

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 V: Realizarea unor modele de mașini electrice a căror
eficiență energetică să corespundă standardelor internaționale,
ca efect al procedurilor propuse ca rezultat al proiectului**

Termen: 15 decembrie 2016

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

Activitatea V.1

Demonstrarea utilității prototipului realizat cu tola cea mai avantajoasă

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 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. Au fost folosite trei tipuri de tablă magnetică: M400-65, M700-65 și M800-65.

Înainte de execuția motoarelor s-a făcut comparația teoretică a performanțelor celor două motoare, folosind 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 M400 (în 2013), M700 (în 2015) și M800 (în 2014). Eșantioanele au fost pregătite la Electroprecizia S.A. Săcele (P2). Rezultatele calculelor sunt sintetizate în Tabelul 1.1.

Tabelul 1.1

	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

După cum se observă, calitatea tablei influențează semnificativ valorile pierderilor și ale randamentului, rezultatele cele mai bune corespunzând tipului de toală M400 și cele mai slabe tipului de toală M800.

Motoarele au fost apoi executate, 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 tabla silicioasă folosită. În Tabelul 1.2 sunt prezentate datele obținute:

Tabelul 1.2

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
η - 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

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 1.3.

Tabelul 1.3

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

S-a demonstrat astfel, atât teoretic cât 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 1.1 și 1.2.



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

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



Activitatea V.2

Studiu de fezabilitate pentru variantele de mașină electrică

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

Activitatea V.3

Studiu de fezabilitate pentru variantele de mașină electrică

Activitatea a fost realizată de echipa de lucru a partenerului:

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

Studiul de fezabilitate a fost realizat în colaborare de către toți participanții la proiect, rolul major avându-l evident partenerul P2 (S.C. Electroprecizia Electrical Motors S.R.L.), beneficiarul direct al rezultatelor proiectului, cu atât mai mult cu cât acestuia îi aparțin informațiile privind elementele manageriale, structura organizatorică și de producție și particularitățile proceselor tehnologice implicate.

Studiul de fezabilitate conține 15 pagini și este prezentat complet în Anexa A1, principalele sale componente fiind:

A. Datele de identificare a agentului economic beneficiar, *S.C. Electroprecizia Electrical Motors S.R.L.*

B. Conducerea și personalul firmei.

C. Descrierea activității curente. După prezentarea unui scurt istoric al întreprinderii, urmează:

- prezentarea produselor (certificări curente, tipuri de motoare standard și custom-made;
- prezentarea pieței de desfacere;

- capacitatea tehnică actuală, ceea ce include: descrierea fluxului tehnologic, particularitățile tehnologice corespunzătoare diferitelor componente ale unei mașini electrice (statorul, arborii, colivia rotor, rotoarele, carcasa și elementele accesorii; asamblarea).

D. Descrierea proiectului de cercetare.

Scopul proiectului de cercetare a fost definirea motoarelor de categorie de randament IE3 în vederea introducerii lor în fabricație. Conform IEC 60034-30, fabricarea motoarelor IE3 a devenit obligatorie de la 1.01.2016 pentru motoarele cu puterea nominală mai mare de 7.5 kW. Pentru motoarele cu puterea nominală mai mică decât 7.5 kW IE3 devine obligatorie de la 1.01.2017.

Au fost analizate buletinele de încercare a celor 30 de motoare existente în 2012 în fabricația S.C. Electroprecizia Electrical-Motors. În momentul începerii proiectului acestea erau de categorie de randament IE2, astfel încât s-au stabilit măsurile care trebuie luate pentru ca ele să devină de categorie de randament IE3.

Sunt succint enumerate fazele proiectului.

Se prezintă apoi succesiv:

- Planul de investiții;
- Produsele noi în curs de realizare;
- Piața potențială de desfacere;
- Strategia de marketing, cu componentele sale definitorii: strategia de preț, cea de distribuție și de promovare, strategia de produs;
- Capacitatea tehnică aferentă proiectului pentru fiecare din liniile de producere a componentelor unei mașini electrice;
- Impactul asupra mediului.

Activitatea V.4

Studiu de fezabilitate pentru variantele de mașină electrică

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

Activitatea V.5

Studiu de fezabilitate pentru variantele de mașină electrică

Activitatea a fost realizată de echipa de lucru a partenerului:

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

Și studiul de fezabilitate a fost realizat în colaborare de către toți participanții la proiect, rolul major avându-l din nou partenerul P2, care este beneficiarul direct al rezultatelor proiectului, cu atât mai mult cu cât îi aparțin informațiile complete privitoare la elementele manageriale, structura organizatorică și de producție și particularitățile proceselor tehnologice implicate.

Studiul de fezabilitate conține 75 pagini (Anexa A2), structura sa fiind în linii mari aceeași cu cea a Studiului de fezabilitate:

A. Datele de identificare a agentului economic beneficiar, S.C. *Electroprecizia Electrical Motors S.R.L.* De rândul acesta se mai prezintă detaliat și analiza situației economico-financiare a firmei, întrucât teoria și practica economică recomandă utilizarea unui sistem de indicatori valorici care să permită

cuantificarea unor aspecte definitorii privind aprecierea dimensiunilor activității întreprinderii, evaluarea rezultatelor și performanțelor sale comerciale. Astfel, se obține un ansamblu de caracteristici referitoare la diagnosticul firmei prin sistemul de rate: rate de rentabilitate – economică, financiară, comercială; rate de lichiditate – lichiditatea curentă și lichiditatea imediată; rate de activitate – rotația stocurilor, durata de încasare a creanțelor, durata de plată a furnizorilor; rate de solvabilitate – gradul de îndatorare și indicatorul privind acoperirea dobânzii.

Sunt prezentate structura bilanțului contabil și a contului de profit și pierderi ale Electroprecizia Electrical Motors S.R.L. (EEM) pentru exercițiile financiare 2014 și 2015. Datele arată că în ultimii doi ani s-a înregistrat o rată a rentabilității economice în scădere, în contextul actual al economiei românești, ceea ce demonstrează o scădere a eficienței activității desfășurate. În anul 2015, valoarea ratei de rentabilitate economică este mai mică decât cea aferentă exercițiului financiar precedent, datorită creșterii veniturilor și a cheltuielilor de exploatare, fapt ce se reflectă în evoluția rezultatului economic. Rata rentabilității financiare în 2015 are valori pozitive, iar exercițiul financiar al firmei s-a încheiat cu profit, ceea ce reprezintă o sursă importantă de finanțare a dezvoltării activității și evidențiază o activitate eficientă din punct de vedere al fructificării capitalurilor proprii. În general, valorile indicatorilor de control au valori ce exprimă o activitate susținută, dar și o viziune corectă și o politică prudentă a firmei.

B. Conducerea și personalul firmei. Sunt trecute în revistă politicile urmărite de întreprindere:

- *Politicile de mediu* (protecția calității apelor, protecția aerului, protecția împotriva zgomotului și vibrațiilor, protecția așezărilor umane și a altor obiective de interes public, gospodărirea deșeurilor), fiind identificate, în perspectiva investiției urmărite, sursele de poluanți și fiind prevăzute pentru fiecare măsuri pentru reducerea efectelor acestora și încadrarea lor în limitele stabilite de lege.

- *Dezvoltarea durabilă.* Prezentul proiect urmărește implementarea unor tehnologii “environmentally friendly and ecologically clean” și are ca rezultat introducerea în procesul de producție al firmei EEM de produse cu un consum redus de energie și nepoluante. Acestea vor folosi o cantitate mică de energie electrică și nu vor susține în niciun caz consumul de combustibili. În spiritul dezvoltării durabile, societatea va contribui la dezvoltarea și susținerea unui sector economic cu o valoare adăugată mare, care să genereze produse mai ieftine, de concepție 100% românească. Proiectul contribuie la Dezvoltarea Durabilă prin următoarele:

- propune un produs, care asigură o eficiență energetică concretă;
- asigură dezvoltarea unui sector economic considerat de valoare adăugată mare;
- asigură produse mai ieftine de o concepție 100% românească;
- asigură crearea unei baze de producție funcțională și sustenabilă.

Analizând în detaliu aspectele concrete ale dezvoltării durabile, se pot afirma următoarele:

Din punct de vedere economic proiectul stimulează economia de energie consumată a motoarelor electrice, raționalizează consumul de energie și micșorează pierderile la un nivel minim. Totodată, prin raționalizarea consumului de materie primă brută, datorită dotărilor moderne și aplicării unor tehnologii moderne de producție, se va obține o raționalizare a costurilor și eficientizarea activității curente, cu perspective foarte bune de piață.

Din punct de vedere social, proiectul răspunde integral cerințelor unui sistem durabil respectând echitatea în distribuție și oportunitate, servicii sociale adecvate, inclusiv sănătate și educație, egalitate de șanse între bărbați și femei, responsabilitate politică și participare.

Conducerea EEM a luat din timp măsuri în vederea respectării standardelor privind calitatea, protecția mediului și securitatea muncii în cadrul societății. Începând cu data de 31 Ianuarie 2010, EEM este certificată în managementul calității, conform standardului ISO 9001:2008, pentru activitatea sa curentă și anume: Fabricare și reparare de motoare, generatoare, pompe, polizoare și transformatoare electrice. Din 26 Inuarie 2010 firma a fost audiată și certificată, conform standardului ISO 14001:2004, pentru activitatea mai sus amintită, concomitent cu standardul OHSAS 18001:2007. Aceste certificate pot fi prezentate în copie, ca anexe la Studiul de Fezabilitate, pentru prezentul proiect.

C. Descrierea activității curente. Secțiunea debutează cu prezentarea istoricului întreprinderii. S.C Electroprecizia Electrical Motors S.R.L. (EEM) a fost înființată în anul 2009, odată cu inițierea procesului

de modulizare a societății mamă: S.C Electroprecizia S.A. Domeniul principal de activitate a societății, cu sediul social și capacitatea de producție la adresa: România, Săcele, Str. Parcului nr.18, bloc Hala 70, județul Brașov, este clasificat, conform nomenclatorului CAEN rev.2 – 2711, „Fabricarea motoarelor, generatoarelor și transformatoarelor electrice”. Misiunea companiei este aceea de a produce și furniza cu promptitudine și la cele mai înalte standarde de calitate serviciile și produsele pe care le comercializează cu succes: motoare electrice, generatoare electrice, echipament electric și produse auxiliare, toate aflate în permanentă dezvoltare. În prezent EEM este cel mai important producător de motoare electrice din România și din spațiul Central și Sud-Est European. Capacitatea de producție depășește 20.000 motoare / lună. Produsele societății sunt vândute în întreaga lume, preponderente fiind țările din Uniunea Europeană, dar și țări din Asia, Africa și din cele două Americi. Este un bun partener de afaceri atât pe piața internă, cât și pe cea internațională.

Firma se adresează pieței de aplicații electrice cu o gamă diversificată de produse:

Motoare standard: motoare electrice asincrone trifazate cu puteri între 0,06 și 18,5 kW; motoare electrice asincrone monofazate cu puteri între 0,09 și 2,4 kW, echipate cu condensator permanent și / sau de pornire; motoare cu două turații; motoare echipate cu frână electromagnetică de c.c.; motoare cu eficiență energetică standard (IE1) și ridicată (IE2), care însă vor evolua.

Motoare custom-made: motoare deschise, cărora le lipsesc părți componente exterioare; motoare cu capăt de arbore din oțel inoxidabil; motoare cu carcasă tip oală pentru pompe; motoare electrice cu caracteristici speciale, produse după specificațiile clienților;

Majoritatea produselor sunt realizate după proiecte de concepție proprie. Conducerea societății a acordat o atenție deosebită cercetării industriale și dezvoltării experimentale de noi tipuri de motoare cu caracteristici tehnice superioare, prietenoase cu mediul ambiant. În urma analizei privind tendințele pieței de mașini electrice, s-a decis abordarea cu prioritate a cercetării, proiectării și introducerii în fabricație a unui nou tip de motor, de clasă de eficiență energetică premium (IE3).

Pentru concretizarea acestei strategii, proiectul general a fost etapizat în două faze. Prima etapă a constat în realizarea prototipului pentru două motoare electrice, obiectiv al proiectului de cercetare de față, iar faza a doua va urmări implementarea și producția de serie a motoarelor IE3 în cadrul societății.

Studiul conține apoi o analiză detaliată a pieței actuale și de perspectivă a produselor firmei, în țară și în străinătate.

Principalul avantaj competitiv al firmei EEM constă în prețul propus pentru produsele comercializate. Calitatea motoarelor fabricate este excepțională și comparabilă cu cea oferită de principalii competitori. Prețurile oferite sunt reflectate de costurile operaționale și de întreținere ale societății. La acest capitol EEM se situează foarte bine, deoarece o parte din materia primă este asigurată prin contracte pe termen lung cu firme din România, dar și din afara țării.

Se face o analiză aprofundată a pieței interne și externe de motare electrice de tipul celor fabricate la EEM și a perspectivelor de evoluție a acesteia. În principiu, tendința de creștere a cererii observată încă din semestrul 2 al anului 2015 se menține și chiar se va accentua, cererea cea mai pronunțată fiind pentru motoarele electrice asincrone cu puteri de până la 7.5 kW.

Potențialul pieței europene de motoare electrice este considerat a fi de aproximativ 20 milioane motoare electrice / an, Germania și Italia fiind cele mai mari piețe. Piața din America are un potențial mult mai mare decât cea din Europa, fiind însă necesară o certificare specială (ULCSA) a EEM pentru a putea vinde pe această piață; piața din Japonia este de asemenea atractivă. Previzunile de vânzări de motoare electrice către clienții actuali și potențiali sunt estimate la valoarea de 381.000 de motoare /an pe perioada 2017 – 2018.

Potențialul pieței interne de motoare electrice este considerat a fi plafonat la valoarea de 50.000 de motoare electrice pentru perioada 2017 – 2018; EEM țintește creșterea cotei de piață pe acest orizont, cu aproximativ 16.700 de motoare/an. Tinta de vânzări de motoare electrice pentru 2017, pe piața internă, a fost revizuită în creștere, de la 19.000 inițial propuse la 23.000 de motoare electrice.

Principala concurență întâmpinată pe piața externă a Electroprecizia este reprezentată în marea ei majoritate de către cei mai mari producători la nivel mondial: ABB, Siemens, Emerson, ATB, VEM, Cantoni, Juli Motorenwerk, Laferti, fiecare din aceste firme fiind analizată în detaliu.

S-a făcut o descriere a strategiilor de marketing ale Electroprecizia Electrical Motors. Ținând cont de nivelul de activitate al segmentului de piață vizat și de poziția competițională a firmei EEM, s-a optat pentru un mix între o strategie investițională, combinată cu o strategie de creștere selectivă – evaluându-se atent abordarea sistematică a clienților. Acest lucru a permis o definire corectă a politicilor de produs, de consumator, de preț, de plasament și de promovare, precum și a strategiei de vânzare.

Capacitatea tehnică actuală. Caracteristicile specifice mașinilor electrice condiționează tehnologia lor de fabricație: gama largă de parametri tehnici: puteri, viteze de rotație, tensiuni, gabarite, greutate; un număr mare de elemente componente, care necesită procedee tehnologice diferite; un grad înalt de precizie al prelucrărilor în fabricație.

Este descris apoi amănunțit fluxul tehnologic de fabricație pentru un motor asincron cu rotorul în scurtcircuit:

- procesul tehnologic de fabricare a statorului bobinat;
- procesul tehnologic de fabricare a arborelui;
- procesul tehnologic de fabricare a colviei rotor;
- procesul tehnologic de fabricare a rotorului;
- procesul tehnologic de fabricare a carcaselor, scuturilor și a capacelor cutiei de borne;
- procesul tehnologic de vopsire în câmp electrostatic a reperelor de aluminiu și tablă;
- procesul tehnologic de fabricare a capotelor ventilator;
- tehnologia de asamblare a motoarelor electrice.

Toate operațiile se vor realiza în cadrul halei de producție, pe linia de montaj motoare.

Regimul de lucru actual: 249 zile/an, 1 schimb/zi, 8 ore/zi.

Sunt trecute apoi în revistă principalele mijloace fixe utilizate nemijlocit la realizarea motoarelor, disponibile în cadrul halei de producție pe linia de montaj motoare, dispuse pe mai multe linii de lucru:

- linia tole;
- linia stator împachetat;
- linia capote;
- linia carcase;
- linia rotoare și scuturi;
- linia bobinaj.

D. Descrierea proiectului de cercetare

Scopul proiectului de cercetare a fost definirea motoarelor de categorie de randament IE3 în vederea introducerii lor în fabricație. Conform IEC 60034-30, fabricarea motoarelor IE3 a devenit obligatorie de la 1.01.2016 pentru motoarele cu puterea nominală mai mare de 7.5 kW. Pentru motoarele cu puterea nominală mai mică decât 7.5 kW IE3 devine obligatorie de la 1.01.2017.

Valorile randamentelor pentru motoare IE3 sunt prezentate în tabelul următor:

P _N (kW)	2 poli	4 poli	6 poli
0.75	80.7	82.5	78.9
1.1	82.7	84.1	81
1.5	84.2	85.3	82.5
2.2	85.9	86.7	84.3
3	87.1	87.7	85.6
4	88.1	88.6	86.8
5.5	89.2	89.6	88
7.5	90.1	90.4	89.1
11	91.2	91.4	90.3
15	91.9	92.1	91.2
18.5	92.4	92.6	91.7
22.5	92.7	93	92.2
30	93.3	93.6	92.9

Conform cu planul de realizare a proiectului s-au parcurs cinci etape.

Etapa I, *Predeterminarea performanțelor mașinilor electrice din punctul de vedere al pierderilor magnetice pe baza recomandărilor cunoscute pe plan mondial*. Au fost analizate buletinele de încercare a celor 30 de motoare existente în 2012 în fabricația S.C. Electroprecizia Electrical-Motors. În momentul începerii proiectului acestea erau de categorie de randament IE2 și s-au stabilit măsurile care trebuie luate pentru a deveni de categorie de randament IE3. Concluziile au fost următoarele:

- Pierderile determină randamentul și încălzirea mașinii asincrone; reducerea lor va duce la mărirea randamentului și încadrarea în clasa de izolație **F**, folosită la toate motoarele studiate.

- Pentru încadrarea motoarelor în clasa IE3, *randament premium*, se va acționa pentru reducerea pierderilor în fier. Astfel, în locul tablei M800-65, care are pierderile specifice totale maxime la 50 Hz și 1.5 T de 8 W/kg, se va folosi tablă M400-65, la care aceste pierderi sunt de 4 W/kg, în aceleași condiții. Se vor executa toate motoarele IE2 din tablă de M400 și se va analiza valoarea randamentului obținut.

- Motoarele care sunt în clasa IE2 fără toleranță vor intra în clasa IE3 cu toleranță. Aceste motoare sunt: 1.1 kW-3000 rot/min, 1.5 kW-3000 rot/min; 2.2 kW-3000 rot/min; 3 kW-3000 rot/min; 4 kW-3000 rot/min; 4 kW-1500 rot/min.

- Motoarele care sunt în clasa IE2 cu toleranță, se vor apropia de clasa IE3, dar unele vor necesita și o reproiectare pe o lungime de fier mai mare, alături de execuția din tablă M400. Aceste motoare sunt: 0.75 kW-3000 rot/min, 5.5 kW-3000 rot/min; 7.5 kW-3000 rot/min; 11 kW-3000 rot/min, 15 kW-3000 rot/min; 0.75 kW-1500 rot/min; 1.1 kW-1500 rot/min; 1.5 kW-1500 rot/min; 2.2 kW-1500 rot/min; 3 kW-1500 rot/min; 5.5 kW-1500 rot/min; 7.5 kW-1500 rot/min; 11 kW-1500 rot/min.

- Motoarele care nu sunt în toleranța lui IE2 vor necesita reproiectarea pe o lungime de fier mai mare și execuție din tablă de M400. Aceste motoare sunt: 18.5 kW-3000rot/min; 15 kW-1500 rot/min; 0.75 kW-1000 rot/min; 5.5 kW-1000 rot/min; 11 kW-1000 rot/min.

În paralel cu analiza motoarelor IE2, s-au elaborat specimene cu diferite geometrii pentru tolele folosite la motoarele electrice de clasa IE3, utilizând diverse procedee tehnologice: ștanțarea mecanică, tăierea cu laser, tăierea cu jet de apă și tăierea prin elec5roerozuine, penru a determina care din aceste procedee tehnologice este mai avantajos din punctul de vedere al pierderilor în fier.

În etapa II-a *Utilizarea rezultatelor obținute pentru realizarea unor baze de date și proceduri de calcul specifice pentru fiecare tip de porțiune a circuitului magnetic*, au fost executate mai multe motoare din tablă magnetică din oțel cu grăunți neorientați laminată la rece M400-65, conform SR EN 10106.

După execuție, motoarele au fost încercate în laboratorul de motoare. La unele din motoare au trebuit executate mai multe variante, până când caracteristicile de funcționare au devenit corespunzătoare categoriei de randament IE3.

În etapa a III-a, *Realizarea unui prototip de eficiență sporită pe baza experiențelor din cadrul proiectului*, au fost executate două motoare din bandă magnetică din oțel cu grăunți neorientați laminata la rece M800-65, 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 celor două motoare cu programul MOCAP, întocmit de Universitatea Transilvania. În program, pentru calculul pierderilor în fier fiind folosite rezultatele măsurătorilor făcute de Universitatea Politehnica din București și ICPE-CA București pe eșantioanele de tablă M800 și M400. Eșantioanele au fost pregătite la EEM. Rezultatele calculului sunt sintetizate în tabelul de mai jos.

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

Astfel, la motorul de 7.5 kW-1000 rot/min pierderile în fier au crescut de la 146 W (cu tablă M400) la 188 W (cu tablă M800), iar randamentul a scăzut de la 89.4% la 88.8%. La motorul de 11 kW-1000 rot/min pierderile în fier au crescut de la 179.9 W (cu tablă M400) la 226.8 W (cu tablă M800), iar randamentul a scăzut de la 89.4% la 88.2%. Deci motoarele ce folosesc tabla M800 nu sunt de categorie de randament IE3.

După execuție, motoarele din tablă M800, au fost încercate în laboratorul de motoare, comparând apoi rezultatele cu cele obținute pentru motoarele realizate cu tabla M400. 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.

Parametrii/Tip motor	7.5 kW-1000 rot/min, tabla M400	7.5 kW-1000 rot/min, tabla M800	11 kW-1000 rot/min, tabla M400	11 kW-1000 rot/min, tabla M800
I ₀ -curent de gol	13.09	12.2	16.13	16.15
P ₀ -putere în gol	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	19.15	18.96	26.1	26.9
P _{cu} -pierderi în cupru	407	375	699	690
P _{Fe} -pierderi în fier	279	349	188	240
P _{al} -pierderi în aluminiu	312	260	400	390
η-	87.55	87.19	88.91	87.8
cosφ	0.646	0.673	0.69	0.68
S-alunecare	3.98	3.3	3.45	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	η _{IE3} % [Valoare nominala]	η _{IE3} % [Valoarea tolerata]
7.5 kW-1000 rot/min	89.1	87.46
11 kW-1000 rot/min	90.3	88.84

S-a demonstrat astfel, atât teoretic cât și practic, că pentru obținerea randamentului de categorie IE3 trebuie folosită tola executată din tablă de M400.

Tot în această fază, s-a prezentat modul de proiectare a celor două motoare care fac obiectul proiectului: 7.5 kW-1000 rot/min și 11 kW-1000 rot/min și s-a realizat și o specificație tehnică referitoare la Motoare electrice asincrone trifazate cu rotorul în scurtcircuit, construcție din aluminiu, complet închise cu ventilație exterioară, de eficiență sporită.

În etapa a IV-a, *Studiul posibilității de realizare a unei variante de prototip cu eficiență sporită pe baza experiențelor din cadrul proiectului*, s-a urmărit stabilirea modului cum se comportă motoarele cu datele de proiectare determinate la utilizarea unei table M700, cu calități intermediare între cele două tipuri menționate anterior.

Compararea teoretică și rezultatele încercărilor de laborator au demonstrat din nou, atât teoretic cât și practic, că pentru obținerea randamentului de categorie IE3, trebuie folosită în mod obligatoriu tola M400. În continuare a fost demonstrată utilitatea prototipului executat din tablă M400.

Această concluzie a fost folosită de EEM la realizarea seriei de motoare IE3.

Activitățile desfășurate în etapa V, *Realizarea unor modele de mașini electrice a căror eficiență energetică să corespundă standardelor internaționale, ca efect al aplicării procedurilor propuse ca rezultat al proiectului*, au cuprins întocmirea unui studiu de fezabilitate și depunerea unei propuneri de brevet de invenție. Motoarele IE3 au fost promovate prin participarea angajaților Electroprecizia-Electrical Motors la diverse târguri și expoziții.

Se prezintă apoi succesiv:

- Planul de investiții;
- Produsele noi în curs de realizare;
- Piața potențială de desfacere;

- Strategia de marketing, cu componentele: strategia de preț, cea de distribuție și de promovare, strategia de produs;
- Capacitatea tehnică aferentă proiectului pentru fiecare din liniile de producere a componentelor unei mașini electrice;
- Impactul asupra mediului.

Studiul de fezabilitate realizat dovedește convingător faptul ca investiția pusă în operă prin realizarea proiectului se va recupera într-un timp foarte scurt și anume în aproximativ 3 ani de zile.

Se poate astfel concluziona că Electroprecizia Electrical Motors a luat decizia corectă în vederea dezvoltării produselor IE3, atât pe termen scurt dar și pe termen lung.

Activitatea V.6

Diseminare finală

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

Activitatea V.7

Diseminare finală

Activitatea a fost realizată de echipa de lucru a partenerului:

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

Au fost integral realizate activitățile și obiectivele prevăzute în cadrul fazei V (2016) 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>

Este din nou vorba de o activitate la care au contribuit membri ai tuturor partenerilor din proiect. Subliniem de la început că este vorba de o activitate extrem de bogată, concretizată, la fel ca și în etapele precedente, prin numeroase articole publicate (multe în reviste cu cota ISI) și comunicări la diferite reuniuni științifice din țară și mai ales din străinătate.

Acestora li se adaugă o propunere de brevet 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.

* 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:

Hysteresis model and statistical interpretation of energy losses in non-oriented steels

Physica B: Condensed Matter 486C, pp.12-16 (2016):

doi:10.1016/j.physb.2015.09.004, 2015

2. Gheorghe PĂLTÂNEA, Veronica (MĂNESCU) PĂLTÂNEA, Horia GAVRILĂ, Andrei NICOLAIDE, Bogdan DUMITRESCU:

Comparison between magnetic industrial frequency properties of non-oriented FeSi alloys, cut by mechanical and water jet technologies

Rév.Roum.Sci.Techn. (Série Electrotechn.Energ.) **61**, nr.1, pp.26-31 (2016)

3. Laurentiu DUMITRU, **Veronica (MĂNESCU) PĂLTĂNEA, Gheorghe PĂLTĂNEA, Horia GAVRILĂ:**

Magnetocrystalline anisotropy in thin grain oriented silicon iron alloy cut through different technologies

Rév.Roum.Sci.Techn. (Série Electrotechn.Energ.) **61**, nr.3, pp.221-226 (2016)

4. **Horia GAVRILĂ, Doina GAVRILĂ:**

Patterned magnetic recording media – Issues and challenges

Mater. Res. Soc. Online Proceeding Library Archive 1817 (2016); DOI: 10.155/ opl.2016.41

5. **Lucian PETRESCU**, Emil CAZACU, Maria-Cătălina PETRESCU:

The nonlinear and unbalanced loads quantitative impact on neutral conductor current

Electrotehnica, Electronica, Automatica (EEA), **64**, no.1, pp.48-54 (2016)

6. Enzo FERRARA, **Veronica MĂNESCU (PĂLTĂNEA), Gheorghe PĂLTĂNEA, Horia GAVRILĂ**, Fausto FIORILLO:

Effect of punching and water-jet cutting methods on magnetization curve and energy losses of non-oriented magnetic steel sheets

Advanced in Magnetism (AIM 2016), March 14-16, 2016, Bormio, Italy

7. **Veronica MĂNESCU (PĂLTĂNEA), Gheorghe PĂLTĂNEA, Horia GAVRILĂ**, Dorina POPOVICI, Gabriel JIGA:

The influence of the cutting density on the magnetic properties of non-oriented electrical steels cut through mechanical punching and water jet technologies (e-Poster 110)

The 6th International Advances in Applied Physics and Material Science (APMAS 2016), 1-3 June 2016, Istanbul, Turkey

8. **Gheorghe PĂLTĂNEA, Veronica MĂNESCU (PĂLTĂNEA), Horia GAVRILĂ**, Dorina POPOVICI, Gelu IONESCU:

Magnetic anisotropy in grain oriented steels cut through mechanical punching and electroerosion technologies (e-Poster 112)

The 6th International Advances in Applied Physics and Material Science (APMAS 2016), 1-3 June 2016, Istanbul, Turkey

9 **Gheorghe PĂLTĂNEA, Veronica MĂNESCU (PĂLTĂNEA), Horia GAVRILĂ, Ioan PETER**, Dorina POPOVICI:

Magnetic property analysis in non-oriented silicon iron steels cut through water jet technology (ID 280)

International Symposium on Fundamental of Electrical Engineering, ISFEE 2016, June 30-July 02, 2016, Bucharest Romania

10. **Valentin IONIȚĂ, Lucian PETRESCU**, Emil CAZACU:

Influence of harmonics' initial phases on magnetic losses in non-oriented grains FeSi sheets (ID 431)

International Symposium on Fundamental of Electrical Engineering, ISFEE 2016, June 30-July 02, 2016, Bucharest Romania

11. **Horia GAVRILĂ, Doina GAVRILĂ:**

Coupled granular/continuous media – Results and challenges (SA.7-O015)

The XXV International Materials Research Congress (IMRC 2016), 14-19 august 2016, Cancun, Mexic

- acceptat spre publicare în Mater. Res. Soc. Proceeding Library

12. **Horia GAVRILĂ, Veronica MĂNESCU (PĂLTĂNEA), Gheorghe PĂLTĂNEA, Doina GAVRILĂ:**

Magnetic properties of non-oriented silicon iron strips degraded by mechanical cutting at 50 Hz (SB.3-P003)

The XXV International Materials Research Congress (IMRC 2016), 14-19 august 2016, Cancun, Mexic

13. Horia GAVRILĂ, Veronica MĂNESCU (PĂLTANEA), Gheorghe PĂLTANEA, Gheorghe SCUTARU, Ioan PETER:

New trends in energy efficient electrical machines

The 10th International Conference “Interdisciplinarity in Engineering” (INTER-ENG 2016), 6-7 October 20-16, “Petru Maior” Univ., Târgu Mureș, România

- acceptat spre publicare în *Procedia Engineering* (Elsevier)

14. Veronica MĂNESCU (PĂLTANEA), Gheorghe PĂLTANEA, Horia GAVRILĂ, Gelu IONESCU:

Comparative analysis of different pointwise identification techniques, used in scalar Preisach model (O.1.5)

The 5th International Colloquium “Physics of Materials” (PM5), 10-11 November 2016, University “Politehnica” of Buchaest, Romania

15. Gheorghe SCUTARU, Horia GAVRILĂ, Ioan PETER:

A method to estimate the effect of cutting process on iron losses

IEEE 7th Power India International Conference 2016 (PIICON), 25-27 November 2016, Bikaner, Rajasthan, India

La acestea vine să se adauge propunerea de brevet depusă la OSIM, la data de 11/05/2016, cu numărul de înregistrare A/00335, cu titlul: ”Metodă de estimare a efectului modului de tăiere a tolelor asupra pierderilor în fier ale mașinilor electrice” (Anexa A4.1). Titularul brevetului este patrenerul P2, beneficiarul rezultatelor proiectului, în acord cu prevederile contractului.

Descrierea completă a propunerii de brevet figurează în anexa A4.2. Scopul invenției este îmbunătățirea preciziei de determinare a randamentului motoarelor electrice asincrone, încă din faza de proiectare a acestora, luând în considerate efectul pe care îl au diferitele modalități de tăiere a tolelor asupra proprietăților magnetice ale materialului din care sunt realizate tolele. În rezumat, conținutul propunerii este următorul.

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 al 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 sunt 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. Determinările experimentale sunt realizate la frecvența de lucru a motorului asincron, pentru un set de minim 10 valori ale inducției magnetice aflate într-un domeniu de valori cât mai apropiat de domeniul în care inducția magnetică din circuitul magnetic al motorului asincron poate lua valori.

Sunt utilizate eșantioane cu dimensiunile de 30 mm x 30 mm. Pentru a maximiza zona deformată a marginilor tăiate și prin aceasta efectul de tăiere, mai sunt necesare în plus 4 eșantioane de lățimi de: 15, 10, 7,5 și 5 mm, prin secționarea, prin același procedeu, a eșantioanelor de 30 x 30 mm. Determinările experimentale sunt realizate la frecvența de lucru a motorului asincron, pentru un set de minim 10 valori ale inducției magnetice aflate într-un domeniu de valori cât mai apropiat de domeniul în care inducția magnetică 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	1 (eșantion de 30 mm)
$22,5$ mm $> d \geq 12,5$ mm	2 (eșantion de 15 mm)
$12,5$ mm $> d \geq 8,75$ mm	3 (eșantion de 10 mm)
$8,75$ mm $> d \geq 6,25$ mm	4 (eșantion de 7,5 mm)
$6,25$ mm $> d$	5 (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*).

Invenția prezintă avantajul determinării cu precizie sporită a randamentului motorului asincron încă din faza de proiectare. Ca urmare, este posibilă aprecierea posibilității 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 procedeul de tăiere al acestora.

Metoda a fost utilizată pentru a examina posibilitatea încadrării în clasa de eficiență energetică IE3 a motorului asincron de 11 kW / 1000 rot/min. Pentru clasa IE3 randamentul motorului trebuie să fie cuprins în intervalul 88,8% - 90,3%, conform IEC 60034-1, Secțiunea 11.1 Toleranțe. Aplicarea metodei a permis concluzia 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).