

Proiect nr. 32/2012

**Mașini electrice de eficiență sporită,
prin utilizarea unor soluții tehnice avansate,
bazate pe predeterminarea proprietăților magnetice
ale tolelor**

**(Electrical Machines with Increased Efficiency, by Using
Advanced Technical Solutions Based on the
Predetermination of the Magnetic Properties of Sheets)**

Acronim: **MEF-MAG**

Raport de sinteză

**Etapa IV: Studiul posibilității de realizare a unei variante
de prototip cu eficiență sporită pe baza experiențelor din
cadrul proiectului**

Termen: **15 decembrie 2015**

Director de proiect : Prof. dr.ing. **Horia GAVRILĂ**,
Universitatea Politehnica din București

Activitatea IV.1

Caracterizarea comportării magnetice ca urmare a prelucrării tipului de tolă M 700

Au participat la realizarea activității echipele partenerilor:

CO: Universitatea Politehnica din București

P1: INCD Inginerie Electrică - Cercetări Avansate, ICPE-CA

P3: Universitatea “Transilvania” din Brașov

Rezultatele prezentate în rapoartele științifice ale etapelor precedente au dovedit că, din rațiuni în egală măsură de natură funcțională și economică, tehnologia de tăiere a tolelor mașinilor electrice dezvoltate în proiect se recomandă a fi ștanțarea mecanică sau electroeroziunea. Având în vedere faptul că realizarea motoarelor cu utilizarea tolei de tip M400-65A a permis **obținerea unor mașini electrice care se încadrează în clasa IE3 (cu eficiență sporită), ceea ce reprezintă obiectivul major al proiectului**, în vreme ce **mașinile realizate cu tole de tip M800-65A nu au corespuns acestei cerințe**, s-a trecut la încercarea de a vedea dacă prin utilizarea tolei de tip M700-65A (cu caracteristici magnetice intermediare, așa cum a rezultat din măsurătorile întreprinse în fazele anterioare, dar luată în considerare ca posibilă soluție în propunerea de proiect) se pot realiza motoare electrice care să se încadreze în această clasă. S-a optat pentru tăierea tolelor prin ștanțare, procedeul tehnologic preferat de beneficiar și, de altfel, cel mai frecvent utilizat în producția curentă.

Pentru analiza influenței procedurii de ștanțare asupra pierderilor de energie s-a optat, ca și în cazul tolelor precedente, pentru creșterea lungimii perimetrului ștanțat prin aplicarea de tăieri succesive, pe lungimea eșantionului, la diferite lățimi. În acest scop, tola de $300 \times 30 \text{ mm}^2$ a fost debitată astfel:

- Două eșantioane de dimensiuni $300 \times 15 \text{ mm}^2$;
- Trei eșantioane de dimensiuni $300 \times 10 \text{ mm}^2$;
- Patru eșantioane de dimensiuni $300 \times 7,5 \text{ mm}^2$;

Eșantioanele au fost tăiate paralel cu direcția de laminare (RD) (Tabel 1.1) măsurătorile fiind realizate cu un tester uni-tolă prin alăturarea eșantioanelor de aceeași lățime pentru refacerea probei standard de lățime 30 mm.

Tabel 1.1. Dimensiuni și proprietăți eșantioane testate.

Tip Tolă	Direcție tăiere	Număr bucăți	Densitate [g/cm ³]	Rezistivitate electrică [Ωm]	Masa totală [g]	Lungime [mm]	Lățime [mm]	Grosime [mm]
M700-50A	RD	1	7.80	$25 \cdot 10^{-8}$	35.7	300	30	0.65
		2			35.7		15	
		3			35.72		10	
		4			35.5		7.5	

A. Analiza în frecvență a pierderilor de energie pe eșantioane de volum $300 \times 30 \times 0.5 \text{ mm}^3$

Eșantionul testat a fost reconstituit din bucățile componente, astfel încât proba caracterizată cu testerul uni-tolă a avut dimensiunile $300 \times 30 \times 0,65 \text{ mm}^3$. Testarea la care a fost supusă tola a constat în variația polarizației magnetice de vârf $J_p \in \{250, 500, 1000, 1500\} \text{ mT}$, măsurată în cazul frecvenței $f \in \{12, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100\} \text{ Hz}$.

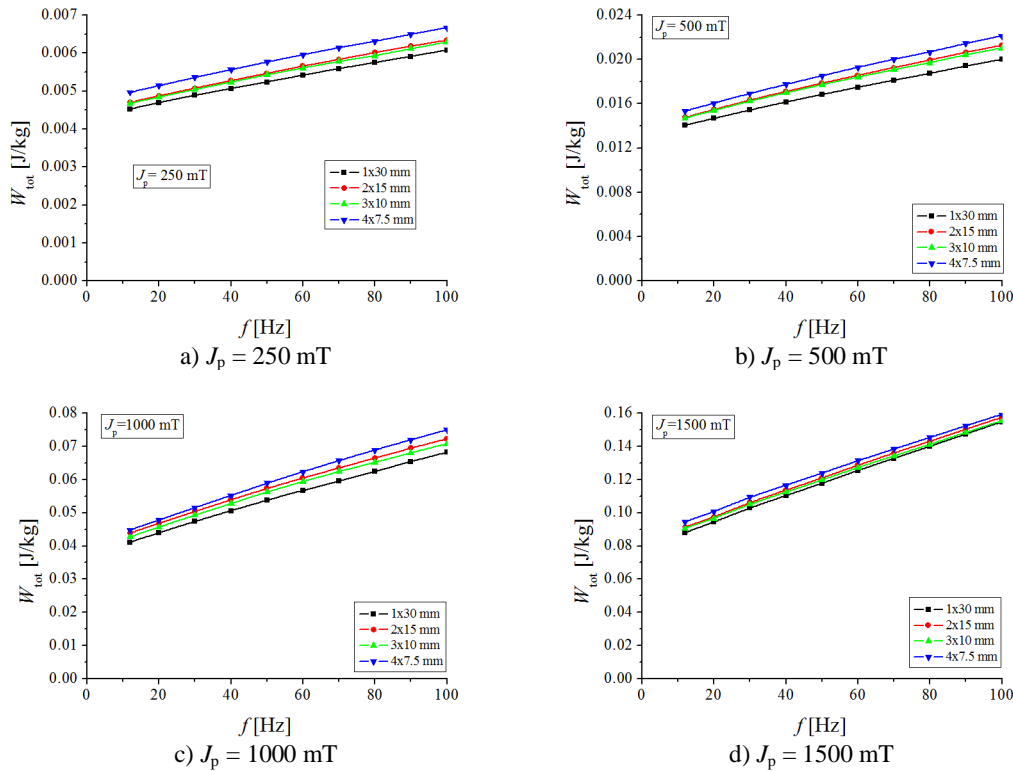
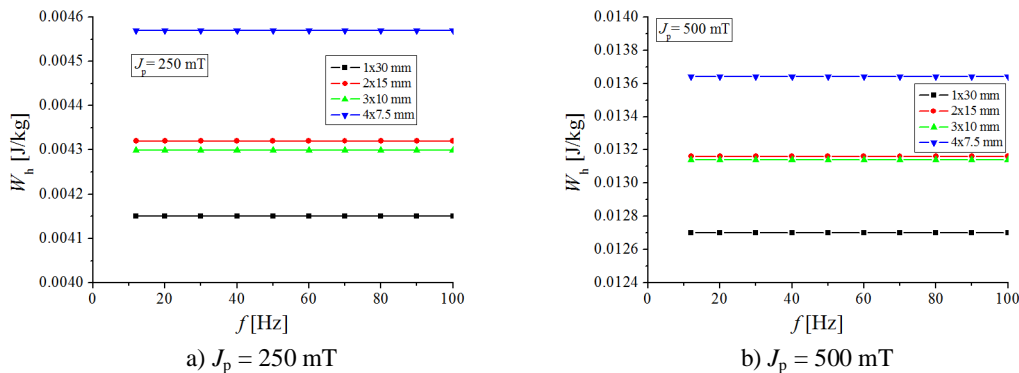
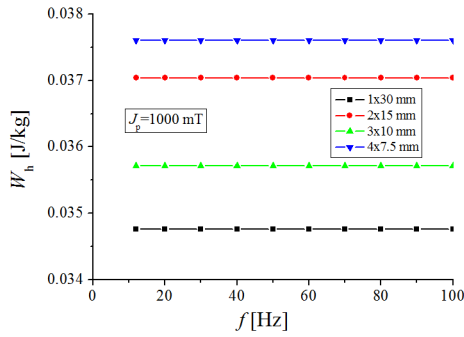


Fig. 1.1. Variația pierderilor de energie totale în funcție de frecvență pentru patru valori ale polarizației magnetice de vârf (J_p).

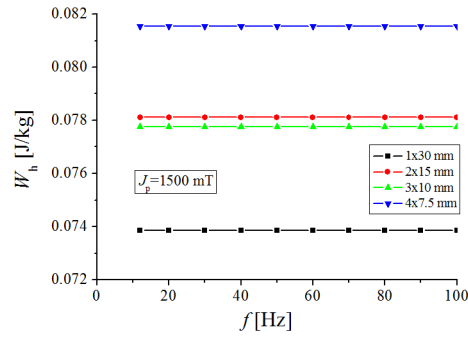
Din Fig. 1.1 se constată că în toate cazurile analizate pierderile de energie totale cresc o dată cu creșterea perimetrului ștanțat. În domeniul polarizațiilor magnetice reduse (Fig 1.1 a) și b)) pierderile de energie sunt puternic influențate de procedeul de debitare mecanică, iar o dată cu apropierea de punctul de saturație, diferențele dintre pierderile totale de energie măsurate în cazul celor 4 lungimi de ștanțare se reduc, deoarece la saturație permeabilitatea magnetică relativă a tolei tinde spre 1. În concluzie în domeniul polarizațiilor magnetice mari (Fig 1.1 c) și d)) procedeul de ștanțare nu mai influențează într-o mare măsură pierderile de energie.

S-a realizat și separarea pierderilor de energie, utilizând procedeul prezentat în cadrul fazelor precedente.





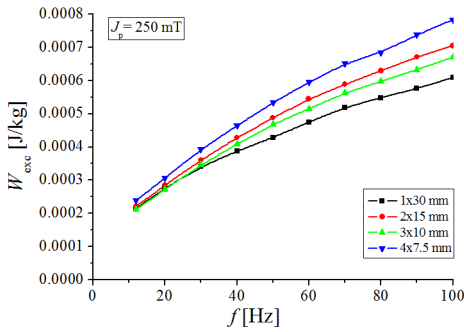
c) $J_p = 1000$ mT



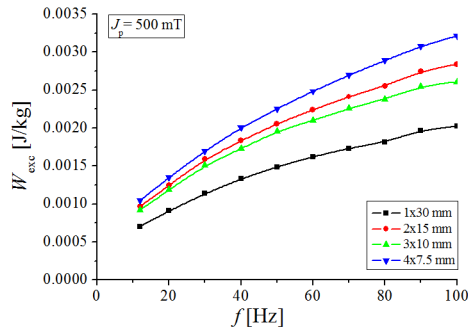
d) $J_p = 1500$ mT

Fig. 1.2. Variația pierderilor de energie prin histerezis în funcție de frecvență pentru patru valori ale J_p .

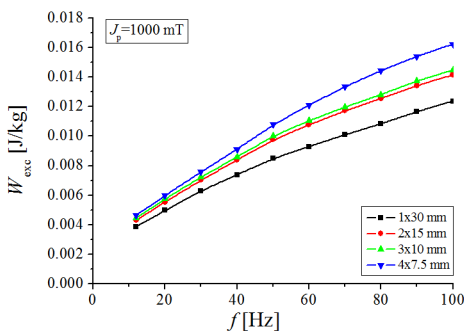
Datorită producerii de clivaje ale planurilor cristaline și a prezenței unui număr mare de impurități nemagnetice la aliajul de tip M700-50A, se observă o creștere a pierderilor prin histerezis odată cu creșterea lungimii de ștanțare (Fig. 1.2). În cazul acestui tip de aliaj pierderile prin histerezis reprezintă componenta cea mai importantă a pierderilor de energie magnetice. În scopul obținerii unei mașini electrice cu eficiență sporită, este necesar să se analizeze în detaliu acest tip de pierdere de energie.



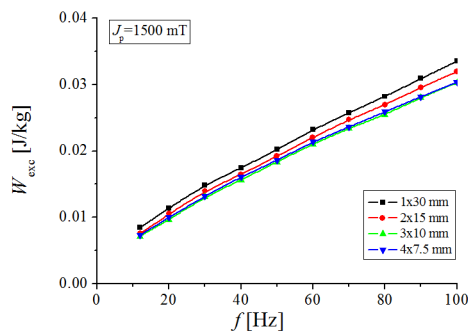
a) $J_p = 250$ mT



b) $J_p = 500$ mT



c) $J_p = 1000$ mT



d) $J_p = 1500$ mT

Fig. 1.3. Variația pierderilor de energie în exces în funcție de frecvență pentru patru valori ale J_p .

Pierderile de energie în exces sunt datorate existenței microcurenților turbionari, care apar în vecinătatea pereților de domenii magnetice. În domeniul polarizațiilor magnetice înalte acest tip de pierderi de energie nu pare a fi puternic influențat de procedul de ștanțare, curbele de variație ale pierderilor apropiindu-se sensibil (Fig. 1.3).

B. Analiza la frecvența de 50 Hz

Testarea la care au fost supuse tolele ștanțate a constat în variația polarizației magnetice $J \in \{50, 100, 250, 500, 800, 1000, 1100, 1200, 1300, 1400, 1500, 1600\}$ mT, măsurată la frecvența $f = 50$ Hz.

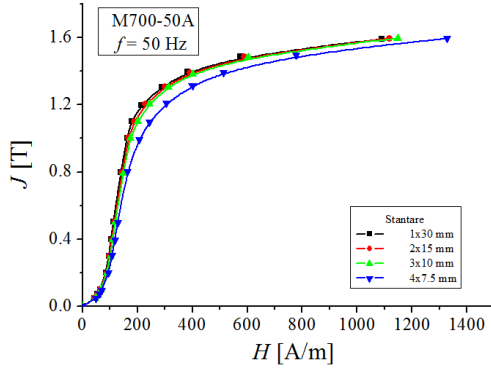
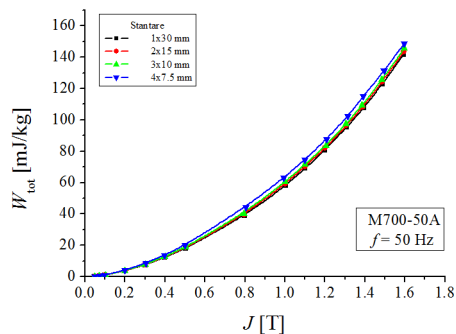
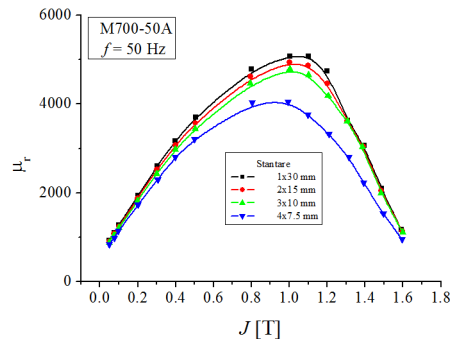


Fig. 1.4. Curba normală obținută în cazul eșantioanelor din material M700-50A, debitate prin ștanțare la frecvența $f = 50$ Hz.

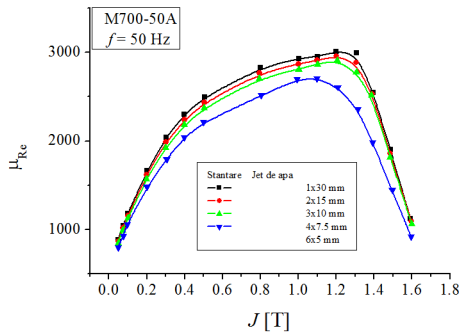
O dată cu creșterea perimetrului ștanțat se constată că magnetizarea aliajului devine din ce în ce mai dificilă, iar pentru obținerea valorii de saturație a polarizației magnetice este necesară o intensitate tot mai mare a câmpului magnetic aplicat (Fig. 1.4).



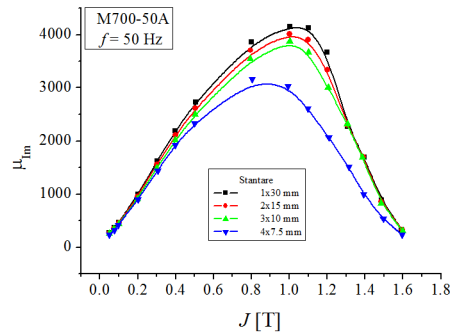
a) Pierderea de energie totală



b) Permeabilitatea magnetică relativă



c) Componenta reală a permeabilității magnetice relative



d) Componenta imaginară a permeabilității magnetice relative

Fig. 1.5. Variația proprietăților magnetice în funcție de polarizația magnetică, determinate la $f = 50$ Hz.

Se constată că pierderile de energie totale cresc la frecvența de 50 Hz odată cu creșterea perimetrului ștanțat, iar permeabilitatea magnetică (modulul, componenta reală și cea imaginară) scade cu acesta (Fig.1.5).

Activitatea IV.2

Analiza comparativă a comportării magnetice ca urmare a prelucrării diferitelor tipuri de tole

Au participat la realizarea activității echipele partenerilor:

CO: Universitatea Politehnica din București

P3: Universitatea “Transilvania” din Brașov

În diverse faze ale proiectului au fost testate diferite tipuri de tole FeSi cu grăunți neorientați, debitate prin ștanțare, laser, electroeroziune și tăiere cu jet de apă. Eșantioanele au următoarele dimensiuni geometrice și proprietăți de material (Tabel 2.1).

Tabel 2.1. Dimensiuni și proprietăți eșantioane testate.

Tip Tolă	Direcție tăiere	Densitate [g/cm ³]	Rezistivitate electrică [Ωm]	Masa [g]	Lungime [mm]	Lățime [mm]	Grosime [mm]
M400-65A	RD	7.65	44·10 ⁻⁸	45.44	300	30	0.65
M700-50A	RD	7.80	25·10 ⁻⁸	35.71	300	30	0.50
M800-65A	RD	7.80	25·10 ⁻⁸	44.73	300	30	0.65

Curba normală de magnetizare și analiza proprietăților magnetice la frecvență industrială

Curba utilizată în proiectarea miezurilor magnetice, *curba normală* de magnetizare, se definește ca loc geometric al punctelor de vârf ale curbelor de histerezis simetrice ce se extind din starea demagnetizată către saturație. Pentru determinarea curbei normale de magnetizare a tolelor (Fig. 2.1) s-au efectuat măsurători statice la frecvența $f = 50$ Hz. În cazul fiecărui eșantion s-au măsurat cicluri simetrice centrate în origine având următoarele polarizații magnetice de vârf: $J_p \in \{5 \text{ mT}, 10 \text{ mT}, 20 \text{ mT}, 50 \text{ mT}, 100 \text{ mT}, 200 \text{ mT}, 500 \text{ mT}, 750 \text{ mT}, 900 \text{ mT}, 1000 \text{ mT}, 1100 \text{ mT}, 1200 \text{ mT}, 1300 \text{ mT}, 1400 \text{ mT}, 1500 \text{ mT}, 1600 \text{ mT}\}$.

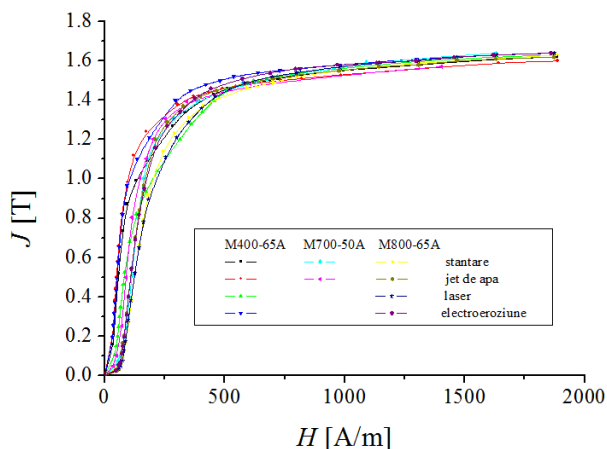


Fig. 2.1. Curba normală de magnetizare în cazul eșantioanelor testate, debitate prin diverse tehnologii la frecvența $f = 50$ Hz.

Din Fig. 2.1 se constată că procedeele tehnologice de tăiere cu jet de apă și prin electroeroziune duc la o magnetizare mai ușoară a aliajelor, deoarece tensionările mecanice sau termice din timpul debitării materialelor sunt foarte mici sau chiar nule. În cazul eşantioanelor din aliaj M800-65A, influența tuturor proceselor tehnologice analizate este mult mai redusă, deoarece prezența în număr mult mai mare a impurităților nemagnetice, care acționează asupra mobilității pereților de domenii magnetice, impune aplicarea unor valori mai mari ale câmpului magnetic extern.

A fost investigat cu precădere procedeul de tăiere prin ștanțare, utilizat pe scara cea mai largă de producătorii de mașini electrice, și procedeul de debitare cu jet de apă, care conduce la deteriorări magnetice reduse în timpul tăierii materialului. Debitarea cu jet de apă și particule abrazive poate constitui o metoda alternativă eficientă în procesul tehnologic de construcție al mașinilor electrice.

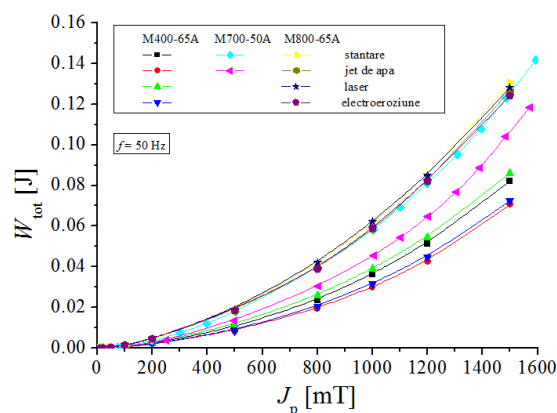


Fig. 2.2. Variația pierderilor totale de energie în funcție de polarizația magnetică de vârf, în cazul eşantioanelor testate, debitate prin diverse tehnologii.

Din Fig. 2.2 se constată că debitarea cu jet de apă conduce la pierderi de energie mult mai mici în comparație cu cele obținute în cazul tăierii mecanice și comparabile cu cele obținute pentru electroeroziune. Debitarea cu laser duce la pierderi de energie crescute, datorită tensionărilor termice induse în timpul procesului de tăiere. Pentru eşantioanele din oțel M800-65A, care este un aliaj cu un număr ridicat de impurități nemagnetice, procedeele de tăiere analizate au o influență redusă asupra pierderilor de energie totale.

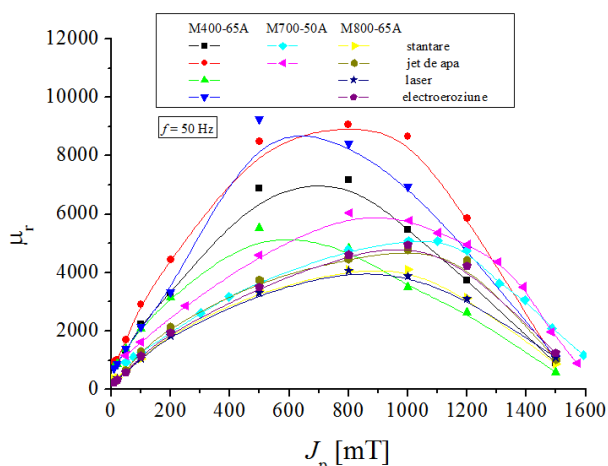


Fig. 2.3. Variația permeabilității magnetice relative în funcție de polarizația magnetică de vârf, în cazul eşantioanelor testate, debitate prin diverse tehnologii.

Din Fig. 2.3 se observă că debitarea cu jet de apă conduce la valori aproape de două ori mai mari ale permeabilității magnetice relative, decât în cazul debitării prin laser, în cazul tuturor celor trei tipuri de aliaje investigate. Se remarcă de asemenea o creștere a valorii polarizației magnetice de vârf pentru care se atinge punctul de maxim al permeabilității magnetice relative, cele mai mari valori fiind obținute în cazul aliajului M800-65A debitat prin tăiere laser.

Analiza în frecvență a variației pierderilor de energie

Analiza variației pierderilor specifice de energie cu frecvența, însoțită de aplicarea metodei separării pierderilor de energie pe cele trei componente (pierderi de energie clasice, pierderi de energie prin histerezis și pierderi de energie anormale (în exces)), permite corelarea dintre procesele de magnetizare din aliaj și structura cristalografică a acestuia, oferind o modalitate directă producătorilor de oțeluri electrotehnice cât și a celor de mașini electrice pentru a obține circuite magnetice cât mai eficiente din punct de vedere energetic.

Procesele tehnologice de debitare determină modificări ale structurii cristaline cât și tensionări termice și mecanice de-a lungul perimetrului supus tăierii. Pentru alegerea unei tehnologii de tăiere optime din punct de vedere tehnico-economic, este necesară studierea variațiilor celor trei tipuri de pierderi de energie într-o gamă largă de frecvențe în jurul frecvenței industriale de 50 Hz.

Măsurătorile magnetice au fost făcute la trei polarizații magnetice de vârf $J_p \in \{500 \text{ mT}, 1000 \text{ mT}, 1500 \text{ mT}\}$ într-un interval de frecvențe de la 10 Hz la 100 Hz.

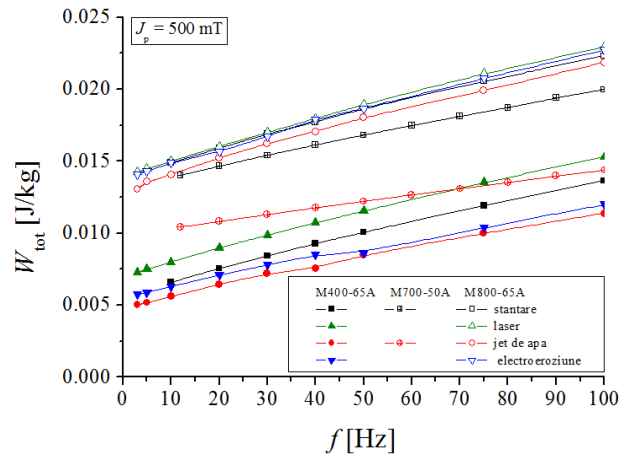


Fig. 2.4. Pierderile totale de energie obținute în cazul celor trei tipuri industriale de oțel electrotehnic, debitate prin ștanțare, laser, jet de apă și electroeroziune, în cazul polarizației magnetice de vârf $J_p = 500 \text{ mT}$.

Din figurile 2.4, 2.5 și 2.6 se poate constata că pierderile de energie totale nu sunt puternic influențate de procedeele de debitare în cazul aliajului M800-65A, datorită numărului mare de impurități nemagnetice prezente în structura cristalină. Această concluzie se menține pentru toate cele trei valori ale polarizației magnetice de vârf investigate.

Pierderile totale de energie în cazul aliajului M400-65A sunt mai mari în cazul debitării cu laser, deoarece sunt generate tensionări termice locale, care pot duce la apariția de noi centre de fixare a pereților de domenii magnetice. Într-o ordine descrescătoare a deteriorării caracteristicilor magnetice, datorate procesului de tăiere, debitarea laser este urmată de ștanțarea mecanică, tăierea prin electroeroziune și cea cu jet de apă.

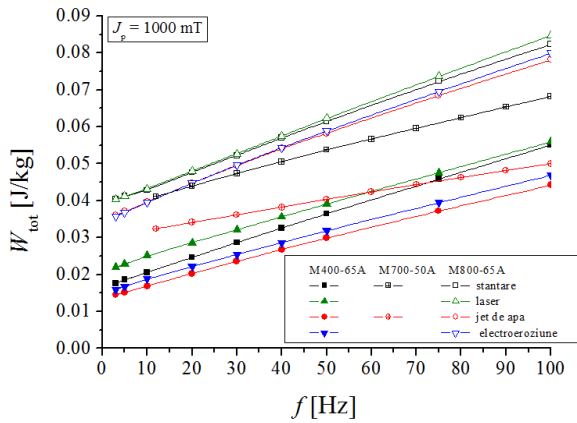


Fig. 2.5. Pierderile totale de energie obținute în cazul celor trei tipuri industriale de oțel electrotehnic debitate prin ștanțare, laser, jet de apă și electroeroziune, în cazul polarizației magnetice de vârf $J_p = 1000$ mT.

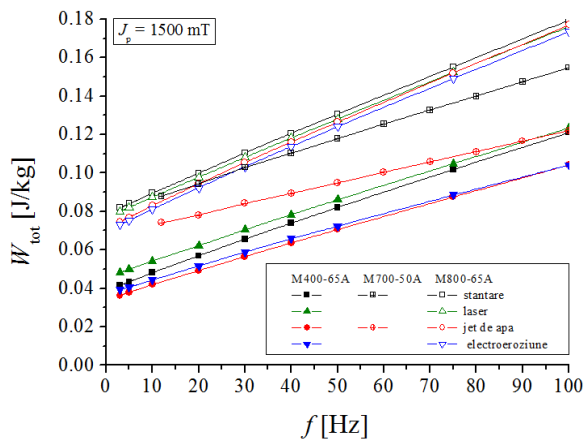


Fig. 2.6. Pierderile totale de energie obținute în cazul celor trei tipuri industriale de oțel electrotehnic debitate prin ștanțare, laser, jet de apă și electroeroziune, în cazul polarizației magnetice de vârf $J_p = 1500$ mT.

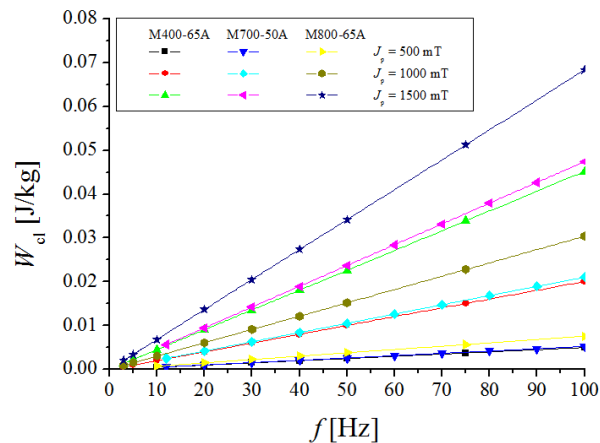


Fig. 2.7. Pierderile clasice de energie obținute în cazul celor trei tipuri industriale de oțel electrotehnic în cazul a trei valori ale polarizației magnetice de vârf J_p .

La polarizații magnetice mari (Fig. 2.6) procedeul tehnologic de tăiere influențează în mică măsură pierderile de energie totale în cazul aliajului M800-65A, dar în cazul aliajului M400-65A se observă o separare că debitarea cu laser și ștanțarea sunt procedeele care duc la valori crescute ale pierderilor totale de energie, iar prelicrarea prin electroeroziune și tăierea cu jet de apă determină valori mai reduse ale parametrilor magnetici.

În cazul celor trei polarizării magnetice de vârf, pentru aliajul M700-50A, se constată diferențe mari între pierderile de energie obținute pentru tăierea prin ștanțare și cu jet de apă.

Pierderile clasice de energie (Fig. 2.7) sunt datorate curenților turbionari (Foucault) și sunt direct proporționale cu polarizația magnetică de vârf și cu frecvența. Se constată că de la o anumită frecvență (caracteristică fiecărui tip de aliaj) aceste pierderi devin predominante, depășind valorile pierderilor de energie prin histerezis și în exces.

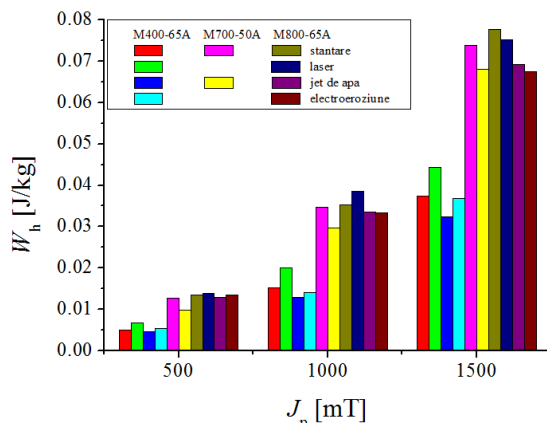


Fig. 2.8. Pierderile de energie prin histerezis, obținute în cazul celor trei tipuri de aliaj, debitate prin ștanțare, laser, jet de apă și electroeroziune.

Pierderile de energie prin histerezis sunt constante în raport cu frecvența și sunt direct influențate de procesele de magnetizare, datorate deplasării pereților de domenii magnetice. Procedul tehnologic de tăiere cu jet de apă, care se realizează prin ruperea (dislocarea) cristalitelor din material fără inducerea unor tensiuni termice sau mecanice suplimentare, determină în cazul aliajului M400-65A, cele mai reduse pierderi prin histerezis (Fig. 2.8). Cu cât aliajul este de o calitate mai slabă (dar cu un preț mai scăzut!) va conține un număr mai mare de incluziuni nemagnetice, ceea ce îngreunează deplasarea liberă a pereților de domenii, sub acțiunea câmpului magnetic aplicat. Pentru aliajul M800-65A cele mai importante variații ale pierderilor prin histerezis se observă doar la polarizării magnetice ridicate, în special în cazul debitării prin ștanțare sau laser.

Activitatea IV.3

Utilizarea rezultatelor obținute pentru tolele de tip M700 pentru proiectarea circuitului magnetic al mașinii electrice

Au participat la realizarea activității echipele partenerilor:

- CO: Universitatea Politehnica din București
- P1: INCD Inginerie Electrică - Cercetări Avansate, ICPE-CA
- P3: Universitatea “Transilvania” din Brașov

Tabelul 3.1 conține valorile pierderilor specifice pentru tola de tip M700 obținute în urma determinărilor experimentale, efectuate după cum urmează:

- Au fost realizate 5 eșantioane cu lățimile: 30, 15, 10, 7.5 și 5 mm. Este specificat numărul de secțiuni efectuate pentru a obține valorile enumerate ale lățimilor.
- S-au determinat pierderile specifice pentru 15 valori ale inducției, cuprinse între 50 și 1600 mT.

Tabelul 3.1

	secțiuni	1	2	3	4	6
	mm	30	15	10	7.5	5
	B [T]	Ps [W/kg]	Ps [W/kg]	Ps [W/kg]	Ps [W/kg]	Ps [W/kg]
1	0.05	0.0121	0.0125	0.0129	0.0134	0.0155
2	0.075	0.0273	0.0270	0.0266	0.0313	0.0353
3	0.1	0.0479	0.0493	0.0508	0.0501	0.0608
4	0.2	0.1794	0.1815	0.1836	0.2031	0.2274
5	0.3	0.3753	0.3826	0.3900	0.4341	0.4748
6	0.4	0.6082	0.6244	0.6407	0.6819	0.7713
7	0.5	0.9052	0.9236	0.9419	1.0029	1.1183
8	0.8	1.9491	1.9826	2.0162	2.2235	2.3834
9	1	2.9035	2.9651	3.0266	3.1571	3.4251
10	1.1	3.4542	3.5202	3.5861	3.7272	3.9983
11	1.2	4.0404	4.1135	4.1865	4.3910	4.6190
12	1.3	4.7621	4.8196	4.8772	5.1244	5.3602
13	1.4	5.3838	5.4208	5.4578	5.7444	6.1179
14	1.5	6.1485	6.2148	6.2812	6.5750	6.9391
15	1.6	7.0846	7.1872	7.2897	7.4314	7.9186

Datele cuprinse în Tabelul 3.1 au fost integrate in programul de proiectare a motoarelor asincrone realizat de P3.

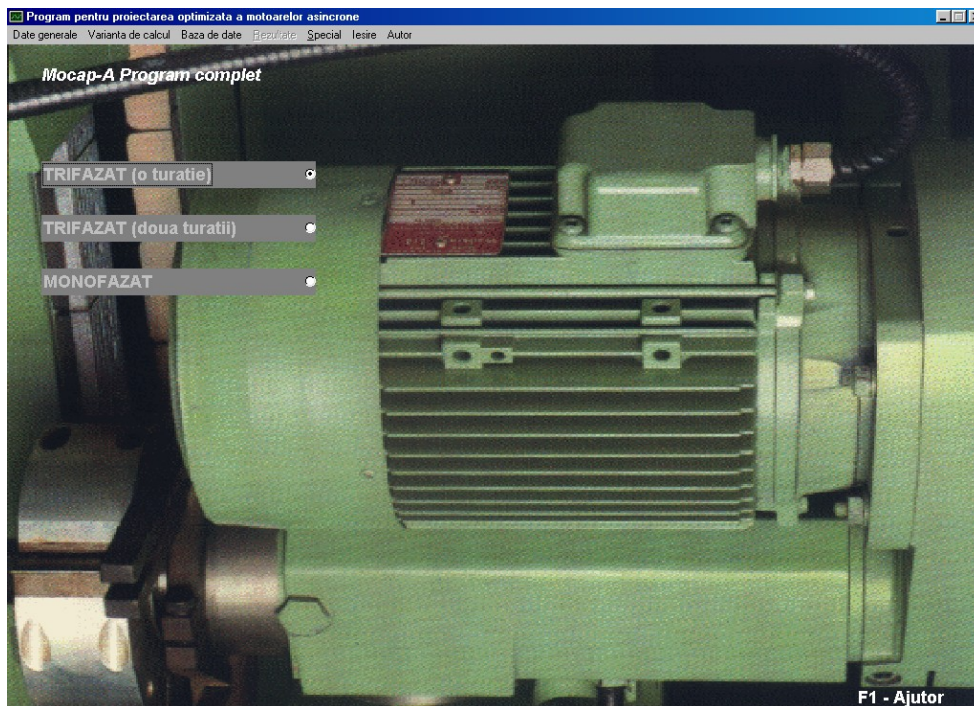


Fig. 3.1. Meniul principal al programului de proiectare a motoarelor asincrone

- În figura 3.1 este prezentat meniul principal al programului. Programul permite:
- Utilizarea unei baza de date cuprinzând informații privind motoarele aflate în fabricație la partenerul P2. Baza de date este prezentată în figura 3.2.
 - Proiectarea unui motor asincron (trifazat/monofazat) în diferite variante privind geometria transversală și longitudinală a motorului:
 - Geometrie transversală și longitudinală impusă;
 - Geometrie transversală impusă numai pentru stator;
 - Nu se impune impune geometria transversală.

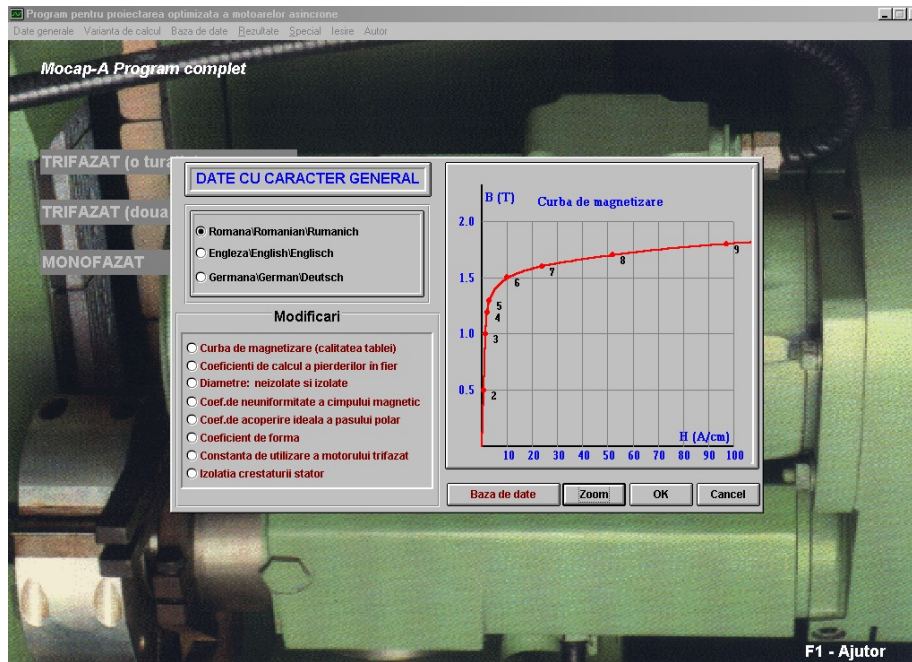


Fig. 3.2. Baza de date a programului

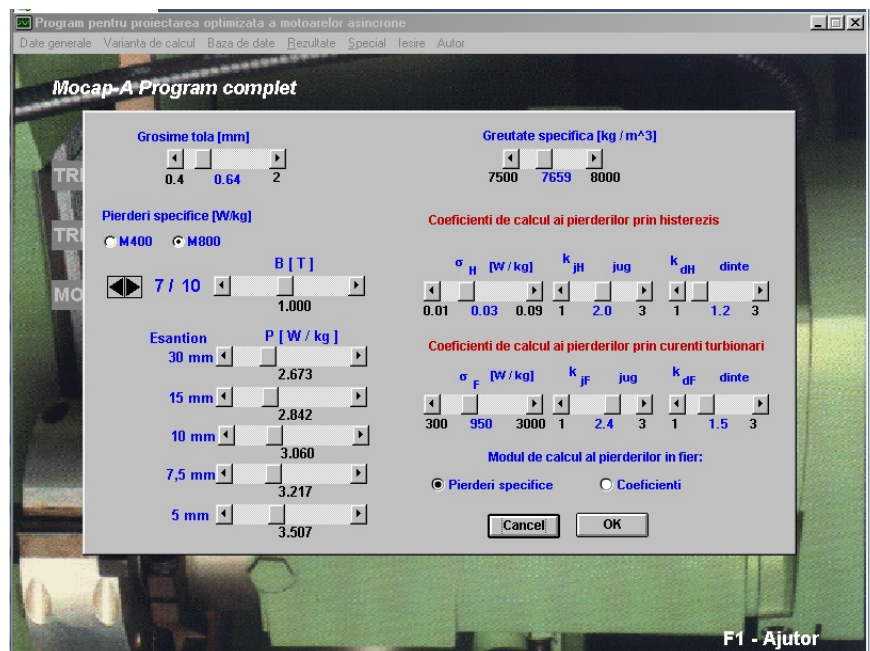


Figura 3.3. Pierderile specifice (valorile cuprinse în Tabelul 3.1)

În baza de date a programului s-au introdus datele referitoare la curba de magnetizare a tablei M700, figura 3.2. Au fost introduse și valorile pierderilor specifice din Tabelul 3.1.

Calculul de proiectare a fost efectuat pentru un motor asincron trifazat (11 kW, 1000 rot/min).

Calculul pierderilor în fier s-a făcut prin interpolare, utilizând datele din Tabelul 3.1, respectiv figura 3.3. A fost utilizată o interpolare Lagrange cu polinoame de gradul 2, corespunzătoare relației:

$$P(x) = \sum_{i=1}^3 y_i \cdot \prod_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^3 \frac{x - x_j}{x_i - x_j}$$

unde:

$P(x)$ este funcția necunoscută, în cazul de față pierderile în jug (respectiv, dinți);

x variabila în funcție de care se obține valoarea funcției necunoscute, în cazul de față inducția magnetică în jug (respectiv, dinți);

(x_i, y_i) trei perechi succesive de determinări (inducție magnetică, pierderi specifice), alese din tabelul 3.1, astfel încât variabila în funcție de care se obține valoarea funcției necunoscute să fie conținută în intervalul determinat de două valori succesive ale valorilor x_i .

Alegerea uneia din cele 5 curbe determinate de valorile din Tabelul 3.1 se realizează prin interpolare liniară utilizând valorile lățimilor eșantioanelor specificate în Tabelul 3.1 în relație cu lățimea jugului (respectiv, a dintelui).

Rezultatele obținute în urma calculelor sunt prezentate în figurile 3.4, 3.5 și 3.6.

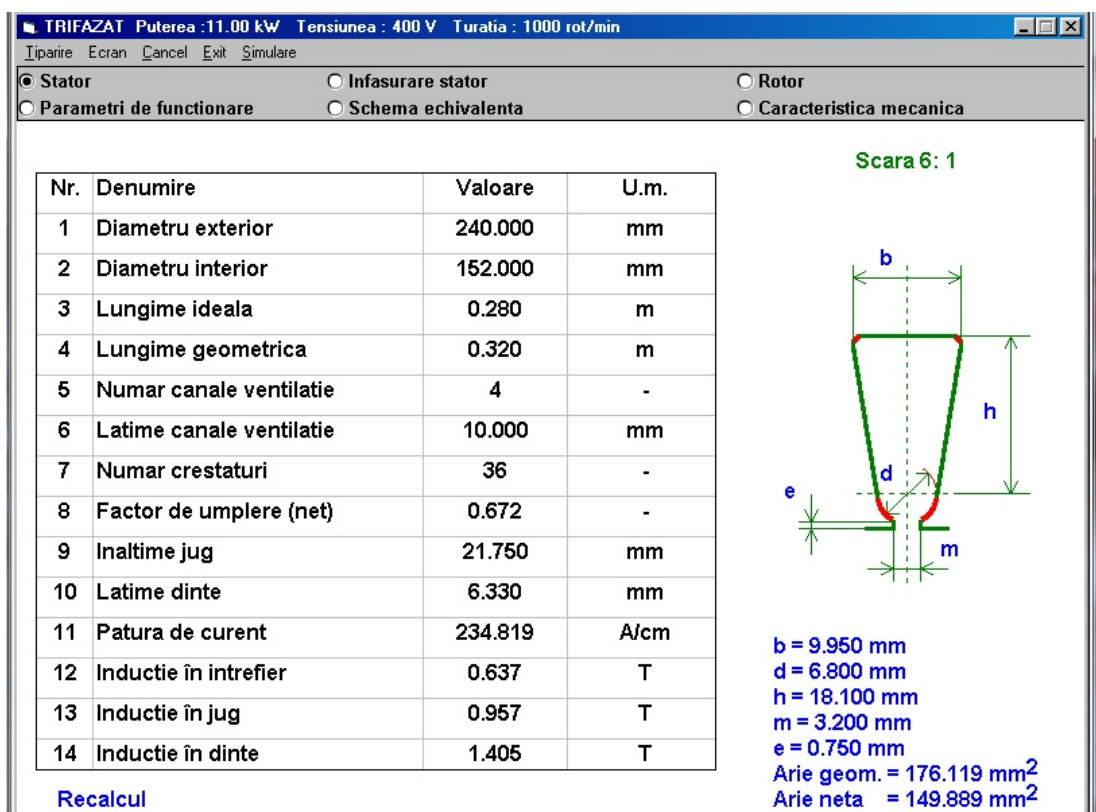


Figura 3.4. Rezultate referitoare la stator

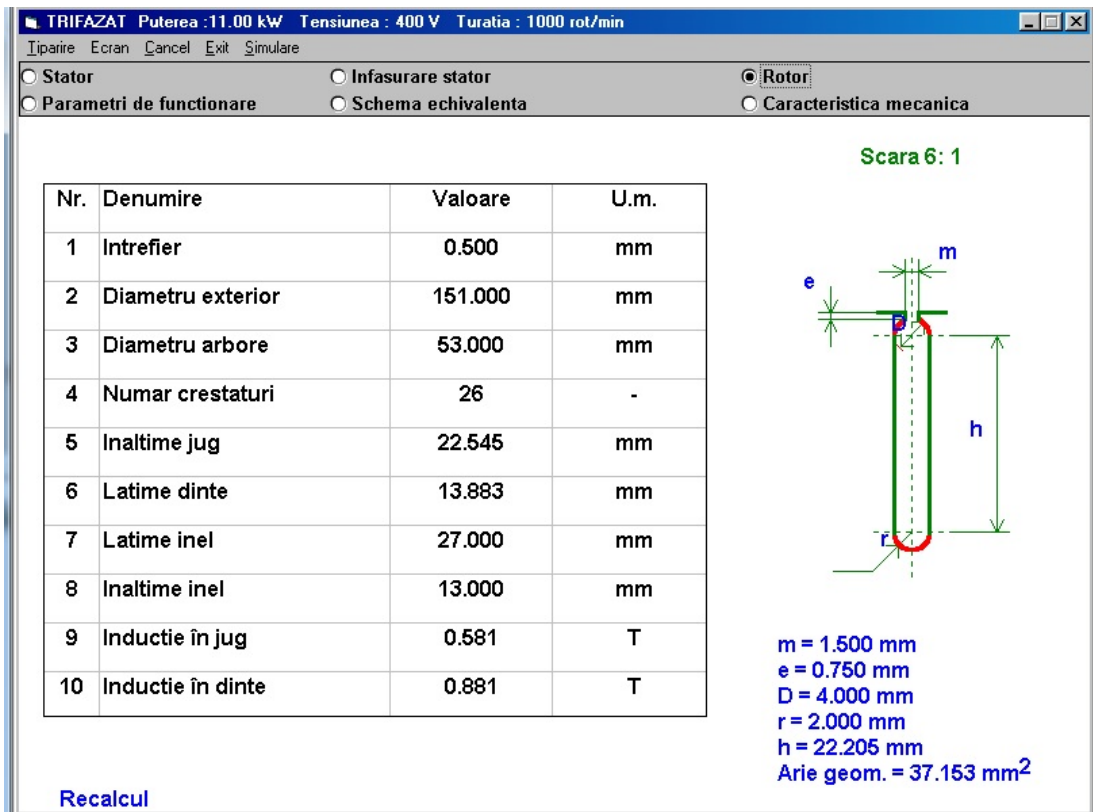


Figura 3.5. Rezultate referitoare la rotor

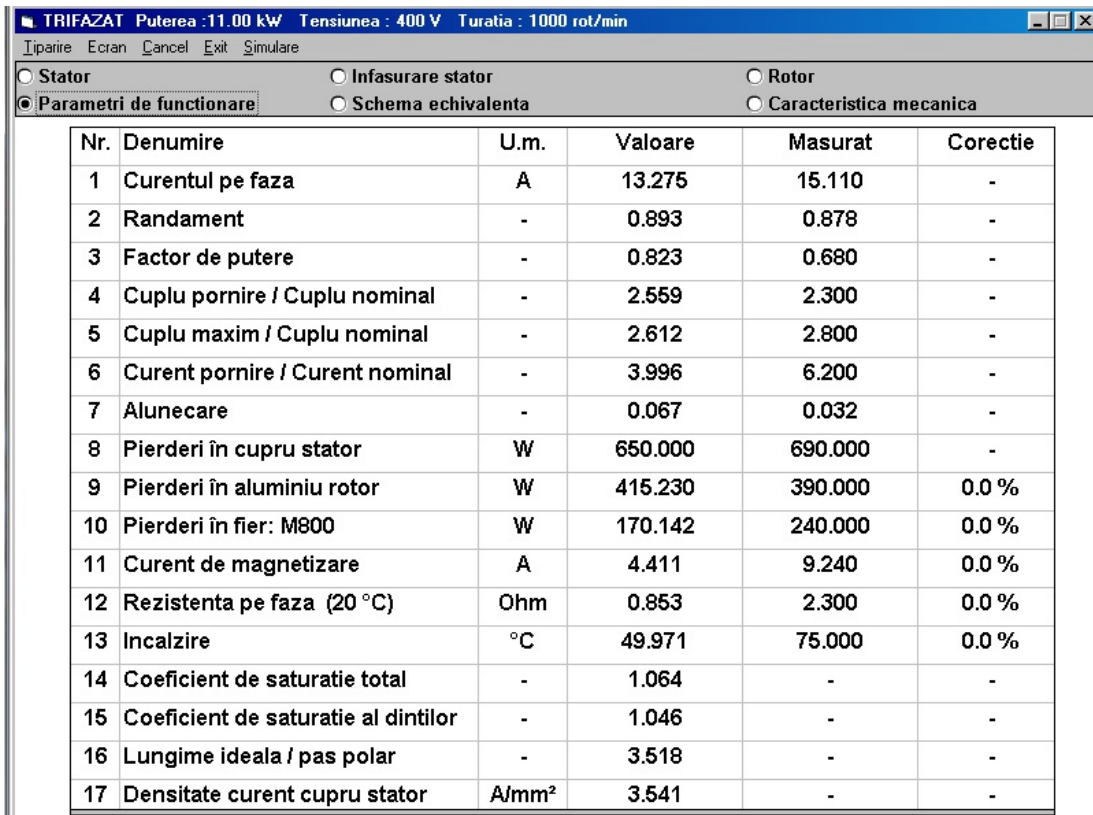


Figura 3.6. Rezultate referitoare la parametrii de functionare

Activitatea IV.4

Realizarea și demonstrarea funcționalității modelului fabricat cu tole de tip M700. Compararea rezultatelor cu cele obținute în cazul mașinii fabricate cu celelate tipuri de tole în vederea alegerii tolei cele mai avantajoase

Activitatea a fost realizată de echipa de lucru a partenerului:

P2: S.C. Electroprecizia Electrical Motors S.R.L.

În conformitate cu planul de realizare a proiectului au fost executate două motoare din tablă magnetică din oțel cu grăunți neorientați laminate la rece M700-65, conform SR EN 10106: 7.5kW-1000rot/min și 11kW-1000rot/min. În acest scop s-a cumpărat, în anul 2015, tablă M700-65. Din aceasta s-au executat cicutile magnetice ale motoarelor menționate, care au necesitat următoarele activități: **a.** Ascuțirea și montarea pe presă a ștanțelor pentru tole, **b.** Ștanțarea efectivă a tolelor stator și rotor, **c.** Realizarea statoarelor împachetate din tolele stator, **d.** Turnarea coliviilor din tolele rotor, **e.** Realizarea arborilor și a rotoarelor.

Execuția statoarelor bobinate s-a făcut în general prin bobinare manuală și a necesitat execuția de scule ajutătoare(șabloane de bobinaj).

În afară de elementele menționate, au mai fost executate carcase, scuturi necesare asamblării motoarelor.

Înainte de execuția motoarelor s-a făcut și o comparație teoretică a performanțelor celor două motoare. Comparația s-a făcut cu programul MOCAP, întocmit de partenerul P3. În program, pentru calculul pierderilor în fier, s-au folosit rezultatele măsurătorilor făcute de Universitatea Politehnica din București (CO) și ICPE-CA București (P1) pe eșantioanele de tablă M700 (în 2015) și M400 (în 2013). Eșantioanele au fost pregătite la Electroprecizia S.A. Săcele (P2). Rezultatele calculului sunt sintetizate în Tabelul 4.1.

Tabelul 4.1

	7.5kW-1000 rot/min, M400	7.5kW-1000 rot/min, M700	11kW-1000 rot/min, M400	11kW-1000 rot/min, M700
Pierderi în fier	146.65	193.08	179.9	237.17
Randamentul	89.3	87.3	89.4	88.6

Astfel, la motorul de 7.5kW-1000 rot/min pierderile în fier au crescut de la 146.65 W(cu tablă M400) la 193.08 W(cu tablă M700). Randamentul a scăzut de la 89.3% la 87.3%. La motorul de 11kW-1000 rot/min pierderile în fier au crescut de la 179.9 W (cu tablă M400) la 237.17 W (cu tablă M700). Randamentul a scăzut de la 89.4% la 88.6%. Deci, conform rezultatelor calculului, motoarele realizate folosind tabla M700 nu se încadrează în clasa de randament IE3, conform tabelelor 4.1 și 4.3.

Motoarele din tablă M400 au fost executate în 2013, iar cele din M700 în 2015.

După execuție, motoarele cu miezul magnetic executat din tablă M700, au fost încercate în laboratorul de motoare. Apoi s-au comparat rezultatele cu cele obținute în 2013. Cele două motoare, 7.5 kW-1000 rot/min și 11 kW-1000 rot/min, au fost executate cu aceleași date de bobinaj, singura diferență fiind tabla silicioasă folosită. În Tabelul 4.2 sunt prezentate datele obținute:

Tabelul 4.2

Parametrii/ Tip motor	7.5kW- 1000rot/min, tabla M400	7.5kW- 1000rot/min, tabla M700	11kW- 1000rot/min, tabla M400	11kW- 1000rot/min, tabla M700
I_0 - curent de gol	13.09	12.6	16.13	14.62
P_0 - putere în gol	516	580	548	639
M_p/M_n	2.51	2.24	2.2	1.94
I_p/I_n	5.26	6.52	4.8	6.2
I_n - curentul nominal	19.15	18.9	26.1	25.9
P_{cu} - pierderi în cupru	407	416	699	626
P_{Fe} - pierderi în fier	279	359	188	418
P_{al} - pierderi în aluminiu	312	280.8	400	528.3
η - randament	87.55	86.8	88.91	86.86
$\cos\phi$	0.646	0.66	0.69	0.706
s - alunecare	3.98	3.63	3.45	4.55

Valoarile nominale ale randamentului corespunzătoare clasei IE3 sunt indicate în IEC 60034-30. Toleranțele la valoarea randamentului nominal, conform IEC 60034-1, sunt prezentate în Tabelul 4.3.

Tabelul 4.3

Tip motor	$\eta_{IE3}\%$ [Valoare nominala]	$\eta_{IE3}\%$ [Valoare tolerata]
7.5 kW-1000 rot/min	89.1	87.46
11 kW-1000 rot/min	90.3	88.84

Se constată din Tabelele 4.2 și 4.3, că motoarele executate din tablă M700 au pierderile în fier mai mari, ceea ce duce la scăderea randamentului motoarele ne mai fiind astfel de categorie IE3!

S-a demonstrat, atât teoretic cât și practic, că pentru obținerea randamentului corespunzător clasei IE3 trebuie folosită tola executată din tablă de M400!

Activitatea IV.5

Diseminarea rezultatelor – protejarea drepturilor de proprietate intelectuală

Au participat la realizarea activității echipele partenerilor:

- CO: Universitatea Politehnica din București
- P1: INCD Inginerie Electrică - Cercetări Avansate, ICPE-CA
- P2: S.C. Electroprecizia Electrical Motors S.R.L.
- P3: Universitatea “Transilvania” din Brașov

Au fost integral realizate activitățile și obiectivele prevăzute în cadrul fazei IV (2015) a Contractului PCCA – CTR. 32/2012, *Mașini electrice cu eficiență sporită, prin utilizarea unor soluții tehnice avansate, bazate pe predeterminarea proprietăților magnetice ale tolelor* (acronim: MEF-MAG).

* A fost completată pagina Web a proiectului:

<http://mefmag.elth.pub.ro/index.html>

* Au fost publicate (sau sunt în curs de publicare) următoarele articole și au fost susținute următoarele comunicări:

1. **Veronica Mănescu (Păltânea), Gheorghe Păltânea, Horia Gavrilă, Gheorghe Scutaru:** The effect of mechanical and electrical discharge cutting technologies on the magnetic properties of non-oriented silicon iron steels. *Rév.Roum.Sci.Techn. (Série Electrotechn.Energ.)* **60**, nr.1, pp.59-68 (2015)

2. **Veronica Mănescu (Păltânea), Gheorghe Păltânea, Horia Gavrilă, Andrei Nicolaide:** Analysis of the cutting area obtained through mechanical and electrical discharge technologies in non oriented silicon iron sheets. *Rév.Roum.Sci.Techn. (Série Electrotechn.Energ.)* **60**, nr.2, pp.143-152 (2015)

3. **Ciprian Nistor, Gheorghe Scutaru, Radu Câmpeanu,, Mihai Cernat:** Noise and vibration monitoring for Premium Efficiency IE3 three-phase induction motors. *Advances in Electrical and Computer Engineering* **15**, nr.3, pp.117-122 (2015)

4. **Veronica Mănescu (Păltânea), Gheorghe Păltânea, Horia Gavrilă,** Energy Loss Analysis and Magnetic Properties of Non-Oriented Electrical Steel Cut through Different Technologies, *Advanced Materials Research*, vol. 1105 - *Advanced Materials Research V*, pp. 83 – 87, ISBN: 978-3-03835-472-7, doi: 10.4028/www.scientific.net/AMR.1105.83, 2015

- lucrare prezentată la The 5th International Conference on Advanced Materials Research (ICAMR 2015), 07-08.01.2015, Doha, Qatar.

5. **Horia Gavrilă, Veronica Mănescu (Păltânea), Gheorghe Păltânea, Gheorghe Scutaru, Ioan Peter,** Magnetic characteristics of non-oriented silicon iron strips obtained through mechanical, laser, electrical discharge and water jet cutting technologies, *Buletinul AGIR*, 20, 2 supliment, pp. 213 – 218, ISSN-L: 1224-7928, 2015.

6. **Veronica Mănescu (Păltânea), Gheorghe Păltânea, Horia Gavrilă,** Laurențiu Dumitru, Experimental analysis of magnetic anisotropy in silicon iron steels using the single strip tester, *Advanced Topics in Electrical Engineering (ATEE)*, 2015 9th International Symp. on, IEEE Catalog Number CFP1514P-ART, ISBN 978-1-4799-7514-3, pp. 456 – 459, 2015

7. **Veronica Mănescu (Păltânea), Gheorghe Păltânea, Horia Gavrilă,** Hysteresis model and statistical interpretation of energy losses in non-oriented steels. *Physica B: Condensed Matter*, doi:10.1016/j.physb.2015.09.004, 2015,

- articol publicat on-line și acceptat spre publicare;

- lucrare prezentată la 10th Intl. Symp. on Hysteresis Modeling and Micromagnetics, 18-20.05.2015, Iași, România

8. **Veronica Mănescu (Păltânea), Gheorghe Păltânea, Horia Gavrilă,** *Mechanical cutting influence on the energy losses in non oriented silicon iron steels.* 2015 IEEE 10th International Symposium on Diagnostics for Electrical Machines, Power Electronics and Drives (SDEMPED), 01-04.09.2015, Guarda, Portugalia. IEEE Catalog Number: CFP15SDE-USB, ISBN: 978-1-4799-7742-0, DOI: 10.1109/DEMPED.2015. 7303701, pp.273-276, 2015

9. **Lucian Petrescu,** Emil Cazacu, Cătălina Petrescu, Sigmoid functions used in hysteresis phenomenon modeling. *Advanced Topics in Electrical Engineering (ATEE)*, 2015 9th International Symp. on, IEEE Catalog Number CFP1514P-ART, ISBN 978-1-4799-7514-3, pp.521 – 524, 2015

10. Emil Cazacu, **Valentin Ioniță, Lucian Petrescu,** Numerical and experimental investigations on the energizing of miniature iron ore transformers. *Advanced Topics in Electrical Engineering (ATEE)*, 2015 9th International Symposium on, IEEE Catalog Number CFP1514P-ART, ISBN 978-1-4799-7514-3, pp.170 – 175, 2015

11. **Horia Gavrilă, Doina Gavrilă:** Patterned magnetic recording media (S1D-O038). The XXIV International Materials Research Congress (IMRC 2015), 16-20 august 2015, Cancun, Mexic
- lucrare acceptată spre publicare în RMS Proceedings
12. **Doina Gavrilă, Horia Gavrilă:** Studies on thermal and radiative degradation of polyvinyli Chloride (S6f-P068). The XXIV International Materials Research Congress (IMRC 2015), 16-20 august 2015, Cancun, Mexic
13. **Valentin Ioniță, Lucian Petrescu,** Emil Cazacu, Effect of current harmonics on the hysteresis losses in soft magnetic materials. *Rév.Roum.Sci.Techn. (Série Electrotechn.Energ.)* **60**, nr.4, pp.366-375 (2015)
14. **Septimiu Motoaşcă, Gheorghe Scutaru, Carmen Gerigan,** Improved analytical method for hysteresis modeling of soft magnetic materials. Proc. of the 15th International Conference on Optimization of Electrical and Electronic Equipment, (Joint Conference ACEMP-OPTIM-Electromotion 2015), Side, Turcia, 2-4 Sept. 2015 – în curs de publicare