



**Universitatea Tehnică a Moldovei**

**EFICIENȚA IMPLEMENTĂRII COMBUSTIBILULUI PUR  
HIDROGEN ÎN MOTOARELOR CU ARDERE INTERNĂ ȘI  
DETERMINAREA FIABILITĂȚII ÎN EXPLOATAREA  
AUTOVEHICULELOR**

**Student: Mihalachi Dumitru**

**Conducător:  
conf. univ., dr., Novorojdin Dumitru**

**Chișinău – 2023**

**MINISTERUL EDUCAȚIEI, CULTURII ȘI CERCETĂRII AL REPUBLICII MOLDOVA**

**Universitatea Tehnică a Moldovei  
Facultatea Inginerie Mecanică, Industrială și Transporturi  
Departamentul Transporturi**

**Admis la susținere**

**Șef departament:**

\_\_\_\_\_ 2023  
„—”

## **Tema tezei de master**

**Eficiența implementării combustibilului pur Hidrogen în motoarelor cu ardere internă și determinarea fiabilității în exploatarea autovehiculelor**

Student:	Mihalachi Dumitru, grupa
Conducător:	Novorojdin Dumitru, conf. univ, dr
Consultant:	Nume Prenume, titlul științifico-didactic, titlul științific
Consultant:	Nume Prenume, titlul științifico-didactic, titlul științific
Recenzent:	Nume Prenume, titlul științifico-didactic, titlul științific

**Chișinău – 2023**

## ADNOTARE

Tema tezei de master: „**Eficiența implementării combustibilului pur Hidrogen în motoarelor cu ardere internă și determinarea fiabilității în exploatarea autovehiculelor**”

1. Proiectul este îndeplinit la departamentul Transporturi
2. Autorul tezei de master: Mihalachi Dumitru
3. Conducător științific: conf. univ., dr., Novorojdin Dumitru,
4. Textul adnotării:

În teza de master se prezintă situația energetică mondială și posibilele soluții de ieșire din criza de energie ce se prefigurează, punându-se în evidență necesitatea și oportunitatea adoptării unei economii pe bază de hidrogen. Se ar define „economia hidrogenului” și se sar prezinta progresele tehnologice efectuate în realizarea infrastructurii acesteia.

Teza urmărește influența utilizării adaosurilor de hidrogen în benzină la un motor cu aprindere prin scânteie.

Teza de master este formată din patru capitole: în primul capitol s-a analizat hidrogenul în calitate de combustibil alternativ pentru motoarele cu ardere internă; în al doilea capitol s-a analizat impedimentele implementării hidrogenului în motoarele cu ardere internă; capitolul trei este consacrat studiului soluțiilor constructiv-funcționale ale motoarelor alimentate cu hidrogen; în capitolul patru a fost efectuat studiul și cercetările asupra procesului de funcționare a motoarelor termice alimentate cu hidrogen.

Utilizarea hidrogenului a influențat viteza de propagare a flăcării (exprimată prin durata de ardere), cantitatea de căldura realizată prin ardere și compoziția gazelor de ardere.

S-a urmărit comportamentul motorului la un exces de aer stoichiometric plus 2 variante de amestecuri sărace ( $\lambda$  1.5 și 2.0). La aceste excese de aer, caracterizate prin posibilitatea reducerii emisiilor de oxizi de azot, presiunea medie indicată scade la fel ca și temperatura din cilindru.

Tema tezei de master se încadrează în actualele tendințe referitor la identificarea combustibililor alternativi și poluarea mediului ce este produsă de MAI a vehiculelor ce are efecte semnificative asupra calității aerului, a stării de sănătate a populației și a echilibrului ecosistemelor, contribuind la intensificarea încălzirii globale. Lucrarea prezintă aspecte referitor la impactul asupra eficienței economice și ecologice a transportului auto, infrastructurii rutiere, industriei producătoare de vehicule precum și a pieselor componente, precum și de caracteristicile calității carburanților.



## ANNOTATION

The theme of the project: " The efficiency of the implementation of pure Hydrogen fuel in internal combustion engines and the determination of reliability in the operation of motor vehicles"

1. The project is carried out at the Department of " Transports ".
2. Project author: Mihalachi Dumitru
3. Scientific adviser: PhD in Technical Sciences, Associate Professor Novorojdin Dumitru,
4. Annotation text:

The master's thesis presents the global energy situation and the possible solutions to the looming energy crisis, highlighting the necessity and opportunity of adopting a hydrogen-based economy. The "hydrogen economy" would be defined and the technological progress made in the realization of its infrastructure would be presented.

The thesis traces the influence of the use of hydrogen additives in gasoline in a spark ignition engine.

The master's thesis consists of four chapters: in the first chapter, hydrogen was analyzed as an alternative fuel for internal combustion engines; in the second chapter, the impediments to the implementation of hydrogen in internal combustion engines were analyzed; the third chapter is dedicated to the study of the constructive-functional solutions of hydrogen powered engines; in the fourth chapter, the study and researches on the operation process of hydrogen fueled thermal engines were carried out.

The use of hydrogen influenced the rate of flame propagation (expressed by burning time), the amount of heat produced by burning, and the composition of the flue gases.

The behavior of the engine was followed at a stoichiometric excess of air plus 2 variants of lean mixtures ( $\lambda$  1.5 and 2.0). With these air excesses, characterized by the possibility of reducing nitrogen oxide emissions, the indicated average pressure drops as well as the temperature in the cylinder.

The theme of the master's thesis falls within the current trends regarding the identification of alternative fuels and the environmental pollution produced by the MAI of vehicles that has significant effects on air quality, the health of the population and the balance of ecosystems, contributing to the intensification of global warming. The paper presents aspects related to the impact on the economic and ecological efficiency of motor transport, road infrastructure, the vehicle manufacturing industry as well as component parts, as well as the fuel quality characteristics.

## CUPRINS

ADNOTARE.....	3
ANNOTATION .....	4
CUPRINS.....	5
LISTA FIGURILOR ȘI TABELELOR.....	6
INTRODUCERE.....	8
<b>1. HIDROGENUL ÎN CALITATE DE COMBUSTIBIL ALTERNATIV PENTRU MOTOARELE CU ARDERE INTERNĂ .....</b>	<b>10</b>
1.1. Structura consumului de resurse energetice și energie în conformitate cu balanța energetică .....	10
1.2. Utilizarea hidrogenului în transportul auto .....	12
1.3. Motoarele alimentate cu hidrogen.....	13
1.4. Motoarele alimentate cu amestec hidrogen-benzină .....	14
1.5. Producerea hidrogenului .....	15
1.6. Stocarea, transportul, și distribuția hidrogenului.....	20
<b>2. IMPEDIMENTELE IMPLEMENTĂRII HIDROGENULUI ÎN MOTOARELE CU ARDERE INTERNĂ .....</b>	<b>23</b>
2.1. Automobilele cu motoare termice alimentate cu hidrogen .....	23
2.2. Factorii ecologici în producția de hidrogen .....	24
2.3. Eficiență energetică a hidrogenului.....	25
2.4. Infrastructura de încărcare cu hidrogen .....	25
2.5. Siguranța în utilizarea hidrogenului .....	26
2.6. Realizarea automobilelor pe plan mondial.....	27
<b>3. STUDII LA SOLUȚII CONSTRUCTIV-FUNCȚIONALE ALE MOTOARELOR ALIMENTATE CU HIDROGEN .....</b>	<b>29</b>
3.1. Exploatarea la maximum a hidrogenului .....	29
3.2. Analiza proprietarilor fizico-chimice ale hidrogenului .....	30
3.3. Influența utilizării hidrogenului asupra caracteristicilor motorului cu ardere internă...33	
3.4. Sisteme de stocare a hidrogenului .....	33
3.5. Procesul de producere hidrogenului la bordul vehiculului.....	38
3.6. Procesul de formare a amestecului.....	39
<b>4. STUDIUL PROCESULUI DE FUNCȚIONARE A MOTOARELOR TERMICE ALIMENTATE CU HIDROGEN .....</b>	<b>41</b>
4.1. Generațiile de motoare alimentate cu hidrogen .....	41

<b>4.2. Aspecte privind utilizarea hidrogenului în motoarele cu ardere internă .....</b>	<b>42</b>
<b>4.2.1 Arderea anormala.....</b>	<b>42</b>
<b>4.3. Formarea amestecului aer – hidrogen pentru alimentarea MAI .....</b>	<b>44</b>
<b>4.4. Controlul sarcinii motorului alimentat cu hidrogen.....</b>	<b>46</b>
<b>4.5. Simularea proceselor termo-gazo-dinamice.....</b>	<b>49</b>
<b>4.5 .Avantajele și dezavantajele motoarelor exploatare cu hidrogen .....</b>	<b>55</b>
<b>CONCLUZII ȘI RECOMANDĂRI.....</b>	<b>57</b>
<b>BIBLIOGRAFIE .....</b>	<b>59</b>

## INTRODUCERE

Hidrogenul nu e o sursă nouă de energie. A fost utilizat pe scara largă de mai bine de un secol și este acum este recunoscut ca sursă de energie viabilă pentru automobile, cu potențialul de a elimina emisiile de carbon și de a reduce dependentă de rezervele mondiale tot mai reduse de combustibili pe bază de petrol.

Hidrogenul (H) există pretutindeni în jurul nostru și este cel mai frecvent atom din univers. Totuși, se găsește întotdeauna legat de alte elemente, cum ar fi oxigenul din apa (H<sub>2</sub>O). Asta înseamnă că, pentru a produce hidrogen H<sub>2</sub> pur, trebuie să găsim modalități de a-l izola. Există o mulțime de resurse naturale pe care le putem folosi pentru a face acest lucru, inclusiv utilizarea energiei regenerabile, cum ar fi energia eoliană și solară.

Hidrogenul este un mijloc curat, eficient de producere a energiei electrice, ce nu este vulnerabil în ce privește fluctuațiile aprovizionării. Pe lângă faptul că nu generează emisii de CO<sub>2</sub> atunci când este utilizat, combustibilul pe baza de hidrogen are și o densitate de energie mai mare decât bateriile electrice și este ușor de transportat și depozitat. Poate fi folosit nu numai pentru alimentarea autovehiculelor – nu doar pentru automobile private, dar și pentru autobuze, taxiuri, motostivuitoare și altele – dar și pentru locuințe.

În plin proces de electrificare, industria auto încearcă să găsească o alternativă la mașinile care folosesc baterii încărcate în timpul deplasării sau la priză și problemele acestora. Toyota, Hyundai, Honda sau BMW, sunt doar câțiva dintre producătorii care inovează în propulsia cu hidrogen.

De ani buni industria auto încearcă din răspuțeri să răspundă cerințelor de reducere a emisiilor de gaze cu efect de seră. Forțați de reglementările tot mai stricte impuse de guvernele din întreaga lume, producătorii mizează tot mai puternic pe mașinile alimentate cu energie electrică, iar noul plan „Fit for 55” prezentat de Comisia Europeană are un rol important în accelerarea acestui fenomen.

Cu toate acestea, încă de la prezentarea acestui plan ambițios, mari companii auto au acuzat lipsa susținerii unor alternative. Iar una dintre acestea este deplasarea pe bază de hidrogen.

Majoritatea celor implicați în dezvoltarea modelelor cu hidrogen văd această tehnologie având o utilitate crescută în zona automobilelor mari și grele. Cum un vehicul dotat cu baterii consumă mai multă energie odată cu creșterea greutateii, iar pachetele de baterii se pot dovedi insuficiente pentru a parcurge distanțe rezonabile, hidrogenul pare soluția optimă pentru acestea. În plus, Fuel Cell Electric Vehicles (FCEV) au nevoie de un timp de încărcare mult mai redus decât cel al automobilelor electrice.

Într-un studiu realizat împreună cu PwC și U.S. Electric Power Research Institute și dat publicității la sfârșitul lui iulie 2021, WEC notează că hidrogenul cu conținut scăzut de carbon nu este acum „competitiv din punct de vedere al costurilor cu alte surse de energie în majoritatea



aplicațiilor și locațiilor”. Situația este puțin probabil să se schimbe dacă nu va exista „un sprijin semnificativ pentru reducerea decalajului de preț”.

Descris de Agenția Internațională pentru Energie (IEA) ca „purtător de energie versatil”, hidrogenul are o gamă variată de aplicații și poate fi implementat în sectoare precum industria și transportul.

Sectorul producției și deplasării cu hidrogen pare a fi la o răscruce de drumuri. Raportul WEC susține că tehnologia hidrogenului se confruntă cu o „problemă a oului și a găinii” legată de cerere și ofertă. În timp ce producătorii de hidrogen acuză lipsa cererii pentru că nu sunt pe șosele suficiente vehicule, constructorii de mașini susțin că nu pot vinde mașini dacă nu există infrastructură. Este interesant de observat că aceeași problemă există, la un alt nivel, și în privința mașinilor 100% electrice (BEV).

Utilizarea în creștere a hidrogenului pentru generarea de electricitate, căldură, precum și în transporturi și industrie ar putea asigura o cincime din reducerea emisiilor de dioxid de carbon necesară pentru limitarea încălzirii globale la un nivel sigur, până în 2050.

Utilizarea hidrogenului în transporturi, generarea de energie, stocarea de energie, industrie, încălzire și electricitate ar putea reduce emisiile anuale de carbon cu 6 miliarde de tone, până în 2050.

Aproximativ cu 20% ar contribui la reducerea de emisii de carbon necesară pentru limitarea încălzirii globale la 2 grade Celsius în acest secol. Pentru a respecta limita de 2 grade convenită la Paris în 2015, națiunile lumii trebuie să reducă emisiile de carbon cu 60% până în 2050. Unul din 12 vehicule comercializate în California, Germania și Japonia vor avea motoare bazate pe hidrogen, până în 2030.

Până în 2050, hidrogenul ar putea alimenta 400 de milioane de automobile, 15-20 de milioane de camioane, aproximativ 5 milioane de autobuze, un sfert dintre navele de pasageri și o cincime din liniile feroviare neelectrificate, dar și unele avioane și nave de transport de mărfuri. Atingerea acestor obiective va necesita investiții de 280 de milioane de dolari până în 2030.

Automobilele alimentate cu hidrogen se încarcă în 5 minute și pot parcurge până la 650 de kilometri cu un rezervor. Totodată, producția scumpă sau poluantă a hidrogenului și pierderile de energie până la pompa de alimentare puțin împiedică adopția în masă a acestora.

În teza de master se va efectua studiul eficienței a implementării Hidrogenului în motoarelor cu ardere internă și precum și determinarea fiabilității în exploatare automobilelor.

## BIBLIOGRAFIE

1. M. Fichter, Hydrogen Technology, Chapter 18, Scientific Scope, (2009)
2. R. Crețu, A. Kellenberger, M. Medeleanu, N. Vaszilcsin, Int. J. of Electrochemical Science, 9, (2014), 4465-4477
3. C. Vaduva, N. Vaszilcsin, A. Kellenberger, M. Medeleanu, Int. J. Hydrogen Energy, 36, (2011), 6994-7001
4. „Scurt studiu asupra combustibililor pentru automobile. Privire perspectivă la alternativele ecologice ale combustibililor fosili”, Universitatea din Craiova, Lect. univ. dr. Ilie Adrian Barbu și Lect. univ. dr. Bischin Robert;
5. Ask A Scientist - Chemistry Archive, Hoffman Apparatus  
<http://www.newton.dep.anl.gov/askasci/chem00/chem00891.htm>, 2011.;
6. van der Steen, M. Gaseous fuels: past experience and future expectations, TNO Paper VM9608, 1996.
7. Crețu, A. Kellenberger, N. Vaszilcsin, Fourth Regional Symposium on Electrochemistry South-East Europe, Liubliana, Slovenia, 2013.
8. Hollemans, B., Conti, L., de Kok, P. Propane the "clean" fuel as the next century for light and heavy duty vehicles. TNO Paper VM9504, 1995.
9. Novorojdin D., Autovehicule, Chișinău. Ed. Print-Caro, 2013.-244 p.
10. Directive 2006/40/EC of the European Parliament and of the Council of 17 May 2006 relating to emissions from air conditioning in motor vehicles and amending Council Directive 70/156/EEC.
11. New Portable Energy Source.  
<http://www.sciencedaily.com/releases/2009/03/090330111257.htm>, 2011.;
12. Comparative study on the differences between the EU and US legislation on emissions in the automotive sector, Directorate-general for internal policies, Policy Department, European Parliament;
13. Kessel, Germany – Oil/Fuel and Coalescence Separators;
14. Horn GMBH & CO. KG, D-Flesnsburg – Auto Air II-K;
15. PetroTechnik Ltd., England – Universal Petrol Pipe;
16. Tankanlagen Salzkotten GMBH, Germany – Modular Petrol Dispenser mit Schlauch-Kolumne;
17. „Uniunea energetică și politicile climatice: impulsionează tranziția Europei către o economie cu emisii scăzute de dioxid de carbon”, sursa: <http://dcfta.md>;;
18. Controlul și reducerea poluării în transporturi / A XVII Conferință internațională – multidisciplinară, profesorul Dorin Pavel, Sebeș, 2017.

19. \* Hydrogen Electrolysis Solar Powered Truck  
<http://www.making-hydrogen.com/hydrogen-electrolysis-solar.html>, 2011.;
20. van der Steen, M. Gaseous fuels: past experience and future expectations, TNO Paper VM9608,1996.
21. Erbach G., Energy storage and sector coupling: Towards an integrated, decarbonised energy system, EPRS, European Parliament, June 2019.
22. Van Renssen S., The hydrogen solution?, Nature Climate Change, August 2020.
23. Clean Hydrogen Monitor2020, Hydrogen Europe, October 2020.
24. The Future of Hydrogen: Seizing today's opportunities, International Energy Agency, June 2019.
25. Green Hydrogen: A guide to policy making, International Renewable Energy Agency, 2020.
26. Hydrogen Economy Outlook - Key messages, Bloomberg New Energy Finance, March 2020.
27. Hydrogen Roadmap Europe, Fuel Cells and Hydrogen 2 Joint Undertaking, January 2019.
28. Mainstreaming green hydrogen in Europe, Material Economics, November 2020. Kang, K., Lee, D., Oh, S., Kim, C. Performance of a liquid phase LPG injection engine for heavy duty vehicles, SAE Paper 2001 -01 - 1958, 2001.
29. Chiriac, R., Radu, R., Albrecht, B., Apostolescu, N. On the relationship between the spark characteristics and the engine efficiency and emissions. Rev. Roum. Sci. Tech. Electrotechn. et Energ., 43,1, pp. 107-122,1998.
30. \* Ask A Scientist - Chemistry Archive, Hoffman Apparatus  
<http://www.newton.dep.anl.gov/askasci/chem00/chem00891.htm>, 2011.