

Contractor: INCDIE ICPE-CA

Cod fiscal : RO 13827850

(anexa la procesul verbal de avizare interna nr.)

De acord,
DIRECTOR GENERAL,
Dr.ing. Sergiu NICOLAIE

Avizat,
DIRECTOR DE PROGRAM
Dr.ing. Georgeta ALECU

RAPORT DE ACTIVITATE AL FAZEI

Contractul nr.: 35N/2018
Proiectul: PN18240202 - Sisteme de actionare, analiza si control pentru cresterea eficientei energetice a echipamentelor si instalatiilor industriale utilizate in inginerie electrica, mecatronica si fluidica.
Faza: 2/2018 - Analiza, modelarea și simularea de configurații posibile pentru realizarea electromagnetului ultrarapid pentru hidraulică digitală. Alegerea soluției constructive a modelului experimental. Concepția, modelarea și simularea soluției constructive a modului de translație cu acționare piezoelectrică.
Termen: 15.05.2018

1. Obiectivele proiectului:

- O1. Dezvoltarea unui **electromagnet ultrarapid**, destinat să echipeze electrovalvele utilizate în domeniul hidraulicii digitale, domeniu de cercetare emergent la nivel național, dar de mare interes și la nivel internațional.
- O2. Studiul și realizarea unui **modul de translație pentru robotică**, caracterizat printr-o precizie mare de poziționare și prin realizarea cu ajutorul actuației piezoelectrice atât a poziționării liniare, cât și a blocării/deblocării poziției comandate.
- O3. Elaborarea unei **metode performante pentru caracterizarea rapidă și completă a câmpului magnetic** creat în apertura electromagneților pentru acceleratoare de particule, metodă bazată pe principiul bobinelor rotitoare.
- O4. Dezvoltarea unei **mașini electrice multifazate** (număr de faze mai mare de 3), destinată acționării electrice a mijloacelor de transport rutier, construcția polifazată permițând atât obținerea unor cupluri ridicate la turații mici, cât și utilizarea la performanțe maxime a invertorului utilizat pentru alimentarea motorului.
- O5. Realizarea unor **instalații pentru caracterizarea curgerilor bifazice prin tehnica PIV**, în vederea optimizării proiectării, realizării și funcționării echipamentelor hidraulice.

2. Rezultate preconizate pentru atingerea obiectivelor:

- R1. breviar de calcul al mașinilor polifazate;
- R2. proiect model experimental de mașină electrică polifazată;

- R3. breviar de calcul pentru postprocesarea datelor masurate cu sistemul cu bobine rotitoare;
- R4. model numeric pentru un electromagnet FAIR caracterizat prin metoda cu bobine rotitoare.
- R5. studiu privind analiza și modelarea soluțiilor constructive specifice electromagneților pentru hidraulică digitală;
- R6. studiu privind analiza și modelarea soluțiilor constructive specifice modulelor de translație cu acționare piezoelectrică.
- R7. documentația de execuție a instalației experimentale pentru studiul amestecurilor bifazice.
- R8. model experimental de mașină electrică polifazăată;
- R9. instalație experimentală destinată studiului curgerii bifazice.
- R10. metodă și pachet software pentru prelucrarea datelor primare obținute cu sistemul de măsurare cu bobine rotitoare;
- R11. proiect model experimental de modulul de translație cu acționare piezoelectrică;
- R12. un articol trimis spre evaluare și publicare către o revistă BDI sau ISI, referitor la analiza soluției constructive adoptate pentru modulul de translație cu acționare piezoelectrică;
- R13. cerere de brevet de invenție privind soluția constructivă a modulului de translație cu acționare piezoelectrică.
- R14. proiect model experimental de electromagnet ultrarapid pentru hidraulică digitală;
- R15. un articol trimis spre evaluare și publicare către o revistă BDI sau ISI, referitor la soluția adoptată pentru realizarea electromagnetului ultrarapid pentru hidraulică digitală;
- R16. cerere de brevet de invenție referitoare la soluția adoptată pentru realizarea electromagnetului ultrarapid pentru hidraulică digitală;
- R17. bază de date cu măsurători pentru diferite stadii de dezvoltare cavitațională în curgerile cu vârtej.
- R18. un articol trimis către o conferință internațională, referitor la caracterizarea curgerilor bifazice prin tehnica PIV;
- R19. un capitol de carte publicată într-o editură internațională, referitor la caracterizarea curgerilor bifazice prin tehnica PIV.

3. Obiectivul fazei:

- OF1. Analiza, modelarea și simularea de configurații posibile pentru realizarea electromagnetului ultrarapid pentru hidraulică digitală. Alegerea soluției constructive a modelului experimental.
- OF2. Concepția, modelarea și simularea soluției constructive a modulului de translație cu acționare piezoelectrică.

4. Rezultate preconizate pentru atingerea obiectivului fazei:

- R5. studiu privind analiza și modelarea soluțiilor constructive specifice electromagneților pentru hidraulică digitală;
- R6. studiu privind analiza și modelarea soluțiilor constructive specifice modulelor de translație cu acționare piezoelectrică.

5. Rezumatul fazei:

În vederea realizării acestei faze s-au abordat două teme, una cu privire la electromagneți ultrarapizi pentru hidraulică digitală iar cealaltă cu privire la module de translație cu acționare piezoelectrică, pentru dezvoltarea proiectului *“Sisteme de acționare, analiză și control pentru creșterea eficienței energetice a echipamentelor și instalațiilor industriale utilizate în inginerie electrică, mecatronică și fluidică”*.

5.1. Analiza, modelarea și simularea de configurații posibile pentru realizarea electromagnetului ultrarapid pentru hidraulică digitală. Alegerea soluției constructive a modelului experimental.

În această fază având ca obiectiv analiza, modelarea și simularea de configurații posibile pentru realizarea electromagnetului ultrarapid pentru hidraulică digitală. Alegerea soluției constructive a modelului experimental, s-a efectuat un studiu cu privire la stadiu actual în domeniul hidraulicii digitale, prezentarea aspectelor teoretice cu privire la electromagneții de c.c. și de c.a. precum și realizarea unor simulări de configurații posibile de electromagnet ultrarapid pentru hidraulică digitală, în final fiind propuse două soluții constructive pentru realizarea modelului experimental din faza următoare. Astfel, pentru a putea determina parametrii și configurația unei soluții de electromagnet pentru hidraulică digitală al cărui model experimental va fi realizat și testat în etapa următoare, a fost efectuată o analiză a două soluții constructive posibile și anume:

- electromagnet de c.c. cu plonjor (cu miez feromagnetic masiv);
- electromagnet cu plonjor în T (cu miez feromagnetic din tole).

5.1.1. Electromagnet de curent continuu cu plonjor. Studiu de caz

Principiul de funcționare se bazează pe forța electromagnetică, când bobina este alimentată în curent continuu și va atrage plonjorul spre centrul electromagnetului. Plonjorul este conectat la o valvă care va fi închisă /deschisă în funcție de deplasarea plonjorului.

Caracteristicile principale ale electromagnetului din figura 1, luate în considerare preliminar împreună cu potențiali beneficiari, sunt: Forța electromagnetică a plonjorului de 80 N ; Cursa plonjorului de 1 mm; Maxim 10 ms timp de răspuns. O vedere schematică 2D a electromagnetului de curent continuu cu plonjor este prezentată în Figura1.

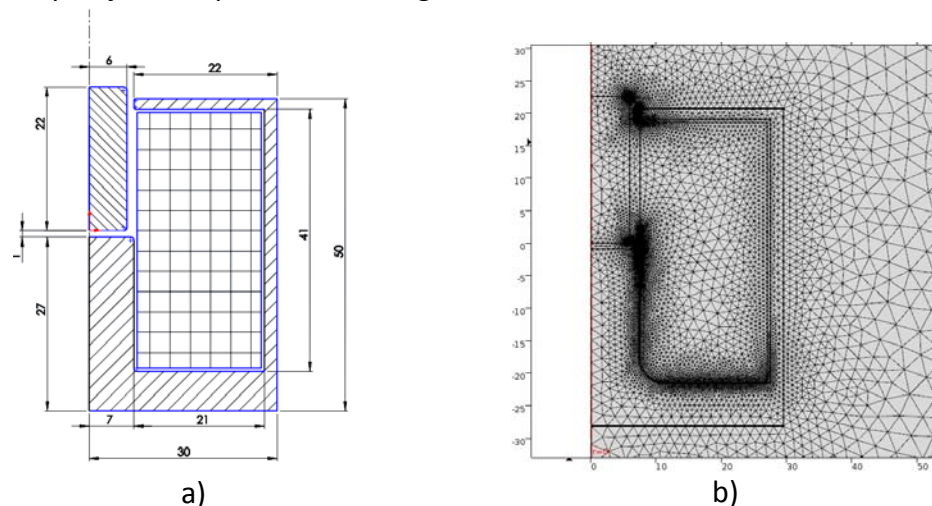


Figura 1. Geometria axisimetrică și rețeaua de discretizare pentru electromagnetul cu plonjor (dimensiunile sunt în mm).

Modelul numeric pentru analiza electromagnetului cu plonjor

Considerând simetria axială pe care o prezintă construcția electromagnetului cu plonjor, modelarea poate fi redusă la o problemă 2D axisimetrică. În acest caz, se folosesc ecuațiile lui Maxwell pentru regimul magnetic staționar :

$$\nabla \times \left(\frac{1}{\mu_0 \mu_r} \nabla \times \mathbf{A} \right) = \mathbf{J} ,$$

$$\nabla \mathbf{B} = 0 ,$$

$$\mathbf{B} = \mathbf{B}(\mathbf{H}) .$$

Materialul folosit în această simulare se numește *supermendur*, material cu 50% fier - 50% cobalt, care are cea mai mare densitate de flux magnetic față de orice alt material și, prin urmare, dă cea mai mică dimensiune a miezului. De asemenea, în comparație cu alte materiale, Supermendur prezintă o linearitate bună a permeabilității magnetice care este foarte importantă pentru a obține timp de răspuns mic și forță electromagnetică mare.

Rezultate de simulare numerică

Din modelarea electromagnetică (Figura 2), se obțin următorii parametri care trebuie să fie luați în considerare, astfel încât elementul de acționare să dezvolte caracteristicile necesare în ceea ce privește timpul de reacție și forța electromagnetică: $N = 1847$ (nr. de spire); $I = 1$ A (curentul de excitație); diametrul conductorului de bobinaj = 0,65 mm; Forța în plonjor la finalul cursei de 1 mm calculată numeric: 84,989 N.

În Figura 3 este prezentată forța care apare în plonjor în funcție de deplasarea acestuia, cursa maximă impusă fiind de 1 mm.

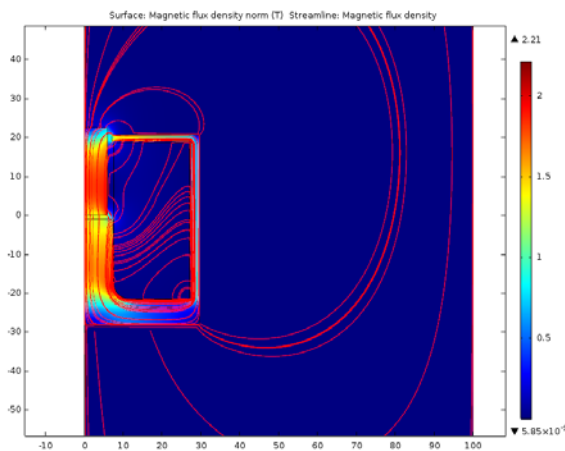


Figura 2. Linii de câmp și hartă de culoare pentru inducția magnetică a modelului 2D axisimetric analizat.

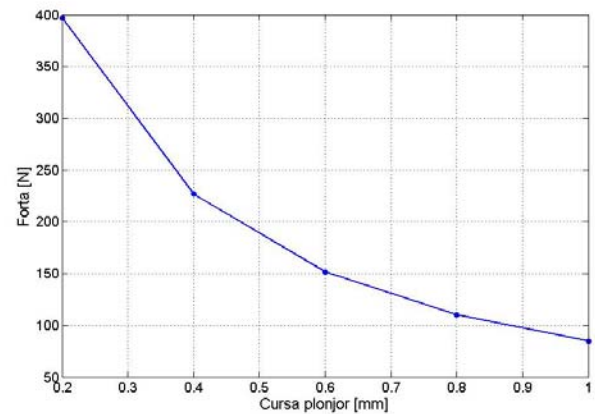
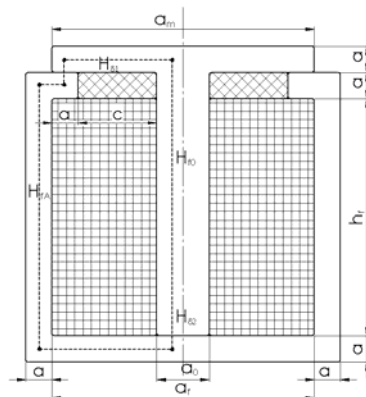


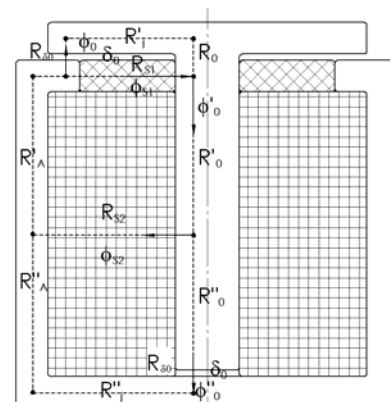
Figura 3. Forța funcție de deplasarea plonjorului.

5.1.2. Electromagnet cu plonjor în T. Studiu de caz.

La acest electromagnet s-a luat în considerație o soluție constructivă cu tole asemănătoare celei de tip E de c.a. (figura 4) dar fără spire în scurtcircuit. Schița simplificată a circuitului magnetic este prezentată în figura 4.



a) electromagnet închis



b) electromagnet deschis

Figura 4. Schița simplificată a circuitului magnetic.

Caracteristicile principale ale electromagnetului din figura 4, luate în considerație preliminar sunt, la fel ca în cazul precedent: Forța electromagnetică a plonjorului de 80 N ; Cursa plonjorului de 1 mm; Maxim 10 ms timp de răspuns. Materialul folosit pentru pachetul de tole este de asemenea supermendur, material cu 50% fier - 50% cobalt.

Rezultate de simulare numerică

Din modelarea electromagnetică preliminară, s-au obținut următorii parametri care trebuie să fie luați în considerare, astfel încât elementul de acționare să dezvolte caracteristicile necesare în ceea ce privește timpul de reacție și forța electromagnetică: $N = 1850$ (nr. de spire); $I = 1$ A (curentul de excitație); diametrul conductorului de bobinaj = 0,45 mm; dimensiuni geometrice (conform figurii 4): $a_0 = 2a = 10$ mm; $h_f = 45$ mm; $c = 15$ mm; $b = 10$ mm (grosimea pachetului de tole); $\delta_0 = 1$ mm.

Din simularea numerică cu ajutorul programului FEMM 2D a rezultat structura de câmp magnetic din figura 5. În Figura 6 este prezentată forța care apare în plonjor în funcție de deplasarea acestuia, cursa maximă impusă fiind de 1 mm.

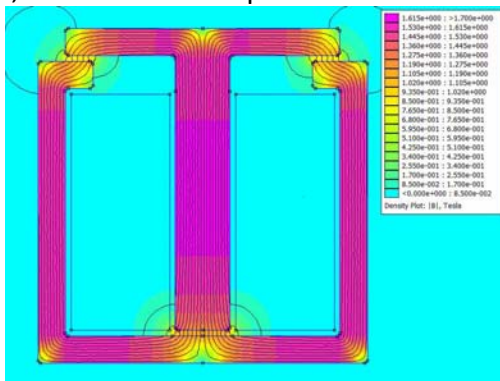


Figura 5. Linii de câmp și hartă de culoare pentru inducția magnetică a electromagnetului cu plonjor în T 2D analizat.

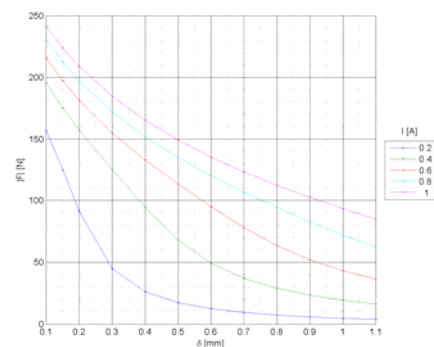


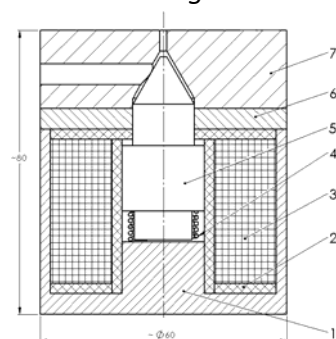
Figura 6. Forța funcție de deplasarea plonjorului pentru electromagnetul cu plonjor în T la diferiți curenți de alimentare.

După cum se observă în Figura 6 forța la întrefier de 1 mm și un curent maxim de 1 A este de 93,372N.

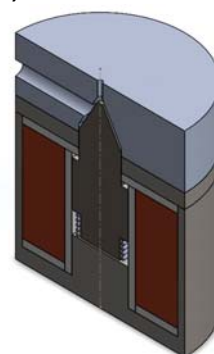
5.1.3. Alegerea soluției constructive a modelului experimental de electromagnet ultrarapid pentru hidraulica digitală

Având în vedere cele prezentate, se propun următoarele soluții constructive în vederea realizării modelului experimental de electromagnet ultrarapid pentru hidraulica digitală.

Varianta I - Electromagnet de curent continuu cu plonjor (Figura 7).



a) vedere 2D



b) secțiune transversală prin vederea 3D

Figura 7. Soluția constructivă de electromagnet de c.c. cu plonjor (1- Miez magnetic; 2 – Suport bobină; 3- Bobină; 4 – Arc de revenire plonjor; 5 – Plonjor; 6 – Jug magnetic de închidere; 7 – Corp distribuitor).

Varianta II - Electromagnet de curent continuu cu plonjor în T (Figura 8).

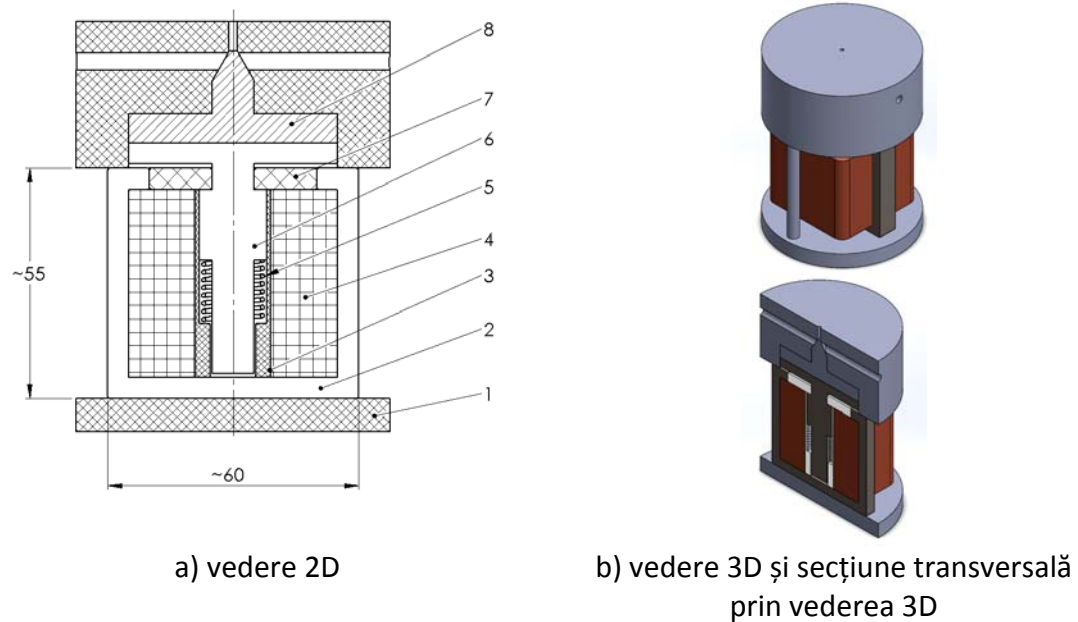


Figura 8. Soluția constructivă de electromagnet de c.c. cu plonjor în T (1- *Talpă fixare*; 2 – *Pachet tole*; 3- *Suport bobină*; 4 – *Bobină*; 5 - *Arc de revenire plonjor*; 6 – *Pachet tole plonjor*; 7 – *Opritor*; 8 – *Sbs. corp distribuitor*).

S-a considerat oportună experimentarea ambelor variante constructive descrise mai sus pentru a efectua o analiză comparativă a comportamentului și eficienței soluțiilor constructive (inclusiv sub aspect termic).

5.2. Concepția, modelarea și simularea soluției constructive a modului de translație cu acționare piezoelectrică

Se intenționează elaborarea unei soluții constructive noi de modul de poziționare incrementală cu actuatori piezoelectrice, cu o indexare directă a poziției, pentru obținerea unui maxim de forță. Prin utilizarea unor actuatori piezoelectrice cu deplasări și forțe capabile mai mari, se pot îmbunătăți parametrii forță și viteză de deplasare ce sunt legați în mod direct de performanțele actuatorilor.

În figura 9 se prezintă o imagine cu transparențe și fără capac și corpuri de indexare astfel încât să poată fi observată structura internă a modului de translație. Sunt vizibile stivele piezoelectrice, ce realizează frânarea, arcurile disc de pretensionare, pistoanele pentru frânare. În cadrul corpului superior se pot identifica actuatorul de avans și un grup de arcuri disc ce îl pretensionează.

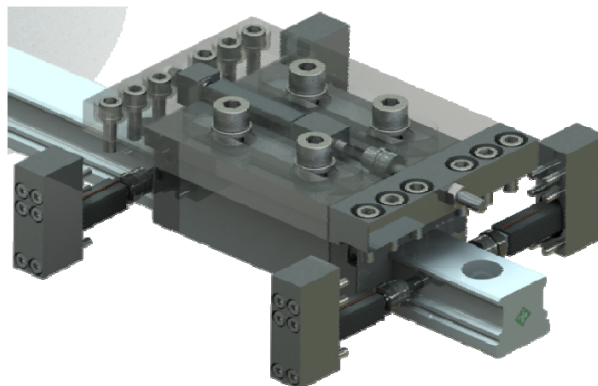
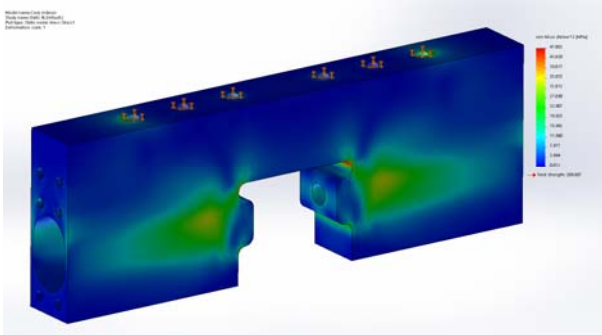


Figura 9. Vedere a componentelor interioare ale modului de translație

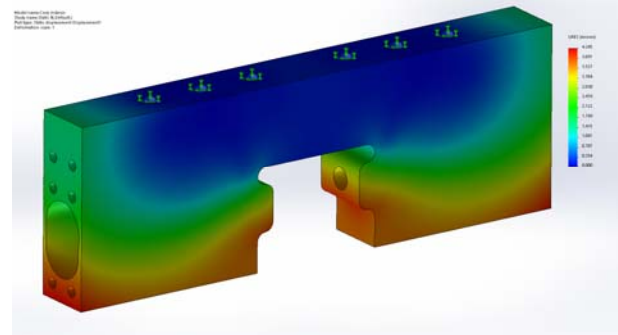
5.2.1 Simularea FEA

Folosind modulul "Simulation" al SolidWorks, au fost rulate simulări statice și dinamice cu scopul verificării eforturilor unitare, deformațiilor și modurilor proprii. Elementele asupra cărora s-a realizat această analiză au fost pistonul de frânare și corpul principal al indexorului.

În cazul solicitărilor statice (figura 10) pentru corpurile indexoarelor, efortul unitar maxim a fost evaluat la 47,802 MPa cu limita de curgere la 206,807 MPa, deci fără a se trece în deformare plastică. Deformarea maximă a corpului indexoarelor a fost evaluată la 4,245 μm .



a) Eforturi unitare în corpul indexoarelor



b) Deformația corpului indexoarelor

Figura 10. Simulare statică: eforturi unitare a); deformații b)

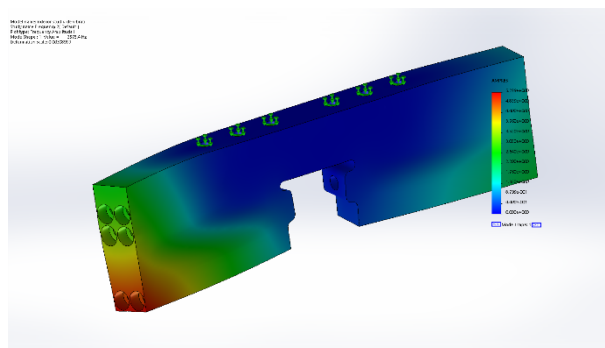
5.2.2 Simularea modurilor proprii de vibrație

Pentru simularea modurilor proprii de vibrație s-a utilizat o structură formată din corpul principal al indexoarelor și cele două capace laterale. Acestea au fost tratate ca un corp comun fixat cu șuruburi în partea de sus.

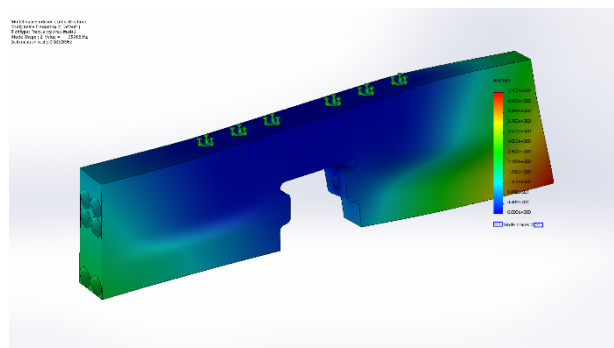
În urma simulării s-au obținut mai multe moduri de vibrație proprii. În tabelul 1 sunt menționate câteva dintre primele astfel de frecvențe și sunt prezentate și câteva dintre modurile de vibrație sub formă grafică.

Tabelul 1 – Modurile proprii de vibrație ale carcasei indexoarelor

Mode No.	Frecvența(Hertz)
1	3575.4
2	3576.5
3	6191.5
4	6208.1
5	6355.6
6	6356.3
7	11255.0
8	11277.0



f1=3575.4 Hz



f2=3576.5 Hz

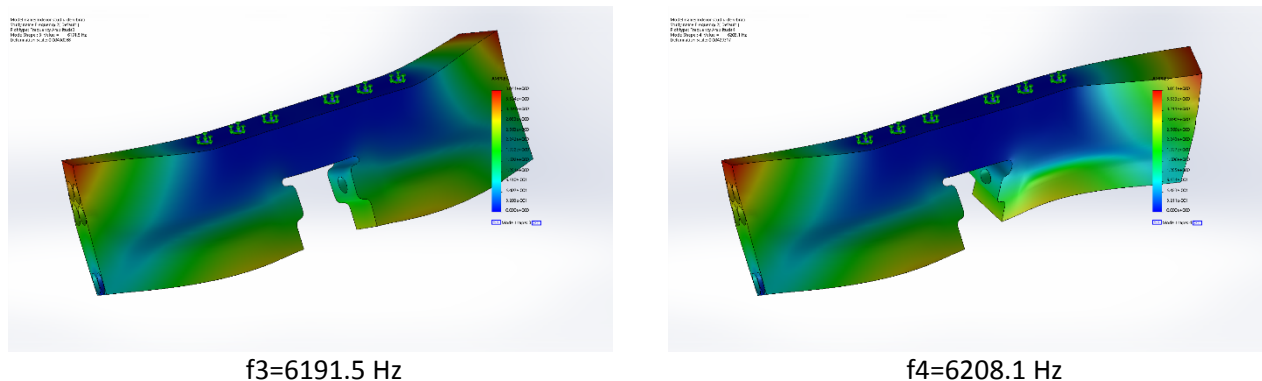


Figura 11. Primele patru moduri proprii de vibrație pentru corpul indexorului

Se constată faptul că frecvențele proprii de vibrație se găsesc peste 3,5kHz.

Având în vedere faptul că amplificatorul utilizat inițial pentru alimentarea actuatorilor a fost conceput pentru o lățime de bandă mai mică și pentru actuatori cu capacitatea de $\sim 630\text{nF}$ (față de capacitatea actuală mult mai mare de $10\mu\text{F}$), se poate presupune că modulul nu va intra în rezonanță.

5.3. Concluzii

- S-a realizat o prezentare a domeniului hidraulicii digitale, a stadiului actual în acest domeniu și au fost evidențiate caracteristicile principale ale unor valve digitale existente;
- S-au prezentat aspectele teoretice ale electromagneților de c.c. și c.a. modul de calcul al forței dezvoltate de aceștia precum și determinarea timpului de deplasare;
- S-a realizat o modelare a două soluții constructive de electromagneți (de c.c. cu plonjor și cu plonjor în T realizat din pachet de tole) specifici hidraulicii digitale.
- Cu ajutorul modelării numerice au fost definitive geometria, numărul de înfășurări și diametrul firului de bobinat pentru a obține forța necesară de acționare a plonjorului în cazul electromagneților considerați. Din rezultatele obținute, s-a observat că valoarea forței obținută din modelare este foarte apropiată de valoarea impusă pentru cursa maximă de 1mm a plonjorului. De asemenea, din modelare se poate observa și faptul că inducția magnetică în miez este sub valoarea de saturație.
- S-a considerat oportună experimentarea a două variante constructive pentru a efectua o analiză comparativă a comportamentului și eficienței soluțiilor constructive (inclusiv sub aspect termic).
- S-a realizat un studiu privind analiza și modelarea soluțiilor constructive specifice modulelor de translație cu acționare piezoelectrică. S-au determinat tipurile de modelări și simulări ce se realizează pentru modulele de translație cu acționare piezoelectrică cu și fără mecanisme compliante.
- A fost concepută o structură de model de translație ce permite rularea pe distanțe mari, cu viteze și forțe de acționare crescute. Pentru aceasta, spre deosebire de modelul studiat în variantele anterioare, indexarea poziției se realizează în mod direct, cu forțe maxime.
- În baza tipurilor de modelări și simulări identificate în literatura de specialitate s-au realizat modelări CAD și simulări FEA pentru structura de modul de poziționare aleasă.
- Modelarea CAD s-a realizat în SolidWorks și a ținut cont de un tip de actuator piezoelectric cu forță de blocare de 1800 N, deformare de $70\text{ }\mu\text{m}$ și de arcuri disc cu dimensiuni de același ordin de mărime și capabilități de forță corespunzătoare, astfel încât să se poată integra ușor în modulul de translație.
- Simulările FEA s-au realizat tot în mediul SolidWorks și au avut ca scop verificarea faptului că valorile eforturilor unitare se găsesc sub limita de curgere a materialelor. De asemenea, din

studiul modurilor de vibrație s-a determinat faptul că în configurația curentă modulul nu va intra în rezonanță.

- S-au îndeplinit toate obiectivele propuse pentru faza curentă, rezultatele obținute sunt foarte bune; există infrastructura necesară continuării proiectului, există și experiență anterioară în dezvoltarea de module similare și ca atare se propune continuarea proiectului cu faza următoare conform planului de realizare.
- Având în vedere cele prezentate în această lucrare, se consideră că au fost îndeplinite obiectivele acestei faze și se propune continuarea lucrării de cercetare.

6. Rezultate, stadiul realizării obiectivului fazei, concluzii și propuneri pentru continuarea proiectului (se vor preciza stadiul de implementare a proiectului, gradul de îndeplinire a obiectivului cu referire la tinte stabilite și indicatorii asociați pentru monitorizare și evaluare).

- Obiectivele fazei 2/2018 au fost îndeplinite, respectiv au fost realizate următoarele activități: (1) *Analiza, modelarea și simularea de configurații posibile pentru realizarea electromagnetului ultrarapid pentru hidraulică digitală. Alegerea soluției constructive a modelului experimental.* (2) *Concepția, modelarea și simularea soluției constructive a modulului de translație cu acționare piezoelectrică.*: R5 – studiu privind analiza și modelarea soluțiilor constructive specifice electromagneților pentru hidraulică digitală; R6 – studiu privind analiza și modelarea soluțiilor constructive specifice modulelor de translație cu acționare piezoelectrică;
- Pentru îndeplinirea obiectivelor specifice O1 – O5 ale proiectului, pe parcursul anului 2018 au fost planificate următoarele faze, cuprinzând activități științifice specifice, care vor conduce la obținerea rezultatelor R7 – R19, conform planificării din tabelul prezentat mai jos:

Nr. fază	Denumire fază	Rezultate estimate	Valoare - lei -	Termen de predare
1	Stabilire soluție constructivă, breviar de calcul, modelare cu element finit și elaborare proiect model experimental de mașină electrică polifazăată. Breviar de calcul și model numeric pentru dezvoltarea algoritmilor de procesare prin metoda de măsurare cu bobine rotitoare (Realizat).	R1. breviar de calcul al mașinilor polifazate (Realizat); R2. proiect model experimental de mașină electrică polifazăată (Realizat); R3. breviar de calcul pentru postprocesarea datelor masurate cu sistemul cu bobine rotitoare (Realizat); R4. model numeric pentru un electromagnet FAIR caracterizat prin metoda cu bobine rotitoare (Realizat).	326.180	20.04.2018
2	Analiza, modelarea și simularea de configurații posibile pentru realizarea electromagnetului ultrarapid pentru hidraulică digitală. Alegerea soluției constructive a modelului experimental. Concepția, modelarea și simularea	R5. studiu privind analiza și modelarea soluțiilor constructive specifice electromagneților pentru hidraulică digital (Realizat).; R6. studiu privind analiza și modelarea soluțiilor constructive specifice	264.200	31.05.2018

	soluției constructive a modului de translație cu acționare piezoelectrică.	modulelor de translație cu acționare piezoelectrică (Realizat) .		
3	Proiectarea instalației experimentale pentru studiul amestecurilor bifazice, adaptată pentru măsurători cu tehnica PIV.	R7. documentația de execuție a instalației experimentale pentru studiul amestecurilor bifazice.	351.030	15.06.2018
4	Realizarea modelului experimental de mașină electrică polifazăată. realizarea instalației experimentale pentru studiul amestecurilor bifazice, adaptată pentru măsurători cu tehnica PIV.	R8. model experimental de mașină electrică polifazăată; R9. instalație experimentală destinată studiului curgerii bifazice.	269.590	14.09.2018
5	Elaborare algoritm de procesare a măsurătorilor cu bobine rotative. Proiect de execuție model experimental de modul de translație cu acționare piezoelectrică.	R10. metodă și pachet software pentru prelucrarea datelor primare obținute cu sistemul de măsurare cu bobine rotitoare; R11. proiect model experimental de modulul de translație cu acționare piezoelectrică; R12. un articol trimis spre evaluare și publicare către o revistă BDI sau ISI, referitor la analiza soluției constructive adoptate pentru modulul de translație cu acționare piezoelectrică; R13. cerere de brevet de invenție privind soluția constructivă a modului de translație cu acționare piezoelectrică.	338.680	31.10.2018
6	Proiectarea modelului experimental de electromagnet ultrarapid pentru hidraulică digitală. Concepția și realizarea electronicii de comandă pentru electromagnetul ultrarapid.	R14. proiect model experimental de electromagnet ultrarapid pentru hidraulică digitală; R15. un articol trimis spre evaluare și publicare către o revistă BDI sau ISI, referitor la soluția adoptată pentru realizarea electromagnetului ultrarapid pentru hidraulică digitală; R16. cerere de brevet de invenție referitoare la soluția adoptată pentru realizarea electromagnetului	349.740	30.11.2018

		ultrarapid pentru hidraulică digitală;		
7	Configurarea instalației experimentale adaptată pentru curgerile cavitaționale; Măsurători sincrone de câmpuri de viteze, presiuni, debite.	R17. bază de date cu măsurători pentru diferite stadii de dezvoltare cavitațională în curgerile cu vârtej. R18. un articol trimis către o conferință internațională, referitor la caracterizarea curgerilor bifazice prin tehnica PIV; R19. un capitol de carte publicată într-o editură internațională, referitor la caracterizarea curgerilor bifazice prin tehnica PIV.	330.780	10.12.2018

Responsabil proiect

Dr.ing. Ionel CHIRITA