

UNIVERSITATEA "POLITEHNICA" DIN BUCUREȘTI  
FACULTATEA DE ENERGETICĂ  
DEPARTAMENTUL DE PRODUCERE ȘI UTILIZARE A ENERGIEI



Gabriel-Florin GHIȚĂ

# MODELAREA POMPELOR ELECTROMAGNETICE. POMPE CU MAGNEȚI PERMANENȚI

Rezumat Teză de doctorat

Conducător de doctorat  
Prof. dr. ing. Ilie PRISECARU

București  
2018

Lucrarea are ca scop crearea unei metode de a implementa un calcul magneto-hidrodinamic(CFD) în vederea modelării mai ușoare a unei pompe electromagnetice cu magneți permanenți.

Cea mai mare problemă constă în găsirea echilibrului între timpul de realizare a modelării și precizia acestora. Calculele MHD utilizând coduri de calcul CFD sunt cunoscute pentru faptul că necesită numeroase resurse de calcul.

În primul capitol sunt trecute în revista aspectele privind istoricul pompelor electromagnetice (figura 1), clasificarea acestora și pompe existente în laboratoare (figura 2). O altă parte a acestui capitol este dedicată magneților permanenți, magneți care intră în componența pompelor electromagnetice cu magneți. În ultima parte a primului capitol sunt prezentate câteva programe de calculator care pot fi folosite pentru implementarea unor modele de curgere în câmp magnetic.

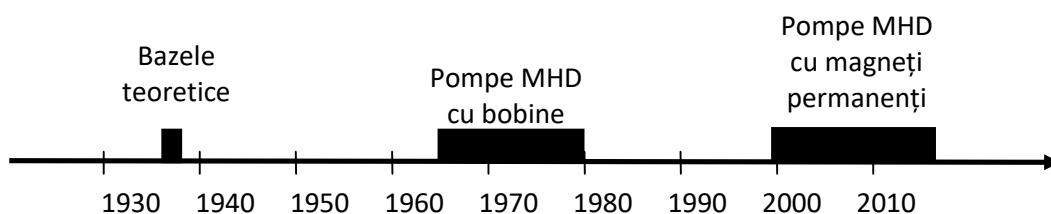


Figura 1. Evoluția pompelor MHD



Figura 2. Pompa electromagnetă cu magneți permanenți. PSI, Elveția

În capitolul doi sunt prezentate lucrările efectuate în vederea validării metodelor de lucru pentru implementarea unui model MHD, utilizând codul de calcul FLUENT cu modulul MHD din cadrul pachetului de coduri de calcul ANSYS.

Pentru procesul de asimilare a modulului FLUENT MHD din cadrul codului de calcul cu volume finite ANSYS și pentru o validare a informațiilor acumulate s-a optat pentru implementarea unui model pentru care există suficiente date, atât date de intrare ca dimensiuni, proprietăți fizice ale lichidului, cât și rezultate obținute și prezentate detaliat.

Au fost alese două metode, prima constând în compararea rezultatelor obținute în urma implementării unui model 2D și compararea rezultatelor acestuia cu rezultate obținute pe cale analitică. A doua metodă a constat în implementarea unui model mai complex care nu poate fi rezolvat cu acuratețe prea bună pe cale analitică, și compararea rezultatelor acestuia cu rezultatele obținute de alte persoane tot prin implementarea modelului 3D utilizând calcule CFD.

În vederea validării metodologiei de implementare a unei probleme de curgere a unui metal în câmp magnetic uniform, s-a ales în prima fază un model 2D pentru care se pot realiza și calcule analitice pentru determinarea parametrilor de curgere. Domeniul ales constă într-o curgere într-un canal rectangular cu o lățime mică în comparație cu lungimea domeniului, lungimea fiind de 10 cm, iar înălțimea de 1 cm. Adâncimea modelului pe axa  $z$  se consideră a fi infinită. Se vor realiza o serie de calcule analitice pentru diferite valori ale vitezei de intrare și pentru diferite valori ale câmpului magnetic exterior aplicat.

Pentru modelarea 3D, în literatura de specialitate se găsesc mai multe articole, articolul cel mai interesant fiind articolul profesorului Morley N. B. în care este prezentată o problemă în care există o curgere într-un canal care se ramifică în trei canale, câmpul magnetic fiind aplicat pe zona de ramificație. Concluzia finală a lucrării a fost că în urma aplicării unui câmp magnetic puternic pe zona de ramificație are loc o distribuție a debitului de curgere din zona canalului central spre canalele laterale.

În capitolul trei este prezentată o modelare MHD în vederea calculării forțelor de tracțiune exercitate de câmpul magnetic asupra metalului topit, câmpul magnetic extern fiind un câmp magnetic neuniform. Acest câmp magnetic este generat de un sistem format din opt magneți permanenți atașați pe un platou. Platoul se rotește cu o turație cunoscută în apropierea canalului de curgere. Liniile câmpului magnetic pornesc de la un magnet, traversează aerul care ocupă spațiul dintre platan și canalul de curgere, traversează canalul de curgere. În etapa următoare liniile câmpului magnetic sunt preluate de placa superioară (care este din oțel), după care trec iar prin canalul de curgere (spațiul dintre canalul de curgere și platanul cu magneți) și ajung pe următorul magnet. Magneții nu sunt așezați cu aceeași polaritate îndreptată spre canalul de curgere, ci secvențial, adică N-S-N-S-N-S-N-S. Acest lucru duce la apariția unui câmp magnetic cu variație locală în timp de formă sinusoidală.

Rezultatele obținute și prezentate în capitolele anterioare au condus la posibilitatea utilizării unei alte metode de estimare a presiunii și a debitului realizate de o pompă electromagnetice cu magneți permanenți. Utilizarea calculelor cu volume finite este bună pentru o evaluare de mare precizie a puterii de tracțiune induse în metalul topit, dar necesită un timp îndelungat de implementare, calcule și o experiență din partea utilizatorului softului cu volume finite, în speță codul ANSYS. Realizarea unui soft analitic de soluționare a problemei va conduce la obținerea unui rezultat cu o acuratețe mai scăzută decât în cazul utilizării unui cod de calcul cu volume finite, dar timpul aferent realizării calcului, utilizând metoda analitică, va scădea mult.

Capitolul patru constă în prezentarea lucrărilor realizate în vederea realizării unui experiment pentru a putea face o comparație între rezultatele obținute prin utilizarea codurilor cu elemente finite și rezultatele obținute pe cale experimentală. Rezultatele obținute și prezentate în capitolele anterioare au condus la posibilitatea utilizării unei alte metode de

estimare a presiunii și a debitului realizate de o pompă electromagnetă cu magneți permanenți. Utilizarea calculului cu volume finite sunt bune pentru o evaluare de mare precizie a puterii de tracțiune induse în metalul topit, dar necesită un timp îndelungat de implementare, calculare și o experiență din partea utilizatorului softului cu volume finite, în speță codul ANSYS. Realizarea unui soft analitic de soluționare a problemei va duce la obținerea unui rezultat cu o acuratețe mai scăzută decât în cazul utilizării unui cod de calcul cu volume finite, dar timpul aferent realizării calculului, utilizând metoda analitică, va scădea mult.

În continuare este prezentată etapa de bază, predecesoare realizării softului analitic de calcul al pompei cu magneți permanenți, aceasta fiind partea experimentală în care au fost măsurate forțele care apar în sistem și vitezele de mișcare ale componentelor.

Pentru realizarea componentei practice a experimentului, s-a utilizat un strung (figura 1) care a fost modificat prin eliminarea componentelor mecanice, de deplasare longitudinală și transversală. Utilizarea unui strung a simplificat foarte mult problema, deoarece acesta din construcție are posibilitatea rotirii discului de metal cu turație constantă și permite deplasarea axială a ansamblului magnetic (figura 4).

În acest experiment s-a procedat invers față de cazul real în care magneții se rotesc cu turație mare, iar metalul topit se deplasează în interiorul conductei, cu viteză mai mică decât viteza platanului cu magneți. Această inversiune nu afectează rezultatul final, deoarece fenomenele magnetice care apar se manifestă datorită diferenței de viteză între cele două componente, adică între discul metalic, non-magnetic, și platanul cu magneți.

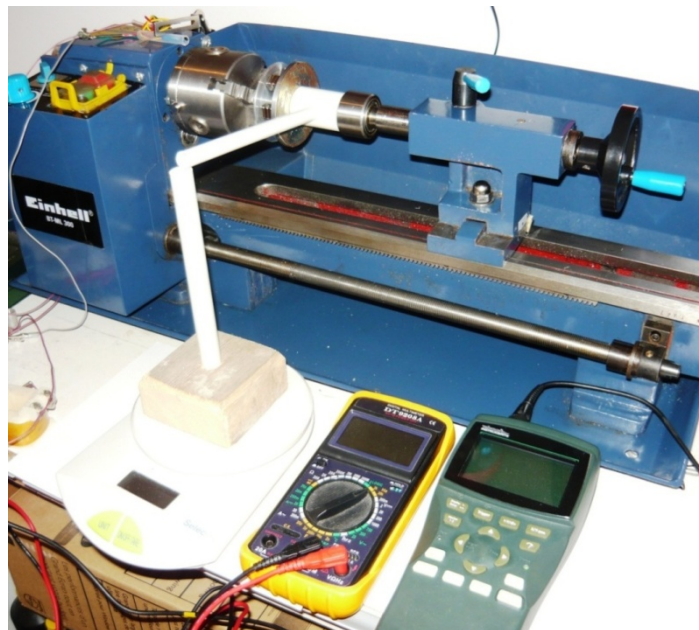


Figura 3. Sistem măsurare forță curenți turbionari

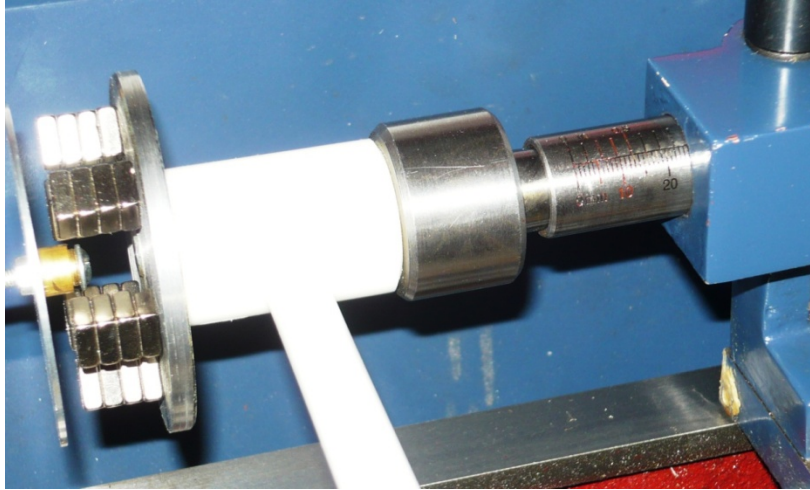


Figura 4. Poziționare magneți și disc conductor electric din material neferos



Figura 5. Poziționarea magneților permanenți în formatul cu șase magneți

În figura 5 este prezentat platanul cu șase magneți poziționați echidistant pe diametrul cercului de amplasare. Diametrul de poziționare este de 4 cm. În imagine diametrul cercului care atinge partea interioară a magneților este de 3,5 cm, iar cercul care încadrează magneții în partea superioară are diametrul de 4,5 cm.

În urma experimentelor realizate s-a putut realiza o comparație între diferitele regimuri de funcționare, dar și între diferitele configurații ale platanului cu magneți. Aceste comparații sunt prezentate în continuare sub forma de grafice.

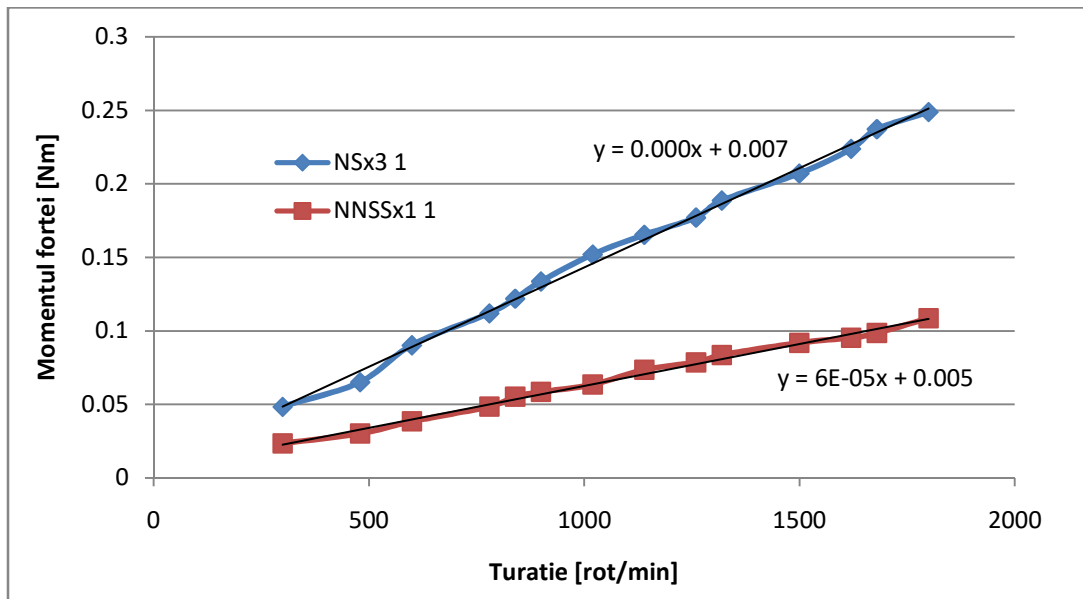


Figura 6. Variația momentului forței de tracțiune a platanului cu magneți pentru diferite viteze de rotație a platanului și două tipuri de configurație a magneților. Distanța platan disc este de 1 mm

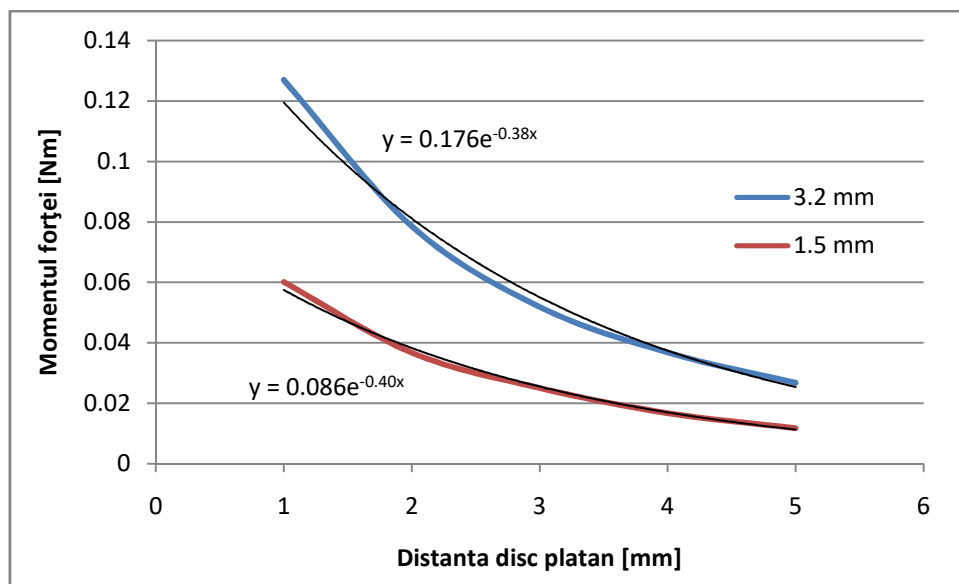


Figura 7. Forța de tracțiune a platanului cu magneți pentru o variație a distanței dintre disc și platan de la 1 mm la 5 mm pentru două discuri cu grosimea de 3,2 mm, respectiv 1,5 mm. Viteza de rotație este de 1200 rotații/min

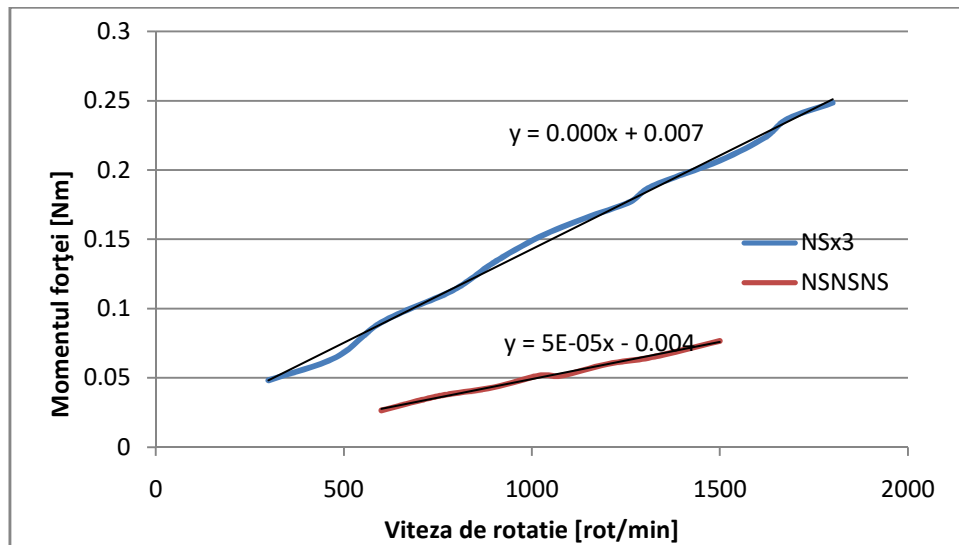


Figura 8. Cuplu de tracțiune dezvoltată de sistemul cu trei grupuri de magneți, cu polii unul lângă altul și distribuția echidistantă

În figura 8 de mai sus se observă generarea unei forțe de atracție mare în cazul poziționării magneților cu polii consecutivi lipiți unul de celălalt. Acest lucru se explică prin faptul că, micșorându-se distanța dintre poli, apare o zonă cu densitatea liniilor de câmp magnetic mare.

Pentru o evaluare mai ușoară a parametrilor funcționali ai unei pompe electromagnetice a fost conceput un soft care este capabil să calculeze atât forțele care apar în metalul topit din interiorul pompei, cât și forțele care apar în carcasa pompei. Acest lucru, și anume acela de a calcula forța care este indusă în carcasa pompei, este necesar, deoarece această forță este mai mare decât forța care se induce în metalul topit care trebuie împins în interiorul conductei.

Realizarea programului de calculator a fost posibilă utilizând mediul de programare LabVIEW.

În figura 9 este prezentată fereastra principală a softului. În partea stângă sunt poziționate controalele de intrare, cum ar fi: conductivitatea electrică a metalului topit și a materialului din care este realizat peretele canalului, vitezele de deplasare a metalului topit din interiorul canalului și viteza platanului cu magneți, dimensiunile constructive ale canalului.

În partea dreaptă a imaginii se pot observa indicatoarele cu valorile care urmează a fi calculate, cele mai importante fiind forța care se exercită asupra metalului din interiorul conductei și forța care apare între platanul cu magneți și pereții canalului, cea din urmă fiind notată cu "F conductă".

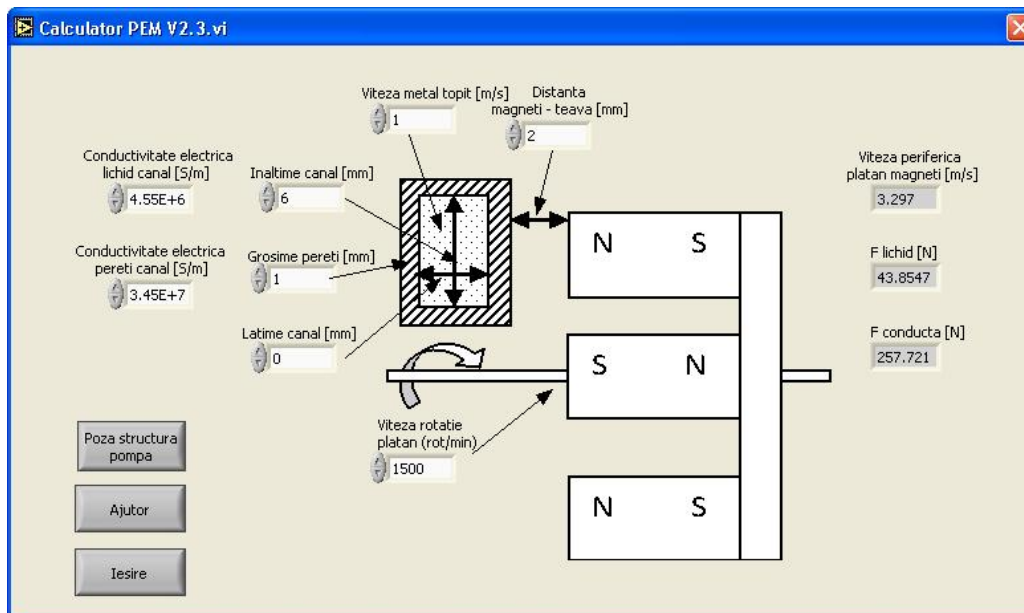


Figura 9. Interfața grafică a programului de calcul forța electro-magnetică în conductă

Pentru conducțiile electrice, unitățile de măsura sunt în Siemens/metru, pentru dimensiunile canalului în milimetri, iar pentru forțe în Newton.

În partea din stânga jos se pot observa trei butoane: cel de jos a fost implementat pentru închiderea aplicației, având denumirea sugestivă „Ieșire”. Următorul buton, „Ajutor”, lansează fereastra din figura 10, această fereastră având rolul de a descrie sumarul configurarea și dimensiunile platanului cu magneti. În partea de jos a ferestrei „Fereastră Imagine” există butonul „Ieșire”, care are rolul de a închide fereastra actuală și a reactiva fereastra principală de calcul.

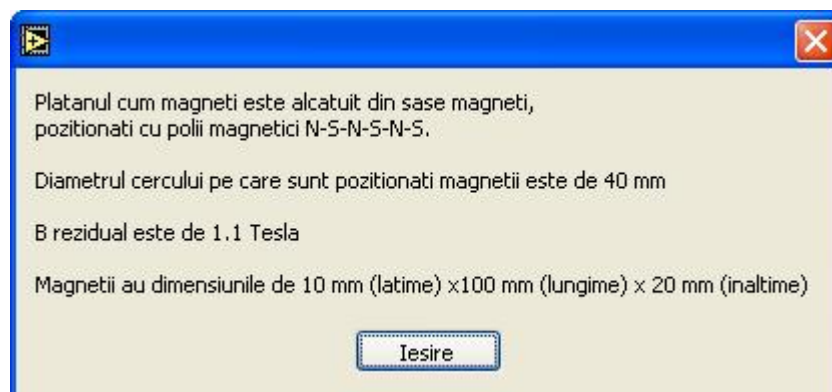


Figura 10. Fereastră ajutor

Ultimul buton lansează fereastra „poza structură pompă” (fig. 11) această fereastră având rolul de a clarifica modul de configurare pentru care a fost realizat softul. În partea de jos a ferestrei există butonul „Ieșire”, care are rolul de a închide fereastra actuală și de a reactiva fereastra principală de calcul.



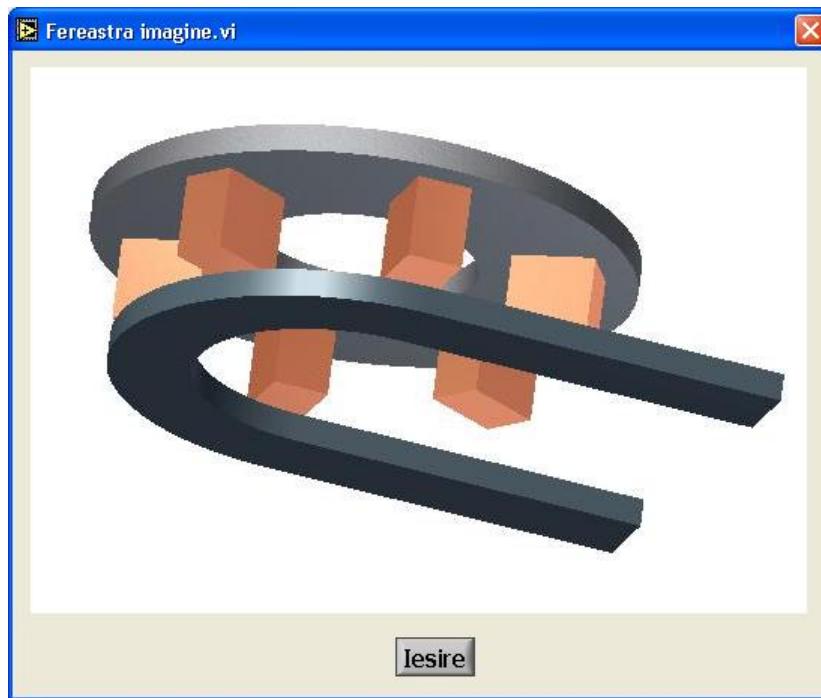


Figura 11. Fereastra prezentare structură pompă

În capitolul cinci sunt prezentate rezultatele implementării unei pompe MHD având diferite configurații geometrice, dar și număr diferit de magneți care compun pompa.

Modelarea pompelor electromagnetice cu magneți permanenți se realizează prin menținerea câmpului magnetic staționar și deplasarea fluidului conductor electric. Pentru acest motiv în continuare este prezentată echivalența dintre viteza fluidului la intrarea în model și viteza de rotație a rotorului, în rotații/minut. Aceste valori au fost calculate pentru o mișcare de rotație cu lungimea razei egală cu raza centrului canalului de curgere, de 72,5 mm.

Modelarea pompei electromagnetice cu opt magneți dispuși cu unghiul de inclinare  $45^{\circ}$ , iar unghiul de defazaj între rotoare este de  $0^{\circ}$ . În acest caz câmpul magnetic în zona canalului de curgere este perpendicular pe direcția de curgere în canal. Distanța dintre rotor și peretele canalului este de 6 mm, magneții având dimensiunile de 10 mm lățime, 20 mm lungime și 20 mm înălțime.

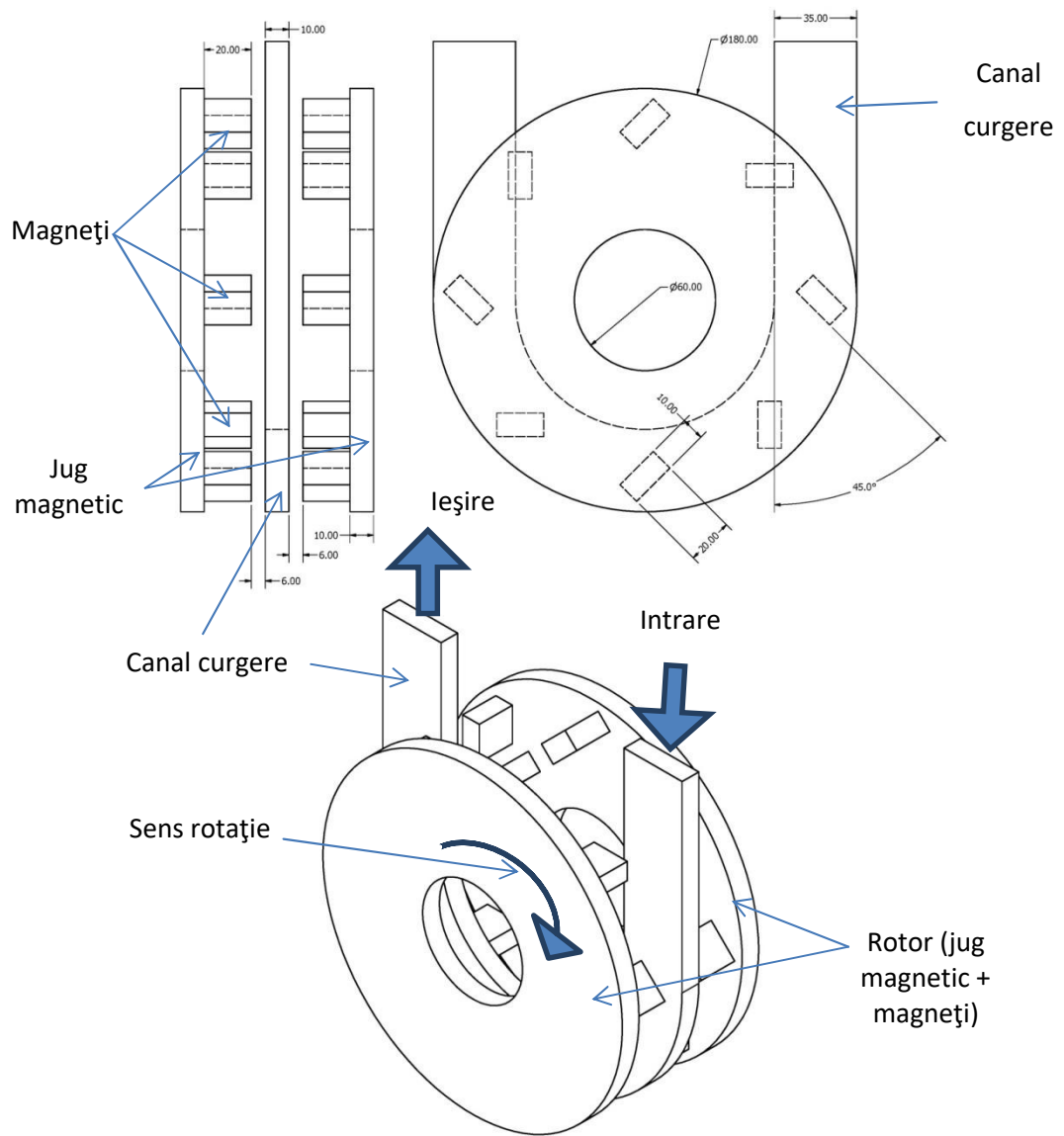


Figura 12. Geometria pompei cu opt magneți dispuși cu unghiul de inclinare  $45^{\circ}$  și unghiul de defazaj între rotoare  $0^{\circ}$

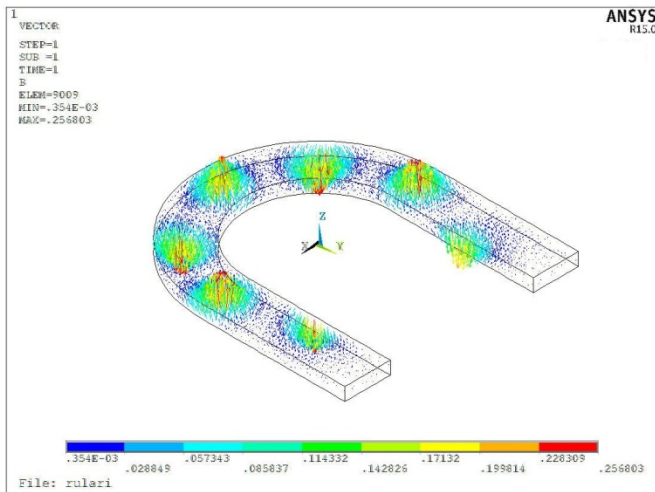


Figura 13. Vectorii fluxului magnetic în interiorul canalului de curgere

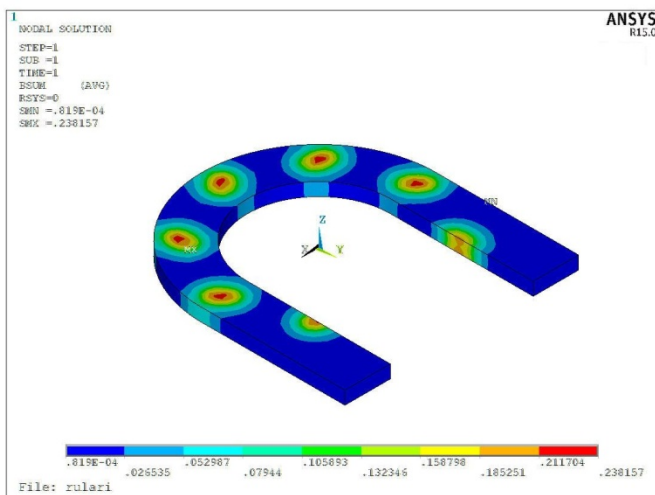


Figura 14. Distribuția fluxului magnetic la suprafața canalului de curgere; vedere din perspectivă

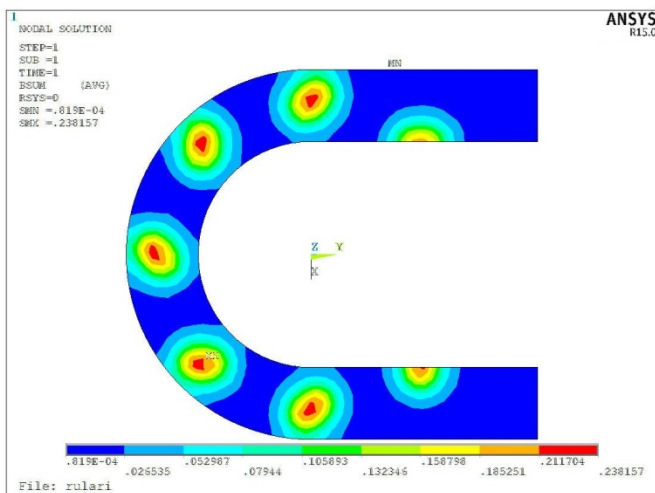


Figura 15. Distribuția fluxului magnetic la suprafața canalului de curgere; vedere normală pe planul xy

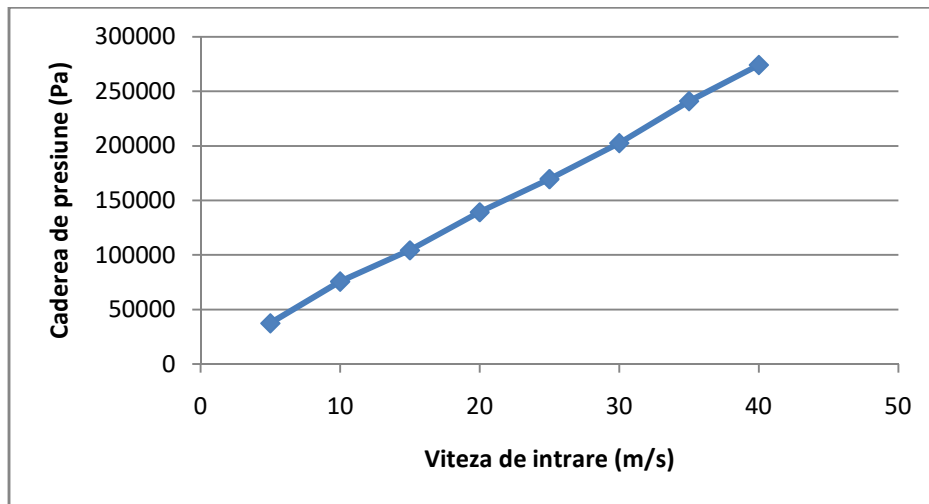


Figura 16. Variația căderii de presiune funcție de viteza de intrare

În figurile 13, 14 și 15 sunt prezentate rezultatele obținute în urma implementării modelului cu geometria rotorului prezentat în figura 12. În figura 16 sunt prezentate rezultatele căderilor de presiune obținute în urma rulării modelului pentru diferite viteze de intrare.

În capitolul numărul șase sunt prezentate aspectele legate de modelarea pompei electromagnetice din punctul de vedere al răcirii acesteia. A doua parte a lucrărilor prezentate în capitolul șase, a constat în analiza performanțelor mecanice în vederea determinării factorului de siguranță optim pentru care viteza de rotație a pompei este suficient de mare, dar care să nu determine distrugerea rotorului din cauza turației foarte mari. O turație mare implică o presiune de pompare mai mare.

În urma calculelor realizate, pentru prima parte a lucrării, datele obținute au scos la iveală faptul că este necesară prezentarea rezultatelor pentru două situații diferite care există în practică, prima situație fiind cazul în care rotorul pompei este staționar, cel de-al doilea caz fiind cel în care rotorul este în mișcare. În cazul în care rotorul se află în mișcare de rotație, temperatura este distribuită uniform pe o linie diametrală. În momentul în care rotorul este oprit, apar distribuții diferite de temperatură pe liniile diametrale, acest lucru datorându-se dispunerii găurilor de transfer al aerului din interiorul axului spre canalul de curgere al metalului topit.

Partea a doua a lucrării a constat în efectuarea de calcule în vederea determinării tensiunilor mecanice care apar în corpul pompei din cauza vitezei de rotație. Determinarea tensiunilor mecanice la rupere pot furniza informații cu privire la viteza maximă de lucru a pompei.

Pompa electromagnetice modelată în acest capitol are în componente magneți cu pământuri rare, acești magneți având avantajul de a avea un câmp magnetic rezidual de ordinul 1-1,1 T, comparativ cu magneții feritici care au o inducție reziduală în domeniul 0,3-0,4 T. Utilizarea acestor magneți cu pământuri rare duce la o creștere semnificativă a performanței pompei. Singurul dezavantaj al acestor magneți cu pământuri rare este acela că dacă temperatura internă depășește valoarea de aproximativ 80 °C se demagnetizează ireversibil. Pentru magneții clasici feritici, temperatura de demagnetizare este în jur de 400

°C. De aceea, pentru a putea utiliza magneți cu pământuri rare în componența unei pompe pentru metale topite, este necesară utilizarea unui sistem de răcire. Calculele efectuate și prezentate în această lucrare au avut ca scop verificarea posibilității utilizării unui sistem de răcire cu aer a magneților permanenți cu pământuri rare.

Pentru o realizare practică mai ușoară, pompele electromagnetice cu magneți permanenți destinate a lucra la temperaturi mari, au în componență magneți feritici.

Pentru a putea dirija agentul de răcire către spațiul dintre canal și rotor este necesară realizarea unor intruziuni în bucușă de centrare și distanțier. Realizarea unor orificii mari duce la o scădere semnificativă a rezistenței mecanice a întregului ansamblu. Partea cea mai afectată va fi platanul cu magneți poziționat cel mai departe de motor, partea în care este amplasat sistemul de alimentare cu aer. Este necesar să se găsească un echilibru pentru dimensiunile, formele, numărul și poziționarea intruziunilor, astfel încât distribuția agentului de răcire să fie cât mai uniformă, debitul necesar să nu necesite o presiune de intrare prea mare, iar forma orificiilor să nu fie prea complexă și să constituie o problemă din punctul de vedere al realizării practice.

În continuare sunt descrise modelele de intruziuni alese și modelate, pentru fiecare în parte fiind prezentate și rezultatele.

Toate modelele geometrice implementate și prezentate în acest capitol sunt modelate prin utilizarea funcției de simetrie, acest lucru permite să se reducă substanțial numărul de elemente finite utilizate. Pentru aceste modele a putut fi folosită funcția de simetrie deoarece pompele implementate prezintă o simetrie care este repetabilă în jurul axei  $z$ .

Ultimul capitol prezintă calculele mecanice realizate în vederea determinării vitezei maxime admise pentru rotorul pompei, viteză pentru care se poate garanta că rotorul nu se distruge din cauza turației foarte mari.

Un alt parametru important care influențează presiunea generată de pompă este viteza de deplasare a câmpului magnetic, relativ la viteza de deplasare a metalului topit în conductă. Cu cât diferența de viteză între câmpul magnetic și viteza reală a metalului topit este mai mare, cu atât forța exercitată de câmpul magnetic inductor asupra metalului este mai mare. Pentru a se obține o forță cât mai mare este necesar să se utilizeze pompa la o viteză de rotație cât mai mare. Dacă viteza de rotație depășește o anumită viteză, numită și viteză maximă admisă, atunci pompa cedează fizic, distrugându-se. În acest caz, forța centrifugă smulge bucăți din componentele rotorului.

În capitolul acesta sunt descrise etapele parcurse pentru determinarea vitezei maxime admise pentru rotor, astfel încât pentru viteza maximă admisă acesta să nu se dezintegreze fizic. În toate calculele de rezistență a materialelor se iau în calcul și factorul de siguranță. Acest factor de siguranță reprezintă raportul dintre tensiunea mecanică de rupere a materialului din care este alcătuit rotorul și tensiunea mecanică rezultată în urma calculelor.

Au fost realizate mai multe modele, câte un model pentru fiecare piesă mobilă în parte, dar și pentru tot ansamblul de componente mobile. Datorită modului de construcție a pompei, piesele interioare, bucușă de centrare, inelul distanțier și magneții permanenți, în timpul funcționării transmit o parte din tensiunile mecanice interioare către componentele exterioare de sprijin.

Au fost efectuate mai multe rulări pentru același caz, dar cu valori diferite pentru parametrul de intrare "viteză de rotație". S-a observat că până la valoarea de 10 000 de rotații

pe minut, factorul de siguranță este în limite normale (tabelul 1), de aceea în imaginile următoare toate rezultatele prezentate sunt cele calculate pentru o viteză de rotație de 10 000 de rotații pe minut.

Tabel 1. Factorul de siguranță rezultat în urma implementării modelelor pentru fiecare componentă și pentru întregul ansamblu

Componentă	Factor de siguranță	Material structura
Jug magnetic	2,9	Fier
Suportmagnețigol	8,4	Aluminiu
Suportmagneți cu magneți	6,4	Aluminiu + ceramică
Întregrotorul	2,04	Al+Fe+ceramică

Se poate observa că în cazul în care se folosesc magneți cu pământuri rare care au o valoare reziduală a inducției magnetice în domeniul 1-1,1 T, comparativ cu magneții clasici (0,3-0,4 T), valoarea presiunii generate pentru aceleași valori ale vitezei de rotație este de aproximativ șapte ori până la nouă ori mai mare în cazul magneților cu pământuri rare.

Pentru parametrul viteză se poate observa că dacă se folosește o turație de 10 000 rot/min, presiunea este de trei ori mai mare decât în cazul în care motorul este un motor standard trifazic, având o viteză de rotație de 3000 de turații pe minut.

## CONCLUZII

Lucrările realizate pentru realizarea lanțului de programe software constituie cea mai importantă realizare pentru această lucrare. Rezultatele obținute în urma implementării lanțului de programe software sunt corecte și au fost validate cu succes pe cale comparativă cu modelari realizate de diferiți autori cât și pe cale experimentală, prin comparație cu experimentul realizat și prezentat în această lucrare.

Varianta a doua a programului software cu interfață grafică pentru vizualizarea 3D a vectorilor câmpului magnetic, cu posibilitatea rotirii în spațiu a geometriei și timp de lucru substanțial redus reprezintă un altă realizare.

Abordarea mai multor elemente caracteristice pompelor MHD cu magneți permanenți care pot fi modelate prin metoda elementelor finite a reprezentat un succes.

Pentru fiecare capitol în parte se pot remarca următoarele concluzii:

### Capitolul 1

Există trei perioade distinctive în care s-a pus accent pe domeniul MHD. În prima perioadă, anii 30, au fost puse bazele domeniului MHD, perioadă în care testele au fost realizate pentru lichide conductoare de densitate mică, săruri, curgerile fiind preponderent laminare. A doua etapă anii 60-70, a constat în dezvoltarea în direcția pompelor MHD cu bobine. A treia etapă a început în jurul anului 2000, și se axează mai mult pe pompe MHD cu magneți permanenți.

### Capitolul 2

Modelul analitic pentru curgerea laminară poate fi utilizat, dar pentru lichide conductoare electric cu densități mici și pentru cazurile în care viteza de curgere satisface condițiile de curgere laminară.

Rezultatele CFD obținute cu codul Fluent se apropie foarte mult de rezultatele obținute de Morlley.

### **Capitolul 3**

La scară macro se poate observa impactul câmpului magnetic cu metalul topit. Din cauza faptului că s-a optat pentru modelarea geometriei complete a pompei nu au fost evidențiate foarte bine zonele de la frontiera dintre metalul topit și pereții canalului de curgere. Aceste zone de frontieră sunt foarte importante, deoarece, aici au loc cele mai mari schimbări de viteză și implicit de energie. Metalul topit este frânat în zona centrală, deoarece viteza de curgere este mai mare, iar zonele periferice din apropierea zonei de frontieră sunt accelerate.

Programul de conversie realizat a reușit să realizeze legătura dintre cele două module din cadrul pachetului de programe ANSYS.

### **Capitolul 4**

Pentru partea experimentală se pot distinge următoarele idei:

Datele obținute în urma experimentelor au fost achiziționate de mai multe ori pentru a se putea verifica repetabilitatea, toleranța valorilor măsurate fiind sub 2 %;

Pentru partea de modelare se pot distinge următoarele idei:

Realizarea unui astfel de program simplifică foarte mult lucrurile, cel mai important aspect fiind cel al timpului de realizare a calculelor, de ordinul secundelor pentru softul analitic, și de o săptămână pentru cazul în care se folosește pachetul de programe ANSYS;

Programul realizat nu necesită o experiență deosebită din partea utilizatorului, în cazul unui cod cu volume finite fiind necesară o experiență în domeniul programării;

Dezavantajul acestui soft este acela că este creat pentru o singură configurație a magneților, însă acest lucru se poate rezolva prin introducerea în versiunile ulterioare a unui aparat matematic capabil să modeleze câmpul magnetic din jurul magneților.

Implementarea modelului s-a realizat cu rezultate bune, iar acest lucru permite trecerea la ultima etapă, și anume aceea de a modela diferite modele de pompe.

### **Capitolul 5**

În urma comparării rezultatelor prezentate în acest capitol se pot remarca următoarele aspecte:

Pentru modelul cu 8 magneți rotirea magneților pe axa  $z$  de la 45 de grade la 0 grade nu influențează în mod semnificativ rezultatul. În schimb defazajul între cele două platane ale rotorului pot induce o modificare a căderii de presiune mai mare decât în cazul rotirii magneților. Pentru primul caz analizat căderea de presiune a fost de 1220 Pa, iar pentru cazul al doilea valoarea căderii de presiune a fost de 1249 Pa.

Creșterea distanței între platanele cu magneți duce la o scădere a presiunii generate de pompă, de exemplu pentru viteza de 10 m/s, pentru cazul cu 12 magneți în care distanța dintre magneți și canalul de curgere este de 6 mm, căderea de presiune este de 810 Pa, iar pentru cazul cu distanța de 10 mm între magneți și canal, valoarea calculată a fost de 795 Pa.

### **Capitolul 6**

Folosirea magneților cu pământuri rare este posibilă;

Folosirea magneților cu pământuri rare este posibilă cu condiția asigurării unui curent de aer cu un debit suficient astfel încât temperatura să nu depășească valoarea de 80 °C.

Folosirea magneților cu pământuri rare va duce la creșterea eficienței pompei cu mai multe ordine de mărime, respectiv șapte sau opt ori, comparativ cu pompele care au în componență magneți feritici.

## Capitolul 7

Pentru partea de modelare mecanică se pot distinge următoarele aspecte:

- calculele mecanice realizate pentru determinarea vitezei maxime de rotație a pompei, fără a se depăși factorul de siguranță ales, au permis folosirea unei viteze de rotație de 10 000 rot/min, superioară vitezelor standard pentru motoarele industriale de 3 000 de rot/min.
- utilizarea unei viteze de rotație de 10 000 rotații/min permite o creștere a eficienței pompei de trei ori.

## Contribuții personale

### Contribuții teoretice

Analizarea bibliografiei existente în literatura de specialitate și determinarea perioadelor cu activitate maximă în domeniul pompelor MHD.

### Contribuții experimentale

Conceperea și implementarea unei metode simple de măsurare a cuplului mecanic ce apare într-un sistem mecanic rotitor, datorită interacțiunii dintre un magnet permanent aflat în mișcare de rotație și un disc metalic staționar.

- Sistemul permite deplasarea discului metalic în jurul axei de rotație, prin intermediul unui rulment dar, în același timp permite și o deplasare axială, controlată cu o precizie foarte bună.

- Realizarea și implementarea unui sistem de măsurare a vitezei de rotație utilizând un senzor de câmp magnetic (senzor Hall) care împreună cu un osciloscop permite măsurarea cu precizie a vitezei de rotație.

### Contribuții numerice

Realizarea unui soft capabil să proceseze fișierele provenite din ANSYS Mechanical și să le convertească într-un format care poate fi citit de programul Fluent MHD

- Programul beneficiază de o interfață grafică intuitivă care permite o utilizare facilă.

- Programul conține funcții de scalare și deplasare a vectorilor astfel încât după încărcarea fișierelor utilizatorul nu trebuie să caute vectorii câmpului magnetic, pentru ai aduce în câmpul vizual;

- Interfața grafică pentru vizualizarea vectorilor permite deplasarea, rotirea în spațiu și mărirea sau micșorarea vectorilor, toate acestea pentru o mai bună vizualizarea a distribuției vectorilor în spațiu;

- Comparativ cu versiunile anterioare, ultima variantă a programului permite conversia fișierelor mult mai repede, sub un minut pentru fișierele mici;

Realizarea unui program care permite calcularea forțelor și implicit a presiunilor pe cale analitică având ca bază, datele obținute experimental, care sunt prezentate în capitolul 4.

- Programul este realizat într-o așa măsură încât să nu necesite cunoștințe avansate;

- Toate valorile care trebuie să fie introduse ca date de intrare sunt poziționate pe imagine chiar în zona în care se găsește dimensiunea corespunzătoare.



## **Direcții de continuare a lucrărilor**

Cea mai utilă direcție de continuare a lucrării ar consta în realizarea unor modelări CFD pentru pompe MHD centrifugale cu magneți permanenți. Acest lucru ar presupune mici modificări ale programului software realizat în cadrul acestei lucrări pentru a se putea realiza o analiză tranzientă. Acest lucru ar presupune resurse de calcul mult mai mari decât cele utilizate pentru realizarea calculelor prezentate în lucrare.

O altă direcție de continuare a acestor lucrări ar consta în realizarea unui software care să estimeze presiunea generată de o pompa MHD cu magneți permanenți, pentru orice dimensiune a pompei și a magneților.