

Περίληψη

Όπως είναι ευρέως γνωστό, τα τελευταία χρόνια, οι αλλαγές στο παγκόσμιο κλίμα και η ρύπανση του περιβάλλοντος έχουν σηματοδοτήσει την αφύπνιση της παγκόσμιας επιστημονικής κοινότητας και όχι μόνο. Οι καταστροφές που έχουν προκληθεί από μεγάλης έντασης καιρικά φαινόμενα, η άνοδος της μέσης θερμοκρασίας του πλανήτη, φαινόμενα όπως η διαβρωτική όξινη βροχή, η ερημοποίηση των εδαφών λόγω παρατεταμένης ανομβρίας και ξηρασίας και το ταχύτερο από ότι είχε προβλεφθεί λιώσιμο των πάγων στους πόλους αποτελούν τις αποδείξεις του περιβαλλοντικού εγκλήματος που συντελείται στις μέρες μας. Κύριος ένοχος, η αλόγιστη χρήση των ορυκτών καυσίμων ως η εύκολη και οικονομικότερη λύση της κάλυψης των παγκόσμιων ενεργειακών αναγκών. Ως εκ τούτου, το ενεργειακό πρόβλημα στις μέρες μας εμφανίζεται οξύτερο από ποτέ. Η ενεργειακή κρίση στα τέλη του 1973, έκανε σαφές το γεγονός ότι το πετρέλαιο δεν υπάρχει σε απεριόριστες ποσότητες, και πως κάποτε, είτε το θέλουμε είτε όχι, θα τελειώσει. Στο χρόνο που ακολούθησε, άρχισαν σ' όλο τον κόσμο εντατικές προσπάθειες προς αναζήτηση εναλλακτικών λύσεων για νέες μορφές ενέργειας.

Στόχος της όλης πειραματικής διατριβής είναι η μελέτη της εξοικονόμησης του καυσίμου που χρησιμοποιείται για τη λειτουργία της ηλεκτρογεννήτριας και ο έλεγχος της αέριας ρύπανσης και κατά πόσο επιτυγχάνεται μείωσή της με την προσθήκη υδρογόνου ως πρόσθετο καύσιμο κατά την λειτουργία της ηλεκτρογεννήτριας.

Λύσεις για την αποφυγή της επερχόμενης καταστροφής υπάρχουν. Οι εναλλακτικές λύσεις έχουν μπει στο μικροσκόπιο των ερευνητών και τεράστια κονδύλια διατίθενται πλέον σε πανεπιστήμια και ερευνητικά κέντρα για την έρευνα με σκοπό την απεξάρτηση από τα ορυκτά καύσιμα. Όσες διαφωνίες και να υπάρχουν για τις μεταβατικές τεχνολογίες, όλες οι επιστημονικές απόψεις συμπίπτουν στην τελική λύση. Η «οικονομία του υδρογόνου» είναι αυτή που πιθανότατα θα διαδεχθεί την οικονομία του «μαύρου χρυσού».

Φαίνεται λοιπόν ότι το υδρογόνο, το πολύτιμο αυτό στοιχείο που αποτελεί τη βάση του σύμπαντος και υπάρχει σε αφθονία στη γη, αλλά σχεδόν πάντα ενωμένο με άλλα στοιχεία, αποτελεί μία από τις σημαντικότερες λύσεις για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών του μέλλοντος. Το υδρογόνο έχει ήδη διεισδύσει στην αγορά του αυτοκινήτου, με την άμεση χρήση του ως κύριο καύσιμο στις μηχανές εσωτερικής καύσης. Η παγκόσμια ενεργειακή κοινότητα έχει οδηγηθεί στην ευρεία χρήση του υδρογόνου για την παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος σε συστήματα κυψελών καυσίμου, με σκοπό την τροφοδοσία ηλεκτρικών κινητήρων για την κίνηση των αυτοκινήτων.

Παράλληλα, για τα πετρελαιοκίνητα οχήματα την εμφάνισή του έχει κάνει και το βιολογικό πετρέλαιο, η χρήση του οποίου στην παρούσα Π.Δ. αποτελεί καινοτομία. Το εν λόγω υγρό, το βιοντίζελ, είναι βιολογικό καύσιμο φυτικής προέλευσης, ένα από τα νέα καύσιμα στα οποία βασίζονται οι ΗΠΑ για να μειώσουν κάποτε την ενεργειακή εξάρτησή τους από τη Μέση Ανατολή. Ανύπαρκτο πριν από δέκα χρόνια, έκανε την είσοδό του στις στατιστικές του Υπουργείου Ενέργειας με την ονομασία «κίτρινο λίπος». Στην διπλωματική αυτή εργασία εξετάζεται θεωρητικά και πειραματικά η χρήση του υδρογόνου ως πρόσθετο καύσιμο στις Μηχανές Εσωτερικής Καύσης (MEK) που λειτουργούν με μείγμα πετρελαίου και βιοντίζελ σε διάφορες αναλογίες. Στόχος είναι η βελτίωση της καύσης, η μείωση της κατανάλωσης των συμβατικών καυσίμων αφού όσο περνάει ο καιρός τα αποθέματά τους μειώνονται ενώ ταυτόχρονα μειώνονται οι εκπομπές διοξειδίου του θείου (SO₂), μονοξειδίου του άνθρακα

(CO), διοξειδίου του άνθρακα (CO₂), αιωρούμενων σωματιδίων (PM) και άκαυστων υδρογονανθράκων (HCs). Το H₂ που τροφοδοτείται στη μηχανή παράγεται μέσω της διαδικασίας της ηλεκτρόλυσης του νερού και *δεν αποθηκεύεται αλλά παράγεται ανάλογα με τις ανάγκες σε καύσιμο*. Χρησιμοποιείται ως πρόσθετο καυσίμου στη μηχανή έτσι ώστε να μη χρειαστεί οι μηχανές να κατασκευαστούν από την αρχή αλλά να μπορεί να τροφοδοτείται σε υφιστάμενες μηχανές.

Το **πρώτο κεφάλαιο (Εισαγωγή)** της διπλωματικής αυτής εργασίας αναφέρεται στη μηχανή εσωτερικής καύσης, στη σημαντικότερη ίσως μηχανολογική εφαρμογή του 20ου αιώνα που έφερε την επανάσταση στις μεταφορές και έθεσε τα θεμέλια για την αειφόρο οικονομική ανάπτυξη των σύγχρονων κοινωνιών. Στο κεφάλαιο αυτό περιγράφονται οι σημαντικότεροι τύποι κινητήρων εσωτερικής καύσης, που πήραν την ονομασία τους από τους ανθρώπους που τους επινόησαν (Otto, Diesel, Wankel), και οι οποίοι καθολικά χρησιμοποιούνται σήμερα στα ατομικά και μαζικά μέσα μετακίνησης.

Στο **δεύτερο κεφάλαιο (Υδρογόνο)** επιχειρείται μια εκτενής γνωριμία με το χημικό στοιχείο υδρογόνο, παρουσιάζονται οι φυσικές και οι χημικές του ιδιότητες καθώς και οι μέθοδοι παρασκευής του, οι τρόποι αποθήκευσής του και οι χρήσεις του. Ακολούθως, διεξοδικά μελετώνται τα χαρακτηριστικά του υδρογόνου ως καύσιμο, αναλύονται οι ιδιότητες καύσης του και διερευνώνται τα προβλήματα που προκύπτουν από τη χρήση του στις μηχανές εσωτερικής καύσης. Επίσης, στοιχειοθετείται η επιλογή του ως το πιο πιθανό εναλλακτικό καύσιμο της σύγχρονης εποχής. Παρουσιάζονται κατόπιν τα πρωτότυπα οχήματα μεγάλων κατασκευαστών, που παίρνουν κίνηση από μηχανές εσωτερικής καύσης υδρογόνου.

Στο **τρίτο κεφάλαιο (Βιολογικό Πετρέλαιο)** ακολουθεί μια σύντομη ιστορική αναδρομή για το βιοντίζελ, αναφέρονται τα γενικά χαρακτηριστικά του, ενώ παράλληλα γίνεται περιγραφή της διαδικασίας παραγωγής του. Ακολουθεί εκτενής αναφορά στη χρήση του ως καύσιμο και ταυτόχρονα πραγματοποιείται σύγκριση της ενέργειας που προκύπτει από την καύση του βιοντίζελ σε σχέση με την ενέργεια που λαμβάνεται από τη χρήση συμβατικών καυσίμων (π.χ. πετρελαίου). Λόγω του γεγονότος ότι η παρούσα Π.Δ. καταπιάνεται με τη χρήση του βιολογικού πετρελαίου ως καύσιμο, παρουσιάζεται η Οδηγία 2009/28/EK του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου, της 23ης Απριλίου 2009, σχετικά με την προώθηση της χρήσης ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές.

Στο **τέταρτο κεφάλαιο (Πετρέλαιο)** εξετάζεται το πετρέλαιο το οποίο ήταν γνωστό από τα πανάρχαια χρόνια. Η ανάγκη για πετρέλαιο άρχισε να μεγαλώνει με την ανάπτυξη του αυτοκινήτου. Η ανάπτυξη της βιομηχανίας πετρελαίου υπήρξε πολύ γρήγορη παράλληλα προς τη μεγέθυνση της αυτοκινητοβιομηχανίας στον 20ο αιώνα. Το πετρέλαιο υπάρχει ως υγρό (αργό), σαν αέριο (φυσικό αέριο) ή σαν στερεό (άσφαλτος). Η παγκόσμια παραγωγή πετρελαίου θα συνεχίσει να αυξάνεται για πολλά χρόνια ακόμη. Στη σύγχρονη εποχή που ζούμε, εναλλακτικές ανανεώσιμες πηγές ενέργειας είναι επί του παρόντος σε θέση να διαδεχτούν το πετρέλαιο. Οι τρεις μεγάλες βιομηχανίες, δηλαδή η πετρελαϊκή, των αυτοκινήτων και η αεροπλοεία έχουν προσφέρει δυνατότητες αλλαγών μέσω της κίνησης, όμως έναντι ποίας τιμής.

Στο **πέμπτο κεφάλαιο (Μείγματα)** γίνεται εκτενής αναφορά στη χρήση μείγματος βιοντίζελ-πετρελαίου και υδρογόνου-βιοντίζελ-πετρελαίου που χρησιμοποιήθηκαν σε μηχανές εσωτερικής καύσεως κατά τη διάρκεια των πειραμάτων στα πλαίσια της παρούσας Π.Δ. Παράλληλα, εξετάζεται θεωρητικά η χρήση μείγματος υδρογόνου-πετρελαίου και υδρογόνου-βιοντίζελ σε μηχανές εσωτερικής καύσης.

Στο **έκτο κεφάλαιο (Πειραματικό Μέρος)** περιγράφεται η πειραματική διαδικασία που πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια της παρούσας Π.Δ. Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται οι πειραματικές συσκευές που χρησιμοποιήθηκαν για τη χρήση των μειγμάτων σε ΜΕΚ, τα όργανα που χρησιμοποιήθηκαν και η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε για τη μέτρηση της συγκέντρωσης των καυσαερίων, ενώ στο τέλος περιγράφονται τα ειδικά όργανα που χρησιμοποιήθηκαν για τις μετρήσεις των αέριων ρύπων. Για την ολοκλήρωση της πειραματικής διαδικασίας πραγματοποιήθηκαν τέσσερα πειράματα με τις ανάλογες μετρήσεις σε κάθε πείραμα.

Στο **έβδομο κεφάλαιο (Αποτελέσματα)** παρουσιάζονται και αναλύονται τα αποτελέσματα που λήφθηκαν από τα πειράματα που πραγματοποιήθηκαν. Τα αποτελέσματα αυτά αφορούν τόσο τα καυσαέρια που εξέρχονται από τη μηχανή όταν χρησιμοποιείται μόνο συμβατικό καύσιμο, όσο και όταν προστίθεται και H_2 για την καύση. Και στα τέσσερα στάδια της πειραματικής διαδικασίας γινόταν καταγραφή των απαραίτητων στοιχείων για την διερεύνηση της τυχόν βελτίωσης της λειτουργίας της ηλεκτρογεννήτριας με σκοπό την εξοικονόμηση καυσίμου και τη μείωση της ρύπανσης του αέρα από την εκπομπή αέριων ρύπων. Τα αποτελέσματα που λήφθηκαν από τα πειράματα που πραγματοποιήθηκαν συνοψίζονται ως εξής: η συγκέντρωση του CO στην έξοδο όταν προστέθηκε και H_2 για καύση στην ηλεκτρογεννήτρια μειώθηκε. Επίσης, κατά τη μείωση της συγκέντρωσης του βιοντίζελ στο μείγμα καυσίμου παρουσιάζεται μεγαλύτερη μείωση της συγκέντρωσης του μονοξειδίου του άνθρακα (CO). Με την προσθήκη υδρογόνου επιτυγχάνεται πιο τέλεια καύση του μείγματος με αποτέλεσμα να μειώνεται και η κατανάλωση αλλά και οι εκπομπές των αέριων ρύπων. Κατόπιν, η αύξηση της συγκέντρωσης του μονοξειδίου του αζώτου (NO) και των οξειδίων του αζώτου (NO_x) στα καυσαέρια στο σημείο εξόδου τους στην ηλεκτρογεννήτρια οφείλεται στο ότι με την προσθήκη του υδρογόνου επιτεύχθηκε καλύτερη καύση του μείγματος στο θάλαμο καύσης της ηλεκτρογεννήτριας με μεγαλύτερες ποσότητες οξυγόνου. Επίσης κατά την μείωση της συγκέντρωσης του βιοντίζελ στο μείγμα καυσίμου παρουσιάζεται μεγαλύτερη αύξηση της συγκέντρωσης του οξειδίου του αζώτου (NO) και των οξειδίων του αζώτου (NO_x) για το λόγω του ότι το βιοντίζελ περιέχει περισσότερο οξυγόνο και σε μικρότερες συγκεντρώσεις καίγεται περισσότερος ατμοσφαιρικός αέρας.

Τέλος, στο **όγδοο κεφάλαιο (Συμπεράσματα)** παρατίθενται τα γενικά συμπεράσματα που προκύπτουν από την παρούσα Π.Δ. και γίνεται μια περιληπτική αναφορά σε τεχνικές που μπορούν συνδυαστούν με τη διαδικασία της ηλεκτρόλυσης του νερού και της καύσης του H_2 σε ΜΕΚ έτσι ώστε να βελτιωθούν στο μέλλον. Ολοκληρώνοντας την παρούσα Π.Δ. εξάγεται το συμπέρασμα ότι το H_2 είναι το καύσιμο του μέλλοντος αφού υπάρχει σε αφθονία στη φύση και επιπλέον δεν επιβαρύνει την ατμόσφαιρα με επιβλαβείς ρύπους που σήμερα δημιουργούν πληθώρα περιβαλλοντικών προβλημάτων. Όπως διαπιστώνεται και από τα αποτελέσματα που εξάγονται μέσω των πειραμάτων που πραγματοποιήθηκαν, το H_2 μπορεί επίσης να εξοικονομήσει μεγάλα ποσά συμβατικών καυσίμων γεγονός το οποίο οδηγεί σε ταυτόχρονη εξοικονόμηση οικονομικών πόρων.

Abstract

In recent years, as it is well known, the changes in the global climate and the environmental pollution have awaked the global scientific community and not only. Damages resulting from the intensity of extreme weather events, the rise in average global temperature, the corrosive effect of acid rain, desertification issues and soil exposure due to prolonged drought periods and the fact that the polar ice caps are melting faster than predicted, are the evidences of the environmental crime taking place nowadays. The main culprit of this environmental crime appears to be the excessive use of fossil fuels as an easy and economical solution to meet the world's energy needs. The energy crisis of 1973 led to the deterioration of energy problems. Due to the energy problem which is even more intense today and the reserves of the fossil fuels that are expected to be exhausted within the next years, people should turn their attention to other energy sources or carries.

There are solutions to avoid the impending environmental doom. Researches put already the alternative solutions under the microscope and now huge sums of money are being lend to universities and research centers on research aimed to become truly independent of the fossil fuels. Alongside the transitional technologies where disagreement exists, all scientists agree on the same solution. The "hydrogen economy" is the most likely to succeed the current one, the economy of "black gold".

It appears, therefore, that hydrogen, which is the basis of the universe and which is abundant in nature but bound to other molecules, is one of the most popular candidates to meet the energy demand of the global community.

Hydrogen has already penetrated in the automotive market, as a main fuel in Internal Combustion Engines (ICE). Hydrogen is in widespread use by the global energy community. In fuel-cell conversion, the hydrogen is turned into electricity through fuel cells to power the motors.

Moreover, for diesel engines and vehicles, biodiesel has done its emergence, the use of which is an innovation in the present Thesis. Biodiesel is a biofuel that is derived from biological materials, such as plants and is one of the new fuels that the U.S. based on that could one day reduce its energy dependence on the Middle East. Biodiesel, that has not even existed ten years ago, has been presented to the U.S. Department of Energy statistics called "yellow grease".

In this thesis is examined theoretically and experimentally the use of hydrogen as a fuel additive in Internal Combustion Engines (ICE) operating with a mixture of diesel and biodiesel in different proportions. The purpose is to improve combustion, reduce consumption of fossil fuels and simultaneously reduce emissions of sulfur dioxide (SO₂), carbon monoxide (CO), carbon dioxide (CO₂), particulate matter (PM) and unburned hydrocarbons (HCs). Hydrogen is generated through the electrolysis of water and is *not stored* but produced on demand. Hydrogen is used in the engine as a fuel additive so the engines do not have to be built from scratch, but it can be fed into existing engines.

The **first chapter (Introduction)** presents an overview of the Internal Combustion Engine (ICE), the most significant engineering application of the 20th century who has revolutionized transportation and laid out the foundations of a sustainable economic growth of the modern states. A description is made to the major types of internal combustion engines, which took

their names from the people who have invented them (Otto, Diesel, Wankel), and which are universally used, today, in individual and collective transport.

The **second chapter (Hydrogen)** includes comprehensive references of hydrogen. An overview of the characteristics focusing on its physical and chemical properties is presented. Moreover, a brief presentation of the methods used to produce and storage the H₂ and its uses are mentioned. An important aspect is then studied concerning the comprehensive references of the use of hydrogen as a fuel, the combustion properties of hydrogen and the problems arising from its use in internal combustion engines. The hydrogen is considered to be the major renewable energy source which can alleviate the energy problem nowadays. The original vehicles of large manufacturers which are powered by hydrogen internal combustion engines are mentioned at the end of this chapter.

The **third chapter (Biodiesel)** is a brief reference to the history of biodiesel. This chapter is also a report on biodiesel's general characteristics, methods of production and production process. An extensive reference is made to its use as fuel and to a comparison of the energy during combustion of biodiesel and conventional oil. Thus, an overview of the regulations for the use of biodiesel as a fuel (Renewable Energy Directive (2009/28/EC) of the European Parliament and of the Council of 23th April 2009) concerning the promotion of renewable energy use is been made.

The **fourth chapter (Diesel)** is a report on diesel which has been known since ancient times. Diesel has started to be necessary in our lives when vehicles development started to increase. The development of the diesel industry has been very rapid, parallel to the growth of the automotive industry in the 20th century. The diesel can be found as a liquid (crude) as a gas (natural gas) or as solid (asphalt). The global diesel production will continue to grow in the coming years. Nowadays, renewable energy sources can fully replace fossil fuels, as diesel. The three major industries, namely the diesel, automotive and aviation, have been offering potential changes through transportation, but against what price?

The **fifth chapter (Mixtures)** is an extensive reference to the use and combustion of biodiesel-diesel and hydrogen-biodiesel-diesel, mixtures which had been used in internal combustion engines during our experiments. At the same time, the use of hydrogen-diesel and hydrogen-biodiesel in internal combustion engines is theoretically examines.

The **sixth chapter (Experimental Part)** includes a description of the experimental procedure followed in this thesis. In this chapter the experimental apparatus used for internal combustion engines is presented. The instruments used and the methodology followed for the measurement of the concentration gaseous emissions, temperature and fuel consumption are mentioned. In order to performing the experiments, four experiments were performed, while measurements have been taken from each experiment.

The **seventh chapter (Results)** presents and analyzes the results obtained from the experiments carried out. The results obtained concerned the use of conventional fuel and hydrogen fuel mixture. During the experimental process, measurements conducted concern the temperature of the engine and the conventional fuel consumption and the concentration of gaseous emissions. The results obtained from the aforementioned measurements are summarized as followed: the concentration of CO decreased when H₂ was added in the boiler and electrical generator respectively. Also, the reduction of the concentration of biodiesel in the fuel mixture decreased the concentration of carbon monoxide (CO). That happened because the biodiesel

occurs difficulties in the burning of the mixture, creating an incomplete combustion in the combustion chamber. The decrease of consumption and air pollutants is achieved after adding hydrogen. On the contrary, the concentration of NO_x was found to be increased for the burner and the electrical generator respectively when H₂ was added as a fuel. Also, the reduction of biodiesel in the fuel mixture can increase the concentration of nitric oxide (NO) and nitrogen oxides (NO_x), because the biodiesel occurs difficulties in the burning of the mixture, creating an incomplete combustion in the combustion chamber, so after its reduction is achieved a better combustion.

Finally, the **eighth chapter (Conclusions)** remarks the general views and conclusions resulting from this thesis as well as a summary of techniques that can combine the process of water electrolysis with hydrogen combustion in internal combustion engines in order to achieve optimization. The conclusion that can be easily derived is that H₂ is the fuel of the future since it is abundant and does not burden the atmosphere with harmful pollutants that cause many environmental problems. As seen from the results obtained, H₂ can reduce pollutants to acceptable levels and is effectively able to replace the conventional fuels used for energy production.