

**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 final**

**Parteneri:**

**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**

**Termen: 15 decembrie 2016**

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

## Context

Motoarele electrice convertesc energia electrică în energie mecanică printr-un sistem electromecanic, utilizând cea mai mare parte din energia electrică consumată de către sistem. Motoarele electrice și sistemele pe care le acționează sunt cel mai mare consumator de energie electrică, utilizând între 43% și 46% din totalul de energie electrică produsă la nivel mondial, în urma acestui proces rezultând aproximativ 6040 Mt de emisii de CO<sub>2</sub>. Se estimează că până în anul 2030, în absența adoptării unor măsuri susținute de eficiență energetică, consumul de energie al motoarelor electrice va crește la 13360 TWh pe an, iar emisiile de CO<sub>2</sub> la 8570 Mt pe an. La nivelul anului 2011 se estimează un cost de 565 miliarde USD pe an pentru energia electrică utilizată în sistemele electromecanice, iar până în anul 2030 aceste costuri s-ar putea ridica la aproape 900 miliarde de USD.

Motoarele electrice de c.a. sunt un mare consumator de energie electrică: aproximativ 65% din totalul energiei electrice este convertită în energie mecanică în domeniile industriale. Pentru a reduce costul de fabricație a motoarelor electrice până în prezent s-a optat pentru scăderea cantității de materiale active (oțel electrotehnic, cupru, aluminiu) folosite la fabricarea mașinilor, dar acest lucru a prejudiciat eficiența energetică și factorul lor de putere. În prezent creșterea eficienței motoarelor de curent alternativ prin reducerea pierderilor de putere a devenit o necesitate stringentă, în România ca și în Europa. Reducerea pierderilor de energie produce efecte importante atât asupra cheltuielilor finale ale utilizatorilor, dar și în privința reducerii emisiilor poluante asociate cu arderea combustibilului primar pentru generarea de energie în centralele electrice. *Creșterea eficienței motoarelor de curent alternativ se poate realiza mai ales prin reducerea pierderilor de energie din miezul magnetic al acestor mașini electrice.*

Eficiența motoarelor electrice depinde atât de puterea lor nominală cât și de încadrarea lor în anumite clase de eficiență energetică. În cazul motoarelor de putere mică, gabaritul este cel mai important factor în determinarea eficienței, dar în cazul motoarelor de mare putere este mai importantă clasa de eficiență din care acestea fac parte.

În anul 2008, Comisia Internațională de Electrotehnică a introdus un nou sistem de clasificare a eficienței, prin care s-au definit, conform standardului IEC 60034-30, următoarele clase: eficiența standard IE1; eficiența înaltă IE2; eficiența premium IE3 și eficiența super premium IE4 (IEC 60034-31).

În anul 2009 Uniunea Europeană a adoptat legislația pentru definirea standardelor de performanță ale motoarelor electrice, ca măsură de punere în aplicare a directivei privind proiectarea ecologică. Pătrunderea pe piață a diferitelor clase de eficiență variază considerabil de la țară la țară. Ponderea clasei de eficiență IE3 a ajuns la 20% în Statele Unite, dar este încă redusă în Uniunea Europeană.

În figura 1 este ilustrat modul în care variază eficiența energetică a unui motor cu 4 poli, în funcție de puterea nominală și clasa de eficiență.

Cerințele de proiectare ecologică pentru motoarele electrice vor fi introduse treptat: Începând cu 1 ianuarie 2015 se interzice comercializarea motoarelor cu putere nominală cuprinsă între 7,5 și 375 kW cu clasă de eficiență inferioară nivelului IE3, dar este permisă comercializarea acestui tip de mașină electrică cu eficiență IE2, în cazul în care aceasta este echipată cu un sistem automat de reglare a turației, iar începând cu 1 ianuarie 2017 se interzice comercializarea motoarelor cu putere nominală cuprinsă între 0,75 și 375 kW cu

clasă de eficiență inferioară nivelului IE3, fiind permisă comercializarea acestui tip de mașină electrică cu eficiență IE2 numai dacă este echipată cu un sistem automat de reglare a turației.

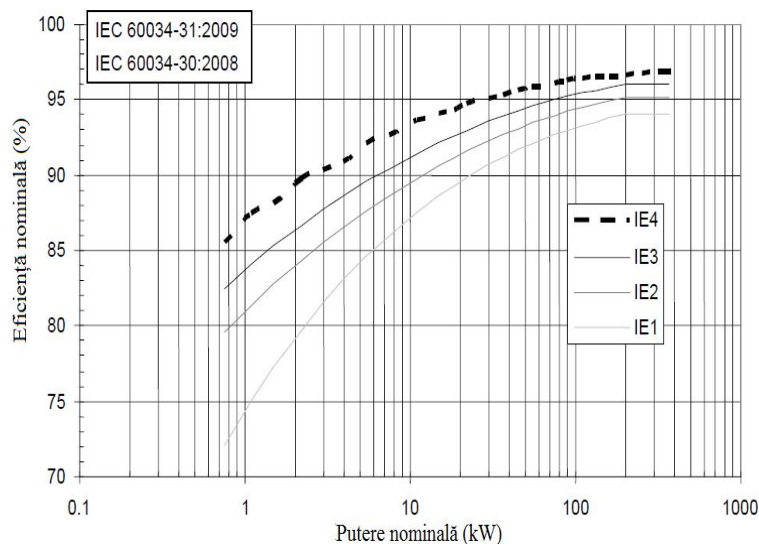


Fig.1. Clasele de eficiență la un motor electric cu 4 poli, 50 Hz.

Producția actuală de motoare electrice de c.a. se supune standardului internațional de testare a eficienței energetice IEC 60034-2-1, 2007, prin care sunt impuse standardele minime de performanță pentru eficiența energetică, ceea ce permite producătorilor o competiție internațională pentru obținerea de produse superioare energetic.

În România, standardele internaționale recent adoptate, referitoare la metodele de determinare a eficienței unui motor electric (IEC 60034-30; 2008 și IEC 60034-31; 2009), trebuie în mod obligatoriu implementate și de către producătorii autohtoni de mașini electrice. În acest context, cercetarea și dezvoltarea de motoare electrice asincrone din clasa de eficiență premium IE3 este total justificată din punct de vedere economic, deoarece aceasta va permite exportul de motoare electrice produse în țară pe piețele de profil europene și internaționale. La nivel microeconomic, trecerea de la utilizarea unor motoare cu eficiență înaltă IE2 la motoare cu eficiență premium IE3 se poate amortiza într-un interval de timp relativ scurt, între 1 și 3 ani. Energia economisită în urma acestei conversii este echivalentă cu o putere de 330 MW, incluzând și consecințele indirecte privind poluarea mediului, datorate emisiilor nocive.

Luând în considerare ansamblul acestor cerințe a fost evidentă necesitatea cercetării în vederea producerii și în România a motoarelor electrice cu clasa de eficiență IE3. Creșterea accentuată a necesarului de motoare electrice, prezisă pentru viitorul apropiat, trebuie să găsească industria românească de profil capabilă să furnizeze noi serii de motoare eficiente energetic. Proiectul „**Mașini electrice cu eficiență sporită, prin utilizarea unor soluții tehnice avansate, bazate pe predeterminarea proprietăților magnetice ale tolelor**” a constituit o foarte bună bază pentru realizarea unui produs complex, fabricat în țară și care să poată fi exportat în condiții de competitivitate tehnico-economică internațională.

### Impactul așteptat

În concordanță cu standardele U.E., începând cu anul 2017 devine obligatorie doar comercializarea motoarelor electrice din clasa de eficiență IE3.

Partenerul P2, S.C. Electroprecizia Electrical Motors S.R.L. (EEM), cofinanțatorul și principalul beneficiar al rezultatelor proiectului, este principalul producător de motoare electrice asincrone din România. În momentul începerii proiectului, buletinele de încercări ale

tuturor celor 30 tipuri de motoare electrice asincrone cu rotorul în scurtcircuit, de diferite valori ale puterii nominale, ale vitezei și numărului de perechi de poli, aflate în producția întreprinderii, se încadrau în clasa de eficiență energetică IE2. Regândirea și reproiectarea lor, astfel încât să ajungă în clasa de eficiență IE3, devenise o cerință stringentă.

În principiu, realizarea unor echipamente electrice – în situația de față a unor motoare electrice asincrone cu rotorul în scurtcircuit – cu performanțe superioare presupune abordarea simultană a trei aspecte majore: *calitatea (proprietățile) materialului folosit, tehnologia de fabricație și procedura de proiectare*. Toate acestea au fost luate în considerare în derularea proiectului, care și-a propus realizarea prototipurilor a două motoare de nivel de performanță IE3, de 7,5 kW – 1000 rot/min, respectiv 11 kW – 1000 rot/min, procedurile urmând a fi apoi aplicate pentru toată gama de motoare aflate în producția întreprinderii.

Principalul indicator al clasei de eficiență este randamentul motorului, la rândul său determinat de pierderile ce apar în funcționarea mașinii. Pierderile respective determină direct randamentul dar și încălzirea mașinii și de aceea trebuie avute în vedere încă din faza de proiectare, având implicații directe în raportul calitate/preț pentru fiecare tip de mașină.

Tipurile de pierderi ce apar sunt: pierderile electromagnetice în conductoarele înfășurărilor și în miezul magnetic; pierderi mecanice produse prin ventilație și frecare în lagăre. Dacă se mărește sarcina, adică cuplul static la arborele motorului, suma pierderilor în fier și mecanice se micșorează în oarecare măsură, deoarece se reduce fluxul magnetic util și se micșorează turația. Dar micșorarea pierderilor respective nu depășește de obicei 4-8 %, de aceea aceste pierderi se consideră ca pierderi constante. Pierderile în cupru variază mult cu sarcina, proporțional cu pătratul curentului. Pierderile în fier sunt determinate de variația câmpului magnetic în miezul feromagnetic al mașinii, ca urmare a fenomenului de histerezis magnetic și a curenților turbionari induși. Pentru reducerea lor, tolele mașinii se execută din oțel electrotehnic aliat cu siliciu.

Au fost analizate următoarele categorii de pierderi:

- a) Pierderile principale în miezul magnetic, prin histerezis și prin curenți turbionari;
- b) Pierderile în oțelul dinților;
- c) Pierderi în oțelul jugului;
- d) Pierderile suplimentare la funcționarea în gol: pierderile suplimentare de suprafață produse de armonicile de crestare ale inducției magnetice; pierderile de pulsație în dinți.
- e) Pierderile suplimentare în oțel la funcționarea în sarcină: pierderi de suprafață produse de armonicile de zonă ale tensiunii magnetice; pierderi de suprafață în rotor produse de armonicile de dentură ale tensiunii magnetice a statorului; pierderile de pulsație în dinții statorului produse de armonicile de dentură ale rotorului.

Reducerea pierderilor totale ale motorului poate fi obținută în special prin reducerea pierderilor în materialul magnetic (fier).

## Cercetarea

Realizarea obiectivului acestui proiect a presupus analiza aprofundată și găsierea de soluții pentru fiecare din cele trei elemente definite anterior: materialul folosit, tehnologia de debitare a tolelor și (re)proiectarea mașinii.

**Materialul.** Pentru fabricarea miezului magnetic al motoarelor electrice rotative se folosesc întotdeauna tolele din aliaj FeSi cu grăunțe neorientate (NO), magnetic slab anizotrope. În cadrul proiectului au fost testate trei sorturi de tablă electrotehnică produse de S.C. ELDEMIR SRL Târgoviște: M400-65, M700-65 și M800-65.

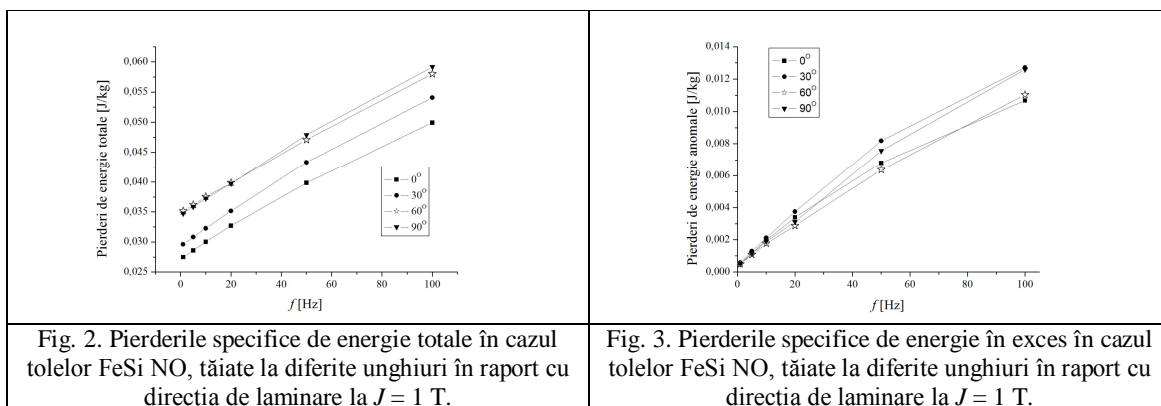
În cazul materialelor magnetice cristaline anizotropia cea mai pronunțată este de cea de tip magnetocristalin. În tolele FeSi NO pe lângă aceasta se întâlnește și o anizotropie de tip magnetoelastic, datorată magnetostricțiunii ce apare în timpul funcționării dispozitivelor. În

cele mai multe cazuri caracterizarea tolelor FeSi NO este limitată la direcția de laminare, dar modelarea acestor materiale necesită cunoașterea ciclului de histerezis și a proprietăților magnetice și pe alte direcții. Măsurătorile standard furnizează o medie a caracteristicilor magnetice, măsurate atât pe direcția de laminare (RD) cât și pe o direcție perpendiculară pe aceasta (TD). Tolele FeSi NO prezintă o structură a grăunților cristalini slab anizotropă, având direcția de ușoară magnetizare paralelă cu direcția de laminare și direcția de magnetizare dificilă perpendiculară pe direcția de laminare.

În scopul evidențierii anizotropiei magnetocristaline s-a ales un lot de patru tole FeSi NO M400-65A, tăiate la  $0^\circ$ ,  $30^\circ$ ,  $60^\circ$ ,  $90^\circ$  față de axa de ușoară magnetizare. Măsurătorile au fost realizate cu un tester unitolă de uz industrial, la o inducție magnetică  $B = 1,5$  T, valoare întâlnită curent în funcționarea mașinilor electrice. S-a optat pentru frecvența industrială  $f = 50$  Hz, dar și pentru alte două valori 5 Hz și 100 Hz. S-a observat că axa ușoară rămâne situată la  $0^\circ$  față de direcția de laminare la frecvențe diferite, iar axa dificilă își conservă direcția la  $90^\circ$ , modificându-se numai valorile intensității câmpului magnetic  $H$ .

Tratamentele metalurgice succesive la care sunt supuse tolele FeSi NO și prezența impurităților conduc la o orientare preferențială a grăunților, iar o consecință directă a acestui fapt este o anizotropie a pierderilor de energie de până la 20%. A fost analizată și evoluția pierderilor de energie cu frecvența, în funcție de unghiul de tăiere a eșantionului în raport cu direcția de laminare. Pierderile prin histerezis sunt generate de punctele de instabilitate din material și pot fi analizate prin intermediul mecanismelor de coercitivitate. Pierderile clasice de energie sunt datorate curenților turbionari, materialul fiind de obicei considerat un mediu omogen. Dar o consecință directă a existenței domeniilor magnetice este pierderea de energie anomală (în exces), datorată microcurenților turbionari și foarte dificil de determinat.

În Fig. 2 se prezintă variația pierderilor totale de energie cu frecvența. Se constată că cele mai scăzute valori ale pierderilor se obțin pentru tola tăiată la  $0^\circ$ , iar cele mai ridicate pentru tola tăiată la  $90^\circ$ . În cazul pierderilor în exces (Fig. 3) și al celor prin histerezis, comportamentul anizotrop al tolelor FeSi NO se păstrează.



Caracterizarea magnetică a materialului s-a făcut prin măsurarea proprietăților magnetice cu Testerul Unitolă (Single Sheet Tester – SST), pentru o polarizație magnetică  $J = 50$ , 100, 200, 500, 1000, 1200, 1500 mT, sinusoidală, la frecvențe  $f = 3, \dots 50, \dots 200$  Hz. în conformitate cu regulile DIN 50 462. S-a realizat separarea pierderilor de energie în scopul identificării soluțiilor de reducere a fiecărei componente a acestor pierderi: pierderile datorate curenților turbionari ( $W_{cl}$ ); pierderile de energie prin histerezis ( $W_h$ ); pierderile în exces ( $W_{exc}$ ) datorate microcurenților turbionari ce apar la deplasarea pereților de domenii. Reprezentările pierderilor în funcție de frecvență s-au realizat pentru următoarele valori ale polarizației magnetice  $J = 500, 1000, 1500$  mT.

Măsurătorile s-au făcut pe eşantioane tăiate prin patru procedee diferite – ştanţare, fir (electroeroziune), laser şi jet de apă – în vederea identificării procedeeului care ar permite obţinerea unor tole care să păstreze cele mai bune proprietăţi magnetice în urma prelucrării. Măsurătorile efectuate cu aparatul Epstein, mai puţin precise, au confirmat aceste rezultate

Spre ilustrare, în Fig. 4 se face compararea pierderilor totale de energie la polarizaţia  $J = 1500$  mT în cazul tolelor M400-65A şi M800-65A, debitate după direcţia de laminare prin procedee tehnologice diferite.

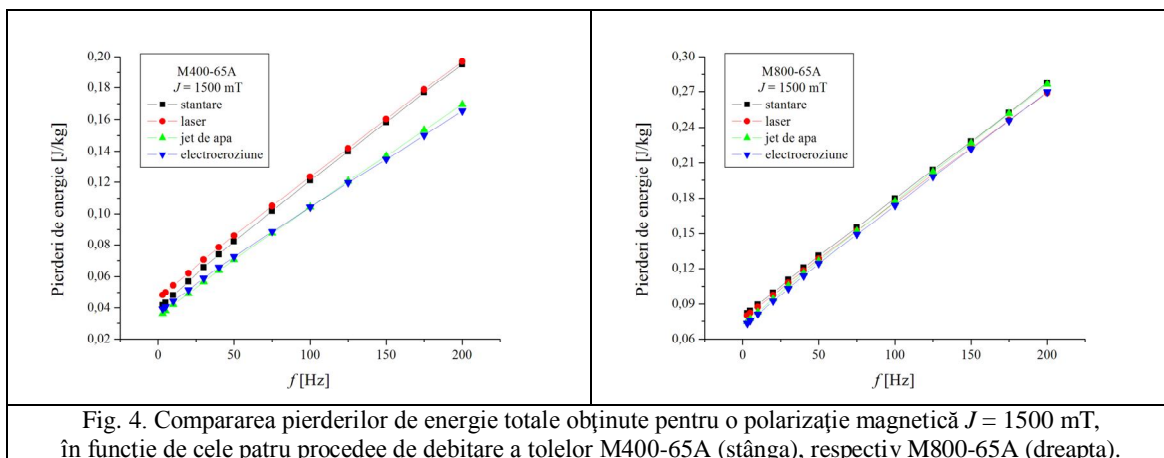


Fig. 4. Compararea pierderilor de energie totale obţinute pentru o polarizaţie magnetică  $J = 1500$  mT, în funcţie de cele patru procedee de debitare a tolelor M400-65A (stânga), respectiv M800-65A (dreapta).

Din măsurătorile efectuate rezultă că aliajul M400-65A prezintă pierderi de energie mai reduse decât celelalte două aliaje la toate polarizaţiile magnetice investigate. Procedeele de debitare cu jet de apă duc la obţinerea unor tole electrotehnice cu pierderi de energie mici, deoarece tensionările în zona de tăiere sunt minime, dar ele necesită un timp de lucru sensibil mai îndelungat. Pierderile s-au încadrat în prevederile standardului SREN 10106:2008. Anizotropia tolelor este sub 5%, conformă cu prevederile aceluiaşi standard.

Observarea proprietăţilor magnetice locale (structura de domenii magnetice) s-a făcut prin microscopie de forţă magnetică, utilizând platforma AFM-STM Ntegra Aura. În general se observă o rafinare a structurii magnetice către capete, mai ales în cazul debitării cu fir.

A fost analizat în detaliu rolul compoziţiei, al procesului de recoacere, al granulaţiei şi texturii materialului asupra calităţii şi proprietăţilor magnetice ale tolelor. Aceste proprietăţi sunt influenţate de dimensiunea grăunţilor şi de textura cristalografică. Tehnologiile actuale utilizate pentru a controla dimensiunea grăunţilor din oţelurile electrotehnice se apropie de limitele lor, dar există încă metode de îmbunătăţire a proprietăţilor magnetice prin controlul texturii. Folosirea unor tratamente metalurgice şi termice adecvate reprezintă una dintre etapele de prelucrare cele mai eficiente pentru modificarea texturii. Dar, pe lângă proprietăţile magnetice, trebuie luate în considerare şi alte proprietăţi: stabilitatea termică şi structurală, sensibilitatea la tensionări mecanice a parametrilor magnetici, prelucrabilitatea, proprietăţile mecanice şi conductivitatea termică.

Structura de domenii magnetice a unui material magnetic este rezultatul competiţiei între diferitele tipuri de energie liberă a sistemului. Energia de interacţie forţează momentele magnetice să se alinieze pe direcţia câmpului magnetic aplicat; energia de schimb obligă aceste momente să rămână aliniate paralel; energia de anizotropie favorizează alinierea momentelor magnetice în lungul axelor de uşoară magnetizare, iar energia magnetostatică favorizează configuraţiile fără distribuţii de poli magnetici liberi.

Într-un material ideal domeniile sunt aliniate paralel cu câmpul aplicat, iar pereţii de domenii magnetice se deplasează lin. În materialele reale însă, aşa cum sunt tolele FeSi NO,

magnetizațiile domeniilor sunt orientate aleatoriu, iar pereții de domenii sunt fixați de diferite tipuri de neregularități prezente în rețeaua cristalină. Procesul de magnetizare într-un material magnetic moale are loc prin intermediul a două mecanisme: mișcarea pereților de domenii magnetice și rotația magnetizației în interiorul domeniilor. Pentru realizarea proceselor de magnetizare prin mecanismul de rotație a magnetizației sunt necesare valori ridicate ale intensității câmpului magnetic, de aproximativ  $10^3$  A/m, astfel încât procesul predominant de magnetizare în aliajele FeSi NO este cel al deplasării pereților de domenii magnetice. Defectele și impuritățile fixează pereții și se opun deplasării lor. Pentru deplasarea unui perete de domeniu, fixat de o impuritate, este necesară creșterea intensității câmpului aplicat, care se regăsește în valoarea câmpului magnetic coercitiv, ceea ce conduce la apariția fenomenului de histerezis magnetic.

**Procedee tehnologice de debitare a tolelor.** Au fost luate în considerare patru procedee tehnologice diferite de debitare a tolelor: ștanțarea mecanică, electroeroziunea, tăierea cu jet de apă și tăierea cu laser.

*Procesul de ștanțare* generează tensiuni interne care afectează valoarea pierderilor de energie în materiale. Tabla electrotehnică și în special cea texturată își schimbă caracteristicile magnetice ca urmare a procesului de ștanțare. Prin deformarea plastică la rece metalul devine mai dur (ecruisarea) pe toată zona de tăiere. Deformarea plastică a unui agregat policristalin este influențată de limitele dintre grăunți. În acest sens are o mare importanță temperatura la care se realizează deformarea. La deformări produse la temperaturi normale (*la rece*), limitele dintre grăunți cresc gradul de ecruisare, constituind obstacole în calea dislocațiilor. S-a urmărit ca prin măsurătorile efectuate să se obțină informații semnificative cu privire la efectul ștanțării asupra proprietăților magnetice ale tolelor FeSi NO. Cea mai dificilă problemă practică o constituie existența bavurilor; o bavură ascuțită deteriorează stratul izolator al tolei. Dacă bavura penetrează izolația tolei, pierderile prin curenți turbionari cresc considerabil, datorită creării unor scurtcircuite între tolele vecine, cu izolația strapunsă, ceea ce duce și la o încălzire excesivă a miezului magnetic.

*Tăierea cu laser* se caracterizează printr-o viteză de debitare relativ mare. Atunci când setările dispozitivului sunt adecvate, se obține o calitate bună a marginii tăiate. Totuși, această metodă induce tensiuni reziduale termice la marginea tăiată, un alt dezavantaj fiind costul ridicat al procedurii. La locul tăierii se produce recristalizarea materialului, ceea ce duce la creșterea pierderilor.

*Tăierea cu fir (electroeroziunea).* În urma aplicării electroeroziunii rezultă un eșantion netensionat mecanic, dar procesul este lent, fapt ce îi limitează aplicabilitatea. Prin electroeroziune se realizează topirea și vaporizarea materialului în zona unei descărcări electrice în arc între un electrod și piesa de prelucrat, dar și în acest caz se modifică structura cristalină în imediata apropiere a locului în care s-a realizat electroeroziunea.

*Tăierea cu jet de apă.* În urma debitării cu jet de apă rezultă o bună calitate a tăieturii, dar necesitatea unui echipament special și viteza de tăiere relativ scăzută fac ca metoda să fie rar folosită în prezent. Procedul poate fi folosit cu succes pentru debitarea tablelor pentru circuite magnetice, deoarece nu produce o modificare la nivel microstructural a materialului tăiat, iar încălzirea este redusă. Problema care apare aici este oxidarea și eventual corodarea materialului, dacă nu se produc operații de uscare și protejare anticorozivă a suprafeței imediat după tăiere. Încă nu au fost studiate proprietățile magnetice după o tăierea cu jet de apă, motiv pentru care acest procedeu a fost luat în considerare în acest studiu.

*Efectul procedurii de debitare asupra pierderilor de energie.* În vederea studierii acestui efect, au fost debitate prin fiecare din procedeele menționate mai sus eșantioane din toate tipurile de tablă magnetică, pe care s-au făcut măsurători magnetice complete pe testerul unitolă. Au fost determinate pierderile totale de energie și s-a făcut separarea lor pe

componentele cunoscute: pierderi (clasice) prin curenți turbionari, pierderi prin histerezis și pierderi în exces (prin microcurenți turbionari) (vezi Fig.5).

Studiul rezultatelor a relevat următoarele:

- Pierderile prin histerezis reprezintă componenta cea mai importantă a pierderilor de energie totale în aliajele FeSi NO. În cazul aliajului M400-65A cele mai scăzute pierderi prin histerezis s-au obținut în urma debitării materialului cu jet de apă, iar în cea ce privește aliajul M800-65A cele mai reduse valori s-au obținut prin aplicarea procesului de tăiere prin electroeroziune.

- Minimizarea pierderilor se poate obține prin reducerea grosimii de laminare a tolei, a conductivității materialului și prin controlul adecvat al microstructurii, realizat în timpul prelucrării metalurgice printr-o mai bună verificare a parametrilor structurali (impurități, dimensiunea grăunților, textura cristalografică). Pierderile de energie prin curenți turbionari sunt mai reduse la aliajul M400-65A datorită valorii mai mari a rezistivității electrice ( $\rho_{M400} = 47,7 \times 10^{-8} \Omega/m$ ), respectiv valorilor mai mici ale densității ( $\tau_{M400} = 7,25 \text{ g/m}^3$ ), comparativ cu cele determinate pentru aliajul M800-65A ( $\rho_{M800} = 30,8 \times 10^{-8} \Omega/m$ ,  $\tau_{M800} = 7,42 \text{ g/m}^3$ ).

- Tăierea cu laser sau cu fir pot constitui procedee alternative de luat în considerare de producători pentru debitarea tablelor electrotehnice. Procedura folosind jetul hidroabraziv a demonstrat că, deși timpul de tăiere este redus, ea conduce la o oxidare accelerată a tablei și induce tensiuni foarte mari, asociate cu existența bavurilor care au fost observate.

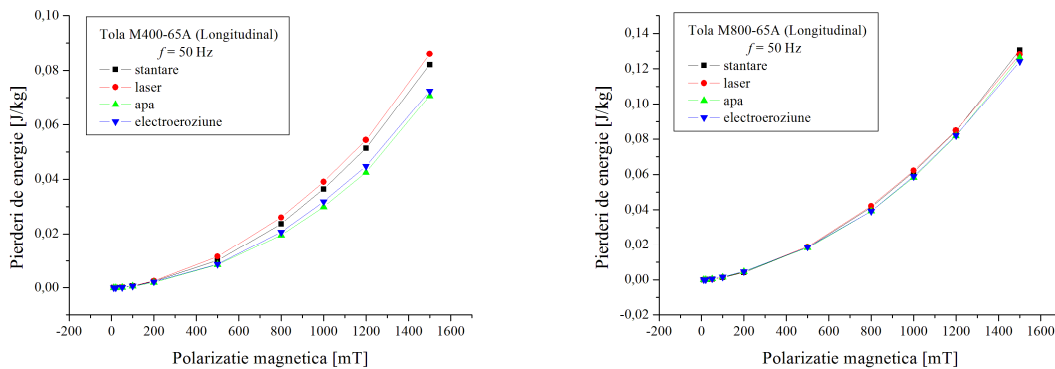


Fig. 5. Variația pierderilor de energie totale pentru eșantionul M400-65A (stânga), respectiv M800-65A (dreapta) la frecvența industrială  $f = 50 \text{ Hz}$ .

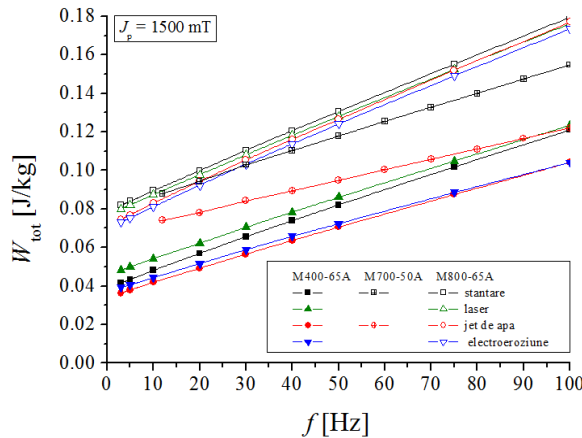


Fig.6. Pierderile totale de energie obținute în cazul celor trei tipuri industriale de oțel electrotehnic debitate prin șantare, laser, jet de apă și electroeroziune, în cazul polarizației magnetice de vârf  $J = 1500 \text{ mT}$ .



Funcționarea mașinilor electrice are loc la frecvența industrială  $f = 50$  Hz. În Fig. 5 se prezintă variația pierderilor de energie totale în funcție de polarizația magnetică în cazul tolei M400-65A, respectiv pentru tola M800-65A, pentru cele patru procedee de debitare a tolelor, la această frecvență, iar în Fig.6 se prezintă variația pierderilor totale de energie în cazul celor trei tipuri de tole, debitate prin cele patru procedee, la polarizația magnetică  $J = 1500$  mT.

Influența tehnologiei de tăiere este mai evidentă la aliajul M400-65A. Debitarea cu jet de apă determină obținerea unor tole cu cele mai reduse pierderi de energie, dar, dat fiind costul excesiv al metodelor de debitare a tolelor cu laser și jet de apă și timpul îndelungat necesar tăierii prin electroeroziune, procedeul tehnologic de ștanțare a tolelor a rămas pentru moment opțiunea producătorului de mașini electrice (patrenerul P2).

*Analiza influenței întinderii zonelor de tăiere a tolelor asupra pierderilor de energie.*  
 Pentru analiza influenței procedeei de debitare asupra pierderilor de energie s-a optat, în cazul ștanțării mecanice și al tăierii cu fir, pentru creșterea lungimii perimetrului ștanțat prin aplicarea de tăieri succesive, pe lungimea eșantionului, la diferite lățimi. În acest scop, tola de  $300 \times 30$  mm<sup>2</sup> a fost tăiată paralel cu direcția de laminare, în 2, 3, 4 și, respectiv, 6 eșantioane, de aceeași lungime și de lățime 15, 10, 7,5 și, respectiv, 5 mm, astfel încât, prin alăturarea eșantioanelor de aceeași lățime să fie refăcută proba standard de lățime 30 mm. Testarea a constat în variația polarizației magnetice  $J$  la frecvențe  $f$  cuprinse între 3 și 200 Hz, fiind realizată și separarea pierderilor prin procedeul prezentat anterior. În figurile 7-9 se prezintă variația cu frecvența a pierderilor totale de energie și a componentelor lor prin histerezis și în exces pentru cele două procedee, la polarizațiile magnetice de 1000 și 1500 mT.

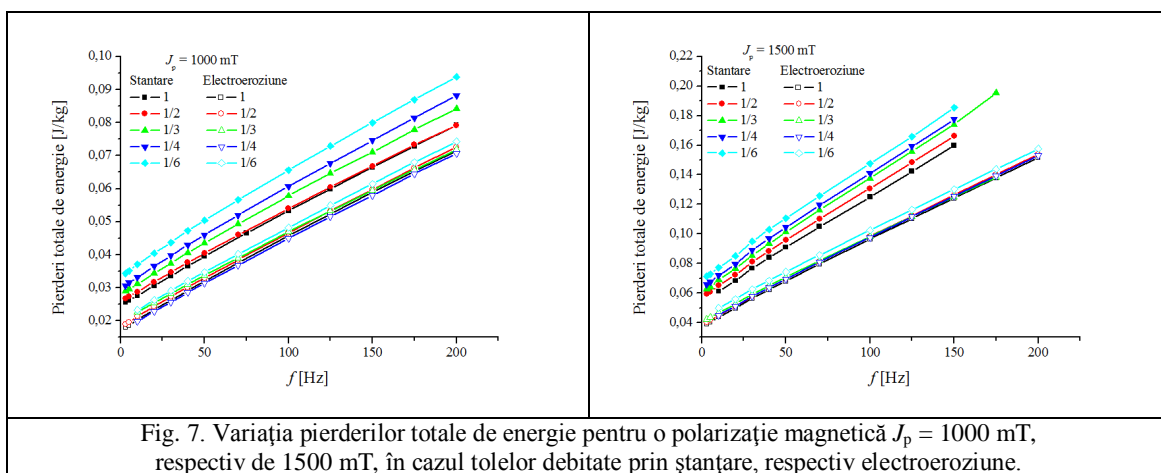


Fig. 7. Variația pierderilor totale de energie pentru o polarizație magnetică  $J_p = 1000$  mT, respectiv de 1500 mT, în cazul tolelor debitate prin ștanțare, respectiv electroeroziune.

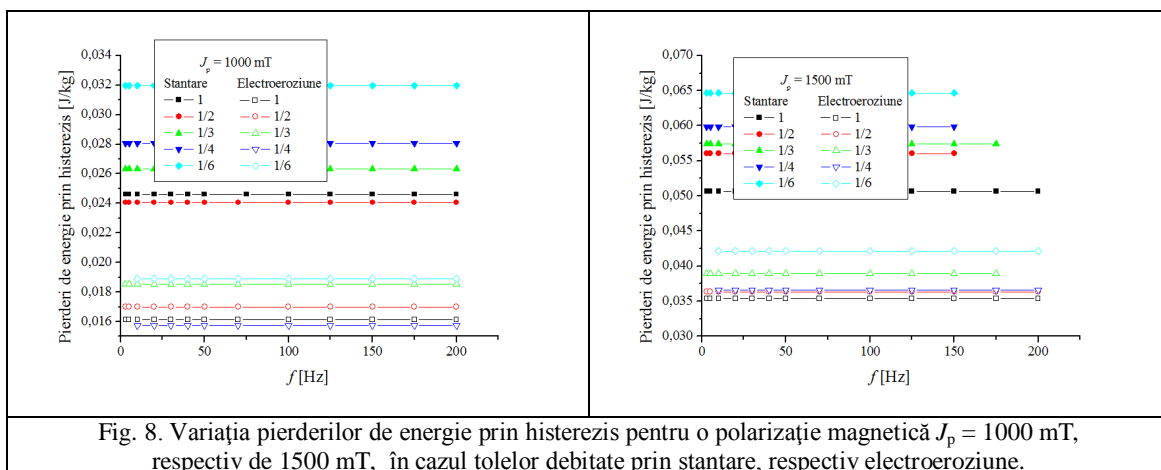


Fig. 8. Variația pierderilor de energie prin histerezis pentru o polarizație magnetică  $J_p = 1000$  mT, respectiv de 1500 mT, în cazul tolelor debitate prin ștanțare, respectiv electroeroziune.

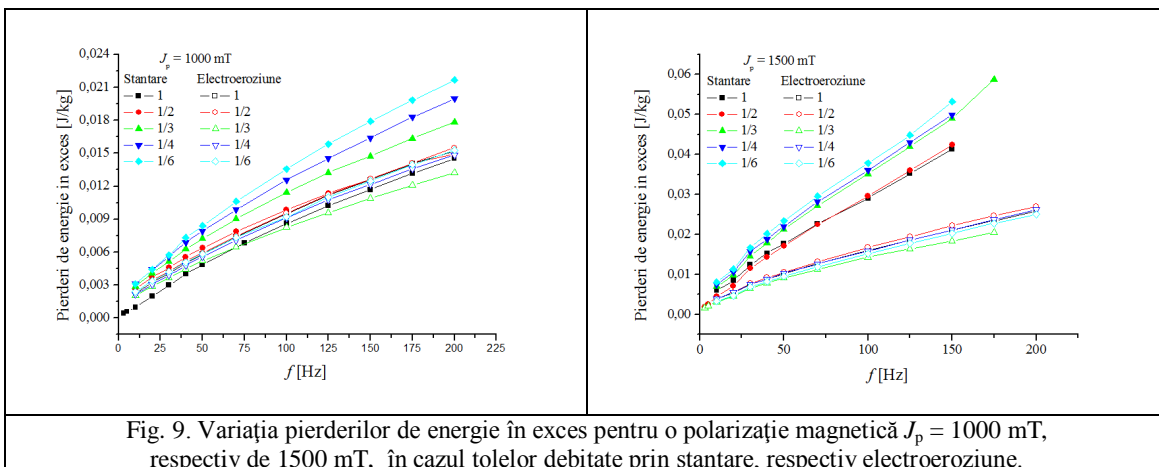


Fig. 9. Variația pierderilor de energie în exces pentru o polarizație magnetică  $J_p = 1000$  mT, respectiv de 1500 mT, în cazul tolelor debitate prin ștanțare, respectiv electroeroziune.

Rezultatele scot în evidență faptul că prelucrarea prin electroeroziune afectează mult mai puțin pierderile totale de energie decât prelucrarea prin ștanțare mecanică, ca urmare a unor modificări de mai mică anvergură ale structurii cristalografice și de domenii magnetice ale tolelor debitate. Concluzia este confirmată și de analiza întreprinsă privind ponderea celor trei categorii de pierderi (clasice, prin histerezis și, respectiv, în exces) pentru ambele tipuri de prelucrări, la diferite excitații și frecvențe.

În cazul polarizațiilor magnetice reduse (250 mT și 500 mT), curbele de variație a pierderilor de energie sunt puternic influențate de procedeul tehnologic de ștanțare mecanică, pierderile totale crescând o dată cu mărirea lungimii perimetrului ștanțat. La polarizații mari (1000 mT și 1500 mT), odată cu apropierea de saturație, diferențele dintre pierderile totale de energie măsurate în cazul celor 5 variante de ștanțare se reduc, deoarece la saturație permeabilitatea magnetică relativă a tolei tinde spre 1. În concluzie în domeniul polarizațiilor magnetice mari ștanțarea nu mai influențează semnificativ pierderile de energie.

În cazul debitării prin electroeroziune, variațiile cu frecvența ale pierderilor de energie totale au valori apropiate, indiferent de dimensiunea perimetrului debitat. În acest caz se produc modificări în structura cristalină a materialului în imediata apropiere a locului în care s-a produs electroeroziunea. Procedeul nu este atât de invaziv în comparație cu ștanțarea mecanică, de aceea pierderile prin histerezis sunt mai reduse.

În aceste condiții, **decizia privind tehnologia de debitare ce va fi folosită revine în întregime producătorului și este în totalitate de ordin economic.** Oricum, **rezultatele dovedesc că, printr-o proiectare adecvată, care ia corect în considerare datele rezultate din caracterizarea magnetică completă a tolelor folosite, și prin aplicarea îngrijită a condițiilor de lucru proprii procedeului ștanțării mecanice, se pot realiza chiar folosind această tehnologie motoare electrice asincrone trifazate care să se încadreze în clasa IE3.**

**Procedura de proiectare.** Procedura de proiectare dezvoltată a urmărit îmbunătățirea preciziei de determinare a randamentului motorului electric asincron, încă din faza de proiectare a sa, luând în considerare efectul pe care îl au diferitele modalități de tăiere a tolelor asupra proprietăților magnetice ale materialului din care sunt realizate tolele.

Metoda constă în determinarea pierderilor în fier în jugurile și dinții circuitului magnetic al motoarelor electrice asincrone pe baza unei metode matematice de interpolare polinomială aplicată unui set de date obținute prin măsurători experimentale. Setul de date conține valori ale pierderilor specifice ale tolelor de oțel electrotehnic din care este realizat motorul asincron. Metodele existente de proiectare ale motoarelor electrice asincrone neglijează efectul prelucrărilor mecanice asupra proprietăților magnetice ale tolelor de oțel electrotehnic utilizate la realizarea circuitului magnetic al motorului. Ca urmare, determinarea

pierderilor în fier se face fără a cunoaște efectul procesului de tăiere a tolelor asupra valorii pierderilor specifice în fier. În consecință, nu se poate aprecia, încă din faza de proiectare, efectul prelucrărilor mecanice asupra randamentului motorului.

Determinările experimentale au fost efectuate pe eșantioane ale tolelor tăiate utilizând un procedeu de tăiere identic cu cel utilizat pentru tolele motorului asincron pentru care urmează a fi făcută estimarea pierderilor în fier. Au fost utilizate eșantioane cu dimensiunile de 30 mm x 30 mm. Pentru a maximiza zona deformată a marginilor tăiate și prin aceasta efectul de tăiere, au mai fost necesare încă 4 eșantioane de lățimi de: 15, 10, 7,5 și 5 mm, obținute prin secționarea, prin același procedeu, a eșantioanelor de 300 mm x 30 mm. Determinările experimentale au fost realizate la frecvența de lucru a motorului asincron, pentru un set de 14 valori ale inducției magnetice cuprinse între 50 și 2000 mT, într-un domeniu de valori cât mai apropiat de domeniul în care inducția din circuitul magnetic al motorului asincron poate lua valori. Pierderile în fier în diferitele porțiuni (juguri și dinți) ale circuitului magnetic al motorului asincron se determină parcurgând următoarele etape:

- i) Se determină greutatea porțiunii (jug sau dinți) în funcție de dimensiunile circuitului magnetic și de greutatea specifică a materialului utilizat.
- ii) Se alege unul din cele 5 seturi de date corespunzătoare celor 5 eșantioane în funcție de lățimea porțiunii (jug sau dinți) circuitului magnetic. Notând cu  $d$  lățimea porțiunii de circuit magnetic, selectarea uneia dintre cele 5 coloane se va face astfel:

Domeniu de valori al lățimii porțiunii	Coloana care este selectată
$d \geq 22,5$ mm	<b>1</b> (eșantion de 30 mm)
$22,5$ mm $> d \geq 12,5$ mm	<b>2</b> (eșantion de 15 mm)
$12,5$ mm $> d \geq 8,75$ mm	<b>3</b> (eșantion de 10 mm)
$8,75$ mm $> d \geq 6,25$ mm	<b>4</b> (eșantion de 7,5 mm)
$6,25$ mm $> d$	<b>5</b> (eșantion de 5 mm)

Se determină pierderile specifice din porțiunea (jug sau dinți) circuitului magnetic utilizând o relație de interpolare Lagrange cu polinoame de gradul 2.

- iii) Se determină pierderile din porțiunea (jug sau dinți) circuitului magnetic prin produsul dintre greutatea porțiunii, obținută la punctul *i*), și pierderile specifice, obținute la punctul *iii*).
- iv) Se determină pierderile din porțiunea (jug sau dinți) circuitului magnetic prin produsul dintre greutatea porțiunii, obținută la punctul *i*), și pierderile specifice, obținute la punctul *iii*).

Procedura aplicată prezintă avantajul determinării cu precizie sporită a randamentului motorului asincron încă din faza de proiectare. Ca urmare, se poate aprecia posibilitatea încadrării motorului proiectat într-una din clasele de eficiență energetică definite prin standardul IEC 60034-30, în funcție de materialul utilizat pentru tole și în funcție de procedeu de tăiere al acestora. Spre exemplu, în cazul motorului asincron de 11 kW-1000 rot/min, pentru încadrarea în clasa de eficiență energetică IE3 randamentul motorului trebuie să fie cuprins în intervalul 88,8% - 90,3%, conform IEC 60034-1, Secțiunea 11.1 Toleranțe. Aplicarea metodei a dovedit că motorul realizat cu tablă M400-65, cu tole tăiate prin ștanțare, se încadrează în clasa IE3, deoarece valoarea randamentului obținut este: 88,89 (calculat) / 88,91% (măsurat). Spre exemplu, același motor realizat cu tabla M700-65, cu tole tăiate prin ștanțare, nu se încadrează în clasa IE3, deoarece valoarea randamentului obținut este: 88,13 (calculat) / 87,72% (măsurat).

S-a trecut apoi la proiectarea unui motor asincron trifazat în diferite variante privind geometria transversală și longitudinală a motorului, după care au fost executate cele două motoare din bandă magnetică din oțel cu grăunți neorientați laminata la rece, conform SR EN 10106: 7.5 kW-1000 rot/min și 11 kW-1000 rot/min. Înainte de execuția motoarelor s-a făcut

compararea teoretică a performanțelor lor cu programul MOCAP, întocmit de Universitatea Transilvania, adaptat și îmbunătățit conform descrierii de mai sus. În program, pentru calculul pierderilor în fier au fost folosite rezultatele măsurătorilor făcute de Universitatea Politehnica din București și ICPE-CA București. În tabelul de mai jos sunt prezentate sintetic rezultatele corespunzătoare folosirii eșantioanelor de tablă M400, M700 și M800, pregătite la EEM.

	7.5 kW- 1000 rot/min, M400	7.5 kW- 1000 rot/min, M700	7.5 kW- 1000 rot/min, M800	11 kW- 1000 rot/min, M400	11 kW- 1000 rot/min, M700	11 kW- 1000 rot/min, M800
Pierderi în fier	146.65	193.08	188.03	179.9	237.17	301
Randamentul	89.3	87.3	88.8	89.4	88.6	88.2

Ele dovedesc că numai în cazul folosirii sortului de tablă M400 motoarele corespund categoriei de randament IE3.

**Execuție și încercări.** După execuție, motoarele au fost încercate în laboratorul de motoare al EEM. 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.

Parametri/ Tip motor	7.5 kW- 1000 rot/min, M400	7.5 kW- 1000 rot/min, M700	7.5 kW- 1000 rot/min, M800	11 kW- 1000 rot/min, M400	11 kW- 1000 rot/min, M700	11 kW- 1000 rot/min, M800
$I_0$ - curent de gol	13.09	12.6	12.2	16.13	14.62	16.15
$P_0$ - putere în gol	516	580	593	548	639	670
$M_p/M_n$	2.51	2.24	2.27	2.2	1.94	2.3
$I_p/I_n$	5.26	6.52	6.52	4.8	6.2	6.2
$I_n$ - curentul nominal	19.15	18.9	18.96	26.1	25.9	26.9
$P_{cu}$ - pierderi în cupru	407	416	375	699	626	690
$P_{Fe}$ - pierderi în fier	279	359	349	188	418	240
$P_{al}$ - pierderi în aluminiu	312	280.8	260	400	528.3	390
$\eta$ - randament	87.55	86.8	87.19	88.91	86.86	87.8
$\cos\phi$	0.646	0.66	0.673	0.69	0.706	0.68
s - alunecare	3.98	3.63	3.3	3.45	4.55	3.2

Valorile nominale ale randamentului IE3 sunt conform IEC 60034-30, iar toleranțele la valoarea randamentului nominal sunt conform IEC 60034-1.

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

Pentru a verifica modul cum o ștanțare cu mai multe creștături (contur de tăiere mai mare) influențează pierderile în fier s-a mai efectuat următoarea experiență: s-au construit două motoare (MAAL71 0.25kW - 1000rot/min) cu număr de creștături diferite în rotor (33, respectiv 26). Același stator bobinat a fost montat cu două rotore cu număr diferit de creștături și s-au făcut încercări pe cele 2 motoare. S-a constatat că pierderile în fier (9 W) nu au fost afectate de numărul de creștături rotorice, randamentul având însă valori ușor diferite: 67,8% pentru cazul rotorului cu 33 creștături, respectiv 65,96% la rotorul cu 26 creștături.

Compararea teoretică și rezultatele încercărilor de laborator au demonstrat din nou că pentru obținerea randamentului corespunzător categoriei IE3, trebuie folosită obligatoriu tola M400, fiind demonstrată utilitatea prototipurilor executate cu acest tip de tablă.

S-au realizat specificația tehnică și Caietul de sarcini referitoare la Motoare electrice asincrone trifazate cu rotorul în scurtcircuit, construcție din aluminiu, complet închise cu ventilație exterioară, de eficiență sporită.

Tipul mașinii	MAL160M-IE3-42-6A	MAL160L-IE3-42-6B
P <sub>N</sub> -puterea nominală, kW	7.5	11
U <sub>N</sub> -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 <sub>p</sub> /M <sub>n</sub> -momentul de pornire/momentul nominal	2.3	2.2
I <sub>p</sub> /I <sub>n</sub> -curentul de pornire/curentul nominal	7.1	7.4
Gradul de protecție	IP55	IP55
Clasa de izolație	F	F

Acestea sunt mașini de uz general ce **Error! Reference source not found.**corespund prevederilor din prezenta specificație tehnică și unor prescripții 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: IEx; 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 <sub>N</sub> [kW]-n[rot/min]	B3
7.5-1000	MAL160M-IE3-42-6A
11-1000	MAL160L-IE3-42-6B

Serviciul normal de funcționare 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.

Rotorul și statorul sunt construite din tablă ferosilicioasă 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. Valorile și toleranțele pentru tensiunile și frecvențele nominale trebuie să

corespundă normei IEC38 sau comenzii beneficiarului. Motoarele se execută cu gradul de protecție IP54, IP55, IP56, conform SR CEI 60034-5. 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 trebuie supuse încercărilor de tip și de lot, conform STAS 1893, SR EN 60034-1, IEC 60034-2, 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.

Mașina electrică trebuie livrată cu documente minime, ce includ: 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.

În continuare prezentăm buletinele de încercări ale celor două motoare:

## TEST REPORT

1. Number: 01 -332-2014		Date : 17.10.2014		
2. Motor type: MA A1 160-6				
3. Features: IE3; tabla M400				
4. Customer:			Document number/Date:	
5. Tested in accordance to: STAS 1893:STAS 7246 : EN 60034 – 1				
<b>RATED SPECIFICATIONS</b>				
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		
<b>RESULTS OF TESTS</b>		<b>Forseen val</b>	<b>Measured val.</b>	<b>Conclusions</b>
1. Efficiency	$\eta$ [%]	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	Ip/In		5.01	
7. Slip	s [%]		3.7	
8. Stator winding temperature rise	$\Delta\theta_p$ [ °C ]	< 80	58	O.K.
11. Insulation	Riz[M $\Omega$ ]	> 0.5	700	O.K.
12. Stator winding resistance at 20 °C	Rp[ $\Omega$ ]		1.908	
13. Current	In [A]		19	
14. Input power	Pa [W]		8503	
19. Starting current	I sc [A]		95.3	

20. Starting losses	Psc [W]		28800	
21. No-load current	Io [A]		12.82	
22. No-load input power	Po[w]		526	
23. Motor body temperature	$\Delta\theta_{Fe}$ [°C]		---	
24. Cooling air temperature	$\theta_a$ [°C]		21	
<b>CONCLUSIONS:</b>				
		<b>O.K.</b> <input checked="" type="checkbox"/>	<b>NOT O.K.</b> <input type="checkbox"/>	
<b>QUALITY MANAGER</b> DIPL. ENG. FEJER PETER	<b>CHIEF DEPT.</b> DIPL. ENG. BARSAN HORIA	<b>CHECKED BY</b> DR. ENG. GAVRILA HORIA	<b>TEST ED BY:</b>	

## 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				
<b>RATED SPECIFICATIONS</b>				
1. Output power	Pu [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		
<b>RESULTS OF TESTS</b>		<b>Forseen val</b>	<b>Measured val.</b>	<b>Conclusions</b>
1. Efficiency	$\eta$ [%]	90.3 (lim=88.84)	89.4	O.K.
2. Power factor	$\cos \phi$		0.694	
3 Starting/rated torque	Mp/Mn		2.05	
4. Starting/rated current	Ip/In		4.5	
7. Slip	s [%]		3.3	
8. Stator winding temperature rise	$\Delta\theta_p$ [°C]	< 80	69	O.K.
11. Insulation	Riz[M $\Omega$ ]	> 0.5	700	O.K.
12. Stator winding resistance at 20 °C	Rp[ $\Omega$ ]		0.722	
13. Current	In [A]		25.75	
14. Input power	Pa [W]		12304	
19. Starting current	I sc [A]		116	
20. Starting losses	Psc [W]		39000	
21. No-load current	Io [A]		15.23	
22. No-load input power	Po[w]		509	
23. Motor body temperature	$\Delta\theta_{Fe}$ [°C]		---	
24. Cooling air temperature	$\theta_a$ [°C]		20	
<b>CONCLUSIONS:</b>				
		<b>O.K.</b> <input checked="" type="checkbox"/>	<b>NOT O.K.</b> <input type="checkbox"/>	
<b>QUALITY MANAGER</b> DIPL. ENG. FEJER PETER	<b>CHIEF DEPT.</b> DIPL. ENG. BARSAN HORIA	<b>CHECKED BY</b> DR. ENG. GAVRILA HORIA	<b>TESTED BY:</b>	

Principalele date privitoare la randament pentru cele două motoare, al căror 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	$\eta$ calculat	$\eta$ măsurat	$\eta$ 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

## Rezultate

În conformitate cu obiectivul principal și planul de realizare a proiectului, au fost executate două motoare electrice asincrone cu rotorul în colivie, din tablă magnetică cu grăunți neorientați laminată la rece, conform SR EN 10106: 7.5 kW-1000 rot/min și 11 kW-1000 rot/min. Motoarele trebuiau să se încadreze în clasa de eficiență energetică IE3.

**Obiectivul proiectului a fost integral realizat.** În acest scop s-a folosit o procedură originală de proiectare, în care au fost integrate rezultatele măsurătorilor de caracterizare magnetică completă a tolelor folosite la fabricarea circuitului magnetic al mașinii, ceea ce a permis predeterminarea cu acuratețe a pierderilor și randamentului motorului. Această procedură a făcut obiectul unui **brevet de invenție** deținut de OSIM.

Au fost folosite trei tipuri de tablă magnetică: M400-65, M700-65 și M800-65. Calitatea tablei influențează semnificativ valorile pierderilor și ale randamentului, rezultatele cele mai bune corespunzând tipului de toală M400. S-au executat prototipurile motoarelor, cele din tablă M400 în 2013, cele din M700 în 2015, iar cele din tablă M800 în 2014. După execuție, motoarele au fost încercate în laboratorul de motoare al partenerului P2. 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 tipul de tablă silicioasă folosită.



Fig.10. Motorul MAL160M-IE3-42-6A (7.5 kW – 1000 rot/min)





Fig.11. Motorul MAL160L-IE3-42-6B (11 kW – 1000 rot/min)



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

Cele două motoare executate și încercate sunt reprezentate în figurile 10 și 11.

Rezultatele prezentate mai sus, ca și studiile de fezabilitate și de fezabilitate realizate, au determinat beneficiarul (S.C. Electroprecizia Electrical Motors, partenerul P2) să treacă la reproiectarea și execuția întregii game de motoare electrice asincrone cu rotorul în scurtcircuit aflate în producția întreprinderii conform procedurii dezvoltate în cadrul proiectului, astfel încât acestea să se încadreze în clasa de eficiență energetică IE3.

### Diseminarea și valorificarea rezultatelor cercetării

Este vorba de o activitate extrem de bogată, la care au contribuit membri ai tuturor partenerilor din proiect. Astfel:

\* A fost creiată și permanent actualizată pagina Web a proiectului:

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

\* Au fost publicate (sau sunt în curs de publicare) numeroase articole și au fost susținute un număr însemnat de comunicări, cu deosebire la reuniuni științifice internaționale, numărul lor depășind mult prevederile inițiale.

Astfel, au fost publicate **21 articole, dintre care 12 în reviste cu cotare ISI**, alte câteva fiind în curs de publicare, și au fost susținute **31 comunicări** la reuniuni științifice internaționale.

\* La acestea se adaugă o propunere de brevet de invenție depusă la OSIM, care sintetizează contribuția majoră adusă prin proiect la modul de realizare a unor motoare electrice asincrone cu rotorul în colivie, care să se încadreze în clasa de eficiență IE3.