



ŞCOALA DOCTORALĂ INTERDISCIPLINARĂ

Facultatea: INGINERIE MECANICĂ

Ing. Marius LAZĂR

Cercetări privind dezvoltarea unor sisteme pentru
motoarele cu ardere internă destinate creşterii
performanţelor acestora

Research and development of systems designed to
improve the performance of internal combustion
engine

REZUMAT / ABSTRACT

Conducător ştiinţific

Prof.dr.ing. Anghel CHIRU

BRAŞOV, 2020

D-lui (D-nei)

COMPONENȚA

Comisiei de doctorat

Numită prin ordinul Rectorului Universității Transilvania din Braşov
Nr. 10630 din 17.07.2020

PREȘEDINTE:	Prof. Dr. Ing. Ioan Călin ROȘCA Decan, Facultatea de Inginerie Mecanică Universitatea Transilvania din Braşov
CONDUCĂTOR ȘTIINȚIFIC:	Prof. Dr. Ing. Anghel CHIRU Universitatea Transilvania din Braşov
REFERENȚI:	Prof. Dr. Ing. habil. Prof. E. h. Dr. h. c. Cornel STAN Westfälische Hochschule Zwickau Prof. Dr. Ing. Corneliu COFARU Universitatea Transilvania din Braşov Prof. Dr. Ing. Laurențiu Claudiu MANEA Universitatea Ovidius din Constanța

Data, ora și locul susținerii publice a tezei de doctorat:

17 septembrie 2020, ora 12:00, online.

Eventualele aprecieri sau observații asupra conținutului lucrării vor fi transmise electronic, în timp util, pe adresa marius.lazar@unitbv.ro.

Totodată, vă invităm să luați parte la ședința publică de susținere a tezei de doctorat.

Vă mulțumim.



CUPRINS (Ib. română)

	Pg. Teză	Pg. rezumat
CUVÂNT ÎNAINTE	7	-
1. INTRODUCERE	8	7
2. ANALIZA CRITICĂ A STADIULUI ACTUAL AL SISTEMELOR AUXILIARE ALE MOTOARELOR CU ARDERE INTERNĂ	11	8
2.1 Considerații generale.....	11	8
2.1.1 Necesitatea dezvoltării sistemelor auxiliare pentru motoarele cu ardere internă prin determinarea toxicității cauzate de acestea.....	11	8
2.1.2 Sisteme pentru îmbunătățirea performanțelor motoarelor cu ardere internă.....	17	10
2.2 Analiza critică a stadiului actual.....	21	11
2.2.1 Pompe centrifugale și pompe volumetrice.....	22	11
2.2.2 Pompe volumetrice.....	25	12
2.2.3 Pompe volumetrice cu piston.....	29	13
2.2.4 Pompe electromagnetice.....	30	14
2.2.5 Pompe electromagnetice de curent alternativ și de curent continuu.....	32	15
2.3 Concluzii.....	37	16
2.4 Scopul și obiectivele tezei.....	38	17
3. DEZVOLTAREA UNEI METODOLOGII DE CALCUL A POMPELOR ELECTROMAGNETICE	40	19
3.1 Considerații generale privind pompele electromagnetice.....	40	19
3.2 Abordarea teoretică și dezvoltarea modelului de calcul.....	42	19
3.2.1 Metodologia de calcul a unui electromagnet liniar.....	42	19
3.2.2 Caracteristici teoretice privind proiectarea bobinei electromagnetului.....	49	20
3.2.3 Model matematic pentru calculul pompei electromagnetice.....	54	21
3.2.4 Calculul componentelor auxiliare din pompa electromagnetice.....	60	24
3.3 Model de calcul pentru analiza teoretică a comportamentului pompei electromagnetice.....	70	25
3.4 Concluzii.....	79	26
4. SIMULAREA VIRTUALĂ A POMPEI ELECTROMAGNETICE	81	28



4.1	Considerații generale privind simularea virtuală a pompei electromagnetice...	81	28
4.2	Simularea electromagneților.....	81	28
4.2.1	Aspecte teoretice privind simularea electromagneților.....	81	28
4.2.2	Modelarea simulării electromagneților.....	83	28
4.3	Simularea curgerii fluidelor prin diferite tipuri de supape.....	91	31
4.3.1	Metodologia de simulare.....	91	31
4.3.2	Metodologia de simulare CFD pentru supapele unisens.....	91	31
4.4	Simularea curgerii fluidului prin pompa electromagnetice.....	95	32
4.4.1	Metodologia adoptată pentru simularea pompei.....	96	32
4.4.2	Modelarea curgerii prin pompa electromagnetice.....	98	33
4.4.3	Rezultatele simulării.....	103	33
4.5	Concluzii.....	120	35
5.	CERCETAREA EXPERIMENTALĂ A POMPEI ELECTROMAGNETICE.		
	PERFORMANȚELE MOTOAREOR CU ARDERE INTERNĂ ECHIPATE CU NOUL SISTEM..	121	36
5.1	Considerații generale privind testarea pompei electromagnetice.....	122	36
5.2	Instalația de testare a pompei electromagnetice.....	122	36
5.3	Metodologia de testare.....	132	37
5.4	Rezultatele testării pompei electromagnetice.....	136	39
5.5	Analiza eficienței noului sistem asupra performanțelor energetice ale motoarelor cu ardere internă.....	146	40
5.5.1	Evaluarea resurselor energetice ale motoarelor cu ardere internă.....	146	40
5.5.2	Eficiența noului sistem.....	147	40
5.5.3	Perspectivile noii soluții tehnice.....	151	41
5.6	Concluzii.....	151	42
6.	CONCLUZII GENERALE ȘI CONTRIBUȚII ORIGINALE.....	153	43
6.1	Concluzii generale.....	153	43
6.2	Contribuții originale.....	156	46
6.3	Diseminarea rezultatelor.....	156	46
6.4	Direcții viitoare de cercetare.....	156	47
	BIBLIOGRAFIE.....	157	48
	Anexa 1 - Listă lucrări.....	161	-
	Anexa 2 - Rezumat.....	162	-



TABLE OF CONTENTS

	Pg. Thesis	Pg. summary
FOREWORD	7	-
1. INTRODUCTION	8	7
2. STUDY ON STATE OF THE ART OF AUXILIARY SYSTEMS OF INTERNAL COMBUSTION ENGINES	11	8
2.1 General aspects.....	11	8
2.1.1 Necessity for auxiliary systems development for internal combustion engines through determination of the toxicity caused by them.....	11	8
2.1.2 Systems for internal combustion engines improvement.....	17	10
2.2 Analysis of state of the art.....	21	11
2.2.1 Centrifugal pumps and displacement pumps.....	22	11
2.2.2 Displacement pumps.....	25	12
2.2.3 Piston displacement pumps.....	29	13
2.2.4 Electromagnetic pumps.....	30	14
2.2.5 AC and DC electromagnetic pumps.....	32	15
2.3 Conclusions.....	37	16
2.4 Purpose and objectives of the paper.....	38	17
3. DEVELOPMENT OF A CALCULATION METHODOLOGY FOR ELECTROMAGNETIC PUMPS	40	19
3.1 Aspects regarding electromagnetic pumps.....	40	19
3.2 Theoretical approach and calculation model development.....	42	19
3.2.1 Calculation methodology for a linear electromagnet.....	42	19
3.2.2 Theoretical characteristics regarding solenoid design.....	49	20
3.2.3 Mathematical model for an electromagnetic pump calculus.....	54	21
3.2.4 Calculation of auxiliary components of an electromagnetic pump.....	60	24
3.3 Calculation model for the theoretical analysis of the electromagnetic pump behaviour.....	70	25
3.4 Conclusions.....	79	26
4. VIRTUAL SIMULATION OF AN ELECTROMAGNETIC PUMP	81	28
4.1 General aspects regarding virtual simulation of the electromagnetic pump.....	81	28
4.2 Electromagnet simulation.....	81	28



4.2.1 Theoretical aspects regarding electromagnets simulation.....	81	28
4.2.2 Modelling of electromagnet simulation.....	83	28
4.3 Fluid flow simulation through different valve types.....	91	31
4.3.1 Simulation methodology.....	91	31
4.3.2 CFD Simulation methodology for one-way valves.....	91	31
4.4 Fluid flow simulation through the electromagnetic pump.....	95	32
4.4.1 Chosen methodology for pump simulation.....	96	32
4.4.2 Fluid flow modelling through through the electromagnetic pump.....	98	33
4.4.3 Simulation results.....	103	33
4.5 Conclusions.....	120	35
5. EXPERIMENTAL RESEARCH OF THE ELECTROMAGNETIC PUMP. PERFORMANCE OF INTERNAL COMBUSTION ENGINES EQUIPPED WITH THE NEW SYSTEM.....	121	36
5.1 General aspects regarding testing of the electromagnetic pump.....	122	36
5.2 Test rig for the electromagnetic pump.....	122	36
5.3 Testing methodology.....	132	37
5.4 Test results of the electromagnetic pump.....	136	39
5.5 Efficiency analysis of the new system regarding the energy performance of internal combustion engine.....	146	40
5.5.1 Evaluation of the energy resources of internal combustion engine.....	146	40
5.5.2 The efficiency of the new system.....	147	40
5.5.3 Prospects for the new technical solution.....	151	41
5.6 Conclusions.....	151	42
6. FINAL CONCLUSIONS AND ORIGINAL CONTRIBUTIONS.....	153	43
6.1 Final conclusions.....	153	43
6.2 Original contributions.....	156	46
6.3 Dissemination of results.....	156	46
6.4 Future research directions.....	156	47
REFERENCES.....	157	48
Annex 1 - List of published papers.....	161	-
Annex 2 - Abstract.....	162	-

1. Introducere

Autovehiculele au jucat și joacă un rol foarte important în mobilitatea de zi cu zi, atât a persoanelor, cât și a mărfurilor. Datorită acestui fapt trebuie să ne aplecăm atenția către acestea, către interacțiunea lor cu factorul uman, dar și mai mult către interacțiunea lor cu mediul [21].

Mijlocul de propulsie a jucat și joacă un rol definitoriu pentru autovehiculele actuale, unde putem observa tendințele actuale către electrificarea autovehiculelor și nu numai. Combustibilii alternativi, autovehiculele hibride, mijloace inovative de propulsie [29], încep să înlocuiască motoarele cu ardere internă. Pentru a putea rezista pe piață și a putea echipa în continuare autovehiculele, un motor cu ardere internă trebuie optimizat sau asistat cu dispozitive auxiliare ce îl vor ajuta să-și îmbunătățească în mod considerabil performanțele.

Dacă vom lua în considerare cele mai mari ambuteiaje de autovehicule din anul 2017 putem observa influența negativă pe care o pot avea autovehiculele echipate cu motoare cu ardere internă și care nu au implementate soluții ori dispozitive pentru a reduce sau opri emisiile poluante. În tabelul 1.1 sunt prezentate câteva orașe cu nivel crescut al blocajelor în trafic.

Rang	Orașul	Nivelul blocajelor rutiere	Orele de blocaj rutier pe an
1	Mexico City	66%	227h
2	Bangkok	61%	224h
3	Jakarta	58%	184h
4	Chongqing	52%	212h
5	București	50%	218h
6	Istanbul	49%	175h
7	Chengdu	47%	176h
8	Rio de Janeiro	47%	164h
9	Tainan	46%	142h
10	Beijing	46%	179h

Tabel 1.1 – Nivelul celor mai mari blocaje rutiere în 2017

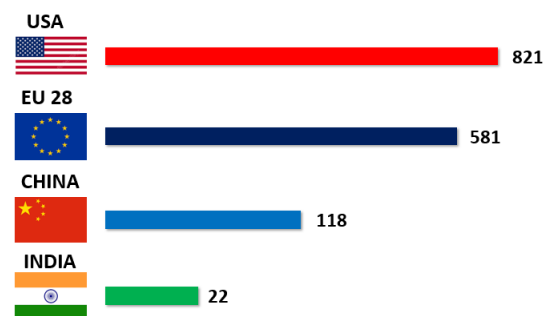


Fig. 1.1 – Distribuția autovehiculelor la 1000 de locuitori în anul 2015 în diferite zone importante din lume

(Sursa: BMW Museum, Am Olympiapark 2, 80809 München)

Analizând tabelul 1.1 se poate vedea importanța îmbunătățirii motoarelor cu ardere internă prin sisteme auxiliare inovative sau prin gestionarea funcționării motorului.

De asemenea, nu putem să nu amintim ceea ce s-a întâmplat în 2010, în Beijing, unde s-a atins recordul celui mai mare blocaj rutier, blocaj care a ajuns la lungimea de aproximativ 100km. Nu putem să ignorăm și numărul record de autovehicule care s-au aflat în trafic pe tot mapamondul care a atins în 2015 valoarea de 1,28 miliarde de autovehicule.

Dacă ne uităm în figura 1.1 la numărul de autovehicule raportat la numărul de locuitori, putem vedea o creștere sporită a acestora, creștere care are un efect negativ asupra mediului, atât prin generarea gazelor de evacuare cu efect nociv asupra mediului, cât și prin cantitatea de dioxid de carbon care influențează în mod hotărâtor încălzirea globală.

Acestea se numără printre motivele care au generat dezvoltarea prezentei lucrări de cercetare.

2. Analiza critică a stadiului actual al sistemelor auxiliare ale motoarelor cu ardere internă

2.1 Considerații generale

Cele mai multe vehicule existente în transportul rutier, care sunt echipate cu un motor cu ardere internă, au o influență semnificativă asupra calității aerului atmosferic. Aerul este poluat de emisiile nocive de gaze de eșapament și de zgomot, dar și de scurgerile de combustibil și de lubrifianți [12, 19].

În camera de ardere caracteristică motorului cu combustie internă, procesul de ardere are cea mai mare contribuție la poluare din cauza timpului de reacție scurt, a dificultăților de formare a amestecului sau pierderilor de căldură [18, 19].

De asemenea s-a studiat și o serie de componente electrohidraulice care echipează motoarele cu ardere internă, pentru a evidenția sistemele cu potențial care pot fi îmbunătățite [47].

2.1.1 Necesitatea dezvoltării sistemelor auxiliare pentru motoarele cu ardere internă prin determinarea toxicității cauzate de acestea

Pentru evaluarea poluării unui motor cu combustie internă, se propune adoptarea unui coeficient cu efect nociv asupra mediului și sănătății. Acest coeficient caracterizează efectul de toxicitate global al emisiilor rezultate din funcționarea motorului cu combustie internă și se poate folosi pentru compararea nivelului emisiilor produse de diferitele motoare.

Evaluarea globală a toxicității gazelor de eșapament se poate face cu ajutorul unor coeficienți care iau în considerare efectul nociv al componentelor și caracterul nociv al acestora, în raport cu toxicitatea caracteristică monoxidului de carbon [31].

Toxicitatea evaluată global poate avea în vedere componente, cum ar fi benzo(a)pirenul, formaldehida, plumbul, care nu sunt cuprinse în legislația privind emisiile generate de mijloace de transport. Coeficientul global definit are o semnificație mai mică din punct de vedere tehnic, dar unul mai ecologic. Forma generală a acestui coeficient de toxicitate, numit TOX () este descrisă de ecuația 2.1, cum ar fi [39]:

$$TOX = \frac{\sum_i K_i \cdot w_i}{\sum_i w_i}, \quad \text{unde } i \text{ este considerat poluant} \quad (2.1)$$

În cazul aprinderii prin comprimare cu ajutorul acestui coeficient se pot evalua efectele asupra mediului produse de poluanți, în mod tehnic, cu ecuația 2.2.

$$TOX = \frac{K_{CO} \cdot w_{CO} + K_{NO_x} \cdot w_{NO_x} + K_{HC} \cdot w_{HC} + K_{PT} \cdot w_{PT}}{w_{CO} + w_{NO_x} + w_{HC} + w_{PT}} \quad (2.2)$$

În relația 2.2 avem coeficienții K_{CO} , K_{NO_x} , K_{HC} , K_{PT} – care sunt denumiți coeficienți specifici de toxicitate pentru poluanții selectați, definiți într-o scară de toxicitate în funcție de efectele

produse de fiecare dintre aceştia asupra sănătăţii şi mediului înconjurător, iar w_{CO} , w_{NO_x} , w_{HC} , w_{PT} - masele poluanţilor. Toxicitatea acestor poluanţi se va considera raportată la toxicitatea monoxidului de carbon CO, deci $K_{CO} = 1$ şi $K'_{NO_x} = K_{NO_x} / K_{CO}$.

$$TOX = \frac{w_{CO} + K'_{NO_x} \cdot w_{NO_x} + K'_{HC} \cdot w_{HC} + K'_{PT} \cdot w_{PT}}{w_{CO} + w_{NO_x} + w_{HC} + w_{PT}} \quad (2.3)$$

K_{NO_x} , K_{HC} , K_{PT} - reprezintă coeficienţii specifici de toxicitate raportaţi la efectele nocive ale CO.

Metoda de determinare a coeficienţilor K' reprezintă o modalitate subiectivă şi totodată un proces dificil pentru evaluarea nocivităţii poluanţilor. Coeficienţii specifici de toxicitate K'_{HC} , K'_{NO_x} şi K'_{PT} , au următoarele valori: $K'_{HC}=1$, $K'_{NO_x}=20$ şi $K'_{PT}=40$, conform [39].

Pentru a putea face un calcul estimativ al toxicităţii autovehiculelor este importantă stabilirea unui vehicul etalon, deoarece traficul rutier cuprinde o multitudine de mijloace de transport. Traficul rutier este compus din autovehicule de toate tipurile (motociclete, autoturisme, microbuze, autobuze, autocamioane), fapt pentru care se crează o diversitate. În diferitele analize ce se efectuează asupra traficului este necesar ca pentru fiecare autovehicul să fie considerat un coeficient de echivalare caracteristic fiecărui tip de autovehicul.

Vehiculele reprezentative pentru traficul rutier sunt prezentate în tabelul 2.1, tabel care conţine o analiză multicriterială de stabilire a coeficienţilor de echivalare pentru diferitele autovehicule prezente în traficul rutier. Autoturismul va avea coeficientul de echivalare 1.

COEFICIENŢI DE SIMILITUDINE																										
	NORMA DE POLUARE						CAPACITATEA CILINDRICĂ [dm ³] sau [litri]										VECHIMEA [ani]									
	non euro	Euro 1	Euro 2	Euro 3	Euro 4	Euro 5	Euro 6	1	1.2	1.4	1.6	1.8	2	>2	>3	>5	>7.5	>10	0-4	5-8	9-12	>12	benzină	diesel		
MOTOCICLETE	0.6	0.5	0.4	0.3	0.2	0.1	0	0	0.05	0.1	0.2	0.3	-	-	-	-	-	-	0.1	0.3	0.4	0.5	0.1	0.3		
AUTOMOBILE	0.7	0.6	0.5	0.4	0.3	0.2	0.1	0.05	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1	1.1	1.2	0.1	0.3	0.4	0.5	0.4	0.6
VEHICULE UTILITARE	0.8	0.7	0.6	0.5	0.4	0.3	0.2	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1	1.1	1.2	0.1	0.3	0.4	0.5	0.4	0.6	0.6	
MICROBUZE	0.8	0.7	0.6	0.5	0.4	0.3	0.2	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1	1.1	1.2	0.1	0.3	0.4	0.5	0.4	0.6	0.6	
CAMIOANE	1	0.9	0.8	0.7	0.6	0.5	0.4	0.4	0.6	0.8	1	1.2	1.4	1.6	1.8	2	2.2	2.4	0.1	0.3	0.4	0.5	2	2	2	
AUTOBUZE	1	0.9	0.8	0.7	0.6	0.5	0.4	0.4	0.6	0.8	1	1.2	1.4	1.6	1.8	2	2.2	2.4	0.1	0.3	0.4	0.5	2	2	2	

Tabel 2.1 – Analiză multicriterială privind stabilirea coeficienţilor de echivalare pentru autovehicule [32]

În tabelul 2.1 este prezentată analiza multicriterială ce ajută la stabilirea unor coeficienţi de echivalare specifici pentru cele şase categorii de autovehicule prezente într-o zonă administrativ teritorială.

Utilizând această metodă de calcul pentru autovehiculele ce aparţin Parcului Auto Braşov în anul 2014 la un parcurs mediu anual pentru fiecare autovehicul 15000 km/an, ar rezulta o cantitate de aproximativ 40490toneCO_{echTOX} produsă într-un an. În cazul în care parcul auto Braşov va creşte în 2015 la fel ca cel din 2014, cu 8324 de autovehicule, cantitatea de CO_{echTOX} pentru 2015 ar putea fi 42277toneCO_{echTOX}.

Analiza acestor rezultate trebuie făcută prin prisma subiectivităţii acestei metode de exprimare a toxicităţii.

2.1.2 Sisteme electrohidraulice destinate îmbunătățirii performanțelor motoarelor cu ardere internă

Astăzi putem vedea un mix energetic ce echipează autovehiculele rutiere, unde se ridică provocări noi în ceea ce privește stocarea energiei fie ea din combustibili fosili, baterii sau pile de combustie. Provocarea în momentul de față o constituie combinarea acestora într-o singură unitate de propulsie care să nu mai facă diferența între motor și transmisie, sau o unitate compactă prin integrarea sistemului de antrenare în roata autovehiculului [4, 5, 6].

Sistemele de distribuție variabilă (figura 2.1) dezvoltate în ultimii ani și care echipează autovehiculele dotate cu motoare cu ardere internă contribuie hotărâtor la îmbunătățirea calității aerului utilizat în procesul de transformare a căldurii în lucru mecanic [10, 11].



Fig. 2.1 – Soluții de distribuție variabilă de la cele mai simple până la cele mai complexe [49].

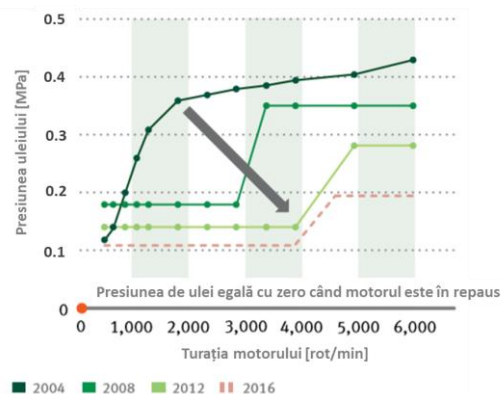


Fig. 2.2 – Evoluția nivelului presiunii de ulei în motoarele cu ardere internă [51].

Dacă analizăm diferitele posibilități de acționare a supapelor prezentate în figura 2.1, putem observa avantajele diferitelor sisteme. În cazul sistemului mecanic putem vedea că se poate varia doar înălțimea de ridicare a supapei [27, 33, 37], dar se obține o funcționare stabilă fără interferențe. Totuși acest tip de funcționare nu poate fi competitiv sistemului electrohidraulic sau celui electromagnetic [70, 71].

Dacă în anul 2004 presiunea de ulei în motoarele cu ardere internă varia de la 0.1 MPa pentru turații de sub 1000rpm până la 0.45 MPa pentru turații de 6000rpm, la motoarele din 2016 presiunea uleiului variază între 0.1MPa și 0.2MPa. Acest fapt demonstrează faptul că energia consumată pentru crearea acestei presiuni de lucru a uleiului în motorul cu ardere internă este tot mai mică, rezultând astfel îmbunătățirea motoarelor cu ardere internă pentru a fi competitive soluțiilor hibride sau în totalitate electrice ale sistemelor de propulsie.

De asemenea, frecările dintre componentele care alcătuiesc accesoriile antrenate de arborele cotit al motorului cu ardere internă au o influență importantă asupra consumului de combustibil [36, 59], lucru ce va fi analizat în Capitolul 5, unde se va evidenția impactul acestora pentru motoarele cu ardere internă, dar și îmbunătățirea adusă motorului prin folosirea pompei electromagnetice.

2.2 Analiza critică a stadiului actual

Luând în considerare prima pompă inventată, este la fel ca atunci când am spune cine este cel care a inventat roata. Pompele s-au folosit încă din cele mai timpurii perioade și sunt tot mai utilizate în zilele noastre.

În ultimii ani s-au dezvoltat o gamă largă de pompe de toate tipurile, formele și mărimile. Astfel găsim în literatura de specialitate o diversitate de pompe, însă la modul general, acestea se pot împărți pe două categorii principale: pompe centrifugale și pompe volumetrice.

2.2.1 Pompele centrifugale și pompele volumetrice

Fiecare dintre aceste două tipuri de pompe, volumetrice și centrifugale au funcționalități specifice și aplicații caracteristice.

Pompele volumetrice sunt caracterizate de principiul prin care fluidul este transportat ca volum fix, în mod normal într-o cavitate, care mai apoi este împins în conducta de refulare. Pompele centrifugale transferă energia cinetică a motorului către fluidul de transportat, prin rotorul pompei. Pe măsură ce rotorului îi este aplicată o mișcare de rotație, acesta atrage fluidul, imprimându-i o mișcare crescută, fapt ce rezultă prin deplasarea fluidului către punctul de descărcare.

Pentru a avea o imagine mai clară a diferențelor dintre aceste două familii de pompe, în figurile 2.3 – 2.6 sunt prezentate curbele caracteristice în funcție de presiune, debit, randament și vâscozitatea fluidului.

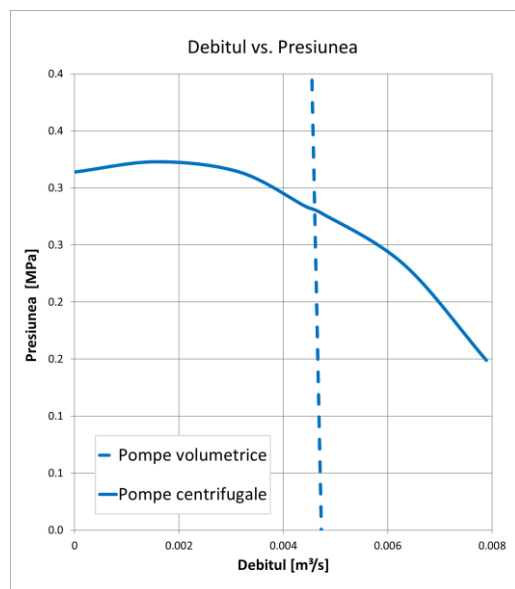


Fig. 2.3 – Curbele caracteristice ale pompelor centrifugale și a pompelor volumetrice în funcție de debit și presiune.

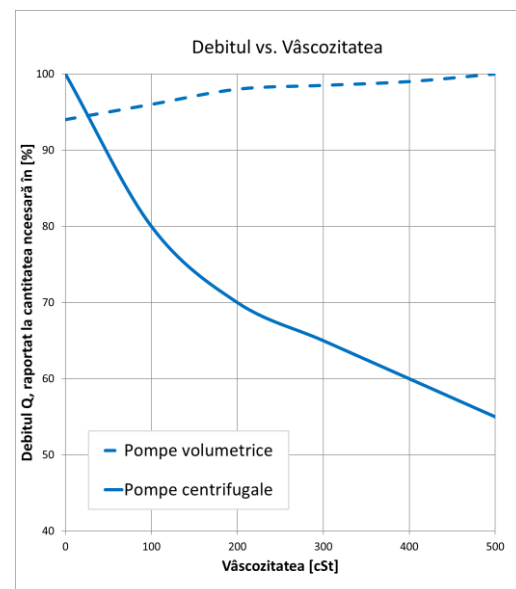


Fig. 2.4 – Curbele caracteristice ale pompelor centrifugale și a pompelor volumetrice în funcție de debit și vâscozitate.

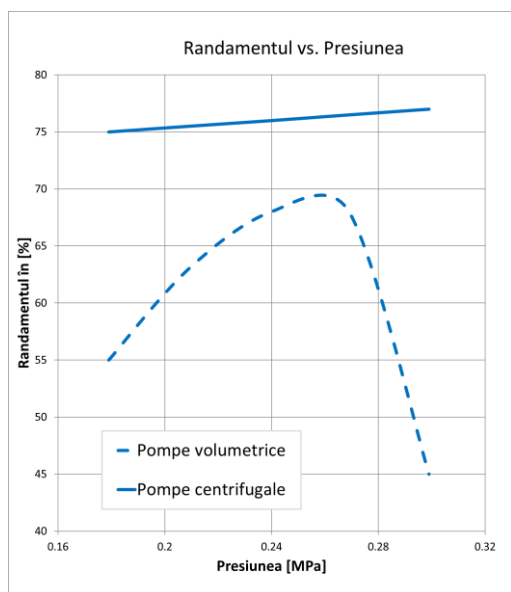


Fig. 2.5 – Curbele caracteristice ale pompelor centrifugale și a pompelor volumetrice în funcție de randament și presiune.

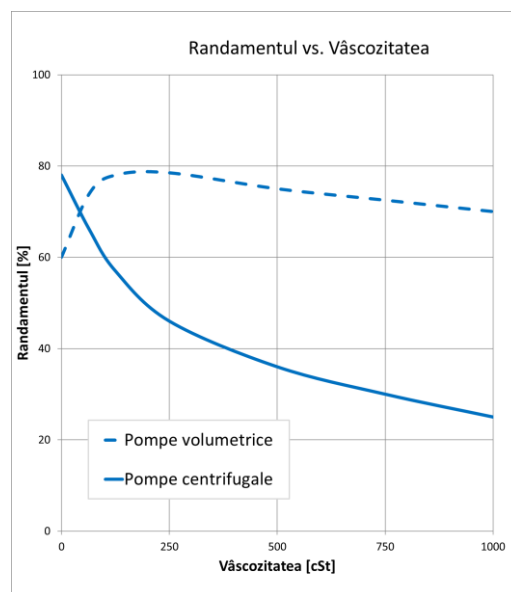


Fig. 2.6 – Curbele caracteristice ale pompelor centrifugale și a pompelor volumetrice în funcție de randament și vâscozitate.

Pompele centrifugale sunt tipul de pompe cele mai obișnuite pentru transferul fluidelor cu vâscozitate scăzută în instalații cu debit ridicat și presiune joasă, ceea ce le face ideale pentru aplicațiile care necesită ca pompa să facă față volumelor mari. Proiectarea pompei centrifugale este adesea asociată cu transferul de apă, dar este, de asemenea, o soluție populară pentru transportul combustibililor și a substanțelor chimice. Câteva aplicații principale ale pompelor centrifugale sunt următoarele: alimentare generală cu apă, transportul apei, instalațiile de aer condiționat, alimentarea cazanelor, transferul combustibililor, stingerea incendiilor, instalațiile de irigare [75].

Pompele centrifugale beneficiază de un design simplu, cu puține piese mobile, ceea ce duce la cerințe și costuri de întreținere mai mici. Acest lucru le face potrivite pentru aplicațiile în care pompa este folosită des sau chiar funcționează continuu. Simplitatea construcției face, de asemenea, ca pompele centrifugale să fie ușor de produs în multe materiale diferite, inclusiv materiale plastice și fontă pentru sarcini mai ușoare, și oțeluri din bronz și inox pentru o aplicare mai corozivă sau igienică. Prin urmare, există o paletă destul de mare a lichidelor ce sunt potrivite pompelor centrifugale.

Pompele volumetrice sunt de obicei selectate pentru capacitatea lor de a manipula fluide cu vâscozitate ridicată la presiuni mari și fluxuri relativ mici, deoarece eficiența lor nu este afectată de presiune. În timp ce pompele centrifugale sunt tipul cel mai obișnuit de pompe instalate datorită simplității lor, pompele volumetrice sunt o soluție care poate face față condițiilor mai dificile în care pompele centrifugale se pot defecta, datorită capacității lor de a fi exploatate în orice punct al curbei lor.

2.2.2 Pompele volumetrice

Pompele volumetrice sunt caracterizate de faptul că energia este transferată la fluid în mod hidrostatic. În transferul hidrostatic de energie, corpul de deplasare reduce volumul camerei de lucru plină cu fluid și pompează fluidul în conductă. În acest caz, deplasarea corpului aplică o

presiune asupra fluidului. Când camera de lucru se extinde o cantitate nouă de fluid este adăugată în cameră.

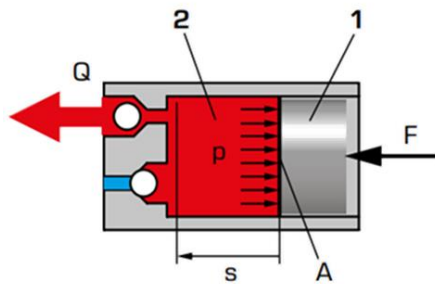


Fig. 2.7 – Principiul de funcționare al pompei volumetrice; 1-corpul pistonului, 2- camera de presiune, Q-debitul, F-forța pistonului, A-secțiunea pistonului, p-presiunea, s-cursa pistonului [79]

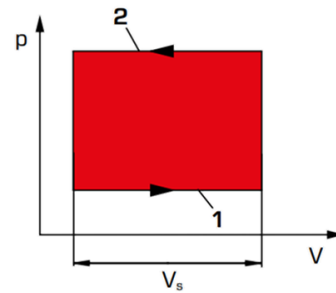


Fig. 2.8 – Diagrama p,V de funcționare a pompei volumetrice [79]

Lucrarea mecanic efectuat, W_s (2.4) rezultă din produsul deplasării forței F și distanța de deplasare s . Această ecuație poate fi scrisă și ca fiind produsul volumului deplasat V_s și al presiunii de livrare p .

$$W_s = F \cdot s = A \cdot p \cdot s = V_s \cdot p \quad (2.4)$$

De asemenea puterea P , transferată fluidului se poate scrie sub forma (2.5), ca fiind produsul dintre debit Q și presiunea fluidului.

$$P = Q \cdot p \quad (2.5)$$

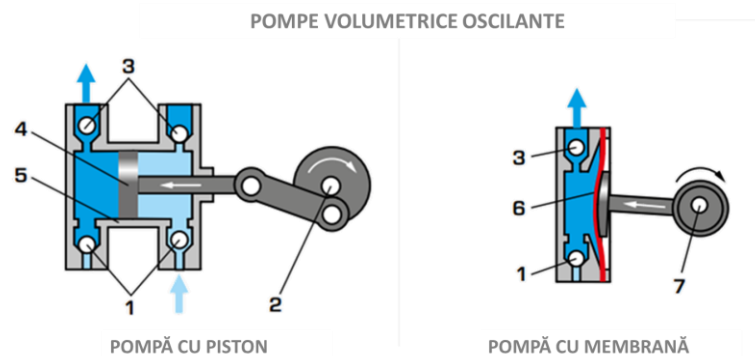


Fig. 2.9 – Pompe volumetrice oscilante: 1 - supapa de aspirație, 2 – mecanismul bielă-manivelă 3 – supapa de presiune, 4 – piston, 5 – cilindru, 6 – membrană, 7 – mecanism cu excentric [79]

De asemenea putem întâlni și pompe volumetric rotative: pompă cu roți dințate, pompă cu lobi, pompă cu pale glisabile și excentric, pompă cu lobi flexibili sau pompă peristaltică.

2.2.3 Pompe volumetrice cu piston

Pompele cu piston fac parte din categoria pompelor volumetric, din sub categoria pompe volumetric oscilante, de regulă acționate cu piston. Pompele cu piston sunt pompe volumetric, care sunt destinate pentru a furniza debite constante în timp.

Pompele de dozare sunt caracterizate de un piston, de obicei cilindric, care poate intra și ieși dintr-o cameră, cu formă caracteristică, din capul pompei. Căile de aspirație și refulare sunt unite cu camera pistonului. Pe căile de aspirație, respectiv refulare, sunt plasate două supape de control, adesea valve de control cu bilă, atașate la capul pompei [1, 2].

2.2.4 Pompele electromagnetice

Aceste pompe fac parte din categoria pompelor volumetrice cu piston, ce au ca diferență principală faptul că nu sunt acționate de un motor, ci pistonul este o armătură, sau este conectat la armătura unui electromagnet [78].

Pompele cu electromagnet sunt pompe oscilante, deoarece realizează o mișcare înainte și înapoi a pistonului, respectiv a armăturii.

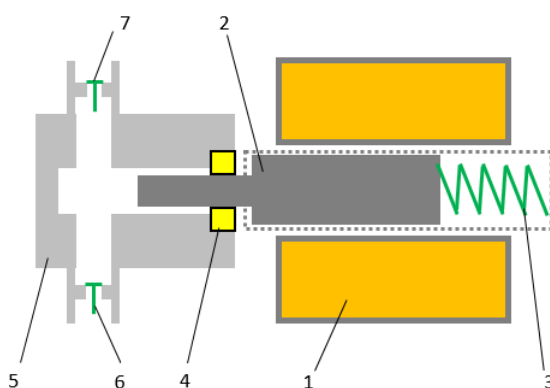


Fig. 2.10 – Pompă electromagnetică cu piston

1-bobină, 2-armătură cu piston, 3-arc de compresiune, 4-element de etanșare, 5-corpul pompei, 6-supapă de aspirație, 7-supapă de refulare

Construcția generală a pompei cu piston din figura 2.10, este reprezentată printr-o schemă generală care capătă forme constructive diferențiate în funcție de aplicația în care este utilizată. Așadar ca elemente principale întâlnim bobina (1), care poate avea caracteristici specifice în funcție de forța pe care trebuie să o învingă pentru a comprima arcul. Armătura (2) este elementul în mișcare al electromagnetului. De multe ori armătura este și pistonul pompei, în cazul de față armătura și pistonul fac parte din același component, însă o parte a elementului are funcția de armătură pentru electromagnet, iar cealaltă parte are funcția de piston pentru pompă. Practic acest element unește cele două medii electromagnetic și hidraulic pentru a beneficia de construcția pompei electromagnetice.

Arcul (3) are rolul de a deplasa armătura în poziția inițială, astfel încât să se poată realiza mișcarea înainte și înapoi a electromagnetului. În cazul de față arcul este montat pe cursa de pompare, însă acesta poate fi înlocuit în unele aplicații de o altă bobină. Elementul de etanșare (4) poate diferenția în funcție de mișcarea imprimată armăturii, pot fi elemente de etanșare ce sunt destinate mișcării de translație sau specifice mișcării de rotație. Corpul pompei (5) poate avea construcții variate, însă în toate cazurile trebuie să existe o cale de intrare a fluidului, o cale de ieșire a fluidului din pompă și o cameră variabilă pentru a se putea produce pomparea. Supapele (6,7) de aspirație și refulare pot avea configurații constructive diferite: pot fi supape cu bilă, supape cu taler sau supape cu disc, dar toate depinzând de mediul de lucru și de caracteristicile fluidului pompat.

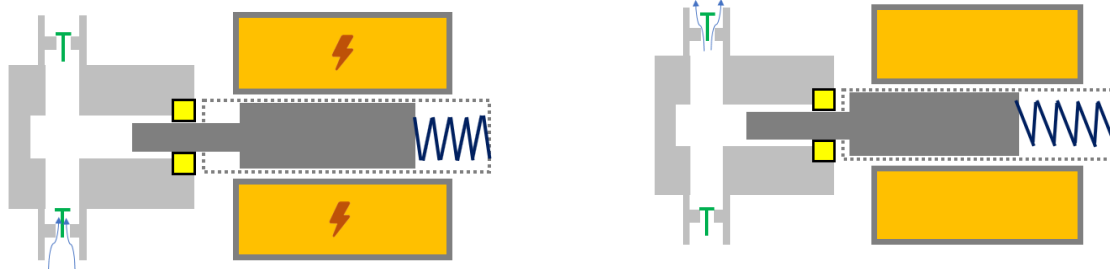


Fig. 2.11 – Principiul de funcționare al pompei electromagnetice cu piston, în poziția de capăt, când bobina este alimentată și arcul este comprimat, respectiv când bobina nu este alimentată, iar arcul este destins

2.2.5 Pompe electromagnetice de curent alternativ și de curent continuu

Pompele electromagnetice pot avea ca sursă de alimentare curentul alternativ sau curentul continuu, fiecare dintre ele având elemente caracteristice, dar și curbe de funcționare diferite. De asemenea, aceste pompe pot avea aplicații diferite. Pompele electromagnetice pe curent alternativ au între sursa de alimentare și bobină o diodă, iar cele pe curent continuu au un modulator de frecvență.

Pompele de curent alternativ

Pompele ULKA cu electromagnet sunt pompe care sunt folosite, în marea majoritate a cazurilor, în aplicații din industria alimentară și au ca sursă de alimentare curentul alternativ. Ele au o structură relativ simplă. Aceste se mai numesc și pompe vibratoare, deoarece armătura electromagnetului vibrează între două arcuri.

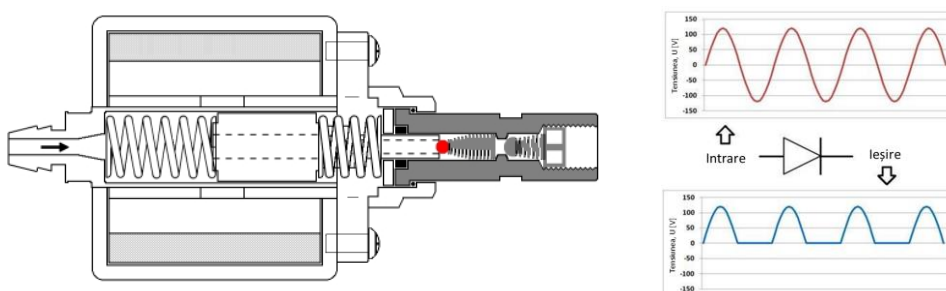


Fig. 2.12 – Secțiune prin pompă ULKA și schema electrică de funcționare [72]

Pompa ULKA prezentată în figura 2.12 este pompa vibrantă ce funcționează pe curent alternativ la o frecvență de 50Hz. Între sursa de alimentare și electromagnet intervine o diodă care redresează tensiunea alternativă, făcând posibil astfel efectul pulsatoriu.

Pompele de curent continuu

Pompele Thomas Magnete sunt tot pompe electromagnetice cu piston, care au principiul de funcționare asemănător cu cel al pompelor ULKA, însă destinația acestora este pentru domeniul autovehiculelor. Aceste pompe funcționează pe curent continuu și au nevoie de un modulator de impulsuri pentru a furniza curentul necesar electromagnetului.

În figura 2.13 este prezentată secțiunea unei astfel de pompe în poziție normală neenergizată. Acționat de electromagnet, pistonul pompei este deplasat axial alternativ în cilindrul pompei de la un capăt la celălalt printr-o mișcare caracteristică înainte și înapoi. Fluidul este aspirat în pompă printr-un filtru, trecând pe lângă elementul de etanșare. Acest element de etanșare este un element de siguranță, deoarece împiedică fluidul să curgă înapoi, în cazul în care pompa nu mai este alimentată de curent.

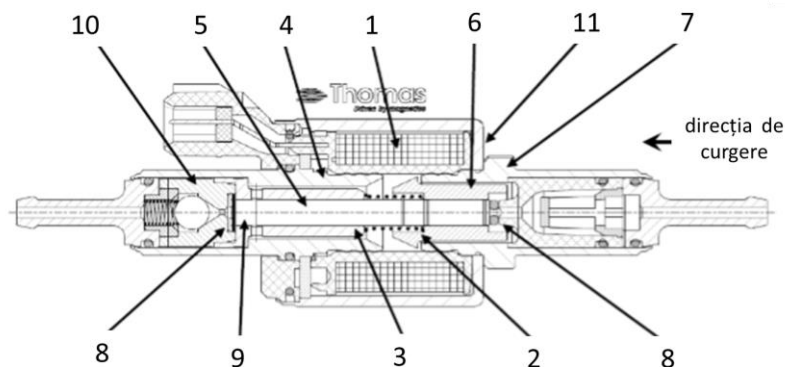


Fig. 2.13 – Pompa Thomas Magnete - „P325” vedere în secțiune, nealimentată cu pistonul în poziția de capăt; 1-bobină, 2-arc, 3-cilindrul pompei, 4-pol magnetic, 5-piston, 6-armătură, 7-element de conectare, 8-element de etanșare, 9-volumul de pompaj, 10-supapă, 11-carcasa exterioră [63]

Prin aplicarea semnalului electric, fluidul este împins prin supapa cu bilă, care se deschide. Revenind la poziția normală finală, pompa poate aspira o cantitate suplimentară de lichid, deoarece supapa cu bilă din partea de ieșire se închide și se generează presiune scăzută în volumul pompei. Odată ce pistonul trece de orificiul transversal, fluidul suplimentar poate curge în volumul respectiv.

Cu fiecare impuls electric și în funcție de gestionarea semnalului electric, această secvență poate fi efectuată de mai multe ori pe secundă, fiecare cursă emițând un volum fix și exact. Astfel, prin controlul frecvenței modulatorului de impulsuri, se poate determina cantitatea de fluid pompat, existând astfel o legătură între cantitatea de curent transmisă electromagnetului și cantitatea fluidului transportat.

2.3 Concluzii

În cadrul acestei secțiuni s-a determinat toxicitatea provocată de motoarele cu ardere internă prin determinarea coeficientului de toxicitate (TOX), care înglobează poluanții în raport cu toxicitatea caracteristică a monoxidului de carbon. Coeficienții astfel determinați au fost raportați la un vehicul etalon: calculul acestui coeficient s-a realizat pentru o zonă limitată, obținându-se cantitatea de CO echivalent toxic generată de un parc de autovehicule. În urma rezultatelor obținute s-a identificat o arie de cercetare prin îmbunătățirea performanțelor motoarelor cu ardere internă, prin dezvoltarea de componente auxiliare pentru acestea.

Tendențele actuale sunt ca anumite sisteme ale motorului să fie externalizate sau să fie înlocuite cu sisteme complexe, electrohidraulice, pentru a îmbunătăți performanțele acestuia. Datorită acestui fapt s-au studiat componentele electrohidraulice din cadrul motoarelor cu ardere internă, pentru a vedea care este impactul acestora și funcția lor în procesul de îmbunătățire a comportamentului motoarelor cu ardere internă și a îmbunătățirii calității aerului.

În urma analizei sistemelor și a tendințelor s-a identificat un domeniu care poate fi cercetat și care va fi abordat în prezenta lucrare. S-a observat că modelele noi de motoare sunt caracterizate de o presiune tot mai scăzută a uleiului din motor, fapt ce demonstrează că pompa de ulei antrenată de arborele cotit al motorului, poate fi externalizată, ceea ce ne va ajuta la îmbunătățirea randamentului motorului cu ardere internă.

Pentru a trata această problemă s-a făcut o analiză a pompelor existente pentru a identifica pompa cu potențialul cel mai mare pentru această aplicație. S-au studiat curbele caracteristice pentru pompele centrifugale și pentru pompele volumetrice, ajungându-se la concluzia că pompele volumetrice cu piston au caracteristicile necesare pentru a fi utilizate pentru motoarele cu ardere internă.

S-au identificat modele constructive de pompe electromagnetice folosite în diferite domenii, ce funcționează atât pe curent alternativ, cât și pe curent continuu. Făcându-se o analiză a funcționalității acestora, s-a ales dezvoltarea unei pomp axiale electromagnetice de curent continuu, capabilă să funcționeze la o tensiune a curentului electric, disponibil pe automobil.

2.4 Scopul și obiectivele tezei

Scopul tezei intitulată „*Cercetări privind dezvoltarea unor sisteme pentru motoarele cu ardere internă destinate creșterii performanțelor acestora*”, este de a proiecta o pompă electromagnetică de ulei pentru a îmbunătăți performanțele motoarelor de automobile, prin creșterea randamentului acestora, lucru rezultat în urma transformării elementelor integrate ale motorului în elemente auxiliare nealimentate din energia rezultată prin arderea combustibilului. În cadrul cercetării se va proiecta o pompă electromagnetică pentru ulei, ce poate fi folosită la motoarele cu ardere internă, dar și pentru transportul altor fluide, precum: lichidul de răcire, combustibil, uree. De asemenea, pompa electromagnetică va fi folosită pentru a îmbunătăți performanța motorului cu ardere internă, prin folosirea unor surse de alimentare externe, ce nu sunt dependente de motor, îmbunătățind astfel consumul de combustibil și emisiile de dioxid de carbon, datorită reducerii elementelor antrenate de către arborele cotit.

Obiectivele tezei:

1. Studiul pompelor electromagnetice ca studiu de nivel cu scopul de a identifica soluțiile disponibile în momentul de față și de a stabili direcția de cercetare a pompelor electromagnetice. Se va urmări determinarea categoriilor principale de pompe, căutându-se avantaje și dezavantaje în funcție de aplicația acestora. Se vor determina curbele de funcționare pentru pompele volumetrice și cele centrifugale, pentru a evidenția punctele critice de funcționare. De asemenea, se vor identifica pompele electromagnetice de curent alternativ, dar și pompele electromagnetice de curent continuu, observându-se principalele diferențe dintre acestea.

2. Dezvoltarea unui model de calcul pentru pompele electromagnetice. Se va realiza un model matematic de calcul pentru electromagnet, dar și pentru întreg ansamblul pompei electromagnetice. Cu ajutorul acestui model de calcul se vor putea identifica cele mai bune strategii pentru proiectarea electromagnetului. Pentru calculul matematic al electromagnetului se va pune accentul pe metodologia de calcul a bobinei, dar și a celorlalte componente ale electromagnetului. Se va urmări definirea datelor de intrare pentru pompa electromagnetică,

ce urmează a fi modelată matematic, unde se va ține cont de datele caracteristice ale unei pompe și anume presiunea și debitul, în relația acestora cu forța electromagnetului și frecvența de funcționare. Se va studia din punct de vedere matematic comportamentul armăturii electromagnetului, când aceasta este acționată mecanic sau electromagnetic.

3. Simularea electromagnetului are scopul de a determina, cu ajutorul software-urilor disponibile, forța electromagnetului, în funcție de forma constructivă a armăturii și a materialului feromagnetic. De asemenea se va alege materialul armăturii și al polilor magnetici pentru a obține forța optimă necesară.

4. Simularea diferitelor tipuri de supape pentru a studia diferite forme constructive ale acestora precum: supape cu bilă, supape cu taler și supape cu disc deformabil. În urma simulării acestor trei tipuri de supape, se va identifica cea mai bună soluție ce se va utiliza în componența pompei electromagnetice, ținându-se cont de performanțele acesteia.

5. Simularea curgerii fluidului prin pompă cu scopul determinării unei strategii de simulare bazată pe datele obținute din modelul matematic de calcul a pompei electromagnetice, pentru determinarea zonelor vulnerabile din pompa electromagnetică, unde se vor identifica suprafețele și secțiunile de interacțiune, astfel încât să se obțină cele mai bune performanțe pentru pompa electromagnetică.

6. Elaborarea unei metodologii de testare necesară pentru a crea cadrul unei testări eficiente a pompei și de a optimiza timpul destinat încercării pompelor electromagnetice. Metodologia de testare va fi împărțită pe secțiuni, astfel încât să fie o etapă preliminară de testare a funcționalității de bază a pompei electromagnetice și o etapă în care să se efectueze determinări pentru a obține întreaga plajă de funcționare a pompei electromagnetice. Se va urmări definirea unei scheme logice care să cuprindă întreaga plajă de măsurători prin definirea pașilor necesari.

7. Concepția unei instalații de testare pentru a determina parametrii de funcționare a pompei electromagnetice și de a evalua parametrii efectivi ai acesteia: presiune și debit. Instalația va cuprinde instrumente pentru măsurarea presiunii fluidului și a cantității de ulei livrate într-o unitate de timp. De asemenea, se va folosi un modulator de impulsuri pentru a varia frecvența și factorul de umplere (duty-cycle). Cu ajutorul sursei de alimentare se va regla tensiunea de alimentare pentru a studia comportamentul acesteia la valorile minime și maxime.

8. Prelucrarea datelor experimentale și stabilirea caracteristicilor pompei electromagnetice va ajuta la obținerea curbelor caracteristice pentru pompa electromagnetică și de a trasa limitele de funcționare pentru aceasta. Se vor realiza curbele de funcționare presiune – debit pentru diferite frecvențe ale electromagnetului, dar și la tensiuni de alimentare diferite. Se va urmări obținerea caracteristicilor de funcționare specifice la frecvențe de funcționare diferite.

9. Analiza îmbunătățirii motorului cu ardere internă prin utilizarea pompei electromagnetice. Se va realiza o analiză teoretică a îmbunătățirii performanțelor motorului cu ardere internă datorită folosirii pompei electromagnetice.

10. Diseminarea rezultatelor se va realiza prin detalierea participării la conferințe, întruniri cu specialiști din domeniu și publicarea de articole de specialitate în publicații internaționale.

3. Dezvoltarea unei metodologii de calcul a pompelor electromagnetice

3.1 Considerații generale privind dezvoltarea pompelor electromagnetice

Pompele electromagnetice, așa cum a fost prezentat și în Capitolul 2, sunt diverse și specifice diferitelor aplicații unde vor fi utilizate. De asemenea, în cazul nostru, pentru autovehicule întâlnim foarte multe aplicații unde aceste pompe pot fi utilizate, cum ar fi: instalația de alimentare cu combustibil, injectarea combustibililor în camera de ardere, la sistemele de distribuție variabilă (în special la cele hidraulice), la cutiile de viteze, la suplimentarea sistemelor cu ulei atunci când autovehiculul staționează, la injectarea ureei în instalația de evacuare a gazelor pentru reducerea emisiilor poluante, la lubrifierea lagărelor de alunecare, la asigurarea unei presiuni constante a diferitelor fluide, la transportul lichidului de parbriz și nu în ultimul rând la instalația de ungere a autovehiculelor [28].

În cazul de față dezvoltarea pompei electromagnetice va ținti utilizarea acestora pentru transportul uleiului de motor, prin eliberarea unei cantități exacte de ulei la o presiune determinată pentru mediul în care va lucra. Aplicațiile cărora se îndreaptă aceste pompe va fi asigurarea presiunii și debitului instalației de ungere, asigurarea cantității de ulei necesare instalațiilor hidraulice de distribuție variabilă, cât și asigurarea ungerii pentru alte sisteme auxiliare ale motoarelor cu ardere internă [45].

Pentru dezvoltarea pompelor electromagnetice sunt necesare evaluarea a două domenii importante:

- Proiectarea unui electromagnet care să dezvolte forța necesară deplasării armăturii;
- Proiectarea corpului pompei astfel încât să îndeplinească cerințele integrării ca instalație auxiliară pentru un motor cu ardere internă.

Odată cu dezvoltarea rapidă a telecomenzii electrice și a dispozitivelor electromecanice asemănătoare, în care electromagnetul stă la baza sistemului, a fost resimțită dorința cu privire la proiectarea electromagneților și pentru alte funcții [54].

3.2 Abordarea teoretică și dezvoltarea modelului de calcul

3.2.1 Metodologia de calcul a unui electromagnet liniar

Odată cu demararea procesului de proiectare al unui electromagnet trebuie să se stabilească cerințele tehnice și interacțiunile cu mediul. Aceste cerințe trebuie incluse în etapa preliminară sau în caietul de sarcini al produsului.

Pentru a putea selecta sistemul de electromagnet adecvat aplicației este necesar ca magnetul să fie considerat atât ca magnet independent, dar și în interacțiune cu celelalte elemente cu care urmează să interacționeze.

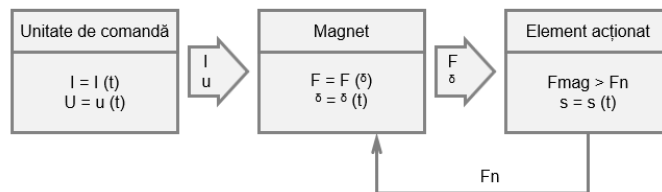


Fig. 3.1 – Electromagnetul în interacţiune cu unitatea de comandă şi elementul acţionat [22].

Pentru circuitele cu excitaţie electrică, unitatea de comandă trimite un semnal de control, fapt ce realizează alimentarea cu energie a sistemului de excitaţie (solenoid). Fluxul de curent prin spirele bobinei creează nişte linii de câmp magnetic care circulă prin componentele de fier (Fe), ce au o permeabilitate foarte bună pentru liniile de câmp magnetic. În momentul în care liniile de câmp magnetic sunt forţate să străbată un alt mediu, de exemplu aer, atunci se creează o forţă de atracţie datorită $\mu_{rFe} \gg \mu_{aer}$ (permeabilitatea fierului este mult mai mare decât a aerului pentru liniile de câmp magnetic), astfel liniile de câmp magnetic trec prin armătura pe care o deplasează apoi pentru a închide circuitul magnetic [55, 56].

3.2.2 Caracteristici teoretice privind proiectarea bobinei electromagnetului

Structura corespunzătoare bobinei de excitaţie, utilizarea materialelor adecvate cât şi alegerea celei mai optime tehnologii de producţie au o influenţă majoră asupra datelor tehnice ale unui electromagnet [3].

Electromagneţii de dimensiuni mici folosesc bobinele de înfăşurare de formă radială, care sunt mai ieftine din punct de vedere al tehnologiei de înfăşurare. La dimensionarea spirelor de excitaţie trebuie ținut cont de transferul de căldură realizat [43, 44, 50].

Construcţia bobinei ar trebui să aibă factori de umplere ridicaţi deoarece factorii de umplere sunt cei mai importanţi parametri pentru evaluarea înfăşurării şi utilizarea spaţiului disponibil [15]. De asemenea, este necesar să se facă distincţia între factorul de umplere de cupru (factorul de umplere cu conductor), factorul de umplere a înfăşurării şi factorul de umplere a ferestrei (tabelul 3.1).

Factorul de umplere	Ecuaţia de calcul		Explicaţie
	General	Bobine cilindrice	
1. Factorul de umplere cu Cupru	$k_{Cu} = \frac{A_L}{A_W}$	$k_{Cu} = \frac{\pi d_{Cu}^2 w}{4A_W}$	A_L - Aria totală a cuprului din înfăşurări; A_W - Aria de înfăşurare; A_D - Aria sârmei; d_{Cu} - diametrul cuprului; d - diametrul sârmei (d_{Cu} + izolaţie) w - numărul de spire
2. Factorul de umplere cu spire	$k_W = \frac{A_D}{A_W}$	$k_F = \frac{\pi d^2 w}{4A_W}$	
3. Factorul de umplere al ferestrei	$k_F = \frac{A_W}{A_F}$	Secţiunea transversală a ferestrei este definită ca o jumătate din ecţiunea transversală totală a bobinei. Aşadar k_F este determinat de zona de izolare a bobinei.	

Tabelul 3.1 – Factorul de umplere

Încercarea de a utiliza spaţiul de înfăşurare disponibil cât mai optim, cât şi alegerea unor procese de fabricaţie cât mai ieftine a dus la diferite tipuri de înfăşurări, astfel se face o

distincție distribuirea aleatorie a sârmei de cupru în fereastra bobinei sau distribuirea ortociclică [34].

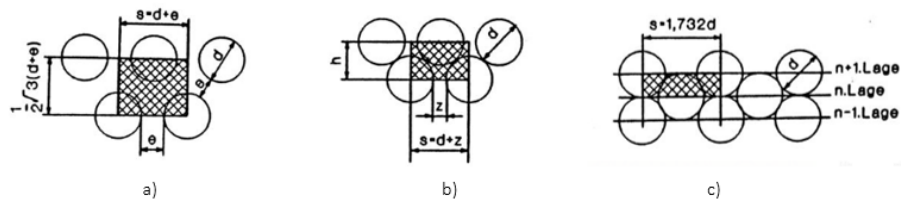


Fig. 3.2 – Reprezentare pentru definirea calculului factorului de umplere
a) dispunerea pe rânduri; b) dispunerea ortociclică; c) dispunerea neordonată [34]

Determinarea volumului magnetului este o etapă foarte importantă pentru determinarea caracteristicilor ulterioare ale electromagnetului. Pentru acest lucru se va utiliza [22]:

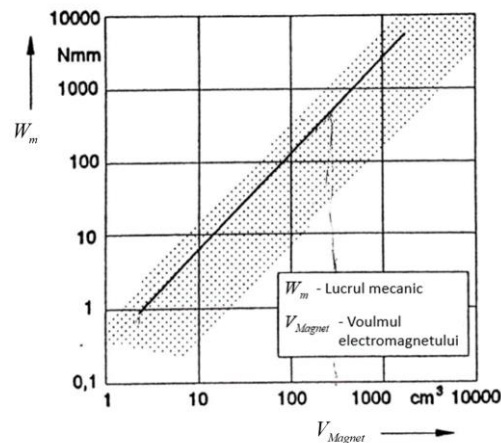


Fig. 3.3 – Relația dintre volumul necesar de electromagnet și lucrul mecanic

Figura 3.3 este rezultatul cercetării experimentale a unui număr de o sută de actuatori liniari diferiți, de la producători diferiți, ceea ce a rezultat într-o caracteristică liniară logaritmică, condiție care se va lua în calcul pentru calculul electromagnetului pentru pompa electromagnetice [22, 52, 61].

3.2.3 Model matematic pentru calculul pompei electromagnetice

Pentru proiectarea unei pompe electromagnetice sau a unei serii de pompe electromagnetice este necesară întocmirea caietului de sarcini. Astfel se consideră următoarele date de intrare pentru pompa electromagnetice:

$$\text{Debit: } Q = 2,5 \times 10^{-6} \frac{\text{m}^3}{\text{s}}, \quad Q = 9 \frac{\text{l}}{\text{h}}$$

$$\text{Presiune: } p = 0,4 \text{ MPa}$$

$$\text{Frecvență: } f = 50 \text{ Hz}$$

$$\text{Rezistența electrică: } R = 7,5 \Omega$$

$$\text{Tensiunea electrică nominală: } U = 12 \text{ V } (U_{\min} = 10,5 \text{ V și } U_{\max} = 14,5 \text{ V})$$

Determinarea caracteristicilor principale ale pompei:

Calculul volumului de pompaj, V_0 :

$$V_0 = \frac{Q}{f} \quad (3.1)$$

În cazul nostru $V_0 = 50mm^3$

Diametrul pistonului, d_0 :

$$d_0 = \sqrt{\frac{4 \cdot V_0}{\pi \cdot h_0}} \quad (3.2)$$

h_0 - reprezintă deplasarea armăturii electromagnetului și se adoptă valoarea $h_0 = 2.5mm$. S-a ales această valoare datorită limitării electromagnetului la curse mici, ceea ce rezultă ca diametrul pistonului pompei are valoarea, $d_0 = 5mm$.

Forța necesară pentru a asigura debitul impus se calculează:

$$F = p \cdot A \quad (3.3)$$

relația pentru determinarea forței necesare electromagnetului are forma:

$$F_{EM} = p \cdot \frac{\pi \cdot d_0^2}{4} \quad (3.4)$$

rezultând $F_{EM} = 7,85N$, se va adopta $F_{EM} = 14N$

Pentru a calcula volumul necesar de electromagnet conform figurii 3.16, este nevoie de a determina lucrul mecanic, ce va fi notat cu W_M .

$$W_M = F_{EM} \cdot h_0 \quad (3.5)$$

Calculând relația (3.36) obținem valoarea lucrului mecanic W_M , ca fiind $35Nmm$

Pentru determinarea volumului electromagnetului V , am dedus din figura 3.15 ecuația caracteristică a dreptei ca fiind de forma:

$$V(n) = \left(\frac{n}{0,4} \right)^{\frac{1}{1,26}} \quad (3.6)$$

Astfel vom avea volumul electromagnetului, V ca fiind $34,78cm^3$.

Pentru determinarea dimensiunilor exterioare ale electromagnetului, se consideră diametrul exterior al acestuia ca fiind D_{max} :

$$D_{max} = \sqrt[3]{\frac{4 \cdot V}{\pi}} \quad (3.7)$$

rezultând astfel $D_{max} = 35,4mm$ aproximându-se la valoarea întreagă.

Înălțimea electromagnetului H_{max} se calculează cu relația:

$$H_{max} = \sqrt{\frac{4 \cdot V}{\pi \cdot D_{max}}} \quad (3.8)$$

Rotunjindu-se H_{\max} la valoarea $H_{\max} = 36mm$

Diametrul armăturii se calculează ca fiind:

$$d_A = 0,4 \cdot D_{\max} \quad (3.9)$$

$$d_A = 14mm$$

Stabilirea dimensiunilor ferestrei de bobină

Pentru calculul ferestrei de bobină ne folosim de diametrele componentelor electromagnetului deja calculate și vom avea următoarele relații:

- diametrul interior al ferestrei de bobină, D_{Fi} este egal cu diametrul exterior al mosorului, D_{Me} , astfel $D_{Fi} = 19,6mm$
- diametrul exterior al ferestrei de bobină, D_{Fe} se calculează ca fiind:

$$D_{Fe} = D_{A_{Fe}} - 2 \cdot st_z \quad (3.10)$$

avem astfel diametrul exterior, $D_{Fe} = 30,6mm$.

Pentru a putea calcula bobina electromagnetului pe lângă diametrele D_{Fe} și D_{Fi} , avem nevoie și de lățimea respectiv lungimea ferestrei bobinei:

- lățimea ferestrei bobinei b , se calculează ca fiind:

$$b = \frac{D_{Fe} - D_{Fi}}{2} \quad (3.11)$$

astfel avem lățimea bobinei, $b = 5,5mm$.

- Lungimea bobinei, h o vom calcula:

$$h = H_{\max} - 2 \cdot g_d - 2 \cdot st_y \quad (3.12)$$

Rezolvând formula, vom obține $h = 30,4mm$.

Diametrul conductorului de cupru, cu lac, d_{Cu_L} :

$$d_{Cu_L} = 0,53mm$$

Aria ferestrei de bobină se calculează după formula:

$$A_{EF} = h \cdot b \cdot 0,8 \quad (3.13)$$

astfel avem $A_{EF} = 143,8mm^2$, considerând o umplere de 80%.

Numărul de spire, w se calculează cu formula:

$$w = \frac{4 \cdot A_{EF}}{\pi \cdot d_{Cu_L}^2} \quad (3.14)$$

se obține astfel $w = 606,3spire$, dar pentru un calcul de siguranță vom adopta $w = 570spire$.

Dacă cunoaștem lungimea sârmei de cupru, putem cu ușurință calcula rezistența electrică a bobinei de cupru, R_{20} :

$$R_{20} = \rho_{Cu} \cdot \frac{4 \cdot l_{Cu}}{\pi \cdot d_{Cu}^2} \quad (3.15)$$

Cunoaştem astfel rezistenţa electrică a bobinei ca fiind: $R_{20} = 7,83\Omega$, valoare care este foarte apropiată de cea recomandată la începutul secţiunii 3.2.3 şi anume $7,5\Omega$.

Atât timp cât se cunosc datele despre bobină putem cu uşurinţă să cunoaştem valorile pentru intensitatea magnetică, Θ , pentru puterea electromagnetului, P .

Iar curentul electric, I , se scrie cu relaţia:

$$I = \frac{U}{R} \quad (3.16)$$

Puterea electromagnetului se calculează cu relaţia:

$$P = U_{\max} \cdot I \quad (3.17)$$

3.2.4 Calculul componentelor auxiliare din pompa electromagnetă

Pentru a putea realiza construcţia pompei electromagnetice, pe lângă electromagnet este necesară proiectarea şi celorlalte componente auxiliare ale pompei. Pentru acest lucru avem nevoie de a calcula următoarele componente:

- arcul care asigură presiunea;
- arcurile supapelor;
- supapele;
- elementele de etanşare.

Deoarece arcul are o caracteristică liniară, s-a ales ca acesta să realizeze mişcarea pentru a genera presiunea din pompă, deoarece caracteristica electromagnetului este diferită odată cu creşterea temperaturii.

Pentru a determina forţa necesară arcului, trebuie cunoscută aria pistonului şi presiunea necesară. Vom adopta presiunea ca fiind $p = 0,4MPa$, iar rezolvând relaţia (3.34) va reieşi o forţă necesară pentru asigurarea presiunii de $8N$.

$$F = p \cdot \frac{\pi d_p^2}{4}$$

unde $d_p = 5mm$ rezultând $F = 7,85N$

Parcurgând modelul de calcul prezentat în varianta lărgită a prezentei lucrări a rezultat un arc având cursa: $\Delta s = s_2 - s_1$, $\Delta s = 2,5mm$, forţa $F_2 = 8,45N$ şi forţa $F_1 = 8N$.

În construcţia pompei electromagnetice vom avea nevoie de două elemente de etanşare, unul dintre acestea este destinat pentru a izola mediul electric de cel în care avem fluide, iar cel de-al doilea este destinat să izoleze camera principală de presiune de elementele aflate în mişcare [68]. Acestea vor fi numite ca element de etanşare dinamic şi element de etanşare static. Calculul acestor componente este prezentat detaliat în cadrul lucrării complete.

În urma calculelor din secţiunile (3.2.3) şi (3.2.4) a rezultat forma constructivă prezentată în figurile:

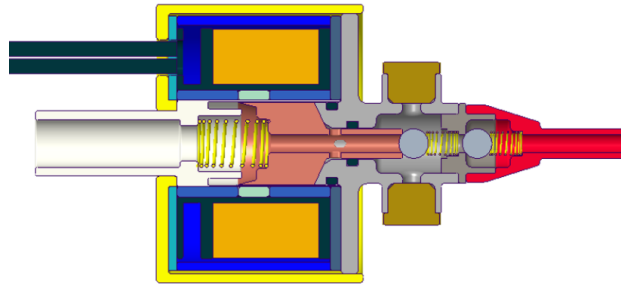


Fig. 3.4 – Secțiune prin pompa electromagnetică

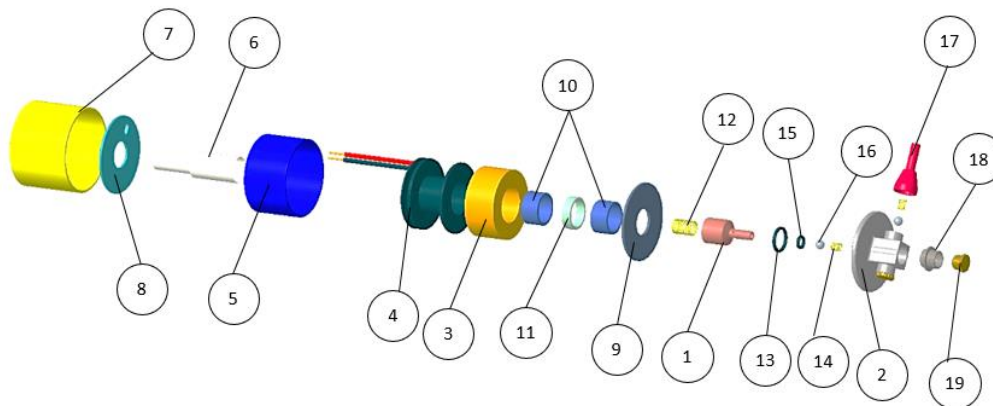


Fig. 3.5 – Componentele pompei electromagnetice

În figura 3.5 sunt prezentate componentele pompei electromagnetice unde se poate vedea: armătura (1) ce este corp comun cu pistonul pompei, aceasta glisează în cilindrul (6) și este deplasată de către arc (12). Carcasa (2) a pompei unde sunt poziționate supapele pompei ce conțin arcurile (14) și bilele (16), dar și elementele de închidere (18, 19) pentru modificarea poziției conductei de refulare (17). Elementele de etanșare ale pompei (13 și 15) sunt poziționate în carcasa pompei.

Bobina (3) este înfășurată pe mosorul (4). Elementul de plastic (11) este cel care realizează spațiul de aer funcțional al electromagnetului. Componentele electromagnetului prin care curg liniile de câmp magnetic sunt cilindrii interiori (10), polii (8, 9) și carcasa (5). Carcasa exterioară (7) are rolul de a absorbi liniile parazite ale fluxului magnetic, dar și rol de carcasă exterioară.

3.3 Model de calcul pentru analiza teoretică a comportamentului pompei electromagnetice

Determinarea teoretică a comportamentului pompei electromagnetice este o etapă foarte complexă, dar pe care vom încerca să o simplificăm sub forma ecuațiilor diferențiale. În cazul pompei electromagnetice avem armătura electromagnetului, care este corp comun cu pistonul pompei și care realizează o mișcare înainte și înapoi. La deplasarea înainte armătura este deplasată de către arc, iar la mișcarea înapoi armătura este deplasată de electromagnet.

Pe baza acestor considerente vom încerca cu ajutorul ecuațiilor diferențiale să determinăm deplasarea armăturii în funcție de timp, când armătura este deplasată de către arc și când armătura este deplasată de către electromagnet.

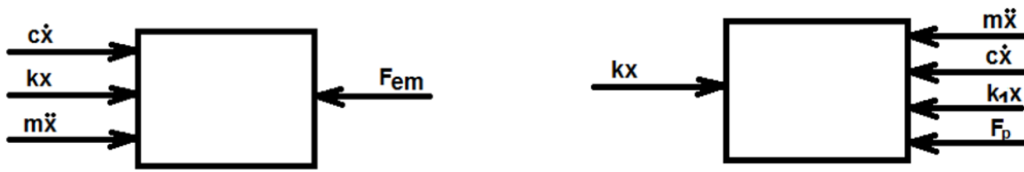


Fig. 3.6 – Reprezentarea grafică pentru ecuația dinamică în cazul electromagnetului (stânga), respectiv a arcului (dreapta)

Ecuația dinamică pentru electromagnet

$$x(t) = e^{-nt} \left[\left(x_0 - \frac{F_{em} - kl_0}{k} \right) \cos p_1 t + \frac{v_0 + n \left(x_0 - \frac{F_{em} - kl_0}{k} \right)}{p_1} \sin p_1 t \right] \quad (3.18)$$

$$v(t) = -ne^{-nt} \left[\left(x_0 - \frac{F_{em} - kl_0}{k} \right) \cos p_1 t + \frac{v_0 + n \left(x_0 - \frac{F_{em} - kl_0}{k} \right)}{p_1} \sin p_1 t \right] + p_1 e^{-nt} \left[- \left(x_0 - \frac{F_{em} - kl_0}{k} \right) \sin p_1 t + \frac{v_0 + n \left(x_0 - \frac{F_{em} - kl_0}{k} \right)}{p_1} \cos p_1 t \right] \quad (3.19)$$

Ecuația dinamică pentru arc

$$x(t) = e^{-nt} \left[\left(x_0 - \frac{-F_p + kl_0 + ks - k_1 l_1}{k + k_1} \right) \cos p_1 t + \frac{v_0 + n \left(x_0 - \frac{-F_p + kl_0 + ks - k_1 l_1}{k + k_1} \right)}{p_1} \sin p_1 t \right] \quad (3.20)$$

$$v(t) = -ne^{-nt} \left[\left(x_0 - \frac{-F_p + kl_0 + ks - k_1 l_1}{k + k_1} \right) \cos p_1 t + \frac{v_0 + n \left(x_0 - \frac{-F_p + kl_0 + ks - k_1 l_1}{k + k_1} \right)}{p_1} \sin p_1 t \right] + p_1 e^{-nt} \left[- \left(x_0 - \frac{-F_p + kl_0 + ks - k_1 l_1}{k + k_1} \right) \sin p_1 t + \frac{v_0 + n \left(x_0 - \frac{-F_p + kl_0 + ks - k_1 l_1}{k + k_1} \right)}{p_1} \cos p_1 t \right] \quad (3.21)$$

3.4 Concluzii

În cadrul acestui capitol s-a dezvoltat un model de calcul pentru pompele electromagnetice, în prima parte s-a prezentat procesul de dezvoltare al unui electromagnet care are ca destinație pompa electromagnetică, iar în a doua parte s-a abordat dezvoltarea modelului de calcul din punct de vedere teoretic.

În cadrul metodologiei de calcul al unui electromagnet liniar s-a ținut cont de tipul de electromagnet, de volumul construcției, poziția unde acesta se va instala, conectarea părții mobile cu dispozitivul ce urmează a fi acționat, determinarea cursei de acționare, determinarea curbei caracteristice, consumul de energie, frecvența de funcționare, timpii de comutare, ciclul total de funcționare.

Electromagnetul este format dintr-o unitate de comandă, dar și de un element acționat. S-au prezentat tipurile de electromagneți care depind de aplicațiile în care vor fi utilizați și care au făcut posibilă alegerea constructivă specifică aplicației pompei electromagnetice. Astfel au fost dezvoltate și etapele principale de proiectare ale unui electromagnet, însă fără partea electrică de acționare.

S-au determinat elementele principale caracteristice electromagnetului precum și modalitatea de calcul pentru următorii parametri: forța electromagnetului, secțiunea transversală a materialului feromagnetic, lungimea medie a liniilor de câmp magnetic, secțiunea transversală a înfășurării, mărimea spațiului de aer funcțional, cât și volumul de cupru necesar.

S-au calculat elementele principale caracteristice bobinei electromagnetului, unde s-au determinat: forma constructivă a mosei bobinei, factorul de umplere (factorul de umplere cu cupru k_{Cu} , factorul de umplere cu spire k_w și factorul de umplere al ferestrei k_F), alegerea înfășurării, și determinarea diametrului sârmei de cupru, d_{Cu} .

Conform diagramei, lucrului mecanic în funcție de volumul electromagnetului, s-a determinat volumul electromagnetului.

Prin calculul matematic al pompei electromagnetice s-au definit datele de intrare principale pentru pompa electromagnetice: debitul $Q = 2,5 \times 10^{-7} m^3 / s$, presiunea $p = 0,4 MPa$, frecvența $f = 50 Hz$, rezistența electrică recomandată $R = 7,5 \Omega$, cât și tensiunea electrică nominală $U = 12V$.

S-a dezvoltat și proiectat electromagnetul cu volumul de $34,78 cm^3$ cu un diametru $D = 35,4 mm$ și o înălțime $H = 36 mm$.

Forța necesară pentru asigurarea presiunii $p = 0,4 MPa$ s-a determinat ca fiind $F = 7,85 N$.

Secțiunea ferestrei bobinei electromagnetului a rezultat ca fiind $143 mm^2$, folosindu-se spire cu diametrul de $0,5 mm$, iar numărul total de spire egal cu 570 spire.

Pentru a asigura presiunea de $0,4 MPa$ s-a calculat un arc cu forța $F_1 = 8 N$ și $F_2 = 8,45 N$

De asemenea s-au predimensionat componentele auxiliare din pompele electromagnetice, care sunt necesare pentru îndeplinirea funcției acestora, calculându-se: arcul de acționare, supapele, elementele de etanșare, rezultând astfel forma constructivă.

Analiza teoretică a comportamentului armăturii pompei electromagnetice s-a realizat cu ajutorul ecuațiilor diferențiale, definind astfel mișcarea armăturii atunci când aceasta este acționată de către electromagnet sau când aceasta este acționată de către arc. Apoi s-a calculat fiecare situație în parte determinându-se curba caracteristică pentru deplasarea armăturii, atunci când aceasta este acționată de electromagnet sau când este acționată de către arc, rezultând curba caracteristică și timpul necesar pentru un ciclu complet de funcționare.

Pentru o deplasare de $2,5 mm$ a rezultat timpul necesar electromagnetului pentru a deplasa armătura ca fiind $t_1 = 0,0029 s$ și timpul necesar arcului pentru a împinge armătura: $t_2 = 0,008 s$.

4. Simularea comportamentului pompei electromagnetice

4.1 Considerații generale privind simularea virtuală a pompei electromagnetice

Simularea virtuală este modalitatea cea mai rapidă de a optimiza un model de calcul deja realizat fără a fi nevoie de încercări repetitive de a construi și testa produsul. În cazul pompei electromagnetice acest proces este foarte avantajos datorită posibilității creării modelelor complexe modificând doar anumiți parametrii.

Fiind un ansamblu ce cuprinde două sisteme, unul electromagnetic și unul hidraulic este necesar ca simularea să se facă individual pentru fiecare sistem în parte, pentru a avea rezultate concludente. Astfel, în prima secțiune se vor simula electromagneții, iar în secțiunea a doua se va simula sistemul hidraulic, respectiv curgerea uleiului în pompă.

4.2 Simularea electromagneților

4.2.1 Aspecte teoretice privind simularea electromagneților

Pentru simularea electromagneților ne vom folosi de un software oferit gratuit (open source) care este accesibil și care oferă rezultate foarte apropiate de realitate. Pentru acest lucru vom folosi FEMM.

FEMM este o suită de programe pentru rezolvarea problemelor electromagnetice cu frecvență joasă pe domenii planare și axisimetrice bi-dimensionale. Programul abordează în prezent probleme magnetostatice liniare/nelineare, probleme magnetice armonice liniare/nelineare de timp, probleme electrostatice liniare și probleme de flux de căldură în stare staționară.

4.2.2 Modelarea simulării electromagneților

În cazul pompei electromagnetice vom încerca simularea electromagnetului cu ajutorul FEMM astfel vom propune spre analiză două forme geometrice diferite. Scopul acestor simulări este acela de a determina forța armăturii, astfel încât să poată învinge arcul care acționează armătura în direcția opusă [8].

În figura 4.1 este prezentată pompa electromagnetică al cărui electromagnet urmează să îl simulăm. Armătura (1) are forma constructivă în partea superioară realizată în așa fel încât liniile de flux magnetic să dezvolte forța necesară pentru a deplasa armătura. Bobina (2) joacă un rol important deoarece ea este cea în jurul căreia se formează liniile de câmp magnetic care vor circula prin polii electromagnetului (3). Carcasa exterioară (4), are rolul de a prelua liniile de flux magnetic parazite, asigurând izolarea sistemului astfel pentru a nu influența funcționarea componentelor electrice din imediata apropiere [48].

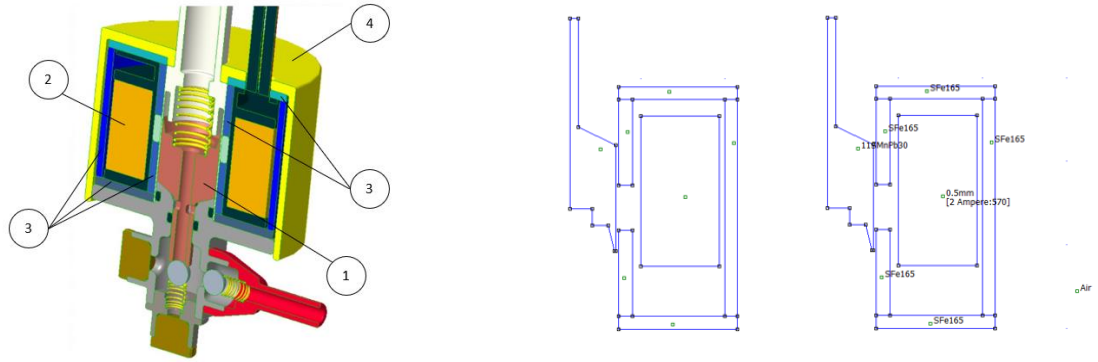


Fig. 4.1 – Pompa electromagnetică (stânga), forma constructivă a electromagnetului (dreapta).

1 – armătura electromagnetului; 2 – bobina electromagnetului; 3 – poli electromagnetului; 4 – carcasa exterioră (VARIANTA 1)

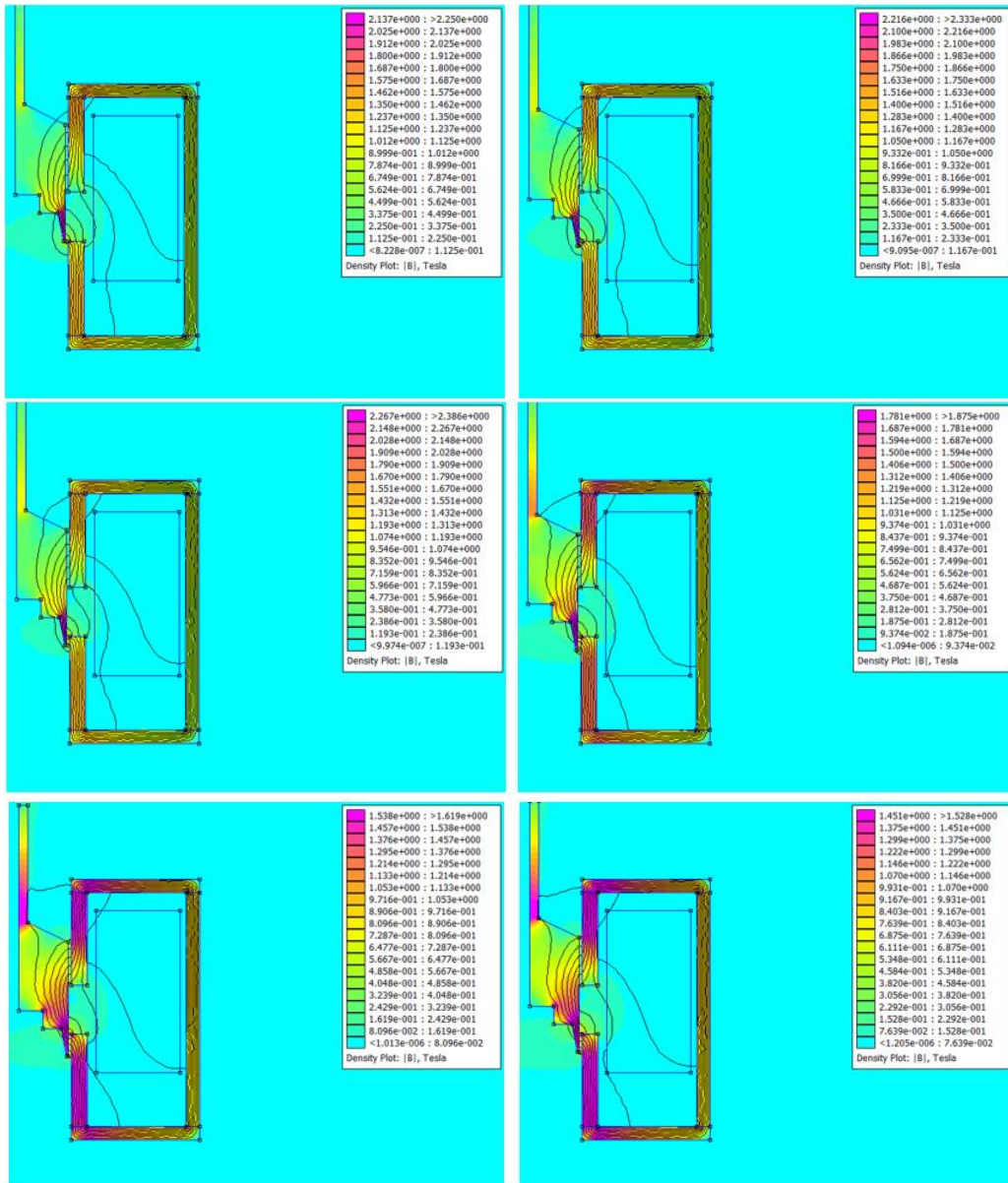


Fig. 4.2 Densitatea fluxului magnetic B , pentru deplasarea armăturii electromagnetului de la 0 la 2.5mm (VARIANTA 1)

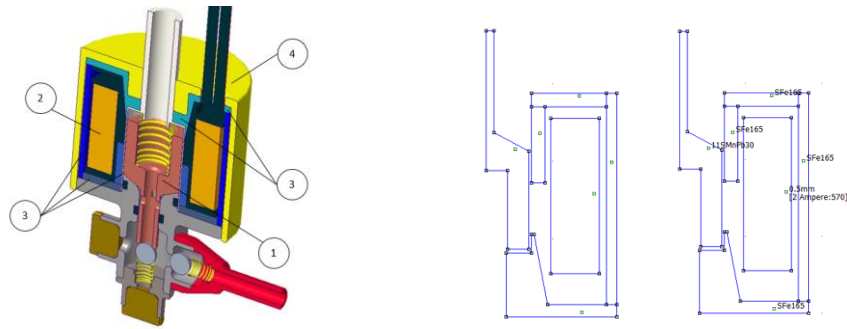


Fig. 4.3 – Pompa electromagnetică (stânga), forma constructivă a electromagnetului (dreapta). 1 – armătura electromagnetului; 2 – bobina electromagnetului; 3 – polii electromagnetului; 4 – carcasa exterioră.

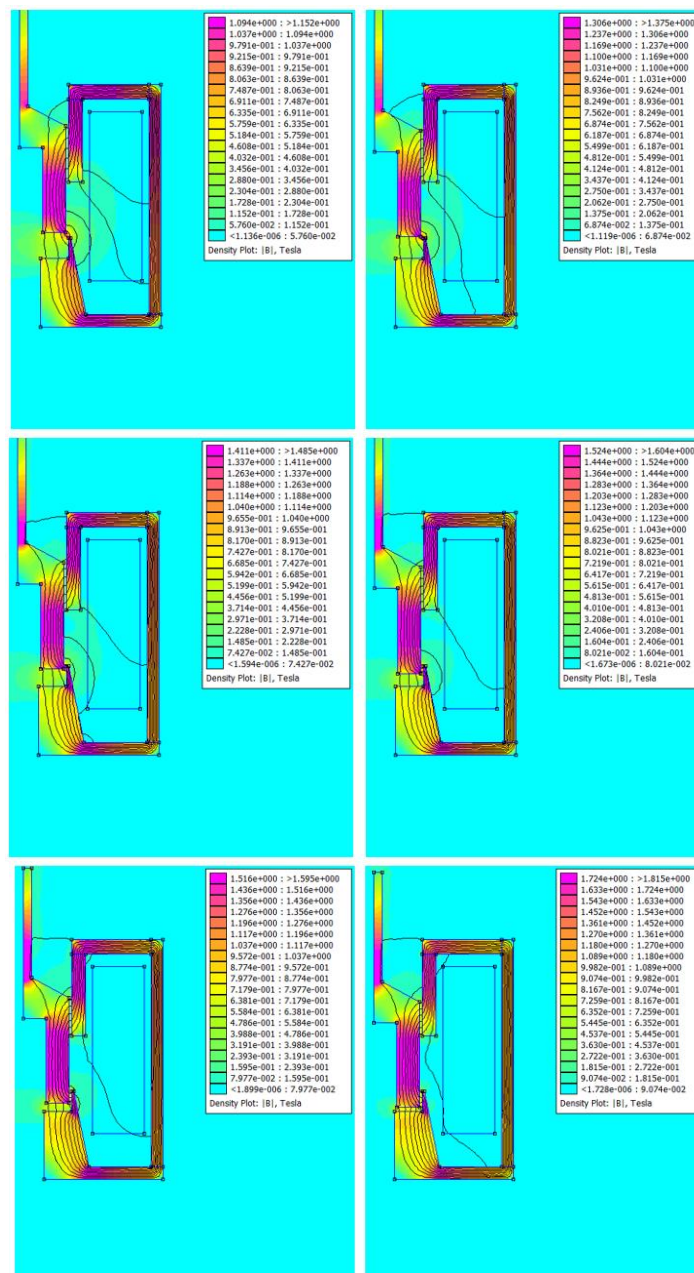


Fig. 4.4 Densitatea fluxului magnetic B , pentru deplasarea armăturii electromagnetului de la 0 la 2.5mm (VARIANTA 2)

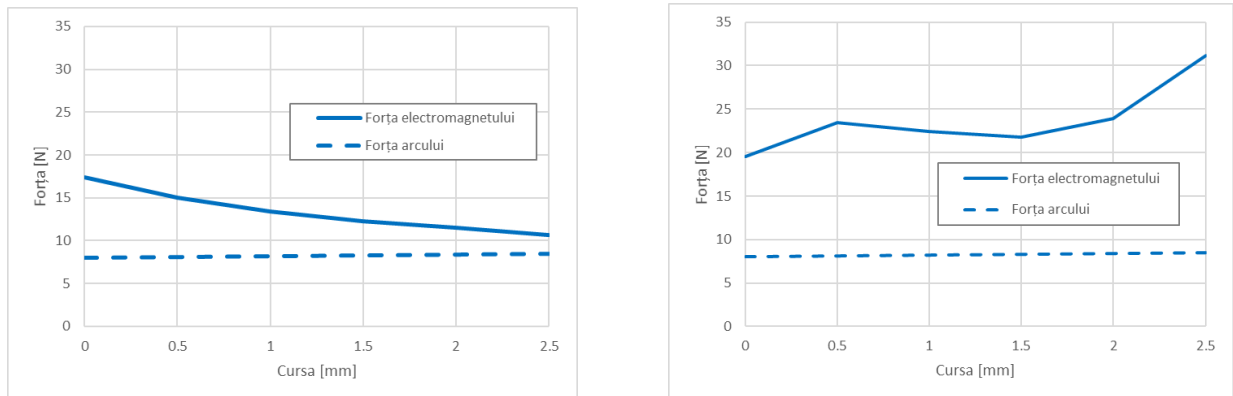


Fig. 4.5 Forţa electromagnetului şi forţa arcului în funcţie de cursa armăturii
VARIANTA 1 (stânga), VARIANTA 2 (dreapta)

4.3 Simularea curgerii fluidelor prin diferite tipuri de supape

4.3.1 Metodologia de simulare

Scopul simulării supapelor unisens este de a avea control asupra presiunii de egalizare pentru diferite tipuri de circuite. Soluțiile de bază de proiectare pentru aceste supape includ supape cu bilă, supape cu arc sau supapele cu disc. Pentru a asigura cel mai mare timp de răspuns al unei supape, luând în considerare contaminarea cu ulei și degradarea unor proprietăți fizice și chimice ale fluidului hidraulic, trebuie respectate anumite cerințe cu privire la modificările secțiunilor de curgere, racordurilor, rugozității suprafeței, vitezei fluidului și timpului de reacție.

4.3.2 Metodologia de simulare CFD pentru supapele unisens [30]

Principalul model de simulare creat pentru studierea supapelor propuse consideră un flux laminar incompresibil și un fluid newtonian, având proprietățile uleiului de motor.

Din cauza deplasării bilei, a supapei și a deformării discului, s-a utilizat adaptarea automată a rețelei de discretizare, necesară în jurul componentelor aflate în mișcare.

Pentru aceste două tipuri de supape cu arc, se realizează o primă simulare, luând în considerare poziția finală a componentei mobile, bila, respectiv talerul. Această poziție finală corespunde poziției de deschidere completă a supapei. Fluxul este unul constant, iar performanțele fluxului sunt evaluate în această etapă. Astfel, curgerea complet dezvoltată oferă informații despre viteza și presiunea fluidului.

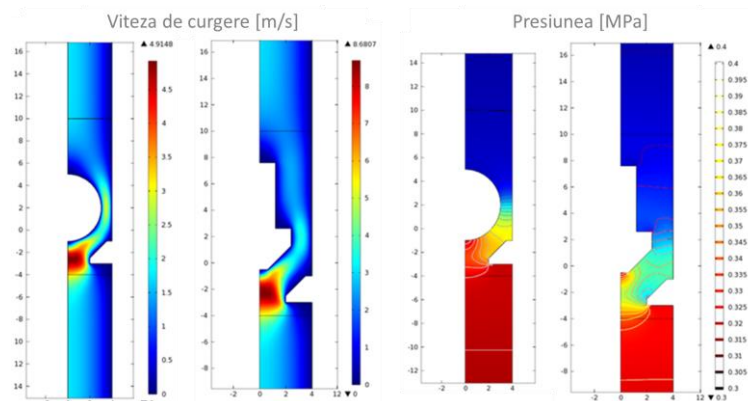


Fig. 4.6 - Viteza de curgere și presiunea pentru supapele cu bilă și supapele cu taler

4.4 Simularea curgerii fluidului prin pompa electromagnetică

Dinamica fluidelor este știința care studiază mișcarea fluidelor, iar aceasta se studiază în trei feluri: experimental, teoretic (analitic) și prin metode numerice, adică (CFD).

În 1953, M. Kawaguti obține o soluție pentru curgerea în jurul unui cilindru folosind un calculator de birou mecanic, lucrând 20 de ore pe săptămână timp de 18 luni, necesitând „multă muncă și tenacitate.” [23].

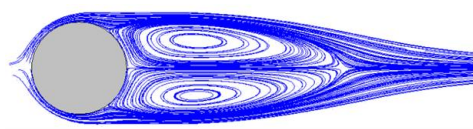


Fig. 4.7 Rezultat analiză CFD – curgerea în jurul unui cilindru, linii de curent

4.4.1 Metodologia adoptată pentru simularea pompei

Cu ajutorul aplicațiilor de simulare a curgerilor fluidelor vom simula curgerea uleiului prin pompa electromagnetică calculată în Capitolul 3. Pentru a realiza această simulare va trebui să impunem condițiile inițiale pentru metodologia de simulare.

Astfel vom simula cele două variante de pompe electromagnetice varianta 1 – fig. 4.8 și varianta 2 - fig. 4.9.

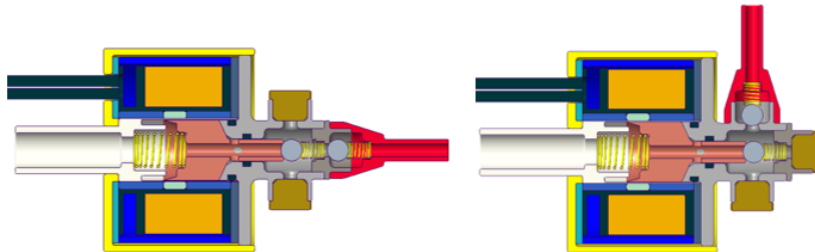


Fig. 4.8 – Pompa electromagnetică – primul model de simulare, la care liniile de câmp magnetic circulă prin forma specifică armăturii

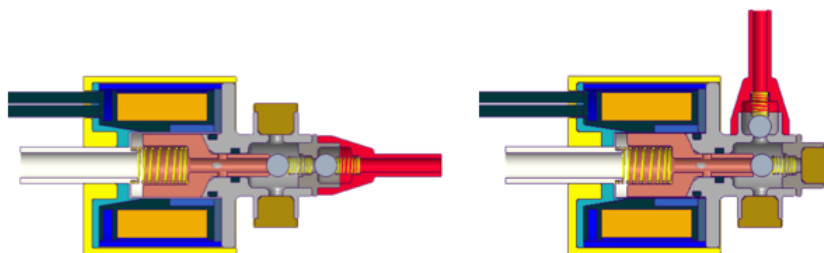


Fig. 4.9 – Pompa electromagnetică – al doilea model de simulare, la care liniile de câmp magnetic circulă prin partea superioară a armăturii

Pentru a impune condițiile inițiale pentru pompa electromagnetică se vor simula trei cazuri, un caz pentru prima variantă la frecvența de 10Hz, iar pentru varianta 2 se vor simula frecvențele 10Hz și 50Hz.

Pentru a determina liniile de curgere a fluidului prin pompa electromagnetică se vor simula șase poziții ale deplasării armăturii, trei poziții când armătura este acționată de către electromagnet și trei poziții când armătura este deplasată de către arc.

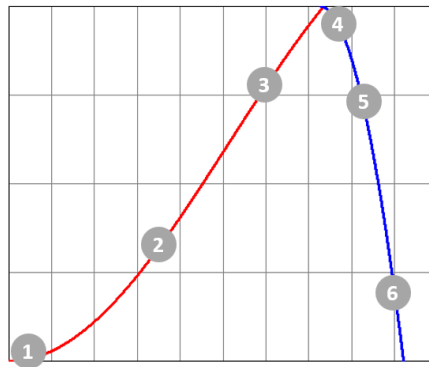


Fig. 4.10 – Pozițiile alese în simulare pentru deplasare pistonului pompei, pentru un ciclu complet, atunci când acesta este acționat de electromagnet și când este acționat de către pompă (linia roșie reprezintă curba de deplasare a armăturii când este acționată de electromagnet, iar linia albastră reprezintă curba de deplasare a armăturii când aceasta este deplasată de către arc)

4.4.2 Modelarea curgerii prin pompa electromagnetică

Pentru modelarea curgerii fluidelor prin pompa electromagnetică, în cazul de față simularea curgerii uleiului, sunt necesari câțiva pași pentru a ajunge la niște rezultate concludente în urma simulării descriși mai jos:

1. Construirea zonei negative a pompei, zona efectivă prin care va curge fluidul și determinarea zonelor critice, și anume a secțiunilor de curgere a fluidului;
2. Determinarea domeniilor geometrice prin care curge fluidul (volumul închis);
3. Proprietățile fluidului (vâscozitate dinamică, densitate și căldură specifică la presiune constantă și conductivitatea termică);
4. Alegerea ecuațiilor de curgere potrivite pentru aplicația studiată (Navier-Stokes);
5. Determinarea condițiilor limită;
6. Discretizarea în elemente finite a domeniului de simulat după principiile studiilor CFD;
7. Rezolvarea ecuațiilor de curgere prin rularea analizei;
8. Analiza și interpretarea rezultatelor.

4.4.3 Rezultatele simulării

Considerându-se etapele de funcționare ale pompei descrise în secțiunea 2 și în secțiunea 3, ciclul complet de funcționare a pompei cuprinde două etape. Prima etapă este când armătura electromagnetului (care este corp comun cu pistonul pompei), este deplasată în sens opus acționării arcului prin energizarea bobinei și a doua etapă, atunci când arcul deplasează armătura, respectiv pistonul pompei.

Cazurile prezentate în fig. 4.10, admisia și refularea sunt împărțite pe zone distincte, astfel pozițiile 1, 2 și 3 sunt pozițiile care caracterizează aspirația fluidului în pompă, când armătura este acționată de către electromagnet, iar pozițiile 4, 5 și 6 sunt pozițiile când armătura este deplasată de către arc, moment în care are loc refularea fluidului din pompă.

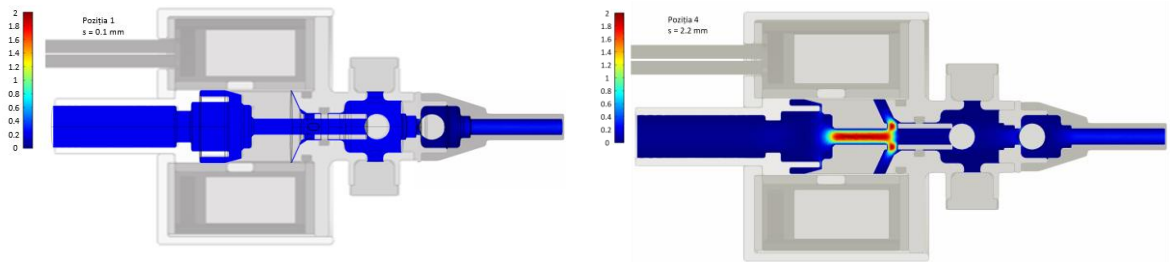


Fig. 4.11 Reprezentarea în secțiune a câmpurilor de viteză când armătura este acționată de electromagnet în poziția inițială, respectiv când armătura este deplasată de arc în poziția inițială (VARIANTA 1).

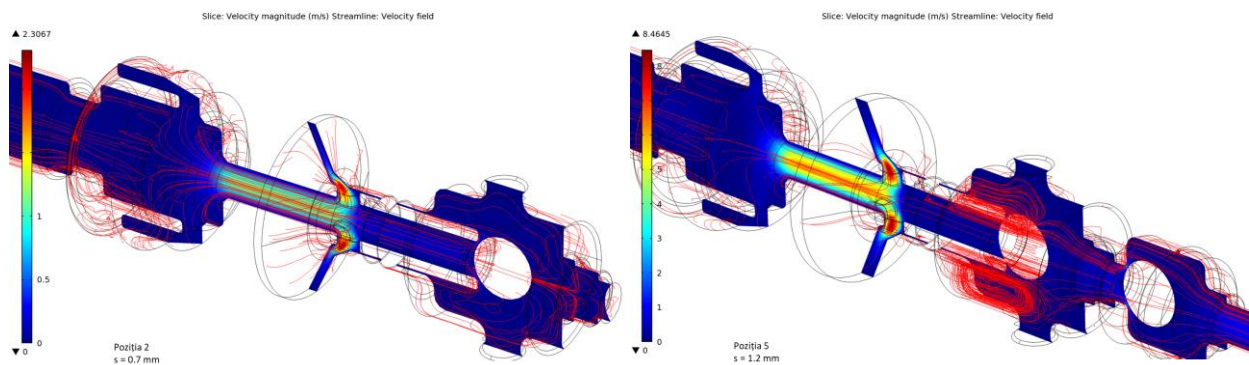


Fig. 4.12 Reprezentarea 3D a liniilor de curgere suprapuse pe secțiunea câmpurilor de viteză când armătura este acționată de electromagnet în poziția intermediară, respectiv când armătura este deplasată de arc în poziția intermediară (VARIANTA 1)

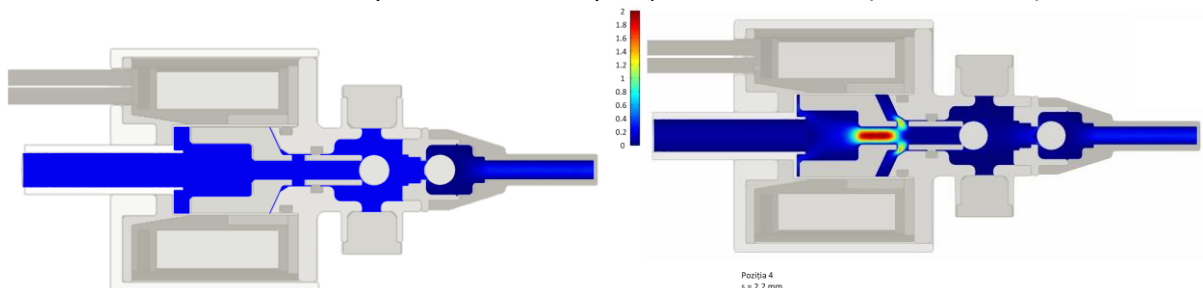


Fig. 4.13 Reprezentarea în secțiune a câmpurilor de viteză când armătura este acționată de electromagnet în poziția inițială, respectiv când armătura este deplasată de arc în poziția inițială (VARIANTA 2)

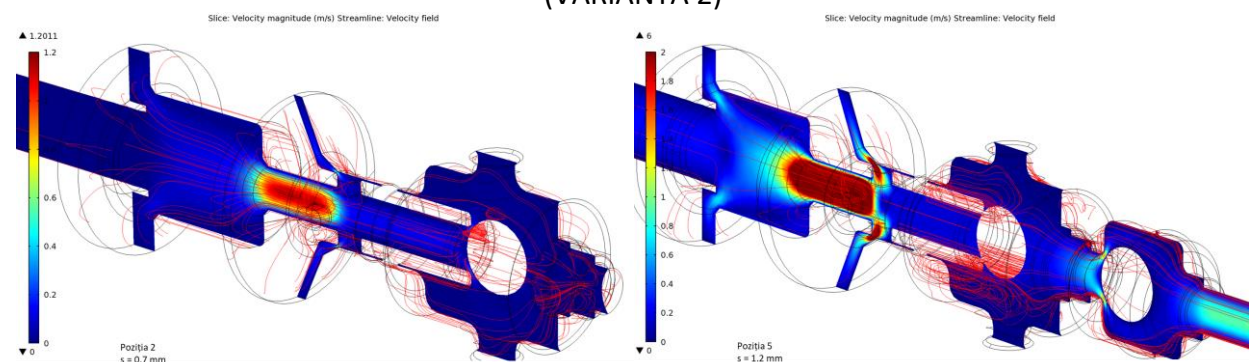


Fig. 4.14 Reprezentarea 3D a liniilor de curgere suprapuse pe secțiunea câmpurilor de viteză când armătura este acționată de electromagnet în poziția intermediară, respectiv când armătura este deplasată de arc în poziția intermediară (VARIANTA 2)

Analizând vitezele de curgere în poziția 3 a armăturii, când aceasta este acționată de electromagnet și anume pe cursa de umplere a camerei intermediare, viteza maximă a fluidului se obține pentru varianta constructivă 1, în zona orificiilor, lucru ce duce la o creștere a frecării interne în fluid, generând un consum de energie ridicat. În varianta a doua vitezele maximă de curgere obținută este mai mică cu 7%, rezultând o curgere îmbunătățită.

Dacă analizăm presiunea rezultată în camera de presiune medie în poziția 3, se poate observa o presiune cu 14% mai mare în varianta 2, ceea ce duce la un randament de umplere superior față de varianata 1. Presiunea rezultată este de 0,15 MPa, pentru varianta 2.

La analiza vitezelor de curgere pentru poziția 4 a armăturii, când aceasta este acționată de arc și anume pe cursa de refulare a fluidului din camera intermediară, viteza maximă a fluidului se obține pentru varianta 1, în zona orificiilor, lucru ce duce la o creștere a frecării interne în fluid, generând un consum de energie ridicat. În varianta a doua vitezele maximă de curgere obținută este mai mică cu 2%, rezultând o curgere ușor îmbunătățită.

Presiunea rezultată în spațiul dintre peretele dinspre capătul de aspirație și armătură, corespondent poziției 4, este cu 12% mai mare în varianta 2, ceea ce duce la rezistențe de înaintare mai mici ale armăturii și o curgere mai lină înspre capătul de aspirație față de varianata 1. Presiunea rezultată în acel punct este de 0,17MPa, pentru varianta 2.

4.5 Concluzii

În cadrul Capitolului 4 s-au simulat electromagneții pentru două versiuni constructive de pompe electromagnetice și s-a realizat simularea diferitelor tipuri de supape, pentru a determina care este supapa cu cel mai bun timp de răspuns.

De asemenea, în cadrul acestui capitol s-a realizat simularea dinamică a curgerii fluidelor prin pompa electromagnetică, pentru cele două tipuri de electromagneți la frecvențe de 10Hz și de 50Hz.

Pentru simularea electromagneților s-a determinat metodologia de analiză cu ajutorul soft-ului open-source FEMM și posibilitățile acestuia pentru determinarea diferitelor forme constructive, cât și a alegerii diferitelor materiale pentru a obține cele mai bune performanțe pentru electromagnet. Pentru cele două variante constructive de electromagneți s-a determinat densitatea fluxului magnetic, B , în diferite poziții ale armăturii.

Un alt lucru specific electromagneților, și foarte important pentru pompa electromagnetică, a fost determinarea forței electromagnetului, obținând astfel o forță maximă, pentru prima variantă constructivă de $F_{\max} = 17,35N$, iar pentru varianta a doua $F_{\max} = 31,12N$.

În cadrul secțiunii pentru simularea diferitelor forme de supape, unde au fost simulate supape cu bilă, supape cu taler și supape cu disc deformabil, a rezultat că performanțele și timpul cel mai bun de răspuns s-au obținut pentru supapele cu bilă. Datorită acestor rezultate, s-a ales ca pentru pompa electromagnetică să se folosească supape cu bilă.

În urma simulării celor două variante constructive a rezultat o îmbunătățire cu 7% a vitezelor de curgere și de 14% a presiunii fluidului, pentru varianta 2, îmbunătățire simulată pentru poziția 3, când armătura este acționată de către electromagnet.

Analizând poziția 4, când armătura este acționată de arc, s-a obținut o îmbunătățire pentru varianta 2 de 2% a vitezelor de curgere și de 12% a presiunii fluidului.

5. Cercetarea experimentală a pompei electromagnetice. Performanţele motoarelor cu ardere internă echipate cu noul sistem

Cercetarea experimentală a pompei electromagnetice are scopul de a determina parametrii funcţionali ai pompei, de a valida modelul de calcul teoretic, dar şi de a valida datele simulate.

Cercetarea pompei electromagnetice are ca obiective:

- Construirea unei instalaţii de testare;
- Dezvoltarea unei metodologii de testare;
- Stabilirea unor modalităţi de prelucrare a datelor
- Corelarea datelor testate;
- Stabilirea parametrilor pompei electromagnetice rezultaţi în urma cercetării.

Pentru cercetarea experimentală s-au realizat două variante constructive de pompe electromagnetice, denumite versiunea 1 şi versiunea 2 prezentate în figura 5.1 şi 5.2. alături de dimensiunile geometrice şi valorile funcţionale teoretice (presiunea, debitul şi forţa electromagnetului).

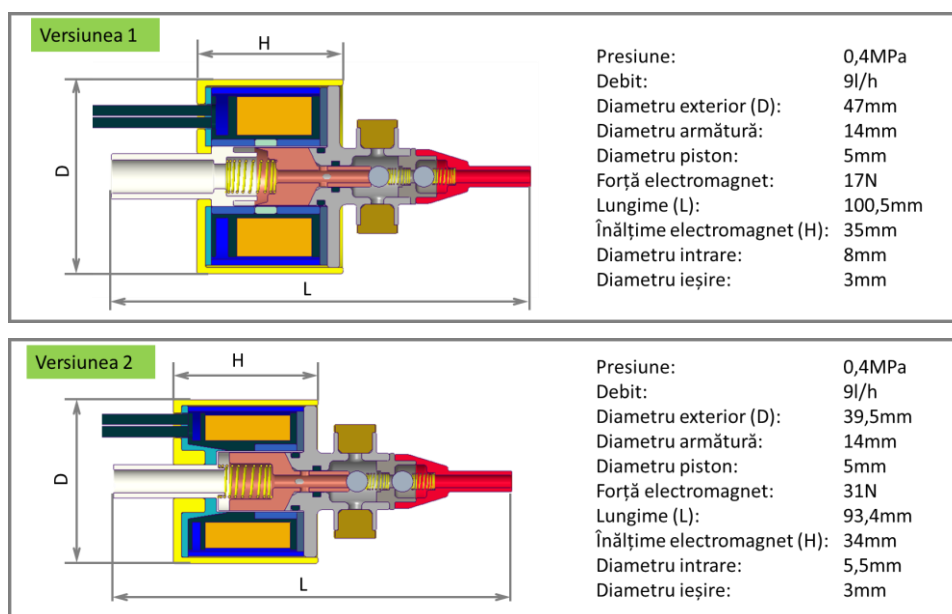


Fig. 5.1 – Obiectul de testare – pompa electromagnetă în cele două variante constructive

5.1 Consideraţii generale privind testarea pompei electromagnetice

Pentru testarea pompei electromagnetice primul pas este construirea instalaţiei de încercare, deoarece este importantă pentru determinarea parametrilor funcţionali ai pompei electromagnetice. De asemenea pentru a avea date concludente este necesară stabilirea unei metodologii de testare corespunzătoare pompei electromagnetice. Datele colectate în urma măsurătorilor trebuie analizate şi interpretate în mod corespunzător pentru stabilirea parametrilor pompei electromagnetice.

5.2 Instalaţia de testare a pompei electromagnetice

Pentru testarea pompei s-a folosit o instalaţie de testare de tip stand de încercare care a măsurat datele de intrare pentru pompa electromagnetă (curentul electric, tensiunea, frecvenţa de funcţionare, duty-cycle-ul), dar şi datele specifice pompei precum debit şi presiune.

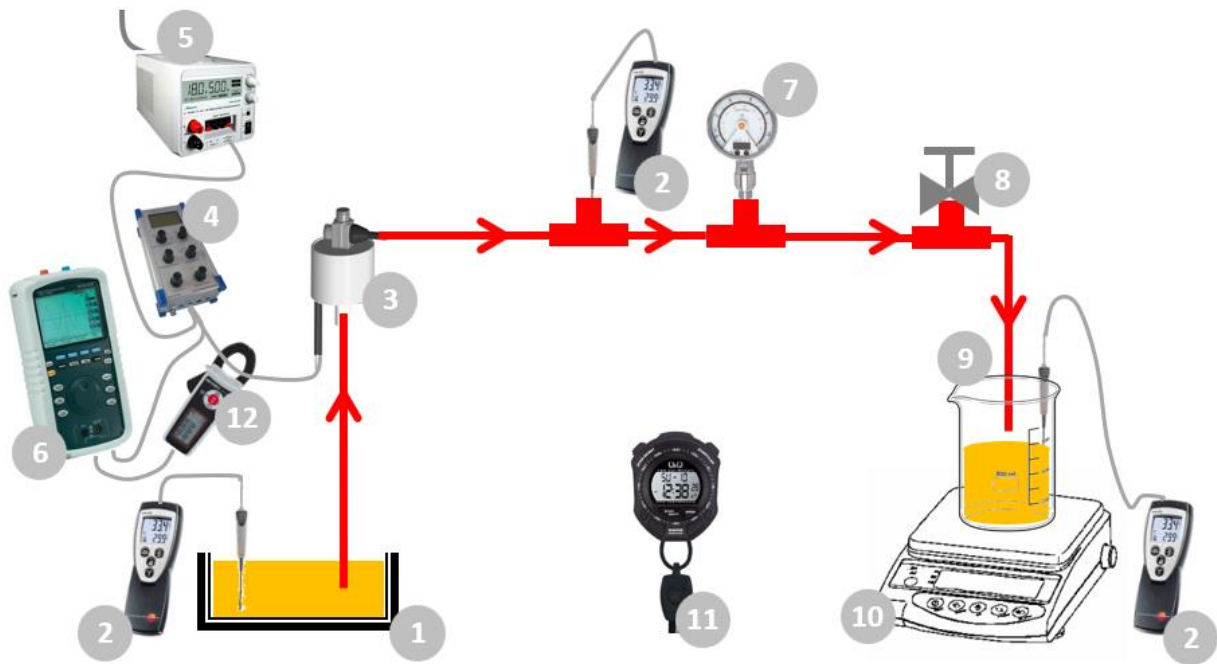


Fig. 5.2 - Construcția instalației de testare

Conform figurii 5.2 instalația de încercare a pompei electromagnetice este compusă din rezervorul de ulei (1), în care este introdus uleiul de motor de tip 10W40, a cărei temperatură este măsurată cu ajutorul termometrului (2). Pompa electromagnetă axială(3) este montată imediat după rezervorul de ulei. Aceasta primește semnal de la modulatorul de frecvență (4). Semnalul modulatorului de frecvență poate varia, la fel ca și tensiunea de alimentare provenită de la sursa de alimentare (5). Datele electrice, precum tensiunea, curentul, frecvența, pulsul vor fi măsurate cu ajutorul osciloscopului (6), care este conectat la unitatea de achiziție a datelor. Temperatura uleiului se măsoară cu ajutorul termometrului (2) în rezervorul de ulei, după ce iese din pompa electromagnetă, dar și în recipientul final.

Presiunea din circuitul instalației de testare, care reprezintă presiunea la care funcționează pompa electromagnetă se măsoară cu ajutorul senzorului de presiune (7). Supapa de control (8) are rolul de a crește presiunea în circuit astfel: 0%, 25%, 50%, 75%, 100%. După supapa de control uleiul curge în paharul berzelius (9). Cântarul (10) măsoară masa uleiului din recipient fără a lua în calcul masa paharului, datorită funcției de calibrare, care nu ține cont de masa inițială. Cu ajutorul cronometrului (11) se măsoară timpul în care o anumită cantitate de ulei ajunge din rezervor în paharul berzelius.

Datele astfel măsurate ajută la stabilirea parametrilor funcționali ai pompei electromagnetice, dar și la stabilirea unor direcții de optimizare pentru pompa electromagnetă.

5.3 Metodologia de testare

Scopul definirii metodologiei de testare este de a trasa specificațiile și procedurile pompei axiale electromagnetice. Cerințele de testare s-au ales în conformitate cu modelul de calcul și condițiile inițiale impuse în etapa de predimensionare.

Se vor efectua teste operaţionale pe pompa axială electromagnetică. Acestea vor include verificarea performanţei şi funcţionalităţii sistemului.

Această metodologie de testare va acoperi procedura de testare, inclusiv schemele de fluxuri, descrierea instrumentelor, măsurarea, înregistrarea şi evaluarea datelor calitative şi cantitative obţinute în timpul testelor în toate condiţiile adecvate, folosind stimul real şi/sau simulat.

Pentru a parcurge **nivelul preliminar** de funcţionare este necesar ca:

1. Pompa electromagnetică să fie gata pentru testare;
2. Standul de încercare să aibă toate componentele pregătite pentru testare;
 - Standul să aibă în bună condiţie următoarele componente de măsurare: sursa de alimentare, generatorul de impulsuri, manometrul, termometrele pentru măsurarea temperaturii, cântarul pentru măsurarea masei fluidului, rezervorul de ulei, recipientul pentru colectarea uleiului la ieşirea din pompă (pahar berzelius), cronometrul, osciloscopul, calculatorul unde vor fi colectate datele de măsurare,

Datele de intrare pentru testarea pompei electromagnetice axiale vor fi:

- tensiunea, $U [V]$, care poate varia de la $10A$ până la $14,5A$
- frecvenţa de lucru care poate varia de la $1Hz$ până la $50Hz$ cu o raţie de $5Hz$ cu un factor de umplere ce poate varia între 10 şi 80% cu un pas de 10 , care va fi modificat de către modulatorul de impulsuri. Presiunea fluidului din instalaţie va fi controlată de către o supapă prin obturarea cu 0% , 25% , 50% , 75% şi 100% .

Timpul necesar pentru fiecare măsurătoare va fi de un minut astfel încât pompa electromagnetică să ajungă la o normalizare a regimului de funcţionare şi pentru a se putea prelua datele de măsurare.

Pe parcursul măsurătorilor vor fi trei parametri care se vor schimba, frecvenţa de funcţionare şi factorul de umplere, şi închiderea supapei pentru a modifica presiunea din instalaţie.

De asemenea, datele care vor fi măsurate ca date de ieşire:

- temperatura fluidului, care va fi măsurată în rezervor, înainte de pompă şi la ieşirea din pompă, cât şi în paharul berzelius;
- Greutatea paharului berzelius;
- Timpul va fi măsurat folosind un cronometru;
- Presiunea va fi înregistrată cu ajutorul unui manometru digital, presiune care va varia în funcţie de închiderea supapei de control;
- Debitul va fi măsurat, prin calcul, în funcţie de cantitate a de ulei livrată şi unitatea de timp necesară.

Pentru a parcurge **nivelul de funcţionare** este nevoie de:

- a. Setarea datelor de intrare: frecvenţa defuncţionare (Hz), durata pulsului (%), închiderea supapei de control (%) – (25% , 50% , 75%)
- b. Verificarea instalaţiei de testare;

- c. Elementele de măsurare sunt pregătite;
- d. Unitatea de intrare a datelor este pregătită de funcționare;
- c. Conexiunile trebuie verificate înainte de a începe procedura de testare;
- d. Condițiile inițiale: frecvență=0Hz, factor de umplere=10%, închiderea supapei de control=0%;
- e. Parametrii variabili: frecvența (Hz), factorul de umplere (%), închiderea supapei de control (%).

5.4 Rezultatele testării pompei electromagnetice

Rezultatele obținute în urma încercării pompelor electromagnetice sunt cele care descriu cel mai bine capabilitățile pompei electromagnetice, iar analiza acestora este foarte importantă, deoarece vor descrie parametrii funcționali ai pompei electromagnetice și vor fi cei care vor determina caracteristicile de funcționare.

Varianta 1

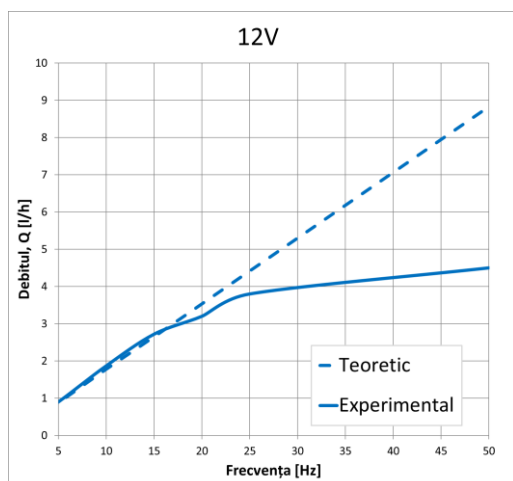


Fig. 5.3 – Diagrama debit-frecvență

Vaianta 2

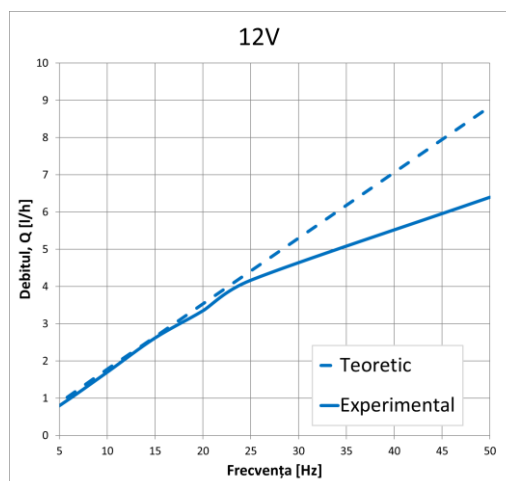


Fig. 5.4 – Diagrama debit-frecvență

Comparativ cu varianta 1 a pompei electromagnetice se poate observa în figura 5.3 și 5.4 curba debiului, Q, în funcție de frecvența de funcționare (de la 5Hz la 50Hz), pentru varianta 2 se apropie foarte mult de curba teoretică.

De asemenea performanțele variantei a doua de pompă sunt îmbunătățite în comparație cu prima variantă a pompei axiale electromagnetice.

La frecvențele joase (5 și 10 Hz), forma curbei curentului urmărește îndeaproape curba factorului de umplere, însă comparând acest lucru cu frecvențele de peste 25Hz se poate observa o formă diferită.

5.5. Analiza eficienței noului sistem asupra performanțelor energetice ale motoarelor cu ardere internă

5.5.1 Evaluarea resurselor energetice ale motoarelor cu ardere internă

Pentru a putea evalua resursele energetice ale motoarelor cu ardere internă este necesară evaluarea bilanțului energetic al motorului cu ardere internă.

Diagrama fluxului de energie prezintă puterea indicată ca fiind suma dintre puterea de efectivă și puterea de frecare. O parte substanțială a puterii de frecare (aproximativ jumătate) este disipată între segmentii pistonului, pistonul și peretele cilindrului și este transferat ca energie termică în mediul de răcire. Restul din puterea de frecare este disipată în lagărele motorului, mecanismul de distribuție sau acționări auxiliare ale altor dispozitive.

În urma analizei diagramei de bilanț energetic, putem trage concluzia că aproximativ 5-15% din energia dezvoltată în urma procesului de ardere este consumată pentru funcționarea sistemelor auxiliare ale motorului, cum ar fi: pompa de apă, pompa de ulei, frecările din mecanismul motor, mecanismul de distribuție, pompa de injecție, pompa de vacuum, generatorul de energie electrică și alte astfel de sisteme.

5.5.2 Eficiența noului sistem

Pentru a vedea îmbunătățirea motorului cu ardere internă prin folosirea pompei electromagnetice cercetată experimental este necesară studierea energiei de combustibil care este alocată sistemelor auxiliare din motorul cu ardere internă, deși este o metodă subiectivă de evaluare a energiei consumate din combustibil, va putea fi folosită pentru aproximarea îmbunătățirii consumului specific de combustibil și a energiei din combustibil din rezervor la roată.

Astfel, analizând diagrama Sankey, din figura 5.23 putem observa energia din combustibil consumată pentru frecările din motor este de 8,4%, iar pentru componentele accesorii de 3%.

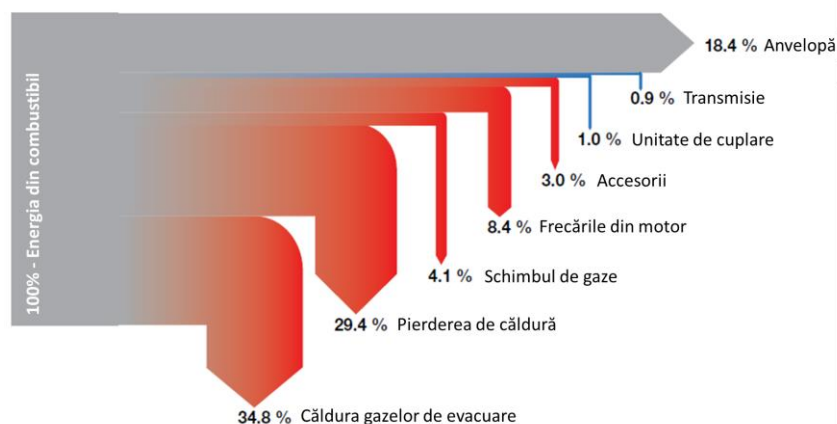


Fig. 5.23 Energia combustibilului de la rezervor la roată

Sursa: Scheidt, M., Lang, M., Pure Efficiency Developing combustion engines from the perspective of a supplier Solving the Powertrain Puzzle 10th Schaeffler Symposium 2014

Dacă se urmăresc pierderile mecanice prin frecare din figura 5.24, se poate observa că pentru o turație a motorului de până în 2000 [rot/min] avem pierderi mecanice datorate sistemelor auxiliare de aproximativ 30%, iar din acestea 15% sunt reprezentate de pompa de ulei și de pompa de apă, ceea ce înseamnă o energie consumată de 1,5% de la rezervor la roata autoturismului.

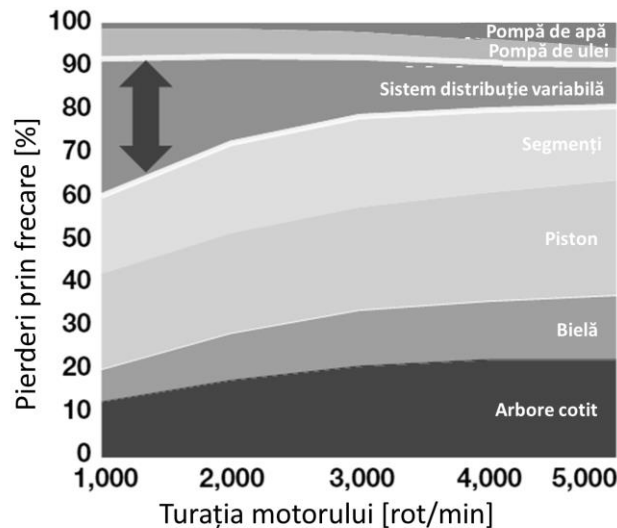


Fig. 5.24 Pierderile mecanice prin frecare la un motor cu ardere internă

Sursa: Scheidt, M., Lang, M., Pure Efficiency Developing combustion engines from the perspective of a supplier Solving the Powertrain Puzzle 10th Schaeffler Symposium 2014

Dacă vom folosi pompa electromagnetice și în asamblul sistemului de distribuție și vom considera o îmbunătățire cu 50% a acestuia, atunci energia din combustibil ce va fi salvată va fi de aproximativ 2%.

Vom avea o îmbunătățire cu aproximativ 1.4 % a energiei de combustibil de la rezervor la roată lucru ce se va reflecta atât în îmbunătățirea performanței puterii motorului, cât și a îmbunătățirii consumului specific de combustibil.

Prin utilizarea acestei soluții randamentul efectiv al motorului cu ardere internă poate crește cu 2-3%, ceea ce rezultă că și consumul de carburant se va diminua.

Odată cu diminuarea consumului de carburant se va asigura o reducere a emisiei de CO₂, ceea ce ne va ajuta să îmbunătățim premisele prezentate în secțiunea 2, unde s-a realizat un studiu asupra toxicității raportate la CO echivalent toxic.

5.5.3 Perspectivele noii soluții tehnice

Pentru antrenarea pompelor electromagnetice se poate utiliza energia recuperată din sistemul de frânare, energia gazelor de evacuare sau energia provenită de la sisteme cu panouri solare montate pe autovehicul, salvând astfel și pierderile prin frecare rezultate utilizând această variantă constructivă.

Externalizarea sistemelor auxiliare ale motorului cu ardere internă aduce o îmbunătățire de până la 3%, îmbunătățire ce se reflectă atât în reducerea consumului de combustibil, respectiv a emisiilor poluante, dar și în creșterea puterii motorului.

Se poate introduce utilizarea pompei electromagnetice pentru toate sistemele auxiliare ale motorului cu ardere internă, atunci când se permite acest lucru sau prin configurații specifice a pompei electromagnetice pentru aplicația necesară.

De asemenea, se pot dezvolta soluții tehnice, care pot utiliza această pompă electromagnetică sau produse derivate din aceasta, care prezintă același principiu de funcționare.

O altă perspectivă o reprezintă ameliorarea randamentului efectiv al motorului cu ardere internă, reducerea consumului de carburant al acestora, dar și reducerea emisiilor de CO₂.

5.6 Concluzii

În cadrul acestei secțiuni s-a prezentat schema standului de încercare folosit pentru testarea unei pompe electromagnetice cu echipamentele necesare pentru o testare optimă. La testarea pompei s-a folosit un stand de încercare care a permis măsurarea caracteristicilor electrice ale electromagnetului, precum și debitul și presiunea acestuia în funcție de diferitele frecvențe de funcționare.

S-au folosit ca instrumente pentru standul de încercare: o sursă de alimentare de 12V (cu posibilitatea varierii tensiunii), un modulator de frecvență pentru a regla frecvența și factorul de umplere, un senzor de presiune, termometre pentru măsurarea temperaturii fluidului, osciloscop pentru măsurarea datelor electrice de intrare, pahar berzelius gradat pentru măsurarea cantității fluidului și cronometru pentru măsurarea timpului. Prin măsurarea timpului și a cantității de fluid s-a putut determina debitul, Q .

Cu ajutorul metodologiei de testare și schemei logice a fost posibilă definirea unei metodologii de măsurare, cât și posibilitatea realizării optimizate a măsurătorilor repetitive pentru a determina caracteristicile pompei.

S-au prezentat datele obținute în urma măsurării diferiților parametri funcționali ai pompei electromagnetice, rezultând astfel diagramele pentru debit și presiune la diferite frecvențe de funcționare. Rezultatele experimentale, pentru două versiuni de pompe electromagnetice, sunt foarte apropiate de cele teoretice, singurele diferențe fiind la presiuni mari, datorită închiderii supapei de control.

În urma testării celor două variante constructive de pompe electromagnetice la o tensiune nominală de 12V s-a obținut pentru prima variantă un debit $Q = 4,8 \text{ l/h}$, iar pentru varianta a doua debitul de $Q = 6,2 \text{ l/h}$. După testarea cu o tensiune maximă de 14V am obținut pentru varianta 1 debitul $Q = 5,2 \text{ l/h}$, iar pentru varianta 2: $Q = 7 \text{ l/h}$.

Diagrama presiune-debit pentru frecvențe de funcționare de până la 20Hz au o curbă caracteristică asemănătoare, diferența făcându-se pentru frecvențele mai mari de 20Hz.

La frecvența de funcționare maximă (50Hz), se poate observa o îmbunătățire, pentru varianta a doua de pompă electromagnetică, cu aproximativ 30% a debitului de fluid.

De asemenea, s-a realizat analiza teoretică, subiectivă, a îmbunătățirii performanțelor motorului cu ardere internă prin înlocuirea pompelor din sistemele auxiliare ale motorului cu pompa electromagnetică, prin creșterea puterii acestuia și reducerea consumului specific de combustibil, dar și a emisiilor de CO₂.

6. Concluzii generale și contribuții originale

6.1 Concluzii generale

Pentru a îndeplini scopul lucrării intitulate: „*Cercetări privind dezvoltarea unor sisteme pentru motoarele cu ardere internă destinate creșterii performanțelor acestora*”, s-a proiectat o pompă electromagnetică de ulei pentru a îmbunătăți performanțele motoarelor de automobile, prin creșterea randamentului acestora, lucru rezultat în urma transformării elementelor integrate ale motorului în elemente auxiliare nealimentate din energia rezultată prin arderea combustibilului.

La începutul lucrării s-a determinat toxicitatea provocată de motoarele cu ardere internă pentru o zonă limitată fapt ce a determinat la alegerea acestei teme, pentru a îmbunătăți performanțele motoarelor cu ardere internă, prin dezvoltarea de componente auxiliare pentru acestea.

Identificarea soluțiilor actuale disponibile s-a realizat prin studiul pompelor electromagnetice, ca studiu de nivel și s-a făcut o analiză a pompelor existente, pentru a evidenția pompa cu potențialul cel mai mare pentru această aplicație. S-au studiat curbele caracteristice pentru pompele centrifugale și pentru pompele volumetrice, ajungându-se la concluzia că pompele volumetrice cu piston au caracteristicile necesare pentru a fi utilizate pentru motoarele cu ardere internă.

S-au identificat modele constructive de pompe electromagnetice folosite în diferite domenii, ce funcționează atât pe curent alternativ (pompele ULKA folosite pentru fluide precum apa), cât și pe curent continuu (folosite în special pentru aplicații destinate vehiculelor sau dispozitivelor portabile).

Făcându-se o analiză a funcționalității acestor pompe, s-a ales dezvoltarea unei pompe axiale electromagnetice de curent continuu, capabilă să funcționeze la o tensiune a curentului electric de 12V.

Pentru dezvoltarea modelului de calcul pentru pompele electromagnetice s-a ținut cont de tipul de electromagnet, de volumul construcției, poziția unde acesta se va instala, conectarea părții mobile cu dispozitivul ce urmează a fi acționat, determinarea cursei de acționare, determinarea curbei caracteristice, consumul de energie, frecvența de funcționare, timpii de comutare, ciclul total de funcționare.

S-au determinat elementele principale caracteristice electromagnetului precum și modalitatea de calcul pentru următorii parametri: forța electromagnetului, secțiunea transversală a materialului feromagnetic, lungimea medie a liniilor de câmp magnetic, secțiunea transversală a înfășurării, mărimea spațiului de aer funcțional, cât și a volumului de cupru necesar.

S-au calculat elementele principale caracteristice bobinei electromagnetului, unde s-au determinat: forma constructivă a bobinei, factorul de umplere (factorul de umplere cu cupru k_{Cu} , factorul de umplere cu spire k_w și factorul de umplere al ferestrei k_F), alegerea înfășurării, și determinarea diametrului sârmei de cupru, d_{Cu} .

Conform diagramei, lucrului mecanic în funcție de volumul electromagnetului, s-a determinat volumul electromagnetului.

Prin calculul matematic al pompei electromagnetice s-au definit datele de intrare principale pentru pompa electromagnetice: debitul $Q = 9l/h$, presiunea $p = 0,4MPa$, frecvența $f = 50Hz$, rezistența electrică recomandată $R = 7,5\Omega$, cât și tensiunea electrică nominală $U = 12V$.

S-a dezvoltat și proiectat electromagnetul cu volumul de $34,78cm^3$ cu un diametru $D = 35,4mm$ și o înălțime $H = 36mm$. Forța necesară pentru asigurarea presiunii $p = 0,4MPa$ s-a determinat ca fiind $F = 7,85N$.

Secțiunea ferestrei bobinei electromagnetului a rezultat ca fiind $143mm^2$, folosindu-se spire cu diametrul de $0,5mm$, iar numărul total de spire egal cu 570 spire.

Pentru a asigura presiunea de $0,4MPa$ s-a calculat un arc cu forța $F_1 = 8N$ și $F_2 = 8,45N$

De asemenea s-au predimensionat componentele auxiliare din pompele electromagnetice, care sunt necesare pentru îndeplinirea funcției acesteia, calculându-se: arcul de acționare, supapele, elementele de etanșare, rezultând astfel forma constructivă.

Analiza teoretică a comportamentului armăturii pompei electromagnetice s-a realizat cu ajutorul ecuațiilor diferențiale, definind astfel mișcarea armăturii, atunci când aceasta este acționată de către electromagnet sau când aceasta este acționată de către arc. Apoi s-a calculat în fiecare situație în parte și s-a determinat curba de caracteristică pentru deplasarea armăturii, atunci când aceasta este acționată de electromagnet sau când este deplasată de către arc, rezultând curba caracteristică și timpul necesar pentru un ciclu complet de funcționare.

Pentru o deplasare de $2,5mm$ a rezultat timpul necesar electromagnetului pentru a deplasa armătura ca fiind $t_1 = 0,0029s$ și timpul necesar arcului pentru a împinge armătura: $t_2 = 0,008s$.

Simularea electromagnetului are scopul de a determina, cu ajutorul software-urilor disponibile, forța electromagnetului, simulându-se electromagneții pentru două versiuni constructive de pompe electromagnetice.

Pentru simularea electromagneților s-a determinat metodologia de analiză cu ajutorul softului open-source FEMM și posibilitățile acestuia pentru determinarea diferitelor forme constructive, cât și a alegerii diferitelor materiale pentru a obține cele mai bune performanțe pentru electromagnet. Pentru cele două variante constructive de electromagneți s-a determinat densitatea fluxului magnetic, B , în diferite poziții ale armăturii.

Un alt lucru specific electromagneților, și foarte important pentru pompa electromagnetice, a fost determinarea forței electromagnetului, obținând astfel o forță maximă, pentru prima variantă constructivă de $F_{max} = 17,35N$, iar pentru varianta a doua $F_{max} = 31,12N$.

S-au studiat diferite forme constructive de supape precum: supape cu bilă, supape cu taler și supape cu disc deformabil. În urma simulării acestor trei tipuri de supape s-a identificat cea mai bună soluție ce se va utiliza în componența pompei electromagnetice, ținându-se cont de performanțele acesteia, rezultând că performanțele și timpul cel mai bun de răspuns s-a obținut pentru supapele cu bilă. Datorită acestor rezultate, s-a ales ca pentru pompa electromagnetice să se folosească supape cu bilă.

Simularea curgerii fluidului prin pompă s-a realizat pentru două tipuri de pompe electromagnetice la frecvențe de $10Hz$ și de $50Hz$.

Metodologia complexă de analiză a curgerii fluidului prin pompa electromagnetică a făcut posibilă vizualizarea vitezei de curgere a fluidului, cât și presiunea acestuia pentru diferite poziții intermediare ale armăturii pompei electromagnetice. În studierea comportamentului fluidului pentru diferite poziții ale armăturii electromagnetului, respectiv pistonului pompei, s-a ținut cont de poziția acestuia când este acționat de arc sau de electromagnet.

În urma simulării celor două variante constructive a rezultat o îmbunătățire cu 7% a vitezelor de curgere și de 14% a presiunii fluidului, pentru varianta 2, îmbunătățire simulată pentru poziția 3, când armătura este acționată de către electromagnet.

Analizând poziția 4, când armătura este acționată de arc, s-a obținut o îmbunătățire pentru varianta 2 de 2% a vitezelor de curgere și de 12% a presiunii fluidului.

Elaborarea unei metodologii de testare a fost necesară pentru a crea cadrul unei testări eficiente a pompei și de a optimiza timpul destinat încercării pompelor electromagnetice. Metodologia de testare a fost împărțită pe secțiuni, astfel încât am avut o etapă preliminară de testare a funcționalității de bază a pompei electromagnetice și o etapă în care să se efectueze determinări pentru a obține întreaga plajă de funcționare a pompei electromagnetice. S-a urmărit definirea unei scheme logice care să cuprindă întreaga plajă de măsurători prin definirea pașilor necesari.

S-a conceput o instalație de testare pentru a determina parametrii de funcționare pentru pompa electromagnetică și a evalua parametrii efectivi ai pompei: presiune, debit.

Pentru testarea pompei s-a folosit un stand de încercare care a permis măsurarea caracteristicilor electrice ale pompei, precum și debitul și presiunea acesteia în funcție de diferitele frecvențe de funcționare.

S-au folosit ca instrumente pentru standul de încercare: o sursă de alimentare de 12V (cu posibilitatea varierii tensiunii), un modulator de frecvență pentru a regla frecvența și factorul de umplere, un senzor de presiune, termometre pentru măsurarea temperaturii fluidului, osciloscop pentru măsurarea datelor electrice de intrare, pahar berzelius gradat pentru măsurarea cantității fluidului și cronometru pentru măsurarea timpului. Prin măsurarea timpului și a cantității de fluid s-a putut determina debitul, Q .

Prelucrarea datelor experimentale și stabilirea caracteristicilor pompei electromagnetice s-a realizat prin prezentarea datelor obținute în urma măsurării diferiților parametri funcționali ai pompei electromagnetice, rezultând astfel diagramele pentru debit și presiune la diferite frecvențe de funcționare. Rezultatele experimentale, pentru două versiuni de pompe electromagnetice, sunt foarte apropiate de cele teoretice singurele diferențe fiind la presiuni mari, datorită închiderii supapei de control.

În urma testării celor două variante constructive de pompe electromagnetice la o tensiune nominală de 12V s-a obținut pentru prima variantă un debit $Q = 4,8l/h$, iar pentru varianta a doua debitul de $Q = 6,2l/h$. După testarea cu o tensiune maximă de 14V am obținut pentru varianta 1 debitul $Q = 5,2l/h$, iar pentru varianta 2 $Q = 7l/h$.

Diagrama presiune-debit pentru frecvențe de funcționare de până la 20Hz au o curbă caracteristică asemănătoare, diferența făcându-se pentru frecvențele mai mari de 20Hz.

La frecvența de funcționare maximă (50Hz), se poate observa o îmbunătățire, pentru varianta a doua de pompă electromagnetică, cu aproximativ 30% a debitului de fluid.

S-a realizat o analiză teoretică, subiectivă, a îmbunătățirii performanțelor motorului cu ardere internă prin înlocuirea pompelor din sistemele auxiliare ale motorului cu pompa electromagnetică, prin creșterea puterii acestuia și reducerea consumului specific de combustibil.

Externalizarea sistemelor auxiliare ale motorului cu ardere internă aduce o îmbunătățire de aproximativ 3%, îmbunătățire ce se reflectă atât în reducerea consumului de combustibil, respectiv a emisiilor poluante de dioxid de carbon, dar și în creșterea puterii motorului.

6.2 Contribuții originale

În timpul realizării lucrării au fost aduse contribuții originale care vor fi enumerate după cum urmează:

- Dezvoltarea unei model de calcul pentru calculul pompei electromagnetice:
 - o Model de calcul pentru calculul și proiectarea electromagnetului;
 - o Model de calcul pentru calculul bobinei;
 - o Model de calcul pentru componentele auxiliare din pompa electromagnetică;
- Model matematic, cu ajutorul ecuațiilor diferențiale, pentru calculul dinamic al armăturii electromagnetului, când elementul care acționează este arcul sau bobina electromagnetului;
- Metode de simulare a electromagneților cu ajutorul software-urilor open source FEMM;
- Model de simulare a curgerii fluidului prin diferite tipuri de supape;
- Model de simulare a pentru determinarea vitezelor de curgere și a presiunilor prin pompa electromagnetică;
- Proiectarea și dezvoltarea a două versiuni de pompe electromagnetice;
- Realizarea unei instalații de încercare a pompelor electromagnetice;
- Metodă de testare pentru determinarea parametrilor pompelor.

6.3 Diseminarea rezultatelor

În perioada studiului doctoral am realizat opt lucrări, din care trei lucrări ca prim autor. De asemenea, am realizat patru brevete de invenție, un brevet ca unic inventator, două ca prim inventator și unul ca autor secund.

Lucrările au fost publicate și susținute prin participare la conferințe internaționale precum EAEC-ESFA, CONAT, COFRET, FISITA World Automotive Congress, SMAT.

De asemenea am participat la workshopuri, simpozioane și întruniri cu specialiști din domeniu pe teme destinate elementelor auxiliare ale motoarelor cu ardere internă.

6.4 Direcții viitoare de cercetare

În urma experienței dobândite prin realizarea acestei teme de doctorat am identificat următoarele direcții viitoare de cercetare:

- Implementarea pompei electromagnetice pentru alte sisteme ale autovehiculului precum:
 - Sistemul de alimentare cu combustibil;
 - Injecția ureei în galeria de evacuare a autovehiculelor;
 - Lubrifierea lagărelor de alunecare;
 - Înlocuirea pompelor rotative, utilizate pentru livrarea lichidului de parbriz;
 - pompă auxiliară pentru sistemele de distribuție variabilă.
- Realizarea sistemelor de distribuție variabilă cu acționare electromagnetică.

BIBLIOGRAFIE

1. Al-Halhouli, A. T., Kilani, M. I., Büttgenbach, S., Development of a Novel Meso-Scale Electromagnetic pump for Biomedical Applications, Proceedings of the Eurosensors XXIII conference, Procedia Chemistry 1, pp. 349–352, 2009.
2. Al-Halhouli, A.T., Rawashdeh, N.A., Sanna, M. et al. Control, Modeling and Evaluation of a Magnetic Piston Miniature Pump. Arab J Sci Eng 42, 4693–4700 <https://doi.org/10.1007/s13369-017-2575-2>, 2017.
3. Andea, P., Electromagneţii, Editura Helicon Timișoara, 1993.
4. Bobescu, Gh., A. Radu, Gh.-Al., Chiru, A., Cofaru, C., Ene, V. Amariei, V., Guber, I - Motoare pentru automobile si tractoare. Vol. II: Dinamică, calcul și construcție, Editura Tehnică Chișinău, 1998.
5. Bobescu, Gh., Chiru, A., Cofaru, C., Radu, Gh.-Al., Abăitancei, H., Țurea, N., Ene, V. Amariei, V., Alcaz, T., Țâmbaliuc, M., - Motoare pentru automobile si tractoare. Vol. III: Economie și ecologie. Surse energetice alternative. Editura Tehnică-Info, 2000.
6. Bobescu, Gh., Cofaru, C., Chiru, A., Radu, Gh.-Al., Ene, V., Guber, I., Scalnai, V., - Motoare pentru automobile si tractoare. Vol. I: Teorie si caracteristici. Editura Tehnică Chișinău, 1996.
7. Brennen C. E., Hydrodynamics of Pumps, California Institute of Technology Pasadena, California Concepts ETI, Inc. and Oxford University Press, ISBN 0-19-856442-2, 1994.
8. Christen, G., Modellierung und Simulation motorgetriebener Antriebssysteme der Gerätetechnik. Ilmenau: TH Habilitation, 1987.
9. Clark, A., High power magnetostrictive transducer materials, In: Proceedings Actuator 92. Bremen, pp. 127-132, 1992.
10. Dogariu, D. M., Chiru, A., **Lazăr, M.**, Stancu, V. Ș. Aspects on Mixture Formation at an Experimental Spark Ignition Single Cylinder. 36th FISITA World Automotive Congress, Busan, 2016.
11. Dogariu, D. M., Chiru, A., Leahu, C. I., **Lazăr, M.**, Buta, A. C., Diesel Smoke and PM Measurements and Simulation. Proceedings of the SMAT 2019, Craiova, ISBN 978-606-14-1547-2, pp. 63–70, 2019.
12. Dogariu, D. M., Chiru, A., Leahu, C. I., **Lazăr, M.**, Experimental Research on the Hybridization of a Road Vehicle. RoJAE, Vol. 21, Nr. 1, pp. 15–20, 2015.
13. Eick, R., Rechnerunterstuetzte Konstruktion von Gleichstrommagneten. Ilmenau: TH Dissertation, 1988.
14. Gaca H., Ruitter J., Mehr G., Mang T., Feed Pumps in Centralized Lubrication Systems. In: Mang T. (eds) Encyclopedia of Lubricants and Lubrication. Springer, Berlin, Heidelberg, 2014.
15. Grobe, K.-H., Anwendungen des Widerstandsschweißens in der Elektronik. Sonderdruck 1990 aus: Verbindungstechnik in der Elektronik, DVS Verlags GmbH Düsseldorf, 1990.
16. Hallenbach, E., Untersuchungen zur systematischen Projektierung nichtlinearer gleichstromerreichter elektro-magneto-mecanischer Antriebselemente mit translatorischer Ankerbewegung. Ilmenau, TH Habilitation, 1978.
17. Herțanu, R., Olaru, R., A novel minipump actuated by magnetic piston. J. Electr. Eng. 61, 148–151, 2010.

18. Heywood, J. B., Internal combustion engine fundamentals, 1988, ISBN 0-07-028637-X
19. Hill L., Emissions Legislation Review, Proceedings of the conference Personalities of the Automotive Industry, unpublished, Braşov, 2013.
20. Hirsch, H., Probleme der Entwicklung elektrodynamischer Linearantriebe zur Magnetkopfpositionierung. In: Feingerätetechnik, pp. 153-157, 1984.
21. Hodkinson, R., Fenton, J., Lightweight Electric/Hybrid Vehicle Design. Butterworth-Heinemann, pp. 15-64, ISBN 0 7506 5092 3, 2001.
22. Kallenbach, E., Elektromagnete: Grundlagen, Berechnung, Konstruktion Anwendung, Stuttgart: Teubner, 1994.
23. Kawaguti, M., „Numerical Solution of the NS Equations for the Flow Around a Circular Cylinder at Reynolds Number 40”, Journal of Phy. Soc. Japan, vol. 8, pp. 747-757, 1953.
24. Kehr, D., Wolf, D., Airpath Flexibility – Unlocking the Full Potential of the UniAir System, Schaeffler Symposium – Mobility for tomorrow, 2018.
25. Kirsten, K., Golovatai Schmidt, E., Consistent Enhancement of Variable Valve Actuation. Schaeffler AG, proceedings, unpublished, Piteşti, 2013.
26. Kramer, C.; Tran, Q.N.: Auslegung und Optimierung hochdynamischer Stell- systeme mittels der instationären numerischen Magnetfeldberechnung. In: VDI Berichte, pp. 665-674, 1990.
27. **Lazăr, M.**, Abăitancei, H., DE102016201913A1, Centrifugal camshaft adjuster for a motorcycle, 2015.
28. **Lazăr, M.**, Brezoaie, R. E., Dogariu, D. M., Adapting a Micropump to Lubricate an Internal Combustion Engine. COFRET, Bucureşti, 2016.
29. **Lazăr, M.**, DE102016215751A1, Tretpedalvorrichtung mit Lineargenerator, 2016.
30. **Lazăr, M.**, Dogariu, D. M., Chiru, A., Comparative Study on the Performances of the One-Way Hydraulic Valves. CONAT, Braşov, 2016.
31. **Lazăr, M.**, Dogariu, D. M., Chiru, A., Urban Traffic Toxicity Index Evaluation. Proceedings of the European Automotive Congress EAEC-ESFA 2015, Bucureşti, 2015.
32. **Lazăr, M.**, Lucrare Disertație Masterat – Evaluarea factorilor de impact asupra mediului la autovehicule, 2011.
33. **Lazăr, M.**, Munteanu, B-A., DE102016205787A1, Phaser, 2016.
34. Lenders, W.L.L., Das orthozyklische Wickeln von Spulen. In: Philips’ Techn. Rundschau 12, pp. 401-440, 1961.
35. Ma Y., Wang X., Design and Implementation of Small Variable Flow Electromagnetic Pump Control System. In: Sugumaran V., Xu Z., P. S., Zhou H. (eds) Application of Intelligent Systems in Multi-modal Information Analytics. MMIA 2019. Advances in Intelligent Systems and Computing, vol 929. Springer, Cham, ISBN 978-3-030-15740-1, pp.785-790, 2019.
36. Maassen F., Zima S., Tribologie. In: van Basshuysen R., Schäfer F. (eds) Handbuch Verbrennungsmotor. ATZ/MTZ-Fachbuch. Springer Vieweg, Wiesbaden, ISBN 978-3-658-04678-1, pp.439-464, 2015.

37. Muntean, B. A., **Lazar, M.**, Danciu, B. V., RO131231A2, Sistem acţionat mecanic pentru reglarea timpului de comandă a arborelui cu came, 2014.
38. Nakayama, Y., Boucher, R.F., Introduction to fluid mechanics, Butterworth-Heinemann, 1999.
39. Negrea, V.D., Sandu, V., Combaterea poluării mediului în transporturile rutiere, Monografie - Editura Tehnică, ISBN 973-31-1455-3, 2000.
40. Neumayer, R., Weigel, R., Challenges in Automotive Electromagnetic Compatibility Modeling and Simulation. In: Pinto I.M., Galdi V., Felsen L.B. (eds) Electromagnetics in a Complex World. Springer Proceedings in Physics, vol 96. Springer, Berlin, Heidelberg, ISBN 978-3-642-18596-0, pp.81-82, 2004.
41. Ofenlegungschrift DE OS 340 8898
42. Oprean M., - The obsession called CO2 – Revista Ingineria Automobilului, vol. 6, nr. 1, p. 3, 2012.
43. Quendt, P., Berechnung und Optimierung von Gleichstrommagneten mit einer adaptiven Finite-Element-Methode. Ilmenau: TH Dissertation, 1991.
44. Raab, M., Aktoren in modernen Kraftfahrzeugen – Forschungsschwerpunkte und Entwicklungstendenzen, Essen, 11, Tagung Elektronik in Kraftfahrzeugen, 1991.
45. Radu, Gh. - Al. Ispas, N. Calculul și construcția instalațiilor auxiliare ale autovehiculelor. Universitatea din Braşov, 1988.
46. Räumschüssel, E., Steuerung, Modellierung und Simulation von Schrittmotorantrieben. Ilmenau: TH Habilitation, 1990.
47. Schaeffler Technologies GmbH & Co.KG – Solving the Powertrain Puzzle. 10th Schaeffler Symposium, April 3/4, 2014. Springer Vieweg, 2014.
48. Schaumburg, H., Werkstoffe. Stuttgart: Teubner Verlag, 1992.
49. Scheidt, M., - The Combustion Engine - A Drive with a Future, Schaeffler Symposium – Mobility for tomorrow, 2018.
50. Scheidt, M., Untersuchung des Betriebsverhaltens eines schnellen elektromechanischen Schaltsystems. Aachen: RWTH, Dissertation, 1991.
51. Thölke, A., Kehr, D., Wolf, D., - Fast and Precise - Electrical Cam Shifting, Schaeffler Symposium – Mobility for tomorrow, 2018.
52. Thom, A., „The Flow Past Circular Cylinders at Low Speeds”, Proc. Royal Society, A141, pp. 651-666, London, 1933.
53. Tutovan, T., Electricitate și Magnetism, vol. I, Ed. Tehnică, București, 1984.
54. Underwood, C., Solenoids Electromagnets and Electromagnetic Windings. CreateSpace Independent Publishing Platform, ISBN 978-1-535-35422-6, 2016.
55. Viorel, I.A., Szabo, L., Kovacs, Z., Computer simulation of a Closed-Loop linear positioning system. Intelligent Motion, Proceedings, pp. 142-151, 1993.
56. Viorel, I.A., Szabo, L., Kovacs, Z., Quadrature Field-Oriented Control of a Linear Stepping Motor. Intelligent Motion, Proceedings, pp. 64-73, 1993.

57. Wentzel, H., Verbesserung des Wicklungsfüllfaktors und der Wärmeleitfähigkeit bei der Fertigung von elektrischen Maschinen. In: Wiss. Zeitschrift der TH Ilmenau, Sonderheft Fertigungstechnik, IX. Int. Kolloquium, 1964.
58. Wenzel, H.-J.: Ein Beitrag zur Optimierung polarisierter Elektromagnete. Ilmenau: TH, Dissertation, 1981.
59. Wittel H., Jannasch D., Voßiek J., Spura C. Gleitlager. In: Roloff/Matek Maschinenelemente. Springer Vieweg, Wiesbaden, ISBN 978-3-658-17896-3, pp.625-683, 2017.
60. Xu, B., Chao, Q., Zhang, J. et al. Effects of the dimensional and geometrical errors on the cylinder block tilt of a high-speed EHA pump. Meccanica 52, 2449–2469. <https://doi.org/10.1007/s11012-016-0590-0>, 2017.
61. Yeh Sun Hong, Berechnung, Verbesserung und Weiterentwicklung von Proportionalmagneten als elektromagnetische Signalumformer für Proportionalventile. Aachen: RWTH, Dissertation, 1986.
62. Zhang, J., Chao, Q., Xu, B. et al. Effect of piston-slipper assembly mass difference on the cylinder block tilt in a high-speed electro-hydrostatic actuator pump of aircraft. Int. J. Precis. Eng. Manuf. 18, 995–1003, <https://doi.org/10.1007/s12541-017-0117-1>, 2017.
63. 18th World Hydrogen Energy Conference 2010, Essen/Germany, 2010.
64. <http://www.afm.ro/>
65. <http://www.drpciv.ro/info-portal/>
66. http://www.femm.info/Archives/contrib/manual_ro.pdf
67. <http://www.femm.info/wiki/HomePage>
68. <http://www.processsystems.saint-gobain.com/>
69. <http://www.recensamantromania.ro/>
70. http://www.schaeffler.com/remotemedien/media/_shared_media/03_worldwide/02_websites_worldwide/usa_2/schaeffler_symposium_1/transmission/schaeffler_symposium_usa_2014_transmission_technology_trends.pdf
71. <http://www.schaeffler.de/> - Media gallery.
72. <http://www.ulka-ceme.co.uk/>
73. <http://www.usplastic.com/catalog/>
74. <http://www.verderflex.com/en/how-do-peristaltic-pumps-work/>
75. <https://www.castlepumps.com/info-hub/positive-displacement-vs-centrifugal-pumps/>
76. <https://depatinet.dpma.de/>
77. https://en.wikipedia.org/wiki/International_Engine_of_the_Year
78. <https://www.eckerle.com/> - Product specifications (electromagnetic pumps).
79. <https://www.gunt.de/de/>
80. <https://www.motor-talk.de/forum/ fiat-500-0-9-twinair-startprobleme-t5241497.html>
81. <https://www.tss.trelleborg.com/-/media/tss-media-repository/>
82. <https://www.tuthillpump.com/dam/2525.pdf>

REZUMAT

Cercetări privind dezvoltarea unor sisteme pentru motoarele cu ardere internă destinate creşterii performanţelor acestora

Cuvinte cheie: pompă electromagnetice, electromagnet, armătură, frecvenţă, presiune, debit.

Lucrarea de faţă prezintă metodologia de cercetare, dezvoltare, simulare şi testare pentru o componentă auxiliară a motorului cu ardere internă şi anume o pompă electromagnetice.

În cadrul lucrării s-au definit paşii pentru proiectarea pompei electromagnetice, s-a dezvoltat metodologia de calcul pentru o astfel de pompă, iar în urma rezultatelor teoretice obţinute, s-a proiectat modelul 3D, care mai apoi a fost simulat. Elementul principal al pompei electromagnetice este electromagnetul, care s-a calculat (predimensionat) proiectat şi simulat. De asemenea, s-a predimensionat şi pompa, a cărei piston este corp comun cu electromagnetul.

După ce pompa electromagnetice a fost dimensionată şi simulată, aceasta s-a testat pentru a se trasa caracteristicile funcţionale (debit şi presiune), cât şi caracteristicile electrice ale electromagnetului.

Această pompă este destinată transportului uleiului de motor în anumite condiţii de funcţionare.

SUMMARY

Research and development of systems designed to improve the performance of internal combustion engine

Key words: electromagnetic pump, solenoid, armature, frequency, pressure, flow-rate.

This paper presents the research, development, simulation and testing methodology for an auxiliary component of the internal combustion engine, namely an electromagnetic pump.

The paper defined the steps for designing the electromagnetic pump, developing the calculation methodology for such a pump, and following the theoretical results obtained, designing the 3D model, which was then simulated. The main element of the electromagnetic pump is the electromagnet, which has been calculated (dimensioned) designed and simulated. Also the pump was pre-dimensioned and the piston is a common body with the armature.

After the electromagnetic pump was dimensioned and simulated, it was tested to find its functional characteristics (flow and pressure), as well as the electrical characteristics of the electromagnet.

This pump is designed to transport engine oil under certain operating conditions.