

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 III: Realizarea unui prototip cu eficiență sporită pe
baza experiențelor din cadrul proiectului**

Termen: **15 decembrie 2014**

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

Activitatea III.1

Elaborare model pentru caracterizarea comportării magnetice a probei ca urmare a prelucrării pentru tipul de tolă M 800

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 raportul științific al Etapei I a 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**, s-a trecut la încercarea de a vedea dacă și prin utilizarea tolei de tip M800-65A (cu caracteristici magnetice inferioare, 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 aceeași 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 procedeeului de ștanțare asupra pierderilor de energie s-a optat, ca și în cazul tolei M400-65A, 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 $300 \times 7,5 \text{ mm}^2$;
- Șase eșantioane de dimensiuni $300 \times 5 \text{ mm}^2$.

Eșantioanele au fost tăiate paralel cu direcția de laminare (RD) (Tabel 1) măsurătorile fiind realizate cu un tester uni-tolă prin alăturarea eșantioanelor de aceeași lățime pentru refacerea probei standard de lățime 30 mm.

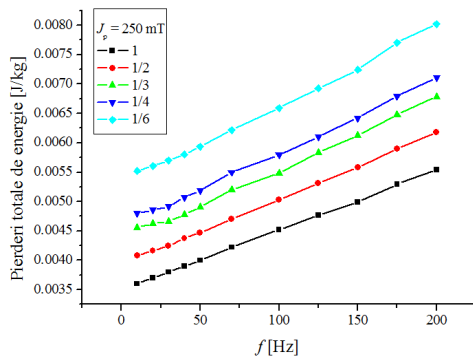
Tabel 1.1. Dimensiuni și proprietăți eșantioane testate.

Tip Tolă	Direcție tăiere	Număr bucăți	Densitate [g/cm^3]	Rezistivitate electrică [Ωm]	Masa totală [g]	Lungime [mm]	Lățime [mm]	Grosime [mm]
M800-65A	RD	1	7,704	$30,08 \cdot 10^{-8}$	45,75	300	30	0,65
		2			43,71		15	
		3			43,63		10	
		4			44,45		7,5	
		5			44,36		5	
		6						

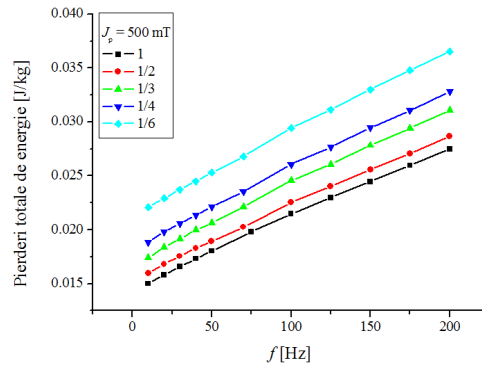
III.1.a. Analiza în frecvență a pierderilor de energie pe un eșantion $300 \times 30 \times 0,65 \text{ mm}^3$

Eșantionul a fost reconstituit din bucățile aferente, 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 $J \in \{250, 500, 1000, 1500\} \text{ mT}$, măsurată în cazul

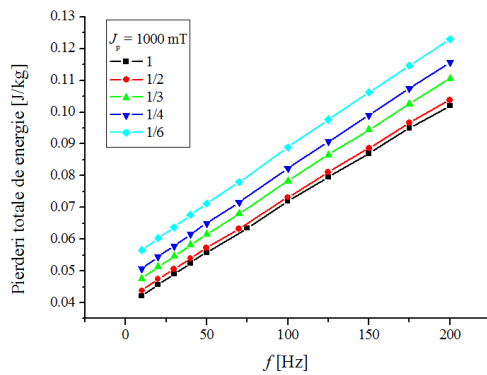
frecvenței $f \in \{3, 5, 10, 20, 30, 40, 50, 75, 100, 125, 150, 175, 200\}$ Hz. S-a realizat și separarea pierderilor de energie, utilizând procedeul prezentat în cadrul unei faze precedente.



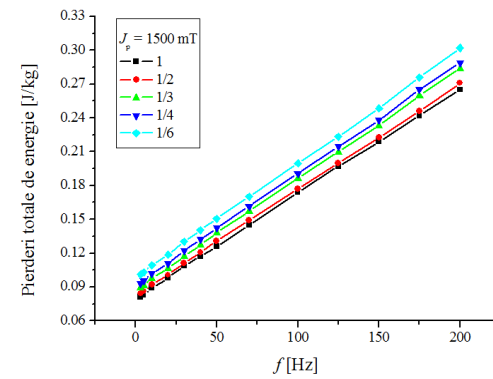
a



b



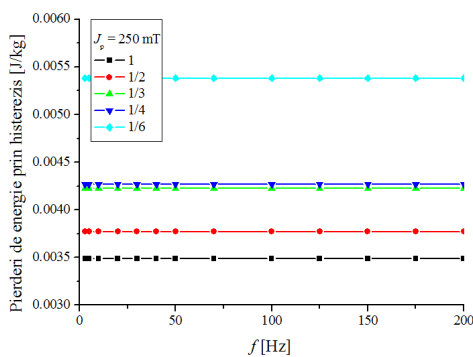
c



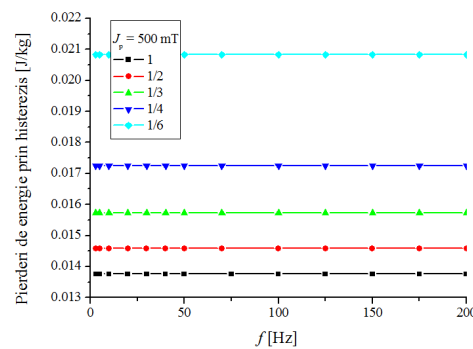
d

Fig. 1.1. Variația pierderilor totale de energie în cazul tolelor ștanțate la lățimi diferite pentru o polarizație magnetică de: **a.** 250 mT; **b.** 500 mT; **c.** 1000 mT; **d.** 1500 mT.

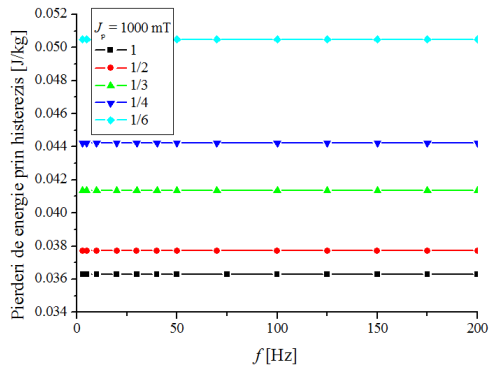
Se observă că în cazul polarizațiilor magnetice reduse ($J_p = 250$ mT și $J_p = 500$ mT) pierderile de energie totale sunt sensibil influențate de procedeul tehnologic de ștanțare, acestea crescând o dată cu mărirea lungimii perimetrului ștanțat.



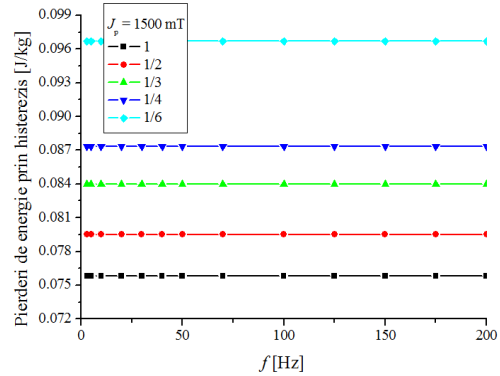
a



b



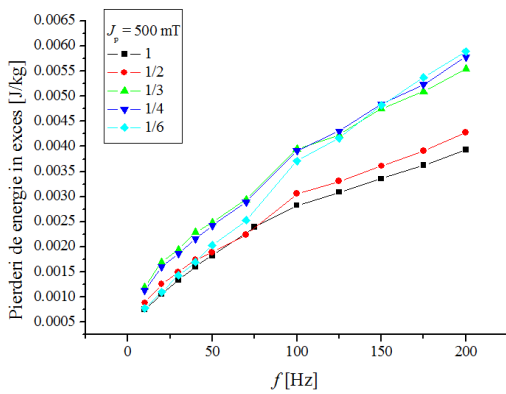
c



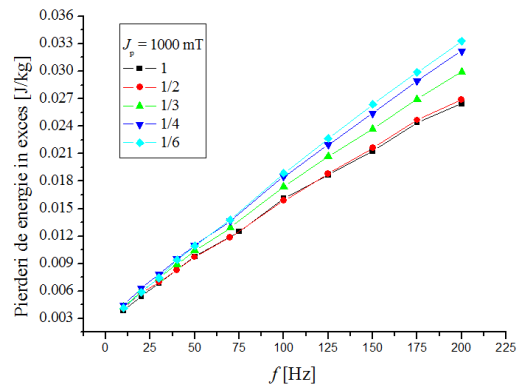
d

Fig. 1.2. Variația pierderilor de energie prin histerezis în cazul tolelor ștanțate la lățimi diferite pentru o polarizație magnetică de: **a.** 250 mT; **b.** 500 mT; **c.** 1000 mT; **d.** 1500 mT.

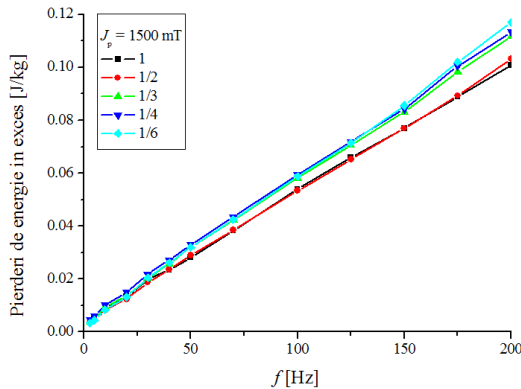
La polarizații magnetice mari ($J_p = 1000$ mT și $J_p = 1500$ mT) o dată cu apropierea de valoarea de saturație, diferențele dintre pierderile totale de energie măsurate în cazul celor 5 lungimi de ștanțare se reduc, deoarece la saturație permeabilitatea magnetică relativă a tolei tinde spre 1. În concluzie în domeniul polarizațiilor magnetice mari procedeul de ștanțare nu mai influențează semnificativ pierderile de energie.



a



b



c

Fig. 1.3. Variația pierderilor de energie în exces în cazul tolelor ștanțate la lățimi diferite pentru o polarizație magnetică de:

a. 500 mT; **b.** 1000 mT; **c.** 1500 mT.

Datorită producerii de clivaje ale planurilor cristaline și a prezenței unui număr mult mai mare de impurități nemagnetice în cazul aliajului de tip M800-65A (comparativ cu aliajul M400-65A) se produce o creștere a pierderilor prin histerezis o dată cu creșterea lungimii de ștanțare. În domeniul polarizațiilor magnetice înalte se observă aceeași reducere a diferențelor între curbele de variație ale pierderilor de energie în frecvență.

Pierderile de energie în exces la polarizații magnetice înalte nu sunt influențate de procedeul de ștanțare, curbele de variație ale pierderilor tind să se apropie și confunde.

III.1.b. Analiza în funcție de frecvență

Testarea a constat în variația polarizației magnetice $J \in \{50, 100, 200, 250, 500, 800, 1000, 1200, 1500\}$ mT, la frecvența $f = 50$ Hz. Se constată că pierderile de energie totale cresc iar permeabilitatea magnetică scade o dată cu creșterea perimetrului ștanțat.

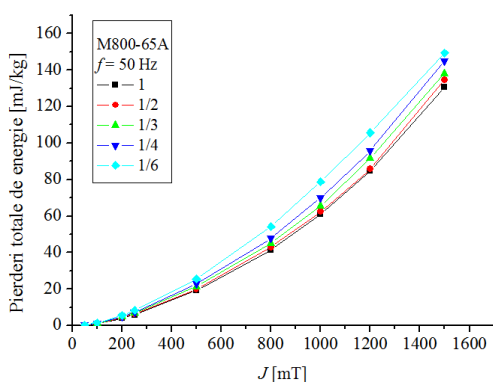


Fig. 1.4. Variația pierderilor totale de energie în funcție de polarizația magnetică la frecvența de 50 Hz

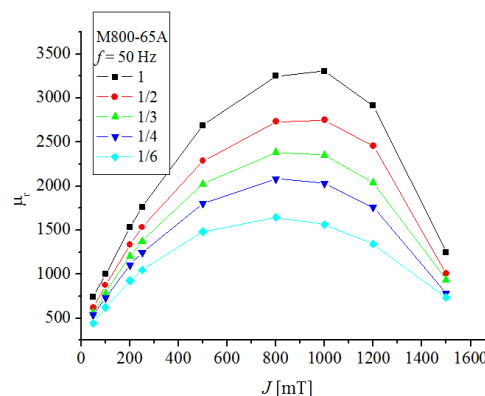


Fig. 1.5. Variația permeabilității magnetice relative în funcție de polarizația magnetică la frecvența de 50 Hz

Măsurătorile au fost repetate la frecvența $f = 60$ Hz, fiind confirmate în întregime observațiile de mai sus.

Rezultatele măsurătorilor efectuate la frecvența de 60 Hz precum și tabelele privind separarea pierderilor la diferite valori ale polarizației magnetice și frecvenței sunt prezentate în Anexa 1 a Raportului.

Activitatea III.2

Integrarea rezultatelor obținute pentru tolele de tip M800 pentru proiectarea componentelor circuitului magnetic al mașinii electrice

Au participat la realizarea activității echipele partenerilor:

- CO: Universitatea Politehnică din București
- P1: INCD Inginerie Electrică - Cercetări Avansate, ICPE-CA
- P3: Universitatea "Transilvania" din Brașov

Tabelul 2.1 conține valorile pierderilor specifice pentru tola de tip M800 obținute în urma determinărilor experimentale, efectuate după cum urmează:

- S-au realizat 5 eșantioane având lățimile respectiv: 30, 15, 10, 7.5 și 5 mm. Sunt specificate numărul de secțiuni efectuate pentru a obține valorile enumerate ale lățimilor.
- S-au determinat pierderile specifice pentru 9 valori ale inducției între 50 și 1500 mT.

Tabelul 2.1

	secțiuni	1	2	3	4	6
	mm	30	15	10	7.5	5
	J [mT]	P [W/kg]	P [W/kg]	P [W/kg]	P [W/kg]	P [W/kg]
1	50	0,012	0,013	0,014	0,015	0,017
2	100	0,050	0,057	0,062	0,064	0,078
3	200	0,202	0,216	0,241	0,250	0,285
4	250	0,297	0,320	0,347	0,363	0,416
5	500	0,972	1,001	1,077	1,141	1,278
6	800	2,071	2,150	2,263	2,395	2,713
7	1000	3,055	3,120	3,271	3,502	3,943
8	1200	4,248	4,288	4,597	4,784	5,283
9	1500	6,526	6,733	6,912	7,262	7,474

Datele au fost integrate in programul de proiectare a motoarelor asincrone realizat de P3.

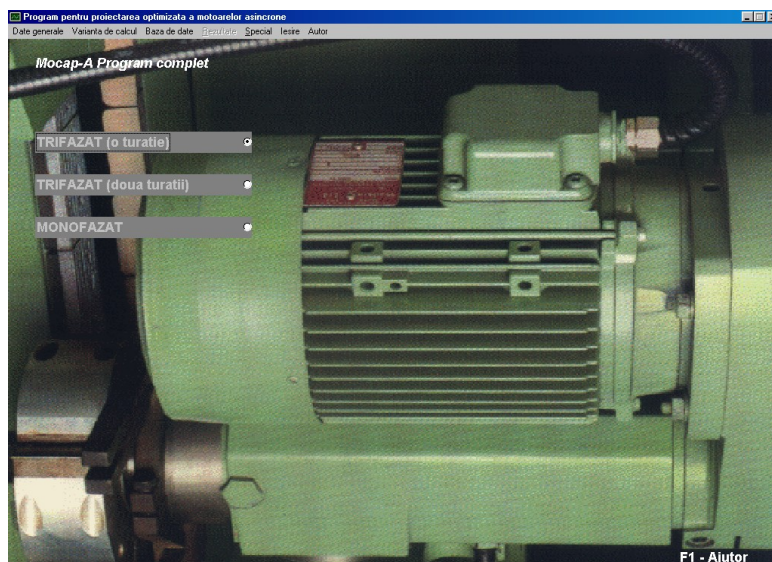


Figura 2.1. Meniul principal al programului de proiectare al motoarelor asincrone

În figura 2.1 este prezentat meniul principal al programului. Programul permite:

- Utilizarea unei baze de date cuprinzând informații privind motoarele aflate în fabricație la partenerul P2. Baza de date este prezentată în figura 2.2.
- 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 geometria transversală.

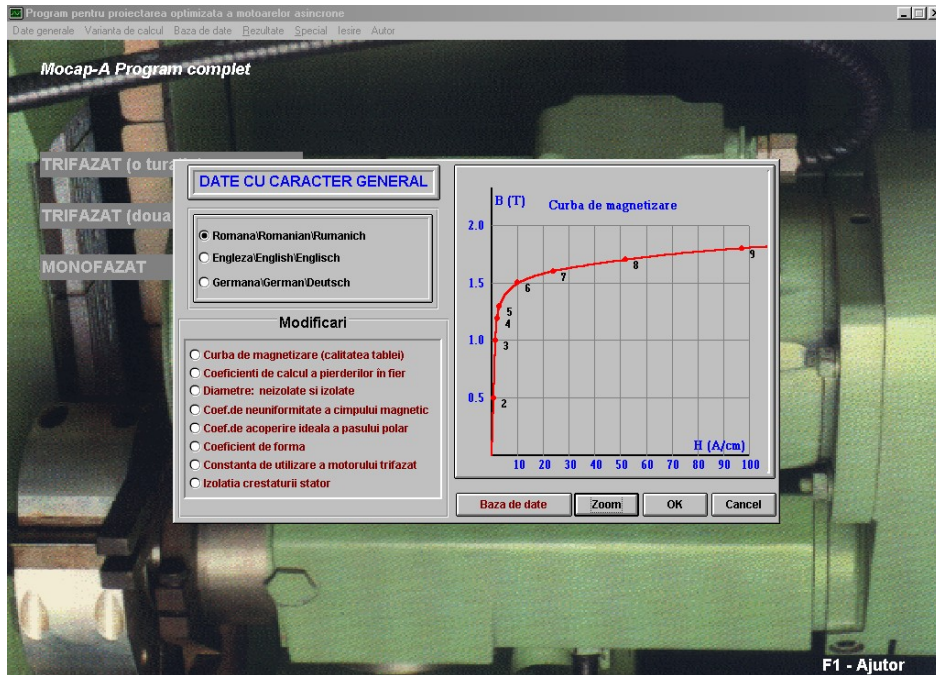


Figura 2.2.
Baza de date a
programului

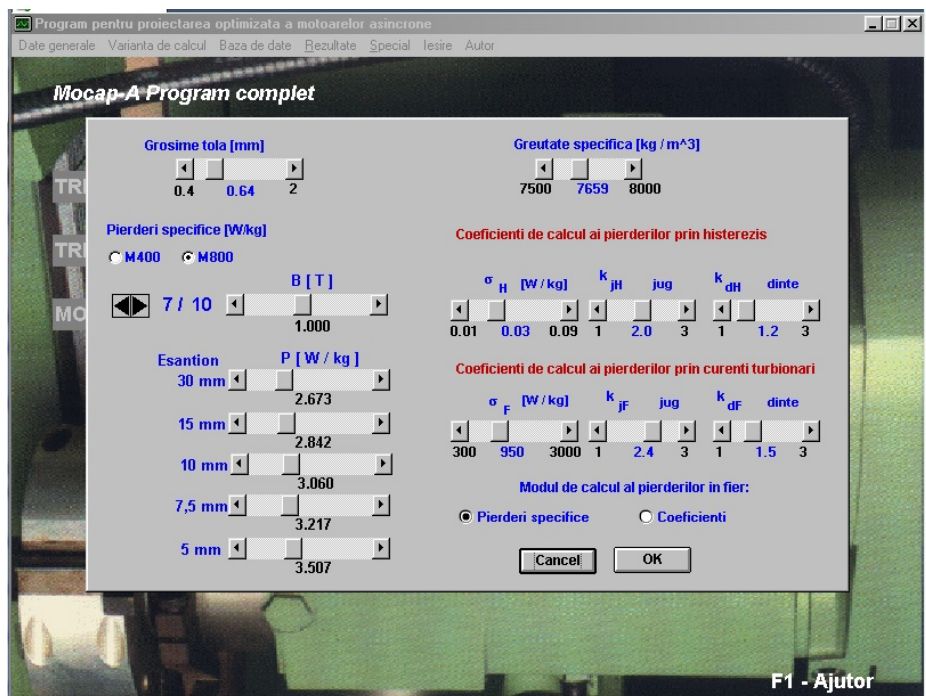


Figura 2.3.
Pierderile
specifice
(valorile cuprinse
în Tabelul 2.1)

În baza de date a programului au fost introduse datele referitoare la curba de magnetizare a tablei M800, figura 2.2 și valorile pierderilor specifice din Tabelul 2.1. 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 cuprinse în Tabelul 2.1 respectiv figura 2.3. S-a folosit o interpolare Lagrange cu polinoame de gradul 2:

în care:

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

$P(x)$ 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 2.1, 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 conținute în Tabelul 2.1 se realizează prin interpolare liniară, utilizând valorile lățimilor eșantioanelor specificate în Tabelul 2.1 în relație cu lățimea jugului (respectiv a dintelui).

Rezultatele obținute în urma calculelor sunt prezentate în figurile 2.4, 2.5 și 2.6.

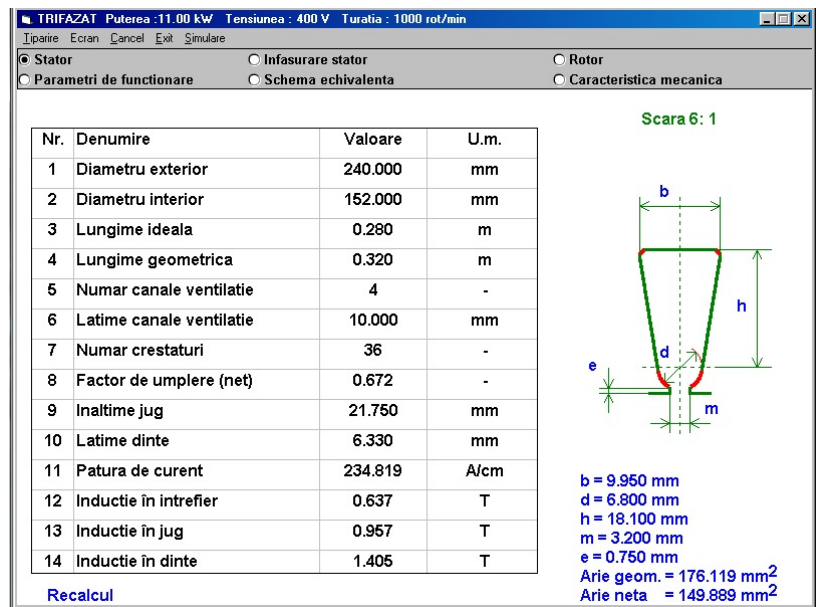


Figura 2.4. Rezultate referitoare la stator

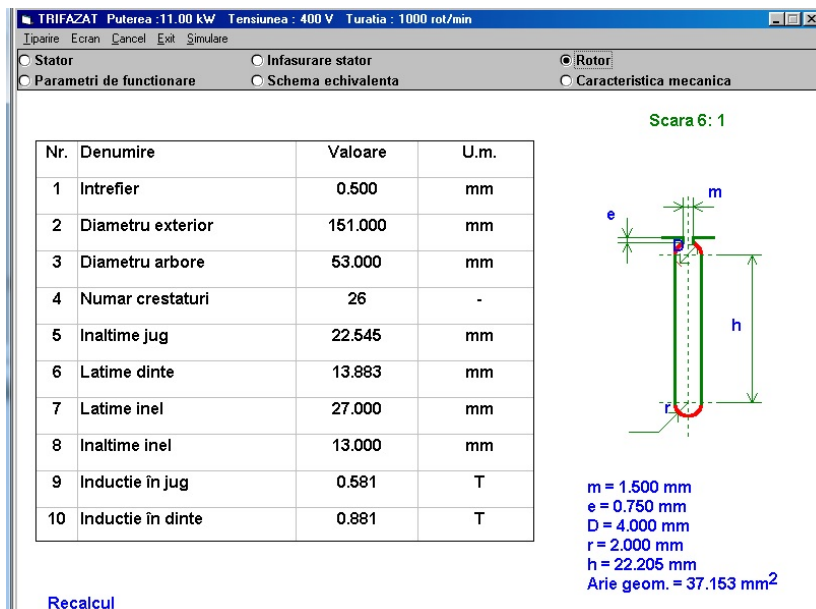


Figura 2.5. Rezultate referitoare la rotor

TRIFAZAT Puterea : 11.00 kW Tensiunea : 400 V Turatia : 1000 rot/min					
Tiparire Ecran Cancel Exit Simulare					
<input type="radio"/> Stator		<input type="radio"/> Infasurare stator		<input type="radio"/> Rotor	
<input checked="" type="radio"/> Parametri de functionare		<input type="radio"/> Schema echivalenta		<input type="radio"/> Caracteristica mecanica	
Nr.	Denumire	U.m.	Valoare	Masurat	Corectie
1	Curentul pe faza	A	13.275	15.110	-
2	Randament	-	0.893	0.878	-
3	Factor de putere	-	0.823	0.680	-
4	Cuplu pornire / Cuplu nominal	-	2.559	2.300	-
5	Cuplu maxim / Cuplu nominal	-	2.612	2.800	-
6	Curent pornire / Curent nominal	-	3.996	6.200	-
7	Alunecare	-	0.067	0.032	-
8	Pierderi în cupru stator	W	650.000	690.000	-
9	Pierderi în aluminiu rotor	W	415.230	390.000	0.0 %
10	Pierderi în fier: M800	W	170.142	240.000	0.0 %
11	Curent de magnetizare	A	4.411	9.240	0.0 %
12	Rezistenta pe faza (20 °C)	Ohm	0.853	2.300	0.0 %
13	Incalzire	°C	49.971	75.000	0.0 %
14	Coeficient de saturatie total	-	1.064	-	-
15	Coeficient de saturatie al dintilor	-	1.046	-	-
16	Lungime ideala / pas polar	-	3.518	-	-
17	Densitate curent cupru stator	A/mm ²	3.541	-	-

Figura 2.6. Rezultate referitoare la parametrii de funcționare

Activitatea III.3

Realizarea și demonstrarea funcționalității modelului fabricat cu tole de tip M800. Compararea rezultatelor cu cele obținute în cazul mașinii fabricate cu tole de tip M400 în vederea alegerii tipului cel mai avantajos de tolă

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 bandă magnetică din oțel cu grăunți neorientați laminate la rece M800-65, conform SR EN 10106: 7,5kW-1000rot/min și 11kW-1000rot/min. În acest scop în anul 2014 s-au cumpărat 31 t de tablă M800-65, din care s-au executat circuitele magnetice ale motoarelor menționate. Aceasta a necesitat următoarele activități: **a.** Ascuțirea și montarea pe presă a ștanțelor pentru tole; **b.** Ștanțarea tolelor stator și rotor; **c.** Realizarea statoarelor împachetate din tolele stator; **d.** Turnarea coliviilor din tolele rotor; **e.** Realizarea arborilor și a rotoarelor. Bobinarea statoarelor s-a făcut în general manual și a necesitat execuția de scule ajutătoare (șabloane de bobinaj). Au mai fost executate de asemenea carcase, scuturi necesare asamblării motoarelor.

Înainte de execuția motoarelor s-a făcut o comparație teoretică a performanțelor celor două motoare, cu programul MOCAP, întocmit de Universitatea Transilvania. În program, pentru calculul pierderilor în fier, s-au folosit rezultatele măsurătorilor făcute de Universitatea

Politehnica din București și ICPE-CA București pe eșantioanele de tablă M800 (în 2014) și M400 (în 2013). Eșantioanele au fost pregătite la Electroprecizia S.A. Săcele. Rezultatele calculului sunt sintetizate în Tabelul 3.1.

Tabelul 3.1

	7.5kW-1000 rot/min, M400	7.5kW-1000 rot/min, M800	11kW-1000 rot/min, M400	11kW-1000 rot/min, M800
Pierderi în fier	146.65	188.03	179.9	301
Randament	89.4	88.8	89.4	88.2

Motoarele din tablă M400 au fost executate în 2013, iar cele din tablă M800 în 2014.

După execuție, motoarele realizate din tablă M800 au fost încercate în laboratorul de motoare. Cele două motoare, 7.5kW-1000rot/min și 11kW-1000rot/min, au fost executate cu aceleași date de bobinaj ca și cele construite cu tablă M400, singura diferență fiind calitatea tablei silicioase folosite. În Tabelul 3.2 sunt prezentate datele obținute:

Tabelul 3.2

Parametri/ Tip motor	7.5kW- 1000rot/min, tabla M400	7.5kW- 1000rot/min, tabla M800	11kW- 1000rot/min, tabla M400	11kW- 1000rot/min, tabla M800
I_0 -curent de gol (A)	13.09	12.2	16.13	16.15
P_0 -putere în gol (W)	516	593	548	670
M_p/M_n	2.51	2.27	2.2	2.3
I_p/I_n	5.26	6.52	4.8	6.2
I_n -curentul nominal (A)	19.15	18.96	26.1	26.9
P_{cu} -pierderi în cupru (W)	407	375	699	690
P_{Fe} -pierderi în fier (W)	279	349	188	240
P_{al} -pierderi în aluminiu (W)	312	260	400	390
η -	87.55	87.19	88.91	87.8
$\cos\phi$	0.646	0.673	0.69	0.68
s-alunecare	3.98	3.3	3.45	3.2

În Tabelul 3.3 se indică valorile nominale ale randamentului corespunzătoare clasei IE3 pentru puterile nominale ale motoarelor construite (conform IEC 60034-30), respectiv valorile tolerate ale randamentului nominal (conform IEC 60034-1).

Tabelul 3.3

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

Se observă că la motoarele executate din tablă de M800 pierderile în fier mai mari au dus la scăderea randamentului, astfel încât ele nu mai încadrează în clasa de eficiență IE3 nici măcar la valorile tolerate ale randamentului.

S-a demonstrat astfel, atât teoretic cât și practic, că **pentru obținerea unui randament corespunzător clasei de eficiență IE3, trebuie folosită tola executată din tablă de M400, cu calități magnetice superioare!**

Activitatea III.4

Proiectare prototip (M400)

Activitatea III.8

Realizare documentație prototipuri de motor IE3 (M400)

Cele două activități, strâns corelate, au fost realizate de partenerul:

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

1. Datele de proiectare.

Motoarele vor fi în construcție din aluminiu și vor avea ventilație exterioară.

Date de proiectare	7.5-1000	11-1000
P_N -puterea nominală, kW	7.5	11
U_N -Tensiunea nominală, V	400	400
f-Frecvența nominală, Hz	50	50
Conexiunea	D-triunghi	D-triunghi
n-turația, rot/min	1000	1000
η -randamentul(IE3), %	89.1	90.3%
cos ϕ -factorul de putere	0.72	0.74
Serviciul de funcționare	S1-continuu	S1-continuu
M_p/M_n -momentul de pornire/momentul nominal	2.3	2.2
I_p/I_n -curentul de pornire/curentul nominal	7.1	7.4
Gradul de protecție	IP55	IP55
Clasa de izolație	F	F

2. Calculul dimensiunilor principale. Se stabilesc lungimea ideală, numărul de perechi de poli, pasul polar, diametrul interior și exterior al statorului. Calculele s-au făcut cu programul MOCAP!

3. Înfășurarea, creștătura, jugul statorului, întrefierul. În funcție de numărul de perechi de poli s-a adoptat numărul de creștături statorice $z_1=36$ și numărul de creștături pe poli și fază q_1 . S-au calculat succesiv: lungimea pasului dentar statoric t_1 , curentul nominal I_{1f} , numărul de conductoare efective pe creștătură (n_E) la a_1 căi de curent. S-a ales densitatea de curent și s-a calculat secțiunea și diametrul conductorului. A rezultat numărul total de conductoare și aria netă a creștăturii. Se adoptă forma creștăturii stator (trapezoidală) cu pereții dinților paraleli și se calculează dimensiunile creștăturii. În continuare se calculează: numărul de spire pe fază (w_1), fluxul magnetic în întrefier (Φ), inducția magnetică în întrefier (B_δ), amplitudinea inducției medii în dinții statorului (B_{d1}), înălțimea jugului statoric (h_{j1}), amplitudinea inducției magnetice în jugul statoric (B_{j1}). Calculele s-au făcut cu programul MOCAP! Lățimea întrefierului se adoptă în funcție de experiența fabricilor producătoare de motoare.

4. Înfășurarea, creștătura, jugul rotorului. Se folosește un rotor de tip colivie (scurtcircuit). Numărul optim de creștături rotorice se alege ținând seama de cele prezentate în literatură. S-au calculat: diametrul exterior al rotorului (D_{2e}), pasul creștăturii rotorului (t_2), curentul pe fază a rotorului (sau curentul într-o bară a coliviei I_2), curentul în inelul de scurtcircuitare (I_i), aria creștăturii rotorice (S_{2cr}). Creștătura rotorică are formă de pară. Se calculează: dimensiunile creștăturii, secțiunea inelului de scurtcircuitare, inducția magnetică în dinții rotorului (B_{d2}), înălțimea jugului rotoric (h_{j2}), inducția magnetică în jugul rotoric (B_{j2}). Dacă valorile

inducțiilor sunt mai mari ca cele admisibile, se vor modifica, la fel ca la stator, dimensiunile creștăturii! Calculele s-au făcut cu programul MOCAP!

5. Curentul de magnetizare. Se calculează coeficientul lui Carter (k_c), care ține seama de influența deschiderii creștăturilor asupra câmpului din întrefier și întrefierul echivalent (δ'). Apoi se calculează: tensiunea magnetică a întrefierului (F_δ), tensiunea magnetică a dinților statorului (F_{d1}), tensiunea magnetică a dinților rotorului (F_{d2}), coeficientul de saturație a dinților k_s . Dacă k_s diferă de cel adoptat la început, se refac calculele cu media lor. Apoi se calculează: tensiunea magnetică în jugul statoric (F_{j1}), tensiunea magnetică în jugul rotoric (F_{j2}), tensiunea magnetică totală ($2F$), coeficientul de saturație (k_{sat}), valoarea eficace a componentei reactive a curentului de magnetizare (I_{0r}).

6. Parametrii motorului. Parametrii (rezistențele și reactanțele) se calculează pentru regimul nominal de funcționare. Pentru calculul rezistențelor se calculează preliminar: lungimea capetelor de bobină ale înfășurării, lungimea totală a conductoarelor unei faze. Apoi se calculează rezistența activă a înfășurării statorului. Pentru calculul rezistenței active a rotorului se calculează: rezistența barei echivalente (R_b), rezistența inelului de scurtcircuitare (R_i) și rezistența rotorului raportată la primar. Pentru reactanța statorului se calculează: permeanța creștăturii statorice (λ_{c1}), permeanța scăpărilor diferențiale (λ_{d1}), permeanța de scăpări frontale (λ_{f1}), permeanța geometrică totală (λ_1), reactanța de scăpări a înfășurării statorului ($X\sigma_1$). Pentru reactanța rotorului se calculează: permeanța de scăpări a creștăturii λ_{c2} , permeanța de scăpări frontale ale coliviei λ_{d2} , permeanța scăpărilor diferențiale λ_{d2} , permeanța geometrică totală λ_2 . În final se calculează reactanța de scăpări a înfășurării rotorului, raportată la stator $X\sigma_2'$. Se calculează reactanța utilă X_m .

7. Pierderi. Se calculează: pierderile în conductoarele înfășurării statorului și rotorului P_{cu1} , P_{cu2} , pierderile principale în oțelul statorului P_{fe} , pierderile suplimentare în oțelul statorului la funcționarea în gol P_{01} , pierderile de pusație în dinți (P_p), pierderile suplimentare de suprafață în oțelul rotorului P_{02} , pierderile mecanice și de ventilație $P_{mec+vent}$, suma pierderilor P_{tot} , randamentul η , factorul de putere $\cos\varphi$, alunecarea $s\%$.

8. Calculul parametrilor de pornire. Pornirea motorului asincron trebuie realizată astfel încât cuplul dezvoltat să fie suficient de mare ca motorul să ajungă la turația nominală. Curentul absorbit trebuie să fie suficient de mic, pentru a nu provoca deconectarea motorului datorită acțiunii sistemului de protecție la curent maxim. Se calculează: reactanța de scăpări a înfășurării statorului la pornire Z_p , curentul de pornire I_p , momentul de pornire M_p , momentul nominal M_n , raportul M_p/M_n , raportul I_p/I_{1f} . Pornirea se apreciază pe baza rapoartelor: M_p/M_n , I_p/I_{1f} .

9. Calculul ventilației. Pentru a elimina căldura care se produce la funcționare este necesară o răcire intensă cu aer, care spală părțile încălzite. Motoarele sunt în construcție închisă, autoventilate, ventilatorul centrifug cu palete radiale fiind montat pe ax. În cadrul acestui proiect se va verifica debitul maxim al ventilatorului.

10. Calculul încălzirii. Se calculează supratemperatura bobinajului.

În Anexa 2 sunt prezentate calculele pentru cele două motoare: 7.5kW-1000rot/min și 11kW-1000rot/min, iar în Anexa 3 sunt prezentate desenele proiectate.

1. Ansamblul general
2. Subansamblul rotor.
3. Arborele.
4. Subansamblul colivie.
5. Subansamblul carcasa cu stator bobinat.
6. Subansamblul pachet stator bobinat.

7. Subansamblul stator impachetat.
8. Tola stator.
9. Tola rotor.
10. Subansamblul conductor conexiuni.
11. Conductor conexiuni.
12. Fise de bobinaj.
13. Carcasa prelucrata cu talpi.
14. Carcasa prelucrata.
15. Cutie de borne turnata.
16. Cutie de borne prelucrata.
17. Capac cutie borne.
18. Garnitura sub cutia borna.
19. Talpa turnata.
20. Talpa prelucrata.
21. Scut turnat.
22. Scut prelucrat.

Bibliografie:

1. Peter, I.: Proiectarea motorului asincron cu rotor de tip colovie, CD, Braşov, 2006.
2. Nicolaide, A.: Maşini electrice. Teorie. Proiectare, Ed.a Scrisul Romanesc, Craiova, 1975
3. Scutaru, G.: MOCAP-program de proiectare a motoarelor electrice, Brasov, 2014

Activitatea III.5

Elaborare și definitivare referențial (caiet de sarcini) (M400)

Au participat la realizarea activității echipele partenerilor:

- CO: Universitatea Politehnica din București
- P1: INCD Inginerie Electrică - Cercetări Avansate, ICPE-CA
- P3: Universitatea "Transilvania" din Braşov

Activitatea III.6

Elaborare și definitivare referențial (caiet de sarcini) (M400)

Activitatea a fost realizată de echipa de lucru a partenerului:

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

Activitatea a fost desfășurată de fapt în comun de toți partenerii, rolul major revenind partenerului P2 (dr. ing. Ioan Peter). Caietul de sarcini complet este prezentat în Anexa 4.

Prezenta specificație tehnică se referă la Motoare electrice asincrone trifazate cu rotor în scurtcircuit, construcție din aluminiu, complet închise, cu ventilație exterioară, de eficiență sporită. Acestea sunt mașini de uz general ce **Error! Reference source not found.** corespund prevederilor din prezenta specificație tehnică și unor precipții din următoarele standarde conexe:

- SR 1893:2008 Mașini electrice rotative. Reguli și metode pentru verificarea calității;
- STAS 1893/3-87 Mașini electrice rotative. Marcare, ambalare, garanții, documente;

SR EN 60034-1: 2000 Mașini electrice rotative. Valori nominale și caracteristici de funcționare;

SR EN 60034-18-21+A1+A2:1998 Mașini electrice rotative. Partea 18: Evaluarea funcțională a sistemelor de izolație. Secțiunea 21: Proceduri de încercare pentru înfășurări din conductor. Evaluare termică și clasificare;

IEC 60034-30. Rotating electrical machines. Efficiency classes of single-speed, three-phase, cage-induction motors (IE-code).

Pentru forma constructivă B3 (cu talpă), mașinile electrice de eficiență sporită se simbolizează astfel: *MAL AA-BB-CC-DD-E*: MAL - mașină electrică asincronă; AA - gabarit; BB - eficiența: IE1, IE2, IE3; CC - diametrul arborelui; DD - numărul de poli; E - ordinea puterilor în gabarit.

Codificarea motoarelor de eficiență sporită de gabaritul 160, turația de 1000 rot/min, care fac obiectul prezentului contract este următoarea:

P_N [kW]- n [rot/min]	B3	B5	B3/B5
7.5-1000	MAL160M-IE3-42-6A	MAL-IE3-42F300-6A	MAL160M-IE3-42F300-6A
11-1000	MAL160L-IE3-42-6B	MAL-IE3-42F300-6B	MAL160L-IE3-42F300-6B

Serviciul normal de funcționare pentru mașinile ce fac obiectul prezentei specificații tehnice este continuu S1 cu maxim 6 porniri pe oră, în condițiile respectării prevederilor prezentei specificații și a instrucțiunilor de transport, depozitare, montare, exploatare și întreținere. Aceste mașini se pot utiliza în climat normal (temperatură ambiantă: -16°C - +40°C; altitudine: până la 1000 m; presiunea atmosferică: 1050 mbar; umiditate relativă: 60% - 90% – conform normei CEI 34-1), sau, la cerere, pentru climat tropical. Pentru condiții de altitudine și temperatură diferite se aplică corecții de putere. Mașinile nu sunt destinate să funcționeze în medii corozive, cu praf metalic sau abraziv, în medii inflamabile sau explozive, în locuri supuse la vibrații anormale.

Mașinile au următoarea structură : subansamblul carcasa cu stator bobinat; carcasa; stator bobinat; subansamblul rotor: arbore, colivie; scuturi; cutia bornă, capac cutie bornă, garnituri, elemente de asamblare, rulmenți; ventilator, capotă ventilator. Sunt mașini de construcție închisă, carcasa și scuturile fiind din aluminiu. Ventilația este exterioară, cu un ventilator din polipropilenă.

Rotorul și statorul sunt construite din tablă fero-silicioasă de tipul M400. Toleranțele de execuție trebuie să respecte normele internaționale: SR EN 60034-1, SR CEI 72-1. Bobinele sunt realizate din conductoare rotunde de cupru emailat, conform EN 60317-8 sau EN-600317-13, de la caz la caz. Alimentarea mașinilor se realizează la o tensiune și frecvență în concordanță cu norma IEC 38.

Pozițiile de funcționare sunt prezentate în Anexa 4.3.

Motoarele asincrone trifazate, cu eficiență sporită, se execută cu gradul de protecție IP54, IP55, IP56, conform SR CEI 60034-5.

Condiții tehnice de calitate. Formele constructive și modurile de montaj a mașinilor corespund SR EN 60034-7 și sunt prezentate în Anexa 4.3. Dimensiunile de montaj și de gabarit corespund SR CEI 72-1 și sunt cuprinse în Anexa 4.1, pentru mașinile de gabarit 160.

Caracteristicile electrice ale motoarelor cu eficiență sporită, de gabarit 160 și de turație 1000 rot/min trebuie să corespundă valorilor prevăzute în Anexa 4. 2.

Valorile și toleranțele pentru tensiunile și frecvențele nominale trebuie să corespundă normei IEC38 sau comenzii beneficiarului.

La cerere, mașina poate fi executată cu protecție termică : cu termoprotectoare bimetalice sau cu termistoare(PTC). Decuplarea se realizează la o temperatură mai mare de

150°C, +/-3 °C. Încălzirea mașinilor trebuie să se încadreze în valorile corespunzătoare clasei de izolație în care sunt executate, prevăzute în SR EN 60034-1 și STAS 1893.

Mașina se protejează contra coroziunii prin vopsire electrostatică.

Limitele intensității de vibrație trebuie să corespundă SR CEI 60034-14, iar limitele nivelului de zgomot trebuie să corespundă SR CEI 60034-9.

Mașinile electrice cu eficiență sporită se execută pentru funcționare în serviciu tip continuu S1 definit de SR EN 60034-1.

Reguli pentru verificarea calității. Mașinile electrice se supun următoarelor încercări și verificări: încercări de tip; încercări de lot. {ncercările de tip, ordinea și frecvența executării lor sunt conform STAS 1893, SR EN 60034-1, IEC 60034-2 și se efectuează la omologarea produsului sau la introducerea unor modificări constructive sau tehnologice precum și la introducerea altor materiale susceptibile să schimbe performanțele produsului. Se efectuează pe toate produsele înainte de a fi livrate la beneficiari.

Dimensiunile de montaj și gabarit se verifică conform SR CEI 72-1.

Tipul de protecție se verifică conform SR CEI 60034-5.

Verificarea condiției tehnice se face din punctul de vedere al: aspectului, conform SR EN 13523-0:2002; aderenței, conform SR EN ISO 2409:2007; grosimii, conform SR EN ISO 2808:2007. Verificarea rezistenței la coroziune se face pentru categoria de exploatare N3 în mediu de ceață salină timp de 24 h conform SR EN 60068-2-11:2001.

{n Anexa 4 sunt precizate instrucțiunile de marcare, conservare, ambalare, transport, depozitare, documente și inventar de livrare. Fiecare mașină este prevăzută cu o placuță indicatoare, care trebuie să conțină cel puțin următoarele informații:

Tipul mașinii	MAL160M-IE3-42-6A	MAL160L-IE3-42-6B
Puterea [kW]	7.5	11
Turația [rot/min]	1000	1000
Tensiunea [V], conexiunea	400 D	400 D
Categoria de randament	IE3 = 89.1%	IE3 = 90.3%
Factorul de putere $\cos\phi$	0.72	0.74
Clasa de izolație	F	F
Gradul de protecție	IP55	IP55
Masa [kg]	115	125

Mașina electrică se livrează cu documente minime, ce vor include: instrucțiunile de exploatare și montaj; declarația de conformitate; certificatul de garanție; raport măsurători la probele de lot. Mașinile electrice pot fi livrate și cu alte documente prevăzute prin contract.

Activitatea III.7

Realizarea a două prototipuri de motor electric IE3 pentru a compara rezultatele globale (M400)

Activitatea a fost realizată de echipa de lucru a partenerului:

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

Prototipurile celor două motoare au fost executate de partenerul P2 beneficiar. Se prezintă mai jos fotografiile celor două prototipuri, inclusiv ale plăcuțelor de date atașate lor.



Motorul MAL160M-IE3-42-6A

Motorul MAL160L-
IE3-42-6B



Activitatea III.9

Experimentare și verificare prototip (M400)

Au participat la realizarea activității echipele partenerilor:

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

CO: Universitatea Politehnica din București

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

P3: Universitatea "Transilvania" din Brașov

TEST REPORT

1. Number: 01 –332-2014		Date : 17.10.2014		
2. Motor type: MA Al 160-6				
3. Features: IE3; tabla M400				
4. Customer:			Document number/Date:	
5. Tested in accordance to: STAS 1893:STAS 7246 : EN 60034 – 1				
RATED SPECIFICATIONS				
1. Output power	Pu [W]	7500		
2. Synchronous speed	n [r /m]	1000		
3. Duty type		S1		
4. Rated voltage	U [V]	400/690		
5. Frequency	f [Hz]	50		
6. Protection degree		IP 55		
7. Insulation class/temperature rise class		F/B		
RESULTS OF TESTS		Forseen val	Measured val.	Conclusions
1. Efficiency	η [%]	89.1 (lim=87.46)	88.2	O.K.
2. Power factor	$\cos \phi$		0.652	
3 Starting/rated torque	Mp/Mn		2.37	

4. Starting/rated current	I_p/I_n		5.01	
7. Slip	s [%]		3.7	
8. Stator winding temperature rise	$\Delta\theta_p$ [°C]	< 80	58	O.K.
11. Insulation	R_{iz} [M Ω]	> 0.5	700	O.K.
12. Stator winding resistance at 20 °C	R_p [Ω]		1.908	
13. Current	I_n [A]		19	
14. Input power	P_a [W]		8503	
19. Starting current	I_{sc} [A]		95.3	
20. Starting losses	P_{sc} [W]		28800	
21. No-load current	I_o [A]		12.82	
22. No-load input power	P_o [w]		526	
23. Motor body temperature	$\Delta\theta_{Fe}$ [°C]		---	
24. Cooling air temperature	θ_a [°C]		21	
CONCLUSIONS:		O.K. <input checked="" type="checkbox"/>	NOT O.K. <input type="checkbox"/>	
QUALITY MANAGER DIPL. ENG. FEJER PETER	CHIEF DEPT. DIPL. ENG. BARSAN HORIA	CHECKED BY ENG. GAVRILA HORIA	TESTED BY:	

TEST REPORT

1. Number: 01 -336-2014		Date : 21.10.2014		
2. Motor type: MA Al 160-6				
3. Features: IE3; tabla M400				
4. Customer:		Document number/Date:		
5. Tested in accordance to: STAS 1893:STAS 7246 : EN 60034 – 1				
RATED SPECIFICATIONS				
1. Output power	P_u [W]	11000		
2. Synchronous speed	n [r /m]	1000		
3. Duty type		S1		
4. Rated voltage	U [V]	400/690		
5. Frequency	f [Hz]	50		
6. Protection degree		IP 55		
7. Insulation class/temperature rise class		F/B		
RESULTS OF TESTS		Forseen val	Measured val.	Conclusions
1. Efficiency	η [%]	90.3 (lim=88.84)	89.4	O.K.
2. Power factor	$\cos \phi$		0.694	
3 Starting/rated torque	M_p/M_n		2.05	
4. Starting/rated current	I_p/I_n		4.5	
7. Slip	s [%]		3.3	
8. Stator winding temperature rise	$\Delta\theta_p$ [°C]	< 80	69	O.K.
11. Insulation	R_{iz} [M Ω]	> 0.5	700	O.K.
12. Stator winding resistance at 20 °C	R_p [Ω]		0.722	
13. Current	I_n [A]		25.75	
14. Input power	P_a [W]		12304	
19. Starting current	I_{sc} [A]		116	
20. Starting losses	P_{sc} [W]		39000	
21. No-load current	I_o [A]		15.23	
22. No-load input power	P_o [w]		509	

23. Motor body temperature	$\Delta\theta_{Fe}$ [°C]		---
24. Cooling air temperature	θ_a [°C]		20
CONCLUSIONS:		O.K. <input checked="" type="checkbox"/>	NOT O.K. <input type="checkbox"/>
QUALITY MANAGER DIPL. ENG. FEJER PETER	CHIEF DEPT. DIPL. ENG. BARSAN HORIA	CHECKED BY ENG. GAVRILA HORIA	TESTED BY:

Principalele date privitoare la randament pentru cele două motoare electrice care fac obiectul prezentului contract, al cărui circuit magnetic este realizat cu tablă M400-65A, sunt sintetizate în tabelul de mai jos. Ele confirmă faptul că utilizarea tablei electrotehnice M400 permite realizarea unor motoare care se încadrează în clasa de eficiență IE3.

Tip motor	η calculat	η măsurat	η IE3: recomandat/tolerat
7,5 kW MAL 160M 42 6A	89,4	88,2	89,1/87,46
10 kW MAL 160L 42 6B	89,4	89,4	90,3/88,84

Activitatea III.10

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 III (2014) 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).

* Presentului raport i se atașează un număr de 5 anexe care detaliază unele din rezultate.

* A fost completată pagina Web a proiectului:

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

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

1. **Veronica Păltânea, Gheorghe Păltânea, Horia Gavrila, Eros Pătroi, Ioan Peter:** The influence of the sheet metal cutting technologies on the energy losses in non-oriented silicon iron alloys. *Rév.Roum.Sci.Techn. (Série Electrotechn.Energ.)* **59**, nr.1, pp.47-55 (2014)

2. **Horia Gavrila, Doina Gavrila:** Materials and Processes in Heat Assisted Magnetic Recording. Special Workshop “Acceleration of Technological Progress through Key Engineering Materials”, 4th International Conference on Key Engineering Materials (ICKEM 2014), 22-23 March 2014, Indonezia (KE 1001)

- publicată în: *Advanced Materials Research*, Trans Tech Publications, Switzerland, vol.911, pp.281-287 (2014); doi: 10.4028/www.scientific.net/AMR.911.281

3. **Doina Gavrilă**, Ciprian Ilies, **Horia Gavrilă**: Aplying the Recovery Voltage Method (RVM) to Study the Degradation of High Power Transformer Insulation. 4th International Conference on Key Engineering Materials (ICKEM 2014), 22-23 March 2014, Indonezia (KE 1009)

- publicată în: *Advanced Materials Research*, Trans Tech Publications, Switzerland, vol.911, pp.260-265 (2014); doi: 10.4028/www.scientific.net/AMR.911.260

4. **Gheorghe Scutaru**, **Horia Gavrilă**, **Ioan Peter**: An estimation method of the manufacturing process' effect on iron losses. *Advances in Electrical and Computer Eneginering* **14**, nr.2, pp.49-52 (2014)

5. Mihai Maricaru, **Horia Gavrilă**, George-Marian Vasilescu, **Ioan Florea Hănțilă** : Analysis of the motion of conducting sheets in magnetic fields. *I.E.E.E. Transactions on Magnetics* **50**, nr.2, 7001604 (2014)

6. Emil Cazacu, **Lucian Petrescu**: Magnetising inrush current of low-voltage iron core three phase power reactors. 16th International Conference on Harmonics and Quality of Power (ICHQP 2014), Bucharest, Romania, 25-28 May 2014

7. Emil Cazacu, **Lucian Petrescu**: Derating the three-phase power distribution transformers under nonsinusoidal operating conditions: A case study. 16th International Conference on Harmonics and Quality of Power (ICHQP 2014), Bucharest, Romania, 25-28 May 2014

8. **Veronica Păltânea**, **Gheorghe Păltânea**, **Horia Gavrilă**: Prediction of the energy losses in soft magnetic alloys based on magnetic objects theory in the case of the uniform magnetic flux penetration. *Materials Science Forum*, Trans Tech Publications, Switzerland, vol.792, pp.260-265 (2014); doi: 10.4028/www.scientific.net/MSF.792.260

9. **Horia Gavrilă**, Marilena Stanculescu, Mihai Maricaru, George-Marian Vasilescu, **Ioan Florea Hănțilă**, Paul Andrei: "In situ" evaluation of the ferromagnetic bodies magnetic characteristics. *Materials Science Forum*, Trans Tech Publications, Switzerland, vol.792, pp.177-182 (2014); doi: 10.4028/www.scientific.net/MSF.792.177

10. **Ioan Peter**, **Gheorghe Scutaru**, **Ciprian Nistor**: Manufacturing of asynchronous motors with squirrel cage rotor, included in the premium efficiency category IE3, at Electroprecizia Electrical-Motors S.R.L. Sacele. Proc. of the 14th International Conference on Optimization of Electrical and Electronic Equipment, pp.421-425, Brasov, Romania, 22-24 May 2014

11. **Septimiu Motoaşcă**: LabVIEW used for modelling of hysteresis for soft magnetic materials. Proc. Of the 12th International Conference on Development and Application Systems, pp.143-148, Suceava, Romania, 15-17 May 2014, doi: 10.1109/DAAS.2014.6842444

12. **Horia Gavrilă**, **Veronica Mănescu (Păltânea)**, **Gheorghe Păltânea**, **Gheorghe Scutaru**, **Ioan Peter**: Analiza proprietăților magnetice ale tolelor electrotehnice cu grăunți neorientați debitate prin diferite tehnologii. A 9a Conferință a Academiei de Științe Tehnice din România, Sibiu, 6-7 noiembrie 2014 (Paper TTPD 6.3)