuelcelltoday.com