

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΠΕΙΡΑΙΑ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΑΣ

Πειραματική αξιοποίηση εργαστηριακής μονάδας υδρογόνου – ηλεκτρόλυση

Experimental utilization of a hydrogen production unit



ΣΠΟΥΔΑΣΤΗΣ

ΚΟΦΦΑΣ ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ

ΚΟΣΜΑΣ ΚΑΒΒΑΔΙΑΣ

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Αρχικά θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέπων καθηγητή μας κ. Καββαδία για την αμέριστη βοήθεια και στήριξη του σε όποιο πρόβλημα μου παρουσιάστηκε, καθώς και τον κύριο Αποστόλου, για την καθοδήγηση του στην διεξαγωγή των πειραμάτων.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Πειραματική αξιοποίηση εργαστηριακής μονάδας υδρογόνου – ηλεκτρόλυση

Κατά τη διάρκεια της τελευταίας δεκαετίας, έχει αναγνωριστεί πως οι κυψέλες καυσίμου είναι μια βιώσιμη εναλλακτική λύση στις υπάρχουσες τεχνολογίες ενέργειας. Εξίσου πρόσφατη και ταχέως εξελισσόμενη είναι η χρήση του υδρογόνου ως καύσιμο σε ένα μεγάλο πεδίο εφαρμογών, συμπεριλαμβανομένων των κυψελών καυσίμων.

Παρόλο που το υδρογόνο δεν συναντάται στη φύση σε καθαρή μορφή, μπορεί να αξιοποιηθεί βρισκόμενο σε ενώσεις με άλλα στοιχεία όπως ο άνθρακας και το οξυγόνο. Χρησιμοποιείται σε πλήθος εφαρμογών όπως στη βιομηχανία τροφίμων, λιπασμάτων και στη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

Χρησιμοποιώντας τη συσκευή μετατροπής απιονισμένου νερού σε υδρογόνο και τη πειραματική διάταξη Nexa Training System θα διεξαχθούν διάφορα πειράματα και θα αναλυθούν τα αποτελέσματα αυτών. Συνεπώς θα γίνει κατανοητή η σημασία των εναλλακτικών μορφών ενέργειας.

Στην παρούσα εργασία παρουσιάζονται αναλυτικά:

- Οι μέθοδοι παραγωγής του υδρογόνου, συμβατικές και εναλλακτικές.
- Οι μέθοδοι αποθήκευσης του υδρογόνου.
- Η τεχνολογία και τα είδη των κυψελών καυσίμου, με έμφαση στον τύπο της πειραματικής διάταξης.
- Οι εργαστηριακές ασκήσεις με τις σχετικές ερωτήσεις, συνοδευόμενες από τα αποτελέσματα με σκοπό τη μελλοντική αξιοποίηση της διάταξης για εκπαιδευτικούς σκοπούς.

Σκοπός επομένως της πτυχιακής εργασίας είναι η κατανόηση της τεχνολογίας των κυψελών καυσίμου και της χρησιμότητάς τους στην πράξη.

Λέξεις κλειδιά : Παραγωγή υδρογόνου, αποθήκευση υδρογόνου, κυψέλες καυσίμου, συσσωρευτές, ηλεκτρόλυση.

ABSTRACT

Experimental utilization of a hydrogen production unit

During the last decade, it has been recognized that the Fuel Cells is a viable alternative to current energy technologies. Equally recent and rapidly evolving is the use of Hydrogen as a fuel in a wide range of applications, fuels cells including.

Hydrogen is not easily found in it's pure form but it can be used as a compound. It applies in plenty of fields such as food industry, fertilizers and in the production of electrical power.

With the use of the conversion device of deionized water and the Nexa Training System device, multiple experiments will be conducted. Afterwards, the extracted results will be analyzed making the importance of the alternative forms of energy clear

In the present thesis presents in detail:

- The hydrogen production methods, conventional and alternative.
- The hydrogen storage methods.
- The technology and types of Fuel Cells, emphasizing on the type of the experimental setup.
- The laboratory exercises and related questions, followed by results, for future use of the device for educational purposes.

Therefore, the purpose of the thesis, is to understand the technology of Fuel Cells, and their utility in practice.

Keywords : Hydrogen production, Hydrogen storage, fuel cells, batteries, electrolysis.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

| | |
|--|----|
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 ^ο : ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΥΔΡΟΓΟΝΟΥ | 7 |
| 1.1 Μέθοδοι παραγωγής..... | 7 |
| 1.1.1 Παραγωγή υδρογόνου με αναμόρφωση ατμού..... | 7 |
| 1.1.2 Παραγωγή υδρογόνου με αεριοποίηση (απανθράκωση) γαιάνθρακα | 7 |
| 1.1.3 Παραγωγή υδρογόνου με μερική οξείδωση | 8 |
| 1.1.4 Παραγωγή υδρογόνου με θερμική διάσπαση | 8 |
| 1.1.5 Παραγωγή υδρογόνου από τα σουλφίδια του..... | 8 |
| 1.1.6 Παραγωγή υδρογόνου μέσω ηλεκτρόλυσης του νερού..... | 9 |
| 1.2 Παραγωγή Υδρογόνου από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας..... | 11 |
| 1.2.1 Παραγωγή υδρογόνου από βιομάζα | 11 |
| 1.2.2 Παραγωγή υδρογόνου με πυρόλυση | 11 |
| 1.2.3 Παραγωγή υδρογόνου με αεριοποίηση | 11 |
| 1.2.4 Παραγωγή υδρογόνου μέσω βιοφωτόλυσης | 12 |
| 1.2.5 Παραγωγή υδρογόνου μέσω ζύμωσης..... | 12 |
| 1.3 Πειραματική διάταξη ηλεκτρόλυσης υδρογόνου | 13 |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 ^ο : ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΤΗΣ ΔΙΑΤΑΞΗΣ | 15 |
| 2.1. Εργαστηριακή Άσκηση 1 : Χαρακτηριστικά του μετατροπέα DC/DC..... | 16 |
| 2.2. Εργαστηριακή Άσκηση 2 : Μετατροπή ενέργειας / Βαθμός απόδοσης..... | 21 |
| ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ..... | 26 |

ΠΙΝΑΚΑΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

| | |
|---|----|
| Σχήμα 1 : Αρχή λειτουργίας της Ηλεκτρόλυσης..... | 9 |
| Σχήμα 2 : Βολτάμετρο Hoffman | 10 |
| Σχήμα 3 : Σχηματική περιγραφή σκοτεινής ζύμωσης για παραγωγή υδρογόνου | 13 |
| Σχήμα 5 : Χαρακτηριστική διάταξη συσκευής Ηλεκτρόλυσης..... | 14 |
| Σχήμα 6: Συνδεσμολογία της διάταξης | 16 |
| Σχήμα 7: Συνδεσμολογία της διάταξης | 16 |
| Σχήμα 8 : Ενδεικτικές καμπύλες του μετατροπέα DC/DC..... | 19 |
| Σχήμα 9 : Ενδεικτικές καμπύλες του μετατροπέα DC/DC..... | 19 |
| Σχήμα 10 : Ενδεικτικές καμπύλες του μετατροπέα DC/DC..... | 20 |
| Σχήμα 11 : Συνδεσμολογία της διάταξης | 21 |
| Σχήμα 12 : Ενδεικτικές καμπύλες Τάσης-Έντασης και Ισχύς-Έντασης της κυψέλης καυσίμων και του μετατροπέα DC/DC | 24 |
| Σχήμα 13 :Βαθμός απόδοσης της συστοιχίας, της μονάδας κυψελών καυσίμων, του συστήματος και του μετατροπέα DC/DC σε σχέση με την Ροή Υδρογόνου | 24 |
| Σχήμα 14 : Ενδεικτικές καμπύλες λειτουργείας και απόδοσης συστήματος | 25 |

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

| | |
|---|----|
| Πίνακας 1: Απαραίτητος εξοπλισμός | 16 |
| Πίνακας 2 : Παράμετροι για τη διεξαγωγή του πειράματος..... | 17 |
| Πίνακας 3: Προφίλ με αυξανόμενο φορτίο | 18 |
| Πίνακας 4 : Απαραίτητος εξοπλισμός..... | 21 |
| Πίνακας 5 : Παράμετροι και Ορισμοί | 22 |
| Πίνακας 6: Προφίλ με αυξανόμενο φορτίο | 22 |

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο : ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΥΔΡΟΓΟΝΟΥ

Το υδρογόνο είναι απαραίτητο για τη λειτουργία των κυψελών καυσίμου. Παρακάτω θα εξεταστούν οι βασικότερες μέθοδοι παραγωγής υδρογόνου, όπως η παραγωγή από ορυκτά καύσιμα, με ηλεκτρόλυση ή από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.

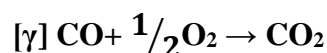
1.1 Μέθοδοι παραγωγής

1.1.1 Παραγωγή υδρογόνου με αναμόρφωση ατμού

Στη συγκεκριμένη μέθοδο παράγεται υδρογόνο από φυσικό αέριο όπως και από άλλα ελαφρά κλάσματα πετρελαίου. Κυρίως όμως το φυσικό αέριο είναι αυτό που χρησιμοποιείται, το οποίο αποτελείται από μεθάνιο (CH₄), διοξείδιο του άνθρακα (CO₂) και άλλους υδρογονάνθρακες. Πιο συγκεκριμένα, η διαδικασία που ακολουθείται είναι η τροφοδοσία του υδρογόνου σε έναν αντιδραστήρα όπου υπάρχει ατμός που βρίσκεται σε θερμοκρασία 700-1000 °C και πίεση 3-25 ατμόσφαιρες, παρουσία καταλυτών όπως το νικέλιο (Ni). Από την αντίδραση προκύπτει μονοξείδιο και διοξείδιο του άνθρακα όπως επίσης και υδρογόνο όπου φαίνεται και στις παρακάτω αντιδράσεις [α] [β] :



Οι περισσότερες κυψέλες καυσίμων όμως δεν έχουν τη δυνατότητα να συγκρατήσουν το μονοξείδιο του άνθρακα το οποίο μπορεί να δημιουργήσει πρόβλημα στους καταλύτες τους. Για αυτό λόγο μετατρέπεται το μονοξείδιο του άνθρακα σε διοξείδιο από την ακόλουθη αντίδραση που ονομάζεται εκλεκτική οξείδωση [γ] :



Πλέον, το απαλλαγμένο από το μονοξείδιο του άνθρακα υδρογόνο, μπορεί να χρησιμοποιηθεί από τις κυψέλες καυσίμων με ασφάλεια. Ακόμα, έχουμε αρκετά λιγότερη επιβάρυνση για το περιβάλλον εφόσον το διοξείδιο του άνθρακα που παράγεται είναι λιγότερο συγκριτικά με τη ποσότητα που θα παράγονταν σε περίπτωση καύσης του υδρογόνου παρουσία του μονοξειδίου του άνθρακα.

1.1.2 Παραγωγή υδρογόνου με αεριοποίηση (απανθράκωση) γαιάνθρακα

Για τη δημιουργία υδρογόνου από αεριοποίηση γαιάνθρακα, όπως επίσης και άλλων υδρογονανθράκων, είναι αναγκαίος αντιδραστήρας ο οποίος θερμαίνεται στους 900 °C. Το αποτέλεσμα είναι θερμική διάσπαση με αέριο μείγμα το οποίο στην συνέχεια τροφοδοτείται σε καταλύτη αφού πρώτα αναμειχθεί με ατμό. Ο καταλύτης συνήθως είναι νικέλιο(Ni), που έχει ως αποτέλεσμα την παραγωγή του υδρογόνου και ορισμένες ποσότητες του μονοξειδίου και διοξειδίου του άνθρακα. Επίσης σχηματίζονται ενώσεις θείου(S) και αζώτου(N) από την έκλυση θείου όπως φαίνεται στη παρακάτω αντίδραση[α].



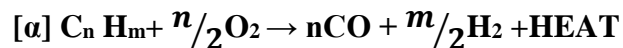
Μπορεί ακόμα να χρησιμοποιηθεί ένας αντιδραστήρας Fischer-Tropsch ο οποίος εκμεταλλεύεται το μονοξείδιο που παράγεται από την σχέση [α] για την επιπλέον παραγωγή υδρογόνου, που παρουσιάζεται χαρακτηριστικά από την αντίδραση [β] :



Η συγκεκριμένη, αποτελεί την παλαιότερη μέθοδο παραγωγή υδρογόνου (H₂) και χρησιμοποιείται μέχρι και σήμερα λόγω του χαμηλού της κόστος.

1.1.3 Παραγωγή υδρογόνου με μερική οξείδωση

Για την παραγωγή υδρογόνου σε αυτή τη μέθοδο χρησιμοποιείται φυσικό αέριο αλλά και διάφοροι άλλοι υδρογονάνθρακες οι οποίοι υφίστανται μερική οξείδωση. Για να επιτευχθεί η οξείδωση γίνεται καύση των παραπάνω μέσα σε αντιδραστήρες μαζί με ορισμένες ποσότητες οξυγόνου οι οποίες είναι μικρότερες από τις απαιτούμενες για τέλεια καύση. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τη παραγωγή υδρογόνου και μονοξειδίου του άνθρακα, όπως παρατηρείται στην παρακάτω αντίδραση [α] :



Όπως ακριβώς γίνεται και στη μέθοδο της αναμόρφωσης του ατμού, το επόμενο βήμα είναι η εκλεκτική οξείδωση εφόσον απαιτείται απαλλαγή του παραγόμενου αερίου μείγματος από το μονοξείδιο του άνθρακα, λόγω της ενδεχόμενης χρήσης του πρώτου σε κυψέλες καυσίμου. Συγκεκριμένα, η χρήση αυτής της μεθόδου γίνεται όταν υπάρχουν αρκετά μεγάλες ποσότητες θείου. Η αντίδραση αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί με τη βοήθεια καταλύτη. Παρουσία καταλύτη, η θερμοκρασία της αντίδρασης μειώνεται στους 800-900 °C, ενώ απουσία αυτού, μπορεί να ξεπεράσει τους 1200 C° [1][2] .

1.1.4 Παραγωγή υδρογόνου με θερμική διάσπαση

Σε μεγάλες θερμοκρασίες και απουσία οξυγόνου επιτυγχάνεται παραγωγή υδρογόνου μέσω θερμικής διάσπαση καυσίμων(υδρογονάνθρακες). Αναλυτικότερα δημιουργείται υδρογόνο και άνθρακας σε μορφή λεπτής σκόνης. Καύσιμα της αντίδρασης αυτής είναι συνήθως το φυσικό αέριο και μερικά κλάσματα του πετρελαίου. Η αντίδραση αυτή φαίνεται παρακάτω: [α]



Επειδή απαιτείται μεγάλη κατανάλωση ενέργειας για την επίτευξη της αντίδρασης, γεγονός που την καθιστά κοστοβόρα άρα και μη ανταγωνίσιμη, η παραγωγή υδρογόνου με θερμική διάσπαση δεν χρησιμοποιείται συχνά [1] [2] .

Η συγκεκριμένη μέθοδος ονομάζεται και διαδικασία Kvaerner και ουσιαστικά είναι πυρόλυση η οποία πραγματοποιείται με χρήση πλάσματος. Δύο μεταλλικά ηλεκτρόδια χρησιμοποιούνται για αυτό το λόγω, ανάμεσα στο οποία έχουμε τη δημιουργία βολταϊκού τόξου που για την δημιουργία πλάσματος ιονίζει αδρανή αέρια. Κατά τη διαδικασία αυτή παρουσιάζονται θερμοκρασίες της τάξης των 2.000-13.800 °C οι οποίες προκαλούν τη διάσπαση των μοριακών δεσμών και το διαχωρισμό υδρογονανθράκων που βρίσκονται στον αντιδραστήρα σε αέρια μορφή [4].

1.1.5 Παραγωγή υδρογόνου από τα σουλφίδια του

Οι χημικές ενώσεις που σχηματίζονται κατά την αντίδραση μετάλλων με θείο (S) ή με τα αρνητικά ιόντα του, ονομάζονται σουλφίδια. Για τη παραγωγή υδρογόνου, χρησιμοποιούνται διάφορες μέθοδοι για το διαχωρισμό των σουλφιδίων. Η πιο διαδεδομένη από αυτές είναι εκείνη της θερμικής διάσπασης με αναμόρφωση μεθανίου (CH₄). Σε εγκαταστάσεις φυσικού αερίου και διαφόρων διυλιστηρίων, έχουμε παραγωγή τοξικών αερίων ως αποβλήτων τα οποία είναι σουλφίδια του υδρογόνου. Για να αποφευχθεί το παραπάνω, τα σουλφίδια μετατρέπονται

σε μη τοξικό θείο ακολουθώντας την διαδικασία Claus. Συγκεκριμένα, μέσω θερμικής διάσπασης παρουσία μεθανίου γίνεται διαχωρισμός του υδρογόνου όπως φαίνεται στην παρακάτω αντίδραση[α]:

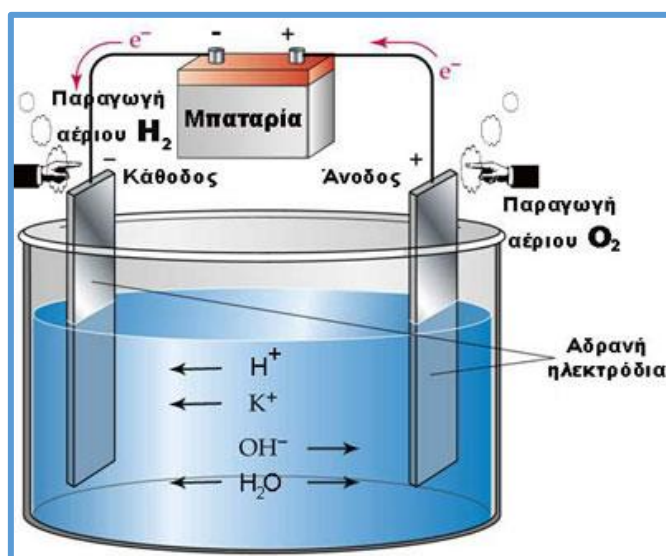


Στην παραπάνω αντίδραση ως σουλφίδιο χρησιμοποιήθηκε το H_2S , αφού υπάρχει σε μεγάλες ποσότητες σε ορυκτά καύσιμα [1] παρέχοντας την μεγαλύτερη δυνατότητα για την μαζική παραγωγή του υδρογόνου.

1.1.6 Παραγωγή υδρογόνου μέσω ηλεκτρόλυσης του νερού

Σε αντίθεση με τις προηγούμενες μεθόδους, στην περίπτωση της ηλεκτρόλυσης δεν απαιτείται η χρήση ορυκτών καυσίμων. Η διαδικασία της ηλεκτρόλυσης περιλαμβάνει τη διάσπαση του νερού σε υδρογόνο και οξυγόνο χρησιμοποιώντας συνεχές ηλεκτρικό ρεύμα (DC). Η σύνδεση του συσσωρευτή γίνεται με τη χρήση δύο ηλεκτροδίων (Σχήμα 1). Οι αντιδράσεις γίνονται εμφανής από το γεγονός πως στο ηλεκτρόδιο της ανόδου (-) δημιουργούνται φυσαλίδες οξυγόνου και αντίστοιχα στο ηλεκτρόδιο της καθόδου (+) φυσαλίδες υδρογόνου διπλάσιες σε ποσότητα από εκείνες του οξυγόνου που παράχθηκε. Αναλυτικότερα, οι αντιδράσεις που λαμβάνουν μέρος στη διαδικασία είναι οι εξής:

- **Άνοδος** : $2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{O}_2 + 4\text{H}^+ + 4\text{e}^-$
- **Κάθοδος** : $4\text{H}^+ + 4\text{e}^- \rightarrow 2\text{H}_2$
- **Αντίδραση** : $2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{O}_2 + 2\text{H}_2$



Σχήμα 1 : Αρχή λειτουργίας της Ηλεκτρόλυσης

Για την ηλεκτρόλυση η τάση που χρησιμοποιείται είναι μεταξύ 1.55V και 1.65V. Θεωρητικά η τιμή της τάσης κυμαίνεται στα 1.23V. Χρησιμοποιείται ωστόσο μεγαλύτερη τάση για τη κάλυψη τυχόν απωλειών ενέργειας.

Αποτελεί την παλαιότερη μέθοδο παραγωγής του υδρογόνου η οποία σταδιακά αντικαταστάθηκε από μεθόδους χαμηλότερου κόστους, όπως εκείνες των ορυκτών καυσίμων. Το παραγόμενο υδρογόνο έχει μεγάλο βαθμό καθαρότητας το οποίο το καθιστά ιδανικό για χρήση σε κυψέλες καυσίμου και σε βιομηχανικές εφαρμογές. Οι προηγούμενες μέθοδοι που αναφέρθηκαν έχουν βαθμό απόδοσης κοντά στο 60%, σε αντίθεση με τη συγκεκριμένη μέθοδο, της οποίας ο βαθμός απόδοσης ξεπερνά το 80% [1].

Η ηλεκτρόλυση μπορεί να γίνει με τρεις τρόπους:

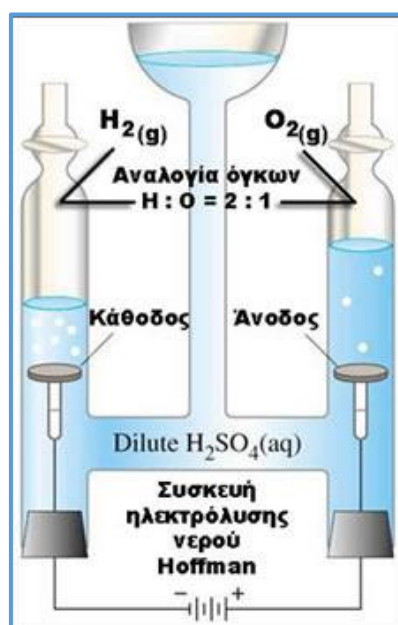
α) με τη χρήση βολτάμετρου Hoffman,

β) με ηλεκτρόλυση υψηλής πίεσης

γ) ηλεκτρόλυσης υψηλής θερμοκρασίας η οποία ακόμα βρίσκεται σε στάδιο ανάπτυξης.

- Βολτάμετρο Hoffman

Δημιουργία του August Wilhelm von Hoffman το 1866, αποτελείται από τρεις κυλίνδρους συνδεδεμένους με έναν οριζόντιο στο κάτω μέρος (Σχήμα 2). Στους δύο ακραίους κυλίνδρους είναι τοποθετημένα δύο ηλεκτρόδια από πλατίνα, τα οποία συνδέονται στον θετικό και αρνητικό πόλο. Ο μεσαίος λειτουργεί σαν αποθηκευτικός χώρος για την τοποθέτηση του νερού στο συστήματα. Κατά τη παραγωγή τάσης μεταξύ των δύο πόλων, δημιουργείται κύκλωμα εντός του συστήματος, με αποτέλεσμα τη συγκέντρωση οξυγόνου στο ηλεκτρόδιο της ανόδου και υδρογόνου σε εκείνο της καθόδου. Η συγκεκριμένη διάταξη δεν βρίσκει εφαρμογή σε βιομηχανική κλίμακα, καθώς λόγω μεγέθους τα ηλεκτρόδια αντικαθίστανται από μεγάλες κυψελωτές κατασκευές [5].



Σχήμα 2 : Βολτάμετρο Hoffman

- Ηλεκτρόλυση υψηλής πίεσης

Η κύρια διαφορά με την απλή ηλεκτρόλυση είναι πως η διαδικασία διεξάγεται υπο υψηλή πίεση. Η ενέργεια που απαιτείται για τη συμπίεση του υδρογόνου είναι μεγαλύτερη από εκείνη που απαιτείται για τη συμπίεση του νερού στην ίδια πίεση, αυτό έχει ως αποτέλεσμα εξοικονόμηση ενέργειας. Η πίεση εξόδου του υδρογόνου στις περισσότερες περιπτώσεις κυμαίνεται στην κλίμακα μεταξύ 120 με 200 ατμοσφαιρών και τιμές θερμοκρασίας γύρω στους 70 °C.

- Ηλεκτρόλυση υψηλής θερμοκρασίας

Η διαφορά με την προηγούμενη μέθοδο είναι πως αντί για υψηλή πίεση συναντάμε υψηλή θερμοκρασία. Ο λόγος που συναντάται αυτό είναι ότι σε υψηλές θερμοκρασίες η ηλεκτρόλυση δεν απαιτεί μεγάλες τιμές ηλεκτρικής ενέργειας. Έχοντας θερμοκρασία 2.500 °C δεν χρειαζόμαστε ηλεκτρική ενέργεια καθώς σε τέτοιες τιμές η διάσπαση του νερού γίνεται μόνο από την υψηλή τιμή της θερμοκρασίας. Το να φτάσει κανείς σε μία τέτοια θερμοκρασία όμως δεν είναι προσιτό οικονομικά, διότι η μέθοδος αυτή βρίσκεται σε στάδιο ανάπτυξης.

1.2 Παραγωγή Υδρογόνου από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας

Στη προηγούμενες ενότητες έγινε ανάλυση για τις πιο βασικές και τις πιο ανεπτυγμένες μεθόδους παραγωγής υδρογόνου, βασισμένες σε ορυκτά καύσιμα και σε μη ανανεώσιμες πηγές. Για να έχουν όμως την ανεξαρτησία τους οι σημερινές κοινωνίες θα πρέπει να κατευθυνθούν στην έρευνα και στην ανάπτυξη μεθόδων οι οποίες χρησιμοποιούν ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Παρακάτω γίνεται η ανάλυση τους.

1.2.1 Παραγωγή υδρογόνου από βιομάζα

Η λέξη βιομάζα χαρακτηρίζει κάθε τι που έχει βιολογική προέλευση, απόβλητα, ξύλα και γεωργικά υπολείμματα. Κυριότερη πηγή βιομάζας αποτελεί κάθε μορφή βλάστησης, η οποία φωτοσυνθέτει για την παραγωγή ενέργειας.

Η κύρια χρησιμότητα βιομάζας σήμερα είναι η θέρμανση εσωτερικών χώρων και το μαγείρεμα κάνοντας καύση αυτής, με βαθμό απόδοσης 10-30%. Με σκοπό τη μέγιστη εκμετάλλευσή της, η βιομάζα μπορεί να μετατραπεί σε υγρό ή αέριο καύσιμο, υδρογόνο και ηλεκτρική ενέργεια. Παρακάτω θα γίνει ανάλυση στις πιο βασικές μεθόδους παραγωγής υδρογόνου από τη βιομάζα.

1.2.2 Παραγωγή υδρογόνου με πυρόλυση

Με τη μέθοδο της πυρόλυσης έχουμε θέρμανση της βιομάζας σε θερμοκρασίες 350-500 °C και υπό συνθήκες πίεσης 1-5 ατμόσφαιρες, απουσία ατμοσφαιρικού αέρα. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα τη μετατροπή της βιομάζας σε στερεό ξυλάνθρακα, αέρια στοιχεία και υγρά έλαια. Από τα παραπροϊόντα της παραπάνω μεθόδου μπορεί να παραχθεί υδρογόνο σε αέρια μορφή. Η εκμετάλλευση αυτή των παραπροϊόντων αυξάνει το βαθμό απόδοσης της διαδικασίας στο 90%, απαιτώντας ωστόσο υψηλότερες θερμοκρασίες [6].

1.2.3 Παραγωγή υδρογόνου με αεριοποίηση

Η μέθοδος της αεριοποίησης περιλαμβάνει τη θέρμανση της βιομάζας σε θερμοκρασία άνω των 700 °C παρουσία ατμοσφαιρικού αέρα, που έχει ως αποτέλεσμα την οξειδωση μέρους της βιομάζας οδηγώντας στην δημιουργία αερίων και ξυλάνθρακα. Όπως και στην πυρόλυση μπορεί να γίνει εκμετάλλευση των παραπροϊόντων για τη μετατροπή τους σε υδρογόνο, αυξάνοντας την συνολική απόδοση της διαδικασίας [6].

Κατά την εφαρμογή της παραπάνω μεθόδου, η υγρασία της βιομάζας δεν πρέπει να ξεπερνά το 35%, αφού σε διαφορετική περίπτωση η θερμοκρασία θα πρέπει να ξεπερνά τους 373 °C και η πίεση να ξεπερνά τις 22 ατμόσφαιρες. Θα πρέπει δηλαδή να γίνει η χρήση της υπερκρίσιμης κατάστασης του νερού, στην οποία η βιομάζα μπορεί και διαχωρίζεται μοριακά καθιστώντας εφικτό έναν βαθμό απόδοσης που μπορεί να φτάσει και το 100% [6].

1.2.4 Παραγωγή υδρογόνου μέσω βιοφωτόλυσης

1) Άμεση βιοφωτόλυση

Άμεση βιοφωτόλυση ονομάζεται η βιολογική διαδικασία για τη μετατροπή της ηλιακής ενέργειας σε χημική, με τη μορφή καύσιμου υδρογόνου. Για την διεξαγωγή αυτής της διαδικασίας χρησιμοποιούνται δύο φωτοσυνθετικά συστήματα. Το ένα διατηρεί το διοξείδιο του άνθρακα και το δεύτερο παράγει οξυγόνο με τη διάσπαση του νερού.

Τα φωτοσυνθετικά συστήματα χρησιμοποιούνται λόγω της ύπαρξης υδρογένασης. Η υδρογέναση είναι ένα ένζυμο που λειτουργεί ως καταλύτης ευνοώντας την αναστρέψιμη οξειδωση του μοριακού υδρογόνου. Το ένα φωτοσυνθετικό σύστημα μεταφέρει τα παραγόμενα ηλεκτρόνια με τη χρήση του άλλου συστήματος στα κυανοβακτήρια ή στις μικροάλγεις με την ικανότητα της υδρογένασης [6].

2) Έμμεση βιοφωτόλυση

Για να πραγματοποιηθεί η διαδικασία της έμμεσης βιοφωτόλυσης ακολουθούνται τα παρακάτω βήματα :

- I. Η παραγωγή βιομάζας μέσω της φωτοσύνθεσης.
- II. Η συγκέντρωση της βιομάζας.
- III. Μέσω της απουσίας φωτός πραγματοποίηση αερόβιας ζύμωσης της άγλης παράγοντας υδρογόνο και οξέα.
- IV. Μετατροπή και των υπόλοιπων οξέων σε υδρογόνο για μεγαλύτερη απόδοση.

Χαρακτηριστικό της έμμεσης βιοφωτόλυσης είναι το πόσο επηρεάζεται από την θερμοκρασία, αφού έχει βρεθεί πως η αύξηση της θερμοκρασίας 10 βαθμούς πάνω (από 30 σε 40 C°) διπλασιάζει την ποσότητα παραγόμενου υδρογόνου [6] .

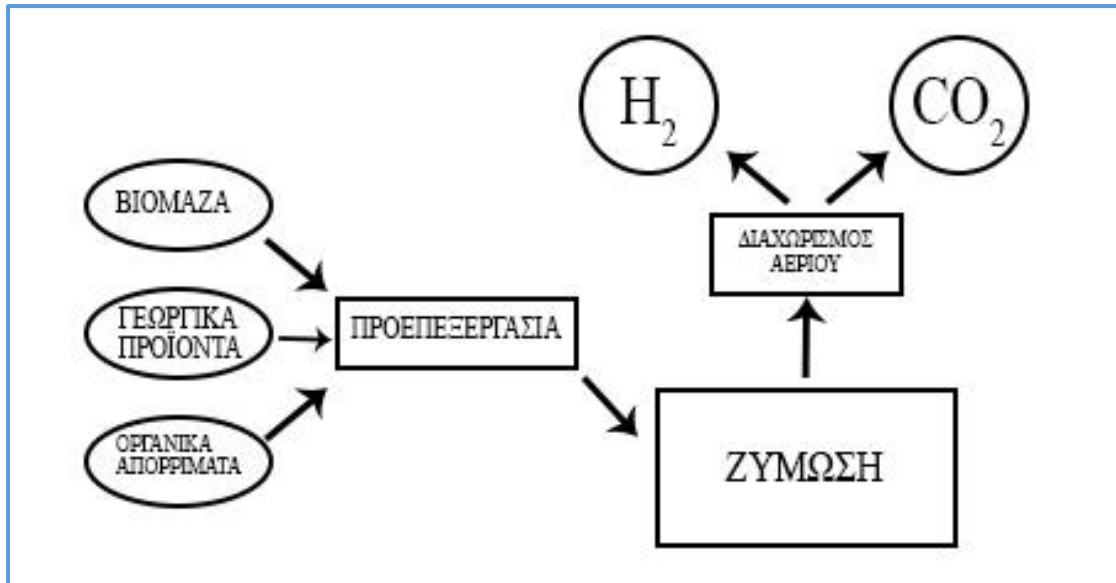
1.2.5 Παραγωγή υδρογόνου μέσω ζύμωσης

1) Ζύμωση παρουσία φωτός

Ορισμένα βακτήρια, εκμεταλλευόμενα την ηλιακή ενέργεια , έχουν την ικανότητα να φωτοσυνθέτουν με αποτέλεσμα την παραγωγή υδρογόνου με τη βοήθεια βιομάζας ή άλλων οργανικών οξέων. Έχουν γίνει έρευνες για την αξιοποίηση των βιομηχανικών και γεωργικών καταλοίπων άλλα δεν προτιμάται λόγω της μικρής αποδοτικότητας και της ανάγκης μεγάλων εγκαταστάσεων και μεγάλου ενεργειακού κόστους [6] .

2) Ζύμωση χωρίς την παρουσία φωτός

Σε θερμοκρασίες 30-80 °C, απουσία φωτός, χρησιμοποιούνται αναερόβια βακτήρια για τη παραγωγή υδρογόνου.



Σχήμα 3 : Σχηματική περιγραφή σκοτεινής ζύμωσης για παραγωγή υδρογόνου

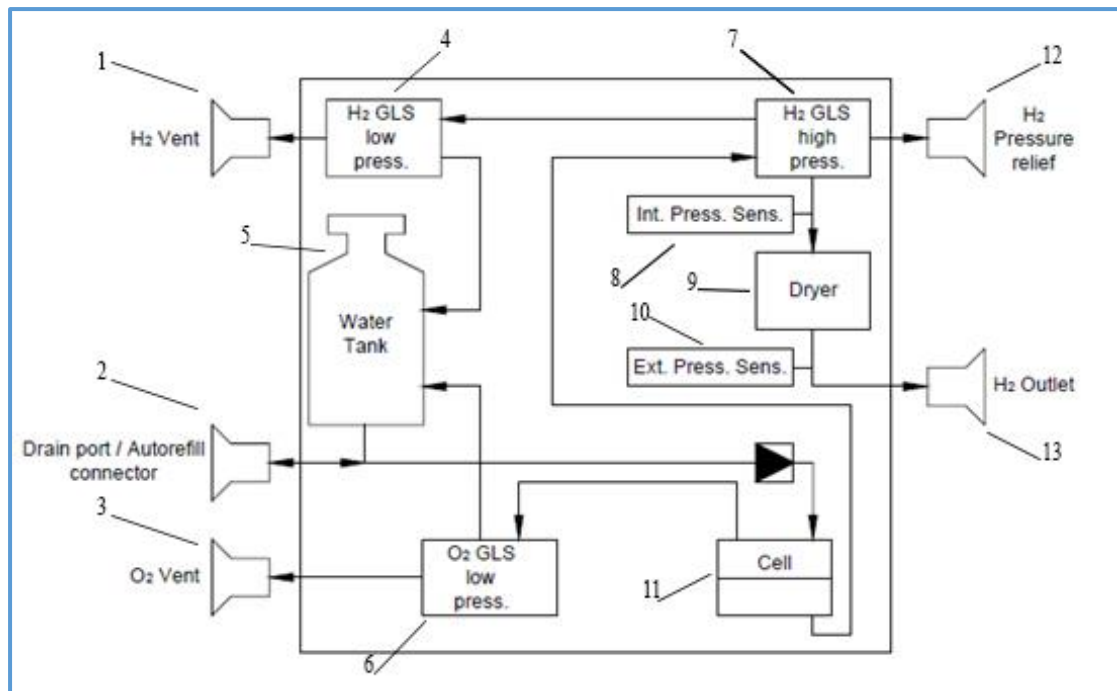
Όπως περιγράφεται και στο Σχήμα 4, γίνεται ζύμωση βιομάζας και οργανικών καταλοίπων με αποτέλεσμα τη παραγωγή υδρογόνου.

Αντίθετα με τη ζύμωση παρουσία φωτός, η συγκεκριμένη μέθοδος δεν απαιτεί μεγάλες εγκαταστάσεις και παρουσιάζει μικρό ενεργειακό κόστος. Το γεγονός αυτό καθιστά την εφαρμογή της παραπάνω μεθόδου αρκετά πιο προσιτή.

1.3 Πειραματική διάταξη ηλεκτρόλυσης υδρογόνου

Η γεννήτρια υδρογόνου παράγει καθαρό υδρογόνο (και οξυγόνο ως παραπροϊόν) από την ηλεκτρόλυση του νερού. Βασικό στοιχείο της γεννήτριας αποτελεί μία συναρμογή ηλεκτροχημική μεμβράνη η οποία περιέχει έναν ηλεκτρολύτη στερεού πολυμερούς. Δεν χρησιμοποιούνται ελεύθερα ή αλκαλικά οξέα. Το μόνο υγρό το οποίο μπορεί να έρθει σε επαφή με τη μεμβράνη, είναι το απιονισμένο και αποσταγμένο νερό. Σε περίπτωση που η στάθμη του νερού πέσει κάτω από την προτεινόμενη από τον κατασκευαστή συνίσταται η συμπλήρωση απαραίτητης ποσότητας.

Το προερχόμενο από τη δεξαμενή απεσταγμένο νερό συσσωρεύεται στο διαχωριστή υδρογόνου/οξυγόνο. Το παραγόμενο αέριο υδρογόνο εισέρχεται στη συνέχεια στον αποξηραντή. Προηγουμένως, η εσωτερική του πίεση έχει ελεγχθεί από ένα ρυθμιστή. Το υδρογόνο ξηραίνεται μέσω του αυτόματου στεγνωτήρα και στη συνέχεια διέρχεται μέσω θύρας εξόδου στο πίσω μέρος. Η πίεση εξόδου του υδρογόνου ελέγχεται από την αντίστοιχη βαλβίδα ελέγχου. Παρομοίως το οξυγόνο απελευθερώνεται στο περιβάλλον από την αντίστοιχη θύρα.



Σχήμα 4 : Χαρακτηριστική διάταξη συσκευής Ηλεκτρόλυσης

- 1) H₂ Vent: Έξοδος αερίου υδρογόνου
- 2) Drain port/ Autorefill connector: Θύρα αυτόματης συμπλήρωσης νερού
- 3) O₂ Vent: Έξοδος Οξυγόνου
- 4) H₂ GLS low press.: Χαμηλή πίεση υδρογόνου
- 5) Water Tank: Δεξαμενή απεσταγμένου νερού
- 6) O₂ GLS low press.: Οξυγόνο χαμηλής πίεσης
- 7) H₂ GLS high press.: Υδρογόνο υψηλής πίεσης
- 8) Int. Press. Sens.: Αισθητήρας ελέγχου εσωτερικής πίεσης
- 9) Dryer: Αποξηραντής
- 10) Ext. Press.Sens.: Βαλβίδα ελέγχου πίεσης εξόδου
- 11) Cell: Διαχωριστής Υδρογόνου/Οξυγόνου
- 12) H₂ Pressure Relief: Βαλβίδα εκτόνωσης υδρογόνου
- 13) H₂ Outlet: Παροχή υδρογόνου

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο : ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΤΗΣ ΔΙΑΤΑΞΗΣ

Ο εργαστηριακός αυτός οδηγός περιέχει 2 πειράματα που καλύπτουν ένα πλήθος θεματικών ενοτήτων από τον τομέα της τεχνολογίας κυψελών καυσίμου.

Συγκεκριμένα ο οδηγός περιλαμβάνει τις παρακάτω εργαστηριακές ασκήσεις:

- Μετατροπείας DC/DC
- Μετατροπή ενέργειας / Βαθμός απόδοσης

Κάθε εργαστηριακή άσκηση συνοδεύεται από πλήρη οδηγίες για το απαραίτητο εξοπλισμό, τις συνθήκες, τις ρυθμίσεις και βήματα διεξαγωγής τους. Τέλος περιλαμβάνει ένα σύνολο ερωτήσεων για την καλύτερη κατανόηση του αντικειμένου κάθε πειράματος και ενδεικτικές καμπύλες και εικόνες για την καθοδήγηση του σπουδαστή.

Για την επεξήγηση των συμβόλων που χρησιμοποιούνται στα παρακάτω πειράματα, συμβουλευτείτε τον Πίνακα 1.

Πίνακας 1: Πίνακας συμβόλων

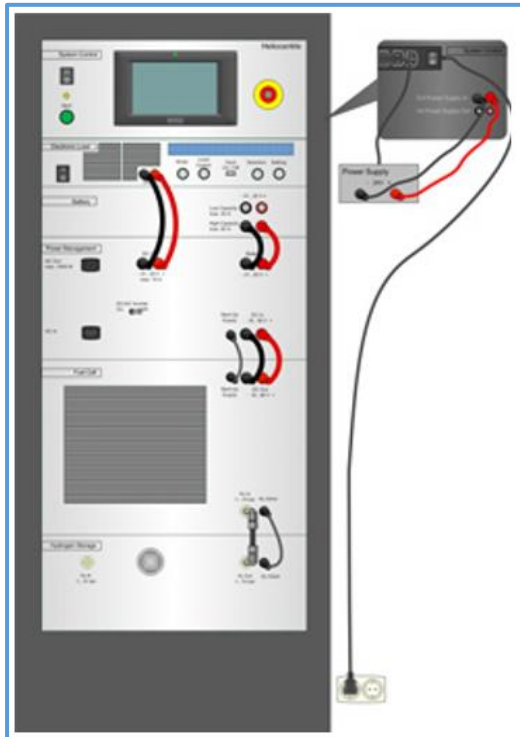
| Σύμβολο | Παράμετρος | Μονάδα μέτρησης |
|-----------------|---|-----------------|
| I_{FCMout} | Ένταση εξόδου της μονάδας κυψελών καυσίμου | A |
| V_{FCMOut} | Τάση εξόδου της μονάδας κυψελών καυσίμου | V |
| P_{FCMOut} | Ισχύς εξόδου της μονάδας κυψελών καυσίμου | W |
| $P_{DC Load}$ | Ισχύς εισόδου του ηλεκτρικού φορτίου | W |
| $I_{DC Load}$ | Ένταση εισόδου ηλεκτρικού φορτίου | A |
| $V_{DC/DC Out}$ | Τάση εξόδου του μετατροπέα DC/DC | V |
| $I_{DC/DC Out}$ | Ένταση εξόδου της μονάδας μετατροπέα DC/DC | A |
| $P_{H2Inlet}$ | Εσωτερική πίεση του υδρογόνου στη μονάδα κυψελών καυσίμου | Bar |

2.1. Εργαστηριακή Άσκηση 1 : Χαρακτηριστικά του μετατροπέα DC/DC

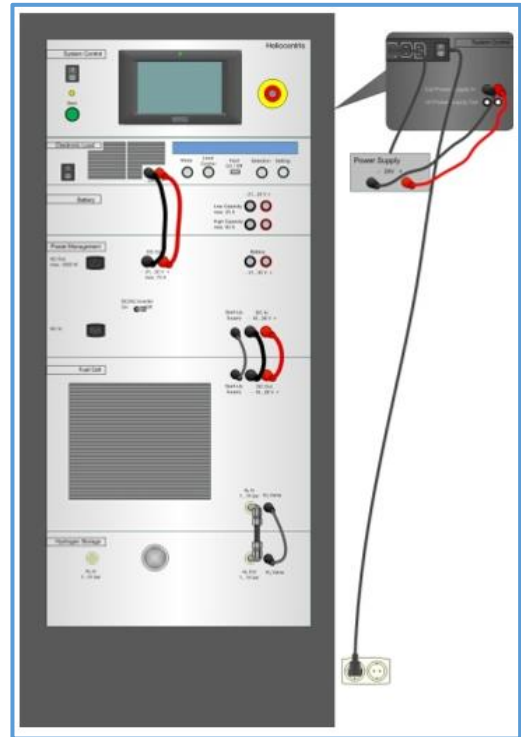
❖ Σκοπός του πειράματος

Σύγκριση της χαρακτηριστικής καμπύλης τάσης-έντασης (V-I) και της χαρακτηριστικής καμπύλης ισχύος-έντασης (P-I) του μετατροπέα DC/DC με εκείνες της μονάδας κυψελών καυσίμων.

Η συμπεριφορά λειτουργίας, οι καθοριστικοί παράγοντες και η χρήση του συστήματος αποσαφηνίζονται με τη μελέτη των χαρακτηριστικών καμπυλών τάσης-έντασης και ισχύος-έντασης του μετατροπέα και από την σύγκριση αυτών με τις αντίστοιχες της μονάδας κυψελών καυσίμου.



Σχήμα 5: Συνδεσμολογία της διάταξης



Σχήμα 6: Συνδεσμολογία της διάταξης

Πίνακας 1: Απαραίτητος εξοπλισμός

| Απαραίτητος εξοπλισμός |
|--|
| 3 κόκκινα / 3 μαύρα καλώδια |
| Καλώδιο για την αρχική παροχή ρεύματος (εκκίνηση της συσκευής) |
| Γέφυρα ζεύξης του υδρογόνου |
| Καλώδιο για την βαλβίδα υδρογόνου |
| Εξωτερική μονάδα ισχύος |

❖ **Πειραματική διαδικασία σε βήματα:**

1. Η συνδεσμολογία του πειράματος όπως φαίνεται στο Σχήμα 6.
2. Πριν την εκκίνηση της συσκευής πραγματοποιείστε έλεγχο για τυχόν διαρροές υδρογόνου, χρησιμοποιώντας τον αισθητήρα που παρέχεται από το κατασκευαστή.
3. Εκκινήστε τη συσκευή.
4. Μόλις η κυψέλη καυσίμων και ο μετατροπέας DC/DC αρχίσουν να λειτουργούν, αφαιρέστε τα καλώδια από τους συσσωρευτές (Σχήμα 7).
5. Εκκινήστε τον ηλεκτρονικό υπολογιστή και ανοίξτε το λογισμικό “*Nexa Training System Software*”.
6. Μέσα από το λογισμικό, ρυθμίστε την λειτουργία σε “Manual”.
7. Μεταβείτε στην καρτέλα DC/DC του λογισμικού.
8. Ελέγξτε αν οι παράμετροι είναι σωστοί και διορθώστε αν είναι απαραίτητο χρησιμοποιώντας τον Πίνακα 2:

Πίνακας 2 : Παράμετροι για τη διεξαγωγή του πειράματος

| Παράμετροι | Ορισμός | Αξία |
|-----------------|---|---------|
| I DC/DC In max | Μέγιστη ένταση εισόδου του μετατροπέα DC/DC. | 60 A |
| P DC/DC In max | Μέγιστη ισχύς εισόδου του μετατροπέα DC/DC. | 1,500 W |
| V DC/DC Out max | Μέγιστη τάση εξόδου του μετατροπέα DC/DC, αντιστοιχεί στην τελική τιμή της τάσης της υβριδικής λειτουργίας. | 28.1V |
| I DC/DC Out max | Μέγιστη ένταση εξόδου του μετατροπέα DC/DC. | 55 A |

9. Εκκινήστε την κυψέλη καυσίμων.
10. Εκκινήστε το μετατροπέα DC/DC.
11. Ορίστε το ηλεκτρικό φορτίο σε ρύθμιση σταθερής έντασης (CC - mode).
12. Ενεργοποιήστε την παροχή ηλεκτρικού φορτίου μέσα από το λογισμικό.
13. Αυξήστε το ηλεκτρικό φορτίο σταδιακά , χρησιμοποιώντας την μπάρα στο λογισμικό.
 - Προσοχή στην ένδειξη τιμής $V_{DC/DC Out}$. Ο μετατροπέας DC/DC δεν πρέπει να λειτουργεί σε συνθήκες έντασης κάτω των 25 A. Σε περίπτωση που συμβεί αυτό αυξήστε περαιτέρω το ηλεκτρικό φορτίο έως ότου «ακούσετε» τη μονάδα κυψελών καυσίμου να αντλεί υδρογόνο.
14. Εκκινήστε την καταγραφή δεδομένων (data acquisition), ορίζοντας το χρονικό διάστημα στο 1 δευτερόλεπτο.
 - Αποθηκεύστε τα δεδομένα σε ένα εξωτερικό μέσο αποθήκευσης, εάν είναι εφικτό, πριν από το τερματισμό του συστήματος.
15. Δημιουργείστε το παρακάτω προφίλ (load profile) για την καταγραφή δεδομένων με αυξανόμενες τιμές φορτίου (Πίνακας 3).

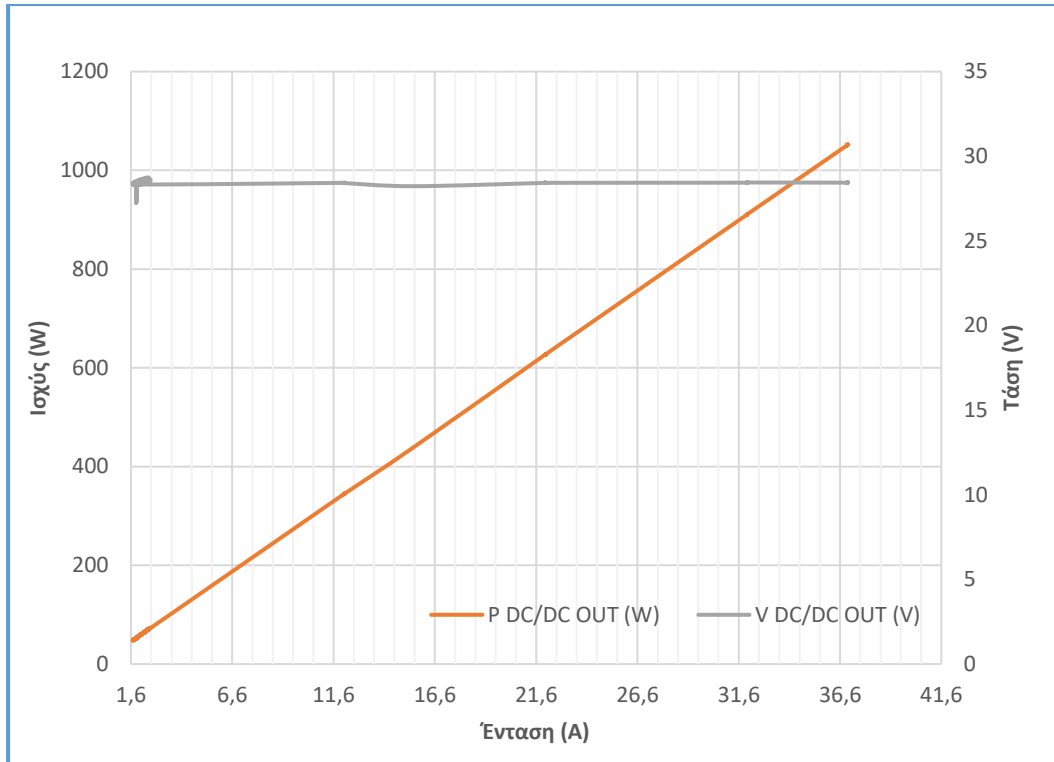
Πίνακας 3: Προφίλ με αυξανόμενο φορτίο

| Delay | Unit | Mode | Current |
|-------|------|------|---------|
| 20 | S | cc | 0 |
| 20 | S | cc | 10 |
| 20 | S | cc | 20 |
| 20 | S | cc | 30 |
| 20 | S | cc | 35 |

16. Απενεργοποιήστε τη παροχή ηλεκτρικού φορτίου.
17. Σταματήστε την καταγραφή δεδομένων.
18. Απενεργοποιήστε την κυψέλη καυσίμων και το DC/DC.
19. Μετά την ολοκλήρωση του πειράματος, τερματίστε τη λειτουργία του Συστήματος Κατάρτισης “Nexa Training System”.

❖ **Ερωτήσεις σχετικά με το πείραμα:**

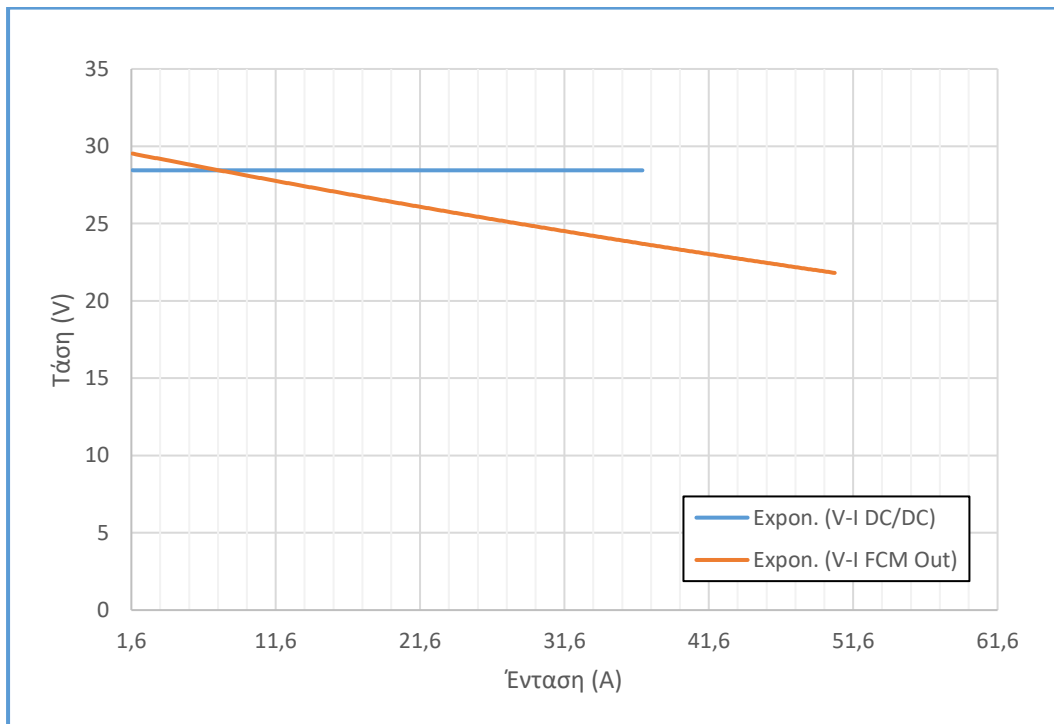
1. Αποτυπώστε τις χαρακτηριστικές καμπύλες του μετατροπέα DC/DC. Τι συμπεραίνετε; Ενδεικτική μορφή των καμπυλών παρουσιάζονται στο Σχήμα 8.
2. Συγκρίνετε τις χαρακτηριστικές καμπύλες Τάσης-Έντασης (V-I) και Ισχύος-Έντασης (P-I) του μετατροπέα DC/DC με τις αντίστοιχες της μονάδας κυψελών καυσίμων. Ενδεικτική μορφή των καμπυλών παρουσιάζονται στα Σχήματα 9 και 10.
3. Γιατί οι 2 καμπύλες ξεκινούν στα 3 A ;
4. Πώς συμβάλει ένας μετατροπέας DC/DC στη λειτουργία μίας μονάδας κυψελών καυσίμων; Μπορεί να λειτουργήσει χωρίς αυτόν;



Σχήμα 7 : Ενδεικτικές καμπύλες του μετατροπέα DC/DC

❖ Συμπέρασμα

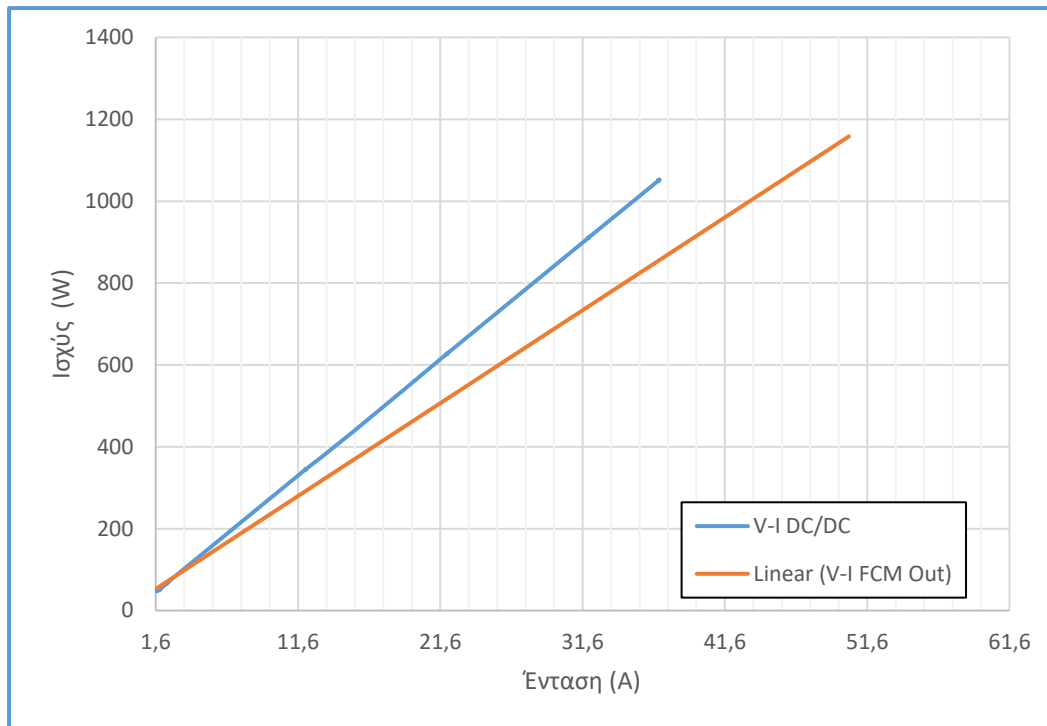
Παρατηρούμε ότι η ισχύς αυξάνεται με σταθερό ρυθμό ενώ η τάση ξεκινά από ένα σχετικά υψηλό σημείο παρουσιάζοντας διακυμάνσεις στο φάσμα μεταξύ 1 και 23 A.



Σχήμα 8 : Ενδεικτικές καμπύλες του μετατροπέα DC/DC

❖ Συμπέρασμα

Η χαρακτηριστική καμπύλη V-I του μετατροπέα DC/DC τρέχει στα επίπεδα που είναι καθορισμένα από τις παραμέτρους του DC/DC. Μόλις η τάση παρουσιάσει αύξηση άνω των 28.1 V, η παροχή ηλεκτρικού φορτίου διακόπτεται, ώστε η τάση να διατηρηθεί στη προκαθορισμένη τιμή. Στην περίπτωση της κυψέλης καυσίμων η τάση μειώνεται καθώς η τιμή της έντασης αυξάνεται.



Σχήμα 9 : Ενδεικτικές καμπύλες του μετατροπέα DC/DC

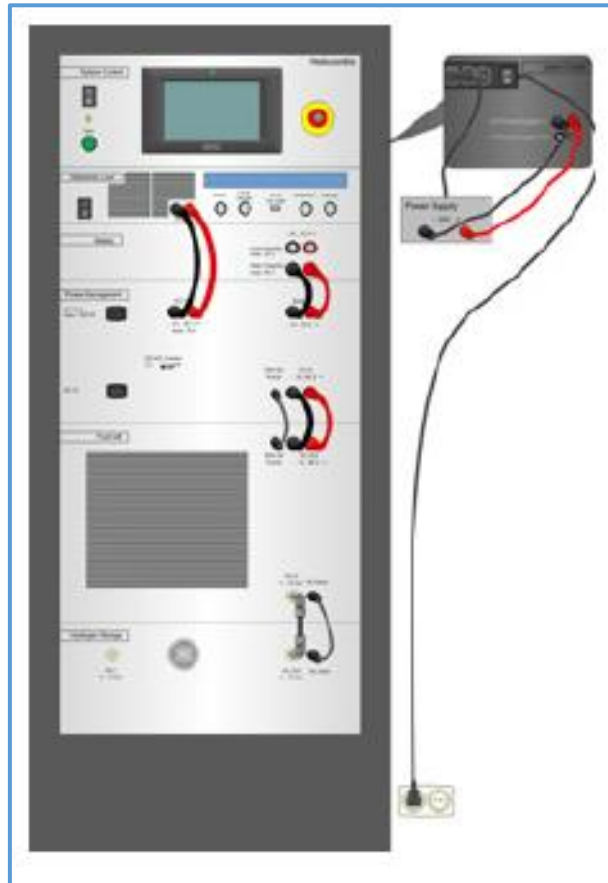
❖ Συμπέρασμα

Παρατηρούμε πως η χαρακτηριστική καμπύλη Ισχύος Έντασης ($P - I$) του συστήματος με μετατροπέα DC/DC βρίσκεται κάτω από την αντίστοιχη της μονάδας κυψελών καυσίμου. Η αυξημένη αυτή ισχύς του μετατροπέα, απαιτείται για την τροφοδοσία του ανεμιστήρα, της ηλεκτρομαγνητικής βαλβίδας και των άλλων εσωτερικών στοιχείων της μονάδας κυψελών καυσίμου.

2.2. Εργαστηριακή Άσκηση 2 : Μετατροπή ενέργειας / Βαθμός απόδοσης

❖ Σκοπός του πειράματος

Σκοπός της πειραματικής διαδικασίας είναι να εξεταστεί η επίδραση των σταδίων μετατροπής ενέργειας στον βαθμό απόδοσης της συστοιχίας, της μονάδας κυψελών καυσίμου και του μετατροπέα DC/DC. Η πορεία της συνολικής απόδοσης και της προσδιδόμενης ισχύος συγκρίνονται σύμφωνα με τα δεδομένα. Το φορτίο της κυψέλης καυσίμων καθορίζεται στη βάση αυτής της σύγκρισης.



Σχήμα 10 : Συνδεσμολογία της διάταξης

Πίνακας 4 : Απαραίτητος εξοπλισμός

| Απαραίτητος εξοπλισμός |
|---|
| 3 κόκκινα / 3 μαύρα καλώδια |
| Καλώδιο για την αρχική παροχή ρεύματος (εκκίνηση της συσκευής) |
| Γέφυρα ζεύξης του υδρογόνου |
| Καλώδιο για την βαλβίδα υδρογόνου |
| Εξωτερική μονάδα ισχύος |

❖ **Πειραματική διαδικασία σε βήματα:**

1. Η συνδεσμολογία του πειράματος όπως φαίνεται στο Σχήμα 11.
2. Πριν την εκκίνηση της συσκευής πραγματοποιείτε έλεγχο για τυχόν διαρροές υδρογόνου, χρησιμοποιώντας τον αισθητήρα που παρέχεται από το κατασκευαστή.
3. Εκκινήστε τη συσκευή.
4. Μόλις η κυψέλη καυσίμων και ο μετατροπέας DC/DC αρχίσουν να λειτουργούν, αφαιρέστε τα καλώδια από τους συσσωρευτές.
5. Εκκινήστε τον ηλεκτρονικό υπολογιστή και ανοίξτε το λογισμικό.
6. Μεταβείτε στην καρτέλα DC/DC του λογισμικού.
7. Ελέγξτε αν οι παράμετροι είναι σωστοί και διορθώστε αν είναι απαραίτητο χρησιμοποιώντας τον Πίνακα 5:

Πίνακας 5 : Παράμετροι και Ορισμοί

| Παράμετροι | Ορισμοί | Αξία |
|-----------------|---|---------|
| V DC/DC In min | Ελάχιστη ισχύς εισόδου του μετατροπέα DC/DC | 17 V |
| I DC/DC In max | Μέγιστη ένταση εισόδου του μετατροπέα DC/DC | 60 A |
| P DC/DC In max | Μέγιστη ισχύς εισόδου του μετατροπέα DC/DC | 1,500 W |
| V DC/DC Out max | Μέγιστη τάση εξόδου του μετατροπέα DC/DC, αντιστοιχεί στην τελική τιμή τάσης του hybrid mode. | 28.8 V |
| I DC/DC Out max | Μέγιστη ένταση εξόδου του μετατροπέα DC/DC | 55 A |

7. Μέσα από το λογισμικό, ρυθμίστε την λειτουργία σε “Manual”.
8. Εκκινήστε την κυψέλη καυσίμων.
9. Εκκινήστε το DC/DC.
10. Ορίστε το ηλεκτρικό φορτίο σε ρύθμιση σταθερής έντασης (CC - mode).
11. Ενεργοποιήστε την παροχή ηλεκτρικού φορτίου μέσα από το λογισμικό.
12. Δημιουργήστε το παρακάτω προφίλ (load profile) για την καταγραφή δεδομένων με αυξανόμενες τιμές φορτίου (Πίνακας 6).

Πίνακας 6: Προφίλ με αυξανόμενο φορτίο

| Delay | Unit | Mode | Current |
|-------|------|------|---------|
| 15 | s | cc | 0 |
| 15 | s | cc | 1 |
| 15 | s | cc | 2 |
| ... | ... | ... | ... |
| 15 | s | cc | 34 |
| 15 | s | cc | 35 |

13. Εκκινήστε την καταγραφή δεδομένων (data acquisition), ορίστε το χρονικό διάστημα έως 10 δευτερόλεπτα.
 - ο Αποθηκεύστε τα δεδομένα σε ένα εξωτερικό μέσο αποθήκευσης, επειδή η λειτουργία του υπολογιστή θα τερματιστεί πριν από το τέλος του πειράματος.
14. «Τρέξτε» το προφίλ.
15. Απενεργοποιήστε το ηλεκτρικό φορτίο.
16. Σταματήστε την καταγραφή δεδομένων.

17. Απενεργοποιήστε την κυψέλη καυσίμων και το DC/DC.
18. Μετά την ολοκλήρωση του πειράματος, τερματίστε τη λειτουργία του Συστήματος Κατάρτισης “Nexa Training System”.

❖ **Ερωτήσεις σχετικά με το πείραμα:**

1. Αποτυπώστε τις χαρακτηριστικές καμπύλες Τάσης-Έντασης (V-I) και της Ισχύος-Έντασης (P-I) της μονάδας κυψελών καυσίμων και του μετατροπέα DC/DC. Περιγράψτε την διαδικασία. Ενδεικτική μορφή των καμπυλών παρουσιάζονται στο Σχήμα 12.
2. Υπολογίστε τον βαθμό απόδοσης του συστήματος (n_{System}), της κυψέλης καυσίμων ($n_{FCM Out}$), της συστοιχίας (n_{Stack}) και του μετατροπέα DC/DC ($n_{DC/DC}$). Απεικονίστε τις χαρακτηριστικές καμπύλες των παραπάνω βαθμών απόδοσης με τη ροή υδρογόνου ($H_2 Flow$). Για τον υπολογισμό των παραπάνω βαθμών να χρησιμοποιηθούν οι παρακάτω σχέσεις:

$$\bullet \quad n_{System} = \frac{P_{DC Load}}{P_{H2 Inlet}}$$

$$\bullet \quad n_{DC/DC} = \frac{P_{DC Load}}{P_{FCM Out}}$$

$$\bullet \quad n_{FCM Out} = \frac{P_{FCM Out}}{P_{H2 Inlet}}$$

$$\bullet \quad n_{Stack} = \frac{P_{Stack Out}}{P_{H2 Inlet}}$$

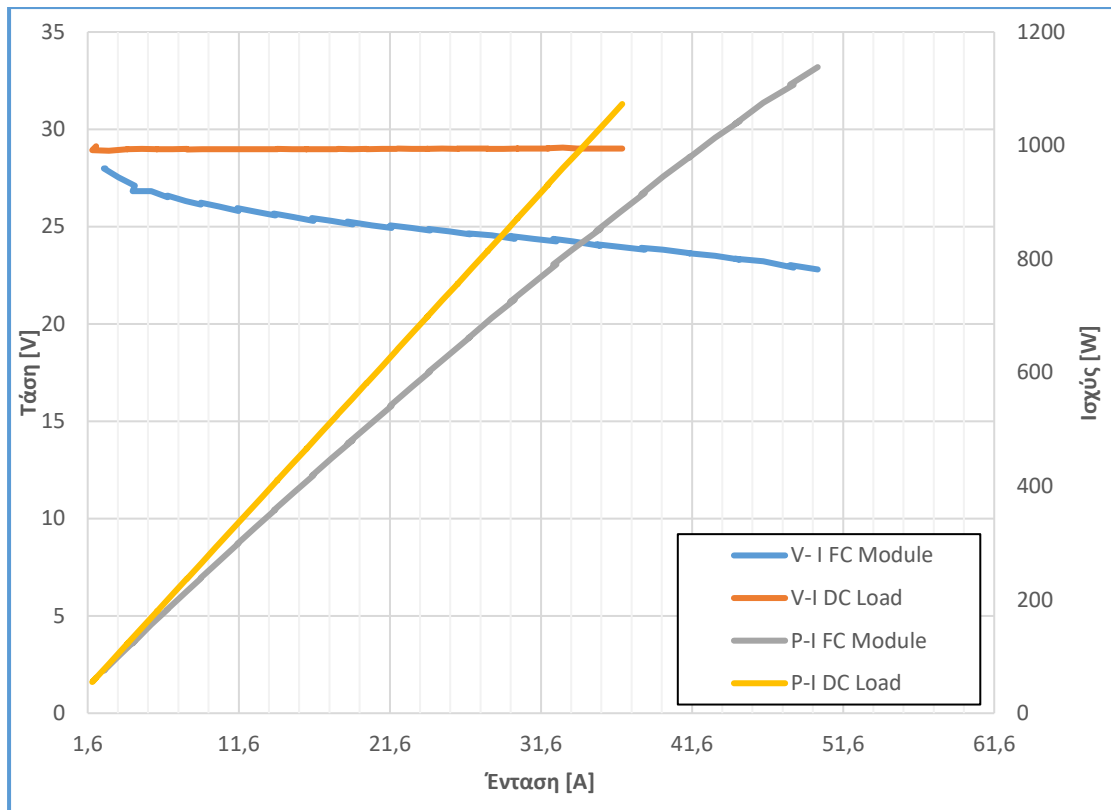
Ενδεικτική μορφή των καμπυλών παρουσιάζονται στο Σχήμα 13.

3. Συγκρίνεται την χαρακτηριστική καμπύλη της λειτουργίας του συστήματος με εκείνη της απόδοσής του. Για το σχεδιασμό της καμπύλης να χρησιμοποιηθούν οι τιμές της Έντασης του μετατροπέα DC ($I_{DC Load}$), της Ισχύς του μετατροπέα ($P_{DC Load}$) και του βαθμού απόδοσης του συστήματος. Ο τελευταίος υπολογίζεται από τη παρακάτω σχέση:

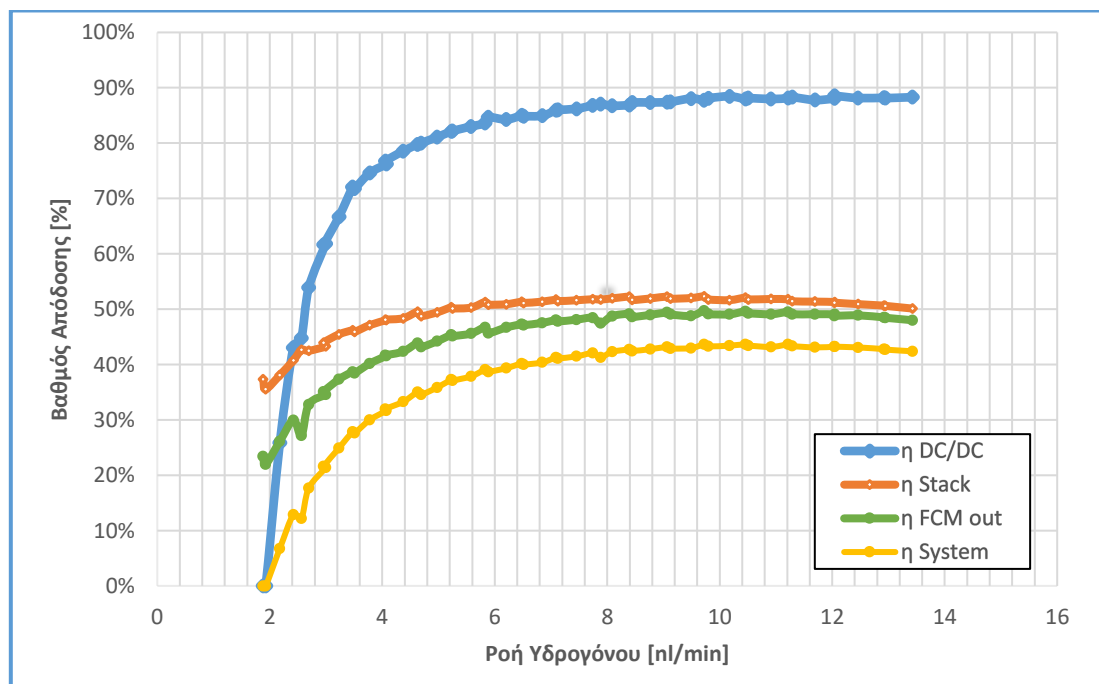
$$\bullet \quad n = \frac{P_{DC Load}}{P_{H2 Inlet}}$$

Ενδεικτική μορφή των καμπυλών παρουσιάζονται στο Σχήμα 14.

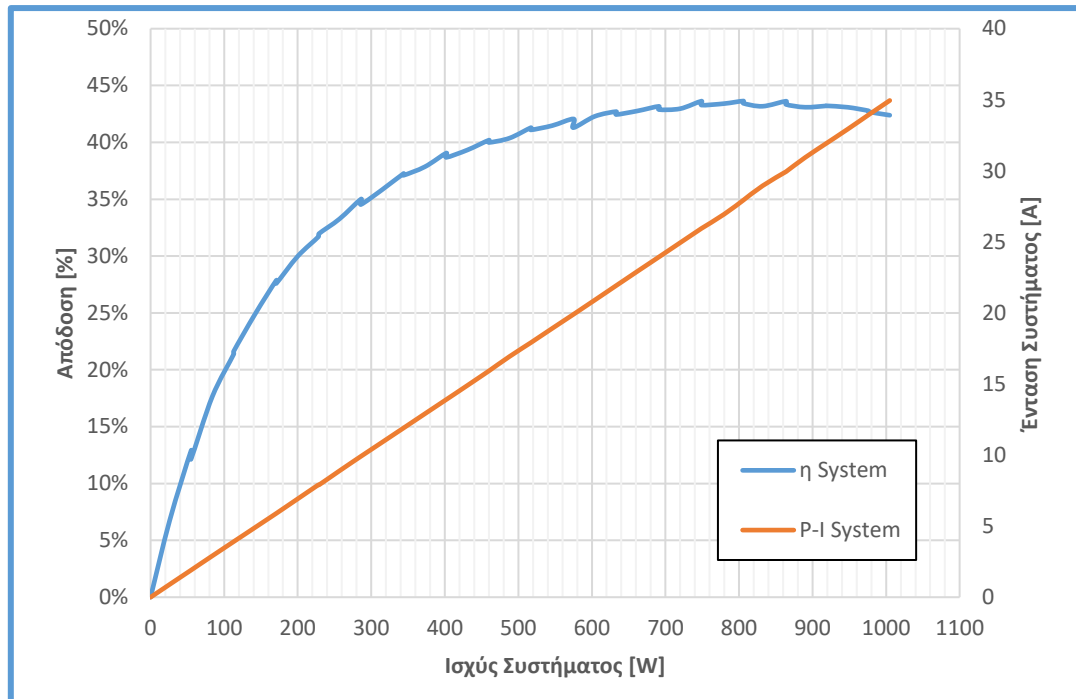
4. Από τις παραπάνω χαρακτηριστικές καμπύλες, τι συμπεράσματα μπορούν να εξαχθούν σχετικά με την απόδοση όσο αφορά τις κυψέλες καυσίμων;



Σχήμα 11 : Ενδεικτικές καμπύλες Τάσης-Έντασης και Ισχύος-Έντασης της κυψέλης καυσίμων και του μετατροπέα DC/DC



Σχήμα 12 :Βαθμός απόδοσης της συστοιχίας, της μονάδας κυψελών καυσίμων, του συστήματος και του μετατροπέα DC/DC σε σχέση με την Ροή Υδρογόνου



Σχήμα 13 : Ενδεικτικές καμπύλες λειτουργίας και απόδοση συστήματος

❖ Συμπεράσματα

Παρατηρούμε ότι η ιδανική απόδοση της μονάδας κυψελών καυσίμου παρουσιάζεται για χαμηλές τιμές της έντασης. Αντιθέτως, η μέγιστη ισχύς της μονάδας εμφανίζεται για υψηλές τιμές τάσης.

Συνεπώς, ανάλογα με την εφαρμογή, πρέπει να εκτιμηθεί εάν οι κυψέλες καυσίμων πρέπει να λειτουργήσουν στη μέγιστη απόδοση ή να αποδώσουν τη μέγιστη ισχύ. Κατά τη διάρκεια λειτουργίας σε μέγιστη απόδοση, το παρεχόμενο καύσιμο μετατρέπεται ιδανικά σε ηλεκτρική ενέργεια, όμως η ισχύς που παράγεται είναι σημαντικά μεγαλύτερη από αυτή που τελικά χρησιμοποιείται. Αυτό συνεπάγεται πως σε περίπτωση που απαιτείται η επιπλέον αυτή ισχύς, θα πρέπει να χρησιμοποιηθεί μια μεγάλη ούγκου διάταξη (άρα και κοστοβόρα). Το συμπέρασμα είναι πως μια τέτοια εφαρμογή έχει χρήση σε περιπτώσεις όπου το μέγεθος και το βάρος δεν επηρεάζουν δηλαδή είναι στατική και λειτουργεί για μεγάλο χρονικό διάστημα σε σταθερό φορτίο. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στα αντίστοιχα εργοστάσια.

Στην αντίθετη περίπτωση όπου η μονάδα κυψελών καυσίμου λειτουργεί με γνώμονα τη μέγιστη ισχύ, μία σημαντική μείωση του όγκου άρα και του κόστους μεταφοράς επιτυγχάνεται. Ωστόσο το παραπάνω καθίσταται εφικτό με ελάχιστα μειωμένη εκμετάλλευση καυσίμου. Ο συγκεκριμένος τρόπος λειτουργίας των κυψελών καυσίμου είναι επωφελής για κινητές εφαρμογές, όπου η κυψέλη πρέπει να μετακινείται. Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι τα οχήματα που λειτουργούν υδρογόνο.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] **Μιχάλης Ι. Βαλάκας**, “Χρήση Υδρογόνου ως Εναλλακτική Πηγή Ενέργειας”, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Μηχανολόγων Μηχανικών, Τομέας Θερμότητας, Διπλωματική εργασία ,2007.
- [2] Bellona Hydrogen Report. Ανάκτηση από: <http://www.interstatetraveler.us/Reference-Bibliography/Bellona-HydrogenReport.html>
- [3] Ανάκτηση από **Wikipedia**:http://en.wikipedia.org/wiki/Hydrogen_production
- [4] Ανάκτηση από **Wikipedia**:http://en.wikipedia.org/wiki/Plasma_arc_waste_disposal
- [5] Ανάκτηση από **Wikipedia**:http://en.wikipedia.org/wiki/Electrolysis_of_water
- [6] **Meng Ni, Dennis Y.C. Leung, Michael K.H. Leung, K. Sumathy**, Review article “An overview of hydrogen production from biomass”, *Fuel Processing Technology*, Vol. 87, Issue 5, Pages 461-472, May 2006