



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΑΤΡΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΚΑΙ ΑΕΡΟΝΑΥΠΗΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΟΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΚΑΙ ΣΧΕΔΙΑΣΕΩΣ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ
ΜΗΧΑΝΩΝ

ΣΠΟΥΔΑΣΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Μελέτη και σχεδιασμός υποσυστημάτων πρωτότυπης δεξαμενής υγρού υδρογόνου

Αριστοτέλης Γκεσούλης

1067340

Άγγελος Φιλιππάτος, Επίκουρος Καθηγητής

ΠΑΤΡΑ, [Ιούνιος/2024]

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η μελέτη και ο σχεδιασμός υποσυστημάτων σε μια πρωτότυπη γεμάτη δεξαμενή LH2 (Liquid Hydrogen) παρουσιάζει μια πολύπλευρη εξερεύνηση της περίπλοκης μηχανικής που απαιτείται για τη διασύνδεση της χρήσης υγρού υδρογόνου με το θαλάσσιο περιβάλλον. Αυτό το έργο διέπεται από πρότυπα ασφαλείας που περιγράφονται στον Διεθνή Κώδικα Ασφάλειας για πλοία που χρησιμοποιούν αέρια ή άλλα καύσιμα χαμηλού σημείου ανάφλεξης (IGF Code) και υπογραμμίζει τη σημασία της μηχανικής ακρίβειας για την προώθηση της χρήσης του υδρογόνου στη θάλασσα. Αρχικά αναφέρεται η τρέχουσα κατάσταση στην οποία βρίσκεται το περιβάλλον με αυξημένους ρύπους λόγω χρήσης ορυκτών καυσίμων και μια λύση που προβάλλεται είναι η στροφή του ναυτιλιακού τομέα σε εναλλακτικά καύσιμα. Από αυτά επιλέγεται το υδρογόνο και αφού συγκριθεί με καύσιμα που χρησιμοποιούνται ήδη (όπως το φυσικό αέριο και η αμμωνία) τότε γίνεται μια ανασκόπηση της βιβλιογραφίας στην χρήση του υδρογόνου ως καύσιμο με έμφαση την χρήση του σε θαλάσσιες εφαρμογές αναφέροντας παραδείγματα πλοίων τα οποία εκτελούν χρέη αποθήκευσης αλλά και χρήσης υγρού υδρογόνου.

Κεντρική θέση σε αυτή τη μελέτη είναι η ανάλυση κρυογόνων συστημάτων που είναι απαραίτητα για το χειρισμό υγρού υδρογόνου (LH2). Αυτά τα συστήματα περιλαμβάνουν μονωτικά υλικά και τεχνικές ζωτικής σημασίας για τη διατήρηση εξαιρετικά χαμηλών θερμοκρασιών, την εξασφάλιση ελάχιστου ρυθμού βρασμού και τη διατήρηση της ακεραιότητας του καυσίμου. Επιπλέον, τα υποσυστήματα που χρειάζονται για αυτή τη θαλάσσια επιχείρηση θα εμφανιστούν και θα αναλυθούν με τρόπο που να επισημαίνει με ακρίβεια τον στόχο και τη σημασία τους σε ένα τέτοιο έργο. Τα υποσυστήματα τα οποία αναλύονται σε αυτή την μελέτη είναι τα παρακάτω:

- ➔ Σταθμός αποθήκευσης (Bunker Station), για ασφαλή ανεφοδιασμό με υδρογόνο που περιέχει ειδικές φλάντζες και συστήματα παρακολούθησης της διαδικασίας.
- ➔ Χώρος σύνδεσης δεξαμενής (Tank Connection Space), ένας ειδικά διαμορφωμένος χώρος δίπλα στην δεξαμενή που περιέχει διάφορα συστήματα όπως βαλβίδες και αισθητήρες.

- ➔ Σωλήνες, ειδικά διαμορφωμένοι σωλήνες που υποστηρίζουν ακραία χαμηλές θερμοκρασίες.
- ➔ Βαλβίδες, υπεύθυνες για τον έλεγχο της ροής του υγρού υδρογόνου.
- ➔ Εναλλάκτες θερμότητας, συσκευές που στοχεύουν στην αλλαγή φάσης του υδρογόνου από υγρό σε αέριο.
- ➔ Αντλίες, ειδικά σχεδιασμένες αντλίες με στόχο την μεταφορά υγρού υδρογόνου σε διάφορα μέρη του πλοίου.
- ➔ Αισθητήρες, συσκευές που ελέγχουν διάφορες παραμέτρους όπως η θερμοκρασία και η πίεση.
- ➔ Εξαερισμός, απαραίτητη πτυχή του εξοπλισμού με στόχο την αποτροπή συγκέντρωσης αερίου υδρογόνου.
- ➔ Συστήματα ελέγχου και ασφάλειας, συστήματα με στόχο την αποτροπή κινδύνου.
- ➔ Αισθητήρες αερίου, ειδικά διαμορφωμένοι αισθητήρες που ειδοποιούν για την ύπαρξη αερίου υδρογόνου.
- ➔ Δεξαμενή, ειδικού τύπου δεξαμενή για αποθήκευση υγρού υδρογόνου με αυξημένα επίπεδα μόνωσης για ελαχιστοποίηση του ρυθμού βρασμού του υδρογόνου.
- ➔ Συσκευή δημιουργίας αζώτου, χρήση αζώτου για έλεγχο διαρροών και ασφάλειας.

Τα παραπάνω αποτελούν ένα σύνολο υποσυστημάτων τα οποία βρίσκονται μέσα σε μια εγκατάσταση υγρού υδρογόνου στον τομέα της ναυτιλίας.

Επόμενος στόχος αυτής της μελέτης είναι η δημιουργία μιας προσομοίωσης που να περιέχει μια εγκατάσταση υγρού υδρογόνου σε ένα πλοίο. Ομοίως και εδώ, έγινε μία ανασκόπηση της βιβλιογραφίας πάνω στις προσομοιώσεις που έχουν προηγηθεί στον τομέα αυτό.

Η βασική πτυχή της συγκεκριμένης μελέτης είναι μια προσομοίωση στο περιβάλλον της MATLAB Simscape που θα δημιουργηθεί για να προσομοιώσει τη συμπεριφορά ενός συστήματος καυσίμου υγρού υδρογόνου κατά τη διάρκεια διαφορετικών σεναρίων όπως η αλλαγή του φορτίου του κινητήρα μαζί με την αλλαγή διαφόρων πιέσεων και διαμέτρων των σωληνώσεων. Η γενική προϋπόθεση του μοντέλου περιέχει την μεταφορά υγρού υδρογόνου από

μια δεξαμενή σε έναν κινητήρα για καύση με την προσθήκη διάφορων βαλβίδων, σωληνώσεων, ελέγχων, αισθητήρων και διακρίνεται σε τρεις τομείς:

- ➔ Τομέας παροχής υδρογόνου, υπεύθυνος για την αποθήκευση και παροχή του καυσίμου.
- ➔ Τομέας Ελέγχου, υπεύθυνος για όλες τις λειτουργίες ελέγχου την εγκατάστασης.
- ➔ Τομέας Μεταφοράς, υπεύθυνος για την μεταφορά υδρογόνου.

Αυτό περιλαμβάνει την επεξήγηση και μοντελοποίηση διαφόρων προαναφερθέντων υποσυστημάτων όπως δεξαμενή, σωληνώσεων, αισθητήρων πίεσης, βαλβίδων και άλλων με στόχο την παραγωγή αποτελεσμάτων μέσω τεσσάρων διαγραμμάτων που αναφέρονται στο επίπεδο της στάθμης του υγρού υδρογόνου μέσα στην δεξαμενή, στον ογκομετρικό ρυθμό ροής σε διάφορα σημεία της προσομοίωσης, τον ρυθμό ροής της μάζας του υδρογόνου και την διαφορά πίεσης ανάμεσα σε συγκεκριμένα σημεία της προσομοίωσης.

Η προσομοίωση δημιουργήθηκε χρησιμοποιώντας την υγρή φάση του υδρογόνου και έχει ως διάρκεια τα τρία λεπτά. Όπως προαναφέρθηκε, αναπτύχθηκαν τρία διαφορετικά σενάρια που έχουν διαφορετικές τιμές φορτίου κινητήρα, διαμέτρου σωληνώσεως, εσωτερική πίεση δεξαμενής και πίεσης εκτόνωσης ώστε να προσομοιωθεί το μοντέλο σε συνθήκες λιμανιού και ανοικτής θαλάσσης, παρακάτω ονομάζονται τα σενάρια:

- ➔ Σενάριο 1, χαμηλό φορτίο κινητήρα με υψηλή πίεση εκτόνωσης με στόχο την μοντελοποίηση συνθηκών εντός του λιμανιού.
- ➔ Σενάριο 2, υψηλό φορτίο κινητήρα με υψηλή πίεση εκτόνωσης με στόχο την μοντελοποίηση συνθηκών ανοικτής θαλάσσης.
- ➔ Σενάριο 3, μέτριο φορτίο κινητήρα με χαμηλή πίεση εκτόνωσης, με στόχο την μοντελοποίηση συνθηκών συντήρησης και αντικατάστασης κάποιων εξαρτημάτων λόγω αλλαγής συγκεκριμένων παραμέτρων.

Το αποτέλεσμα αυτών των σεναρίων είναι η δημιουργία τριών διαφορετικών σειρών διαγραμμάτων τα οποία αντικατοπτρίζουν τις διαφορετικές τιμές παραμέτρων που έχουν τεθεί πάνω στα γραφήματα με διαφορετικές κλίσεις και μέγιστες τιμές. Στη συνέχεια τα αποτελέσματα σχολιάζονται μεταξύ τους και επεξηγούνται με στόχο την κατανόηση της

διαφοροποίησης που υπάρχει ανάμεσα τους και κατά πόσο αυτή σχετίζεται με τις παραμέτρους που έχουν αλλαχθεί.

Συμπερασματικά, η μελέτη και ο σχεδιασμός των υποσυστημάτων σε μια πρωτότυπη γεμάτη δεξαμενή LH2 περιλαμβάνει μια ολιστική προσέγγιση, ενσωματώνοντας διαφορετικούς κλάδους μηχανικής για την υλοποίηση ενός τεχνολογικά προηγμένου και λειτουργικά ισχυρού συστήματος που είναι έτοιμο να μειώσει τις εκπομπές θερμοκηπίου. Αξίζει να αναφερθεί ότι το μοντέλο που δημιουργήθηκε δεν αντικατοπτρίζει πραγματικές συνθήκες λειτουργίας διότι δημιουργήθηκε με βάση την υγρή φάση του υδρογόνου και όχι την διφασική η οποία κυριαρχεί στην πραγματικότητα.

Τέλος, αναφέρεται η ανικανότητα των ορυκτών καυσίμων να χρησιμοποιούνται με αυξημένους ρύπους και μία λύση είναι η χρήση ενός εναλλακτικού καυσίμου, του υγρού υδρογόνου. Όμως σημειώνεται ότι αφού το υδρογόνο είναι ένα εξαιρετικά επικίνδυνο υγρό-αέριο λόγω της ευφλεκτότητάς του οπότε τα μέτρα ασφαλείας πρέπει να τηρούνται ανεξαρτήτως συνθηκών και να είναι απαράβατα με στόχο την αποφυγή ατυχημάτων και την ασφαλή χρήση των εγκαταστάσεων υγρού υδρογόνου από το προσωπικό.

Λέξεις Κλειδιά

Υδρογόνο, Ανάλυση, Σχεδιασμός, Μοντελοποίηση, Υποσυστήματα ροής-ελέγχου

ΟΡΟΛΟΓΙΑ

LH2	-	Υγρό Υδρογόνο
GH2	-	Αέριο Υδρογόνο
E	kWh/kg	Ενέργεια
ED _{volumetric}	kWh/L	Ογκομετρική Ενεργειακή Πυκνότητα
P	bar	Πίεση
T	K	Θερμοκρασία
TEU	-	Μονάδα ισοδύναμης είκοσι ποδιών
LNG	-	Υγρό Φυσικό Αέριο
NH3	-	Αμμωνία