

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΚΥΠΡΟΥ
ΣΧΟΛΗ ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ ΚΑΙ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ



Μεταπτυχιακή Διατριβή

**ΤΕΧΝΟΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ
ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΥΔΡΟΓΟΝΟΥ ΚΑΙ ΧΟΡΗΓΗΣΗΣ ΤΟΥ ΩΣ
ΠΡΟΣΘΕΤΟ ΚΑΥΣΙΜΟ ΣΕ ΜΕΚ**

ΒΑΣΟΣ ΣΤΑΥΡΟΥ

Λεμεσός 2013

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΚΥΠΡΟΥ
ΣΧΟΛΗ ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ ΚΑΙ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
ΤΜΗΜΑ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

Μεταπτυχιακή Διατριβή

**ΤΕΧΝΟΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ
ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΥΔΡΟΓΟΝΟΥ ΚΑΙ ΧΟΡΗΓΗΣΗΣ ΤΟΥ ΩΣ
ΠΡΟΣΘΕΤΟ ΚΑΥΣΙΜΟ ΣΕ ΜΕΚ**

Βάσος Σταύρου
Επιβλέπων Καθηγητής

Δρ. Πέτρος Σάββα

Λεμεσός 2013

Πνευματικά δικαιώματα

Copyright © Βάσος Σταύρου, 2013

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Η έγκριση της μεταπτυχιακής διατριβής από το Τμήμα Επιστήμης και Τεχνολογίας Περιβάλλοντος του Τεχνολογικού Πανεπιστημίου Κύπρου δεν υποδηλώνει απαραίτητως και αποδοχή των απόψεων του συγγραφέα εκ μέρους του Τμήματος.

Η παρούσα Μεταπτυχιακή Διατριβή εκπονήθηκε στο πλαίσιο της μεταπτυχιακής μου φοίτησης στο Τεχνολογικό Πανεπιστήμιο Κύπρου (ΤΕΠΑΚ) με σκοπό την τεχνοοικονομική μελέτη της τεχνολογίας παραγωγής υδρογόνου η οποία κατασκευάστηκε από μέλη του επιστημονικού προσωπικού του ΤΕΠΑΚ. Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον επιβλέποντα καθηγητή της εργασίας αυτής, τον Δρ. Πέτρο Σάββα ο οποίος βρισκόταν συνεχώς στο πλευρό μου καθ' όλη τη περίοδο εκπόνησης της μελέτης αυτής, που με τις γνώσεις του και τις κατευθυντήριες γραμμές που μου έδινε με βοήθησε να φτάσω στην ολοκλήρωση του έργου αυτού.

Επίσης θέλω να ευχαριστήσω πολύ όλους τους φίλους μου που ήταν δίπλα μου και με στήριζαν σε αυτή μου την προσπάθεια να ολοκληρώσω τις σπουδές μου όπως επίσης και την γυναίκα μου Μαρία που με την υπομονή της και την αγάπη της μου έδινε και μου δίνει δύναμη για τη συνέχεια.

Ιδιαίτερες ευχαριστίες οφείλω προς τους γονείς και τον αδελφό μου που με την ακούραστη στήριξη που μου προσφέρουν όλα αυτά τα χρόνια με βοηθούν να ξεπερνάω την κάθε δυσκολία και να πετυχαίνω τους στόχους μου.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Ο άνθρωπος από τη φύση του έχει την τάση να επιζητεί λύσεις για την επιβίωσή του βελτιώνοντας παράλληλα την ποιότητα ζωής του. Η συνεχόμενη και ραγδαία ανάπτυξη της τεχνολογίας δίνει τη δυνατότητα στον άνθρωπο να έχει πληθώρα επιλογών που τον βοηθούν να αυξήσει το επίπεδο ζωής του σε ένα πιο ασφαλές και άνετο περιβάλλον. Ο κύριος παράγοντας που έχει καθοριστικό ρόλο για την δημιουργία ενός ασφαλούς και άνετου περιβάλλοντος διαβίωσης είναι η ενέργεια. Οι χώρες οι οποίες θεωρούνται πιο ανεπτυγμένες από κάποιες άλλες, παρουσιάζουν αυξημένα ποσά καταναλισκόμενης ενέργειας σε σχέση με τις υπόλοιπες. Επίσης, οι χώρες που βρίσκονται υπό ανάπτυξη παρουσιάζουν αυξητική τάση στη ζήτηση ενέργειας. Το σκηνικό αυτό έχει επιφέρει στις μέρες μας ζήτηση ενέργειας η οποία έχει φτάσει σε πρωτοφανή επίπεδα και σε συνδυασμό με τα προβλεπόμενα αποθέματα ορυκτών καυσίμων τα οποία υπολογίζονται ότι επαρκούν για τα επόμενα 50 χρόνια είναι πιθανόν να προκληθεί ενεργειακή κρίση στον πλανήτη μας.

Η αντιμετώπιση του προβλήματος αυτού είναι η ανακάλυψη νέων καυσίμων που θα αντικαταστήσουν τα συμβατικά καύσιμα. Το υδρογόνο (H_2) φαίνεται να είναι ένα από αυτά λόγω των πολλών πλεονεκτημάτων που παρουσιάζει η χρήση του ως καύσιμο. Μερικά από τα πλεονεκτήματα που έχει το υδρογόνο ως καύσιμο είναι το υψηλό ενεργειακό του περιεχόμενο, η 'καθαρή' καύση που προσφέρει και το γεγονός ότι βρίσκεται σε αφθονία στη φύση, χαρακτηριστικά που μπορούν να το καθιερώσουν ως το καύσιμο του μέλλοντος.

Σκοπός της παρούσας Μεταπτυχιακής Διατριβής (ΜΔ) είναι ο υπολογισμός αρχικά του κόστους της τεχνολογίας H_2 που χρησιμοποιήθηκε για την ηλεκτρόλυση του νερού με σκοπό την εισαγωγή μίγματος αερίου H_2 και O_2 στο θάλαμο καύσης της ηλεκτρογεννήτριας για σκοπούς βελτίωσης της καύσης, μείωσης της κατανάλωσης συμβατικού καυσίμου και της μείωσης των εκπεμπόμενων ρύπων. Βάση των αποτελεσμάτων, στη συνέχεια σκοπός είναι η πρόβλεψη του θεωρητικού κόστους της τεχνολογίας H_2 που θα τοποθετηθεί σε ΜΕΚ πλοίων και αυτοκινήτων όπου η εφαρμογή έχει σκοπό την επίτευξη συγκεκριμένης ποσότητας καυσίμου που θα εξοικονομείται και τον υπολογισμό του χρόνου κατά τον οποίο θα γίνει απόσβεση του αρχικού κόστους της τεχνολογίας H_2 . Επίσης, σύμφωνα με τη μείωση των ρύπων που επιτεύχθηκε στην ηλεκτρογεννήτρια και συγκεκριμένα του CO_2 γίνεται μια πρόβλεψη της μείωσης των παγκόσμιων εκπομπών CO_2 από τις ΜΕΚ των πλοίων και των αυτοκινήτων στην Κύπρο.

Στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται εκτενής αναφορά στο H_2 . Περιγράφονται οι φυσικές του ιδιότητες και η χημική συμπεριφορά του ως στοιχείο. Παρουσιάζεται ως ενεργειακός φορέας και γίνεται αναφορά στο ενεργειακό πρόβλημα που παρουσιάζεται στις μέρες μας. Στη συνέχεια μελετάται ως καύσιμο σε ΜΕΚ και τα χαρακτηριστικά του υπό αυτή την ιδιότητα, όπως επίσης και οι μετατροπές που

απαιτούνται στις μηχανές όταν το H_2 χρησιμοποιείται ως κύριο ή πρόσθετο καύσιμο. Ακολουθεί αναφορά στις μεθόδους παραγωγής του υδρογόνου, συγκεκριμένα περιγράφεται η ηλεκτρόλυση του νερού που έχει ως σκοπό την παραγωγή H_2 και O_2 . Κατά τη χρήση του υδρογόνου σημαντικό ρόλο έχει η ασφάλεια για την πρόληψη ατυχημάτων και σε αυτό το κεφάλαιο γίνεται αναφορά σε κάποια από τα χαρακτηριστικά του που χρήζουν προσοχή κατά τη χρήση του. Τέλος, παρουσιάζονται τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα του H_2 έναντι των συμβατικών καυσίμων.

Στο δεύτερο κεφάλαιο περιγράφονται διάφορες μέθοδοι ηλεκτρόλυσης του νερού, ο βαθμός απόδοσης της ηλεκτρόλυσης και το ηλεκτρικό δυναμικό που απαιτείται για να επιτευχθεί η ηλεκτρόλυση. Επίσης, γίνεται αναφορά σε συνδυασμένο σύστημα ηλεκτρόλυσης στο οποίο το ηλεκτρικό δυναμικό προέρχεται από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ) και στον τρόπο υπολογισμού της δαπάνης για ένα τέτοιο σύστημα, του εισοδήματος από αυτό τον συνδυασμό και του συνολικού κόστους του συστήματος. Στη συνέχεια γίνεται αναφορά στην έννοια της 'Οικονομίας του Υδρογόνου' και στην τρέχουσα κατάσταση που επικρατεί στον κόσμο όσον αφορά την παραγωγή H_2 , την αποθήκευση, τη διανομή και τη χρήση του και ακολουθεί η περιγραφή της οικονομίας του υδρογόνου όπως αυτή αναμένεται να εξελιχθεί μέχρι το 2050. Το κεφάλαιο αυτό συνεχίζεται με τη σύγκριση της ενεργειακής απόδοσης του πετρελαίου με αυτήν του H_2 και τέλος γίνεται αναφορά στις εκπομπές ρύπων κατά τη διάρκεια της καύσης στις ΜΕΚ και στη λειτουργία των καταλυτών που έχουν ως σκοπό τη μείωση των εκπεμπόμενων ρύπων από την εξάτμιση των μηχανών.

Στο τρίτο κεφάλαιο γίνεται λεπτομερής περιγραφή της τεχνολογίας H_2 όπως αυτή συναρμολογήθηκε και λειτούργησε με σκοπό την παραγωγή και την τροφοδοσία πρόσθετου καυσίμου (μίγμα H_2 και O_2) σε ηλεκτρογεννήτρια. Η τεχνολογία αυτή αποτελείται από 6 ηλεκτρολυτικά κελιά, τον μετατροπέα ηλεκτρικού ρεύματος και το δοχείο αποθήκευσης του αποσταγμένου νερού όπου βρίσκεται διαλυμένος ο ηλεκτρολύτης. Τα επιμέρους εξαρτήματα από τα οποία αποτελείται η τεχνολογία απεικονίζονται και επισημάνεται με ακρίβεια η θέση του πάνω στη συσκευή.

Στο τέταρτο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τη θεωρητική εφαρμογή της τεχνολογίας H_2 σε ΜΕΚ μεγάλης υποδύναμης οι οποίες βρίσκονται σε πλοία και σε ΜΕΚ μικρής υποδύναμης που βρίσκονται σε αυτοκίνητα. Οι υπολογισμοί στηρίχθηκαν στα αποτελέσματα που προέκυψαν από την πειραματική εφαρμογή της τεχνολογίας H_2 σε ηλεκτρογεννήτρια όπου επιτεύχθηκε 41,25% μείωση στην κατανάλωση καυσίμου και 25% μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα (CO_2). Η τεχνολογία H_2 που χρησιμοποιήθηκε στην ηλεκτρογεννήτρια έφερε 6 ηλεκτρολυτικά κελιά και το συνολικό της κόστος υπολογίστηκε ότι είναι €4210,56. Στη συνέχεια πραγματοποιήθηκε υπολογισμός του κόστους της τεχνολογίας H_2 που εγκαθίσταται θεωρητικά στις τρεις μηχανές των

πλοίων. Οι υπολογισμοί για τις απαιτήσεις των μηχανών αυτών σε H₂ για την επίτευξη της επιθυμητής εξοικονόμησης καυσίμου (41,25%) έγιναν ανάλογα με τη διαφορά δυναμικότητας των μηχανών σε σχέση με τη δυναμικότητα της ηλεκτρογεννήτριας. Ανάλογα με τις απαιτήσεις των MEK σε H₂ υπολογίστηκε το μέγεθος της τεχνολογίας H₂ για την κάθε μηχανή όπως επίσης και το κόστος της κάθε τεχνολογίας. Συγκεκριμένα μελετήθηκαν τρεις μηχανές πλοίων. Το πρώτο πλοίο είναι το A.P MLLER δυναμικότητας 74600 ίππων (HP), το δεύτερο είναι το AGIOS DIMITRIOS δυναμικότητας 69525 HP και το τρίτο είναι το ABU DHABI δυναμικότητας 46370 (HP). Το κόστος της κάθε τεχνολογίας που εφαρμόστηκε στο κάθε πλοίο ξεχωριστά υπολογίστηκε ότι είναι €54175,70, €50696,27 και €34765,47 αντίστοιχα και ο χρόνος στον οποίο θα γίνει η απόσβεση του αρχικού κόστους της τεχνολογίας σύμφωνα με την επιθυμητή εξοικονόμηση καυσίμου από το κάθε πλοίο υπολογίστηκε ότι είναι 14,77 ώρες (h), 23,03 h και 23,7 h αντίστοιχα. Το κεφάλαιο αυτό συνεχίζεται με τον υπολογισμό του κόστους της τεχνολογίας H₂ σε μικρότερης ιπποδύναμης MEK. Συγκεκριμένα, μελετήθηκαν 6 μηχανές αυτοκινήτων από τις οποίες οι τρεις είναι βενζινοκινητήρες και οι άλλες τρεις είναι πετρελαιοκινητήρες. Οι υπολογισμοί για τις απαιτήσεις των μηχανών σε H₂ για την επίτευξη της επιθυμητής εξοικονόμησης καυσίμου (41,25%) έγιναν ανάλογα με τη διαφορά δυναμικότητας των μηχανών σε σχέση με αυτήν της ηλεκτρογεννήτριας. Ανάλογα με τις απαιτήσεις των μηχανών υπολογίστηκε το μέγεθος της τεχνολογίας H₂ για την κάθε μηχανή όπως και το κόστος της κάθε τεχνολογίας. Από τη σειρά των βενζινοκίνητων οχημάτων το πρώτο είναι το smart coupe και cabrio δυναμικότητας 84 HP, το δεύτερο είναι το Sprinter Van 324 M 272 E 35 δυναμικότητας 258 HP και το τρίτο είναι το M-Class ML 63 MG δυναμικότητας 525 HP. Το κόστος της κάθε τεχνολογίας που εφαρμόστηκε σε κάθε κινητήρα ξεχωριστά υπολογίστηκε ότι είναι €169,83, €145,96 και €240,83 αντίστοιχα. Η απόσβεση του αρχικού κόστους της τεχνολογίας για το κάθε αυτοκίνητο υπολογίστηκε ανάλογα με την εξοικονόμηση καυσίμου που θεωρητικά θα επιτευχθεί και εκφράζεται σε χιλιόμετρα (km) που πρέπει να διανύσει το όχημα. Συγκεκριμένα η απόσβεση θα επιτευχθεί μετά από την κάλυψη 5938 km, 2551 km και 3495 km αντίστοιχα από το κάθε όχημα. Από τη σειρά των πετρελαιοκίνητων οχημάτων το πρώτο είναι το Citan Van. 108 CDI δυναμικότητας 75 HP, το δεύτερο είναι το A-Class A220 CDI δυναμικότητας 170 HP και το τρίτο είναι το M-Class ML 350 Blue 4 MATIC δυναμικότητας 258 HP. Το κόστος της κάθε τεχνολογίας που εφαρμόστηκε σε κάθε κινητήρα ξεχωριστά υπολογίστηκε ότι είναι €168,06, €182,26 και €196,46 αντίστοιχα και η απόσβεση του αρχικού κόστους υπολογίστηκε ότι θα επιτευχθεί μετά από την κάλυψη 6133 km, 7261 km και 4655 km αντίστοιχα για το κάθε όχημα. Τέλος, υπολογίστηκε η θεωρητική μείωση των εκπομπών CO₂ σε παγκόσμιο επίπεδο από τις θαλάσσιες μεταφορές αν όλα τα πλοία έφεραν την τεχνολογία H₂ και η θεωρητική μείωση των εκπομπών CO₂ από τον τομέα των μεταφορών στην Κύπρο αν όλα τα οχήματα έφεραν την τεχνολογία H₂. Επίσης, υπολογίστηκε και το θεωρητικό οικονομικό κέρδος της

Κύπρου από την πώληση των δικαιωμάτων εκπομπών ρύπων, λόγω της μείωσης των εκπομπών που οφείλεται στη χρήση της τεχνολογίας H_2 , σύμφωνα με το Σύστημα Εμπορίας Δικαιωμάτων Εκπομπών (ΣΕΔΕ).

Στο πέμπτο και τελευταίο κεφάλαιο της παρούσας ΜΔ παρουσιάζονται τα γενικά συμπεράσματα που προκύπτουν από τη χρήση του H_2 ως πρόσθετο καύσιμο σε ΜΕΚ όταν αυτό παράγεται μέσω της ηλεκτρόλυσης και χορηγείται απευθείας στο θάλαμο καύσης των μηχανών. Γενικά, τα αποτελέσματα που προέκυψαν είναι πολύ ενθαρρυντικά για το μέλλον όσον αφορά τα οικονομικά και τα περιβαλλοντικά οφέλη από τη χρήση της τεχνολογίας υδρογόνου σε ΜΕΚ πλοίων και αυτοκινήτων. Παρά το αρχικό φαινομενικά υψηλό κόστος της τεχνολογίας, ιδιαίτερα για τις μηχανές των πλοίων, η απόσβεση επιτυγχάνεται σε πολύ μικρό χρονικό διάστημα επιφέροντας στη συνέχεια μεγάλα οικονομικά οφέλη. Επίσης, η μείωση των εκπεμπόμενων ρύπων προκύπτει να είναι πολύ σημαντική αντιμετωπίζοντας έτσι το σημαντικό πρόβλημα των εκπομπών CO_2 από τις ΜΕΚ των πλοίων όπου ο τομέας των θαλάσσιων μεταφορών χαρακτηρίζεται ως ο πλέον ρυπογόνος τομέας σε παγκόσμιο επίπεδο. Τα θετικά αποτελέσματα που προκύπτουν από την εφαρμογή της τεχνολογίας H_2 δεν θα πρέπει να εφησυχάσουν και να τερματίσουν τη μελλοντική έρευνα για τη βελτίωση της λειτουργίας της τεχνολογίας. Στη συνέχεια του κεφαλαίου αυτού αναφέρονται μερικές εισηγήσεις για τη βελτίωση της τεχνολογίας όπως είναι η πρακτική εφαρμογή της τεχνολογίας στις ΜΕΚ για την εξαγωγή πραγματικών αποτελεσμάτων και η συνεχής μελέτη για την εξεύρεση νέων υλικών που θα μειώσουν το κόστος και θα αυξήσουν τον βαθμό απόδοσης της τεχνολογίας.