

## **PROGRAM PNIII – BRIDGE GRANT**

**COD PROIECT: PN-III-P2-2.1-BG-2016-0164**

**NR. CONTRACT FINANȚARE: 68BG/2016**

**TITLUL PROIECTULUI: *Sistem electrotermic bazat pe conversia energiilor solară și eoliană***

**DURATA PROIECTULUI: 01.10.2016 – 31.03.2018 (18 LUNI)**

### **RAPORT ȘTIINȚIFIC ȘI TEHNIC (RST)**

**ETAPA DE EXECUȚIE NR. III/2018**

**TITLU ETAPĂ: *Asamblarea și testarea modelului experimental al sistemului HEFVT. Elaborarea documentației tehnice***

## CUPRINS

<b>1. OBIECTIVELE GENERALE ALE PROIECTULUI .....</b>	<b>3</b>
<b>2. OBIECTIVELE ETAPEI DE EXECUȚIE.....</b>	<b>3</b>
<b>3. REZUMATUL ETAPEI DE EXECUȚIE.....</b>	<b>3</b>
<b>4. DESCRIEREA ȘTIINȚIFICĂ ȘI TEHNICĂ .....</b>	<b>4</b>
<b>5. REZULTATE OBȚINUTE ÎN CADRUL ETAPEI CURENTE .....</b>	<b>8</b>
<b>6. CONCLUZII.....</b>	<b>9</b>
<b>7. BIBLIOGRAFIE .....</b>	<b>9</b>

## 1. OBIECTIVELE GENERALE ALE PROIECTULUI

Obiectivul general al proiectului WINDSOL constă în dezvoltarea unui model experimental de laborator al unui sistem de conversie a energiilor eoliană și solară simultan în electricitate și în căldură, sistemul studiat fiind denumit *Sistem Hibrid Eolian Foto-Voltaic Termic (HEFVT)*.

## 2. OBIECTIVELE ETAPEI DE EXECUȚIE

Obiectivele specifice ale *Etapei III de execuție* a proiectului WINDSOL sunt următoarele:

- asamblarea sistemului HEFVT,
- realizarea standului destinat măsurătorilor experimentale și a sistemului de achiziții de date,
- testarea Generatorului Eolian Electro-Termic (GEET), a Panoului Foto-Voltaic Termic (PFVT) și a caracteristicilor și performanțelor lor specifice,
- elaborarea documentației tehnice ale sistemului HEFVT,
- diseminarea rezultatelor cercetării.

## 3. REZUMATUL ETAPEI DE EXECUȚIE

*Etapa a III-a de execuție* a proiectului WINDSOL, conform planului de realizare, include 2 activități specifice și vizează în principal asamblarea și testarea sistemului HEFVT pe un stand experimental, elaborarea documentației tehnice aferente, respectiv diseminarea rezultatelor cercetării.

*Activitatea III.1. Asamblarea și testarea modelului funcțional al sistemului HEFVT.* Această activitate a fost realizată integral și a presupus: asamblarea sistemului HEFVT alcătuit din părțile sale componente specifice (GEET, PFVT, sistem de comandă și de gestiune a energiei), implementarea standului experimental și a sistemului de achiziții de date, testarea experimentală a sistemului și determinarea caracteristicilor și performanțelor sale specifice.

După realizarea standului experimental și implementarea sistemului de achiziții de date specializat, s-au determinat prin măsurători specifice diverse mărimi fizice importante, respectiv performanțe și caracteristici de funcționare ale sistemului HEFVT, precum:

- caracteristica tensiune - turație, caracteristica externă, randamentul, formele de undă ale curenților și tensiunilor și conținutul lor armonici (pentru GEET),
- caracteristica curent - tensiune, caracteristica putere - tensiune, randamentul, formele de undă ale curenților și tensiunilor (pentru PFVT).

*Activitatea III.2. Elaborarea documentației tehnice aferente sistemului HEFVT.* Această activitate a fost realizată integral, în cadrul ei fiind elaborată documentația tehnică aferentă sistemului studiat, în care s-au definit principalele datele tehnice de natură geometrică, mecanică, electrică și termică ale GEET, ale PFVT și ale sistemului de gestiune a energiei. Tot în cadrul acestei activități s-au diseminat rezultatele cercetării prin elaborarea *unui articol științific* trimis spre publicare la revista indexată ISI Thomson Revue Roumaine des Sciences Techniques - Serie Electrotechnique et Energetique [1], respectiv prin participare cu o contribuție originală la *Expoziția de Invenții și Inovații* organizată pe 12 martie 2018, în București, cu ocazia evenimentului intitulat „100 de ani de invenție românească” [2]: [1] Tudorache T., Bostan V.: *Numerical Analysis of a Grid Tie Counter-Rotating Wind Turbine*, Revue Roumaine des Sciences Techniques - Serie Electrotechnique et Energetique, (în curs de recenzie la revista indexată ISI Thomson).

[2] CBI A00169/2017, "*Generator electrotermic rotativ cu magneți permanenți cu flux radial*", Autori: Tiberiu Tudorache (UPB), Mihail Predescu (AEOLUS).

## 4. DESCRIEREA ȘTIINȚIFICĂ ȘI TEHNICĂ

### 4.1. Prezentarea succintă a soluției studiate în cadrul proiectului

Proiectul WINDSOL propune o soluție tehnică specială de conversie a energiilor *solară* și *eoliană* simultan în *electricitate* și în *căldură*, la randamente superioare sistemelor clasice de conversie. Sistemul studiat este denumit *Sistem Hibrid Eolian Foto-Voltaic Termic (HEFVT)* și este alcătuit în principal dintr-un *Generator Eolian Electro-Termic (GEET)*, dintr-un *Panou Foto-Voltaic-Termic (PFVT)* echipat cu elemente de concentrare a energiei solare, *respectiv dintr-un sistem de gestiune a energiei*. Mai multe detalii despre principiul sistemului HEFVT sunt descrise în rapoartele științifice ale etapelor anterioare de execuție ale proiectului [3 - 4].

### 4.2. Asamblarea sistemului HEFVT și realizarea standului experimental

În urma asamblării părților componente ale sistemului HEFVT realizate în etapa anterioară a proiectului, [3 - 4] s-a construit standul necesar efectuării măsurătorilor experimentale de laborator și caracterizării soluției tehnice studiate.

Întrucât sistemul HEFVT este alcătuit practic din *două sub-sisteme* (unul *eolian* și altul *fotovoltaic-termic*) fără o interdependență strictă între ele, testarea echipamentului s-a efectuat pe *sub-sisteme*.

O vedere de ansamblu a standului realizat pentru determinări experimentale aferente GEET este prezentată în Fig. 1. În această figură sunt evidențiate următoarele elemente componente principale: motor asincron și reductor (*model Motovario*) necesare antrenării GEET, traductor de cuplu și turație (*model KTC Dataflex 32/300*), GEET supus testelor, respectiv sistem de gestiune a energiei.

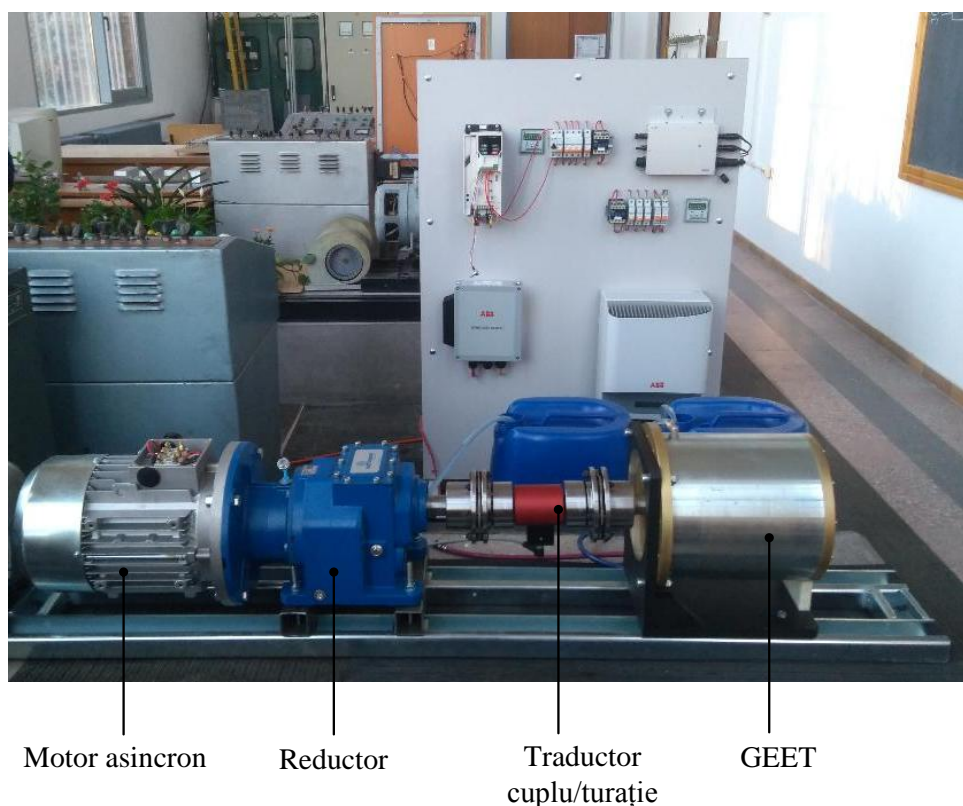


Fig. 1. Vedere de ansamblu a standului experimental utilizat pentru pentru determinarea performanțelor GEET.

Pentru testarea experimentală a PFVT echipat cu concentratoare solare s-a utilizat un stand format din panoul propriu-zis, respectiv din sistemul de gestiune a energiei, Fig. 2.

În Fig. 1 și 2 nu este evidențiat sistemul de pompare integrat în structura de reglare a temperaturii și debitului.



Fig. 2. Stand experimental utilizat pentru determinarea performanțelor PFVT.

#### 4.3. Testarea modelului experimental al GEET și a sistemului de gestiune a energiei

Pentru determinarea performanțelor și a principalelor caracteristici de funcționare ale sistemului HEFVT și ale sistemului aferent de gestiune a energiei s-a efectuat o serie de măsurători experimentale utilizând senzori și traductoare, aparate de măsură, respectiv instrumente și sisteme de achiziție de date precum: senzori de temperatură de tip termocuplu tip K, traductoare de curent și de tensiune de tip LEM (LTS-6NP, LTSR15-NP, LTS25-NP, LV-20P), traductoare de curent Fluke i310s, osciloscopice electronice digitale Tektronix modele TDS 2014 și THS3014, analizor de rețea Chauvin Arnoux C.A. 8334, traductor de cuplu tip KTR Dataflex 32/300 etc.

Sistemul HEFVT studiat fiind alcătuit practic din două sub-sisteme (*eolian și solar*) fără o legătură obligatorie între ele, testarea sistemului s-a efectuat pe sub-sisteme, în mod independent.

*Testarea sub-sistemului eolian.* Măsurătorile experimentale efectuate au permis determinarea caracteristicilor de funcționare și performanțelor GEET funcționând atât pe rețea proprie cât și cuplat la rețea prin intermediul unui grup redresor-invertor. Câteva exemple de caracteristici și performanțe determinate experimental sunt prezentate mai jos:

- caracteristica *tensiune linie - turație* [ $U = f(n)$ ,  $I = 0$ ], Fig. 3;
- caracteristica *externă* [ $U = f(I)$ ,  $n = 180$  rpm și  $\cos \varphi = ct.$ ] pentru sarcină R, Fig. 4;
- randamentul nominal global al GEET.

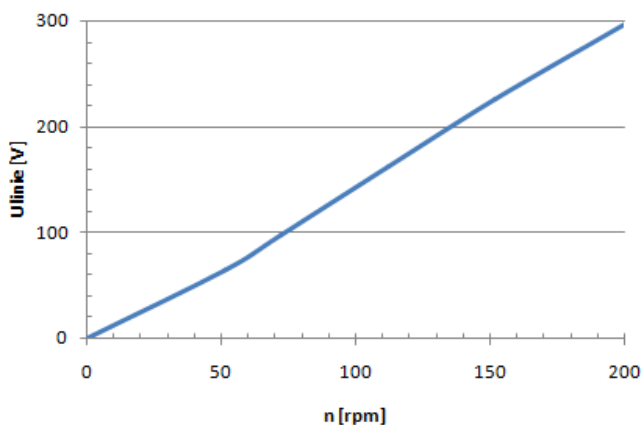


Fig. 3. Caracteristica *tensiune - turație* a GEET.

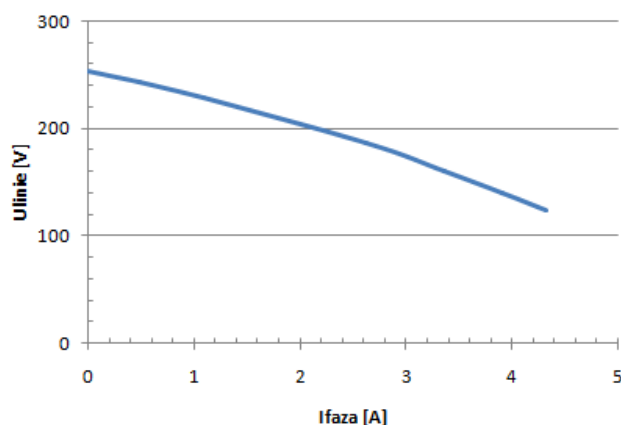


Fig. 4. Caracteristica *externă* pentru sarcină rezistivă.

Analizând rezultatele, se observă în Fig. 3 că tensiunea de linie la mers în gol electric crește practic liniar cu turația GEET. În Fig. 4 se observă alura căzătoare a caracteristicii externe a mașinii, tensiunea de linie scăzând cu circa 37 % de la gol la sarcină rezistivă nominală.

Randamentul GEET (funcționând pe rețea proprie) s-a determinat experimental folosind relația de calcul de mai jos:

$$\eta_{\text{GEET}} = 100 \cdot (P_{\text{el}} + P_{\text{th}}) / (P_{\text{mec}} + P_{\text{p}}), \quad (1)$$

unde  $P_{\text{el}}$  este puterea activă utilă produsă de GEET,  $P_{\text{th}}$  este puterea termică a GEET,  $P_{\text{mec}}$  este puterea mecanică primită de GEET de la motorul de antrenare, iar  $P_{\text{p}}$  este puterea electrică absorbită de sistemul de pompare.

S-au efectuat seturi de măsurători în jurul punctului nominal de funcționare al GEET și s-au determinat următoarele valori medii aproximative ale puterilor pentru sarcină rezistivă:  $P_{\text{el}} = 917 \text{ W}$ ,  $P_{\text{th}} = 1382 \text{ W}$ , iar  $P_{\text{mec}} = 2521 \text{ W}$ . Valoarea randamentului nominal rezultat este:  $\eta_{\text{GEET}} = 91,2 \%$ .

*Testarea sub-sistemului foto-voltaic termic.* Măsurătorile experimentale au avut ca obiectiv determinarea caracteristicilor de funcționare și a performanțelor PFVT echipat cu sistem de gestiune a energiei, respectiv cu elemente de concentrare a radiației solare. S-a realizat de asemenea și o comparație cu panoul funcționând ca unul FV clasic (fără recuperarea energiei termice și fără oglinzi).

Mai jos sunt prezentate câteva exemple de caracteristici și performanțe determinate experimental ale PFVT în variantele cu, respectiv fără oglinzi:

- caracteristica *curent - tensiune* [ $I = f(U)$ ], Fig. 5;
- caracteristica *putere - tensiune* [ $P = f(U)$ ], Fig. 6;
- randamentul global al PFVT.

În Fig. 5 și 6 se prezintă caracteristicile *curent - tensiune*, respectiv *putere - tensiune* ale PFVT echipat cu oglinzi (2 oglinzi, fiecare de câte  $1,32 \text{ m}^2 = 0,8 \text{ m} \times 1,65 \text{ m}$ ), în comparație cu graficele obținute pentru PFVT fără oglinzi. Se observă că în condiții meteo similare, puterea electrică furnizată de panoul echipat cu oglinzi este superioară în raport cu cea generată de un panou FV normal. Pentru aceste măsurători nu s-a alimentat sistemul de răcire al panoului solar.

Aportul suplimentar de putere al oglinzilor în punctul optim de funcționare este de circa 20 %. Trebuie menționat faptul că măsurătorile au fost efectuate în luna martie, pentru o anumită poziție a PFVT și a oglinzilor în raport cu poziția Soarelui, respectiv pentru anumite condiții meteo (temperatura atmosferică  $T_a \approx 17 \text{ }^\circ\text{C}$ , iradianța solară  $G \approx 920 \text{ W/m}^2$ ). Dacă măsurătorile se repetă în alte condiții meteo sau pentru alte poziții relative panou - Soare, rezultate ar putea fi diferite.



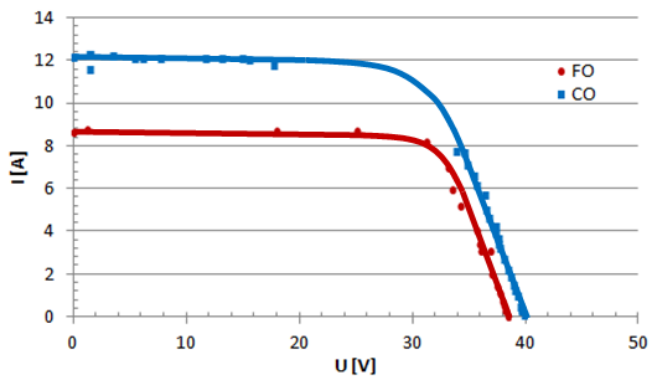


Fig. 5. Caracteristica *curent - tensiune* a PFVT cu oglinzi (CO) și fără oglinzi (FO).

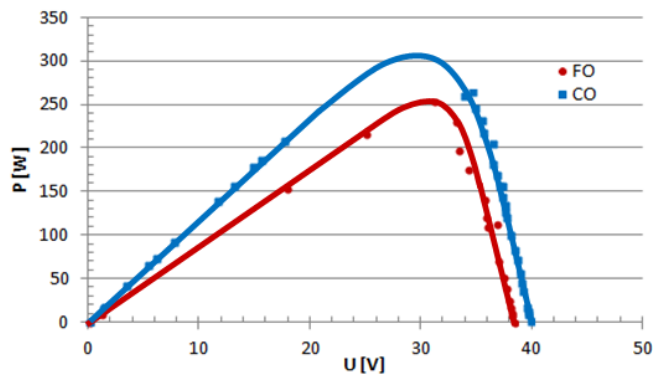


Fig. 6. Caracteristica *putere - tensiune* a PFVT cu oglinzi (CO) și fără oglinzi (FO).

*Determinarea randamentului PFVT.* Randamentul PFVT echipat cu oglinzi și sistem de răcire s-a determinat cu ajutorul relației de calcul de mai jos:

$$\eta_{PFVTO} = 100 \cdot (P_{el} + P_{th}) / (P_S + P_p), \quad (3)$$

unde:  $P_{el}$  este puterea activă produsă de PFVT,  $P_{th}$  este puterea termică a PFVT,  $P_p$  este puterea absorbită de sistemul de pompare,  $P_S$  este puterea totală primită de la Soare (exclusiv pe suprafața PFVT, fără oglinzi).

În urma măsurătorilor experimentale efectuate asupra PVFT echipat cu oglinzi pe suport de sticlă (acestea fiind eficiente și rezistente la zgârieturi) și sistem de răcire, s-au determinat următoarele valori ale puterilor (pentru panou echipat cu MPPT = Maximum Power Point Tracker):  $P_{el} = 333,86$  W,  $P_{th} = 1038$  W,  $P_p \approx 25$  W,  $P_S \approx 1719,38$  W. Astfel, valoarea randamentului rezultat al PFVT echipat cu oglinzi va fi:  $\eta_{PFVTO} = 100 \cdot 1371,86 / 1744,38 = 78,64$  %. Dacă se ia în considerare în calculul randamentului și radiația luminoasă primită de la Soare la nivelul oglinzilor, randamentul global al panoului va fi mai redus ( $P_S$  în (3) va crește).

În varianta PFV clasic, fără oglinzi și fără sistem de recuperare a energiei termice s-au determinat următoarele valori ale puterilor (pentru panou echipat cu MPPT = Maximum Power Point Tracker):  $P_{el} = 253,38$  W,  $P_S = 1719,38$  W. Randamentul pentru această configurație de panou va fi  $\eta_{PFV} = 100 \cdot 253,38 / 1719,38 = 14,74$  %.

Comparând valorile randamentului obținute mai sus, determinate în condiții meteo similare, se observă că prin echiparea unui PFV clasic cu elemente de concentrare a radiației solare și sistem de recuperare a energiei termice, randamentul său global crește de circa 5,34 ori. Este de așteptat ca pe timp de vară, puterea termică furnizată de PFVT să fie mai mare și randamentul global al sistemului să crească mai mult.

În cadrul SC AEOLUS Energy International s-au testat pe durata proiectului și alte configurații de PFV echipate cu elemente de concentrare a radiației solare cu suport de tablă, acestea fiind mai robuste mecanic, dar mai ineficiente energetic decât oglinzile din sticlă.

#### 4.6. Specificații tehnice ale sistemului HEFVT. Diseminarea rezultatelor cercetării

Datele tehnice ale componentelor principale ale sistemului HEFVT sunt furnizate mai jos:

- *Date tehnice GEET:*
  - Puterea totală nominală (electrică și termică):  $P_n = 2300$  W,
  - Puterea electrică nominală:  $P_{el} = 920$  W (sarcină rezistivă),
  - Puterea termică nominală:  $P_{th} = 1380$  W,
  - Tensiunea nominală de linie:  $U_n = 150$  V (conexiune Y),

- Curent nominal linie/fază:  $I_n = 3,55 \text{ A}$ ,
- Turație nominală: 180 rpm,
- Lungime axială (fără extensie arbore și suport prindere): 290 mm
- Diametru exterior de gabarit (fără suport prindere):  $\Phi 265 \text{ mm}$ .
- *Date tehnice estimate panou FVT echipat cu oglinzi, la  $T = 25^\circ\text{C}$ , iradianță solară de  $1000 \text{ W/m}^2$ , AM 1.5 (STC):*
  - Putere totală nominală: 1410 W
  - Putere electrică nominală: 360 W
  - Putere termică nominală: 1050 W
  - Curent nominal: 11,2 A
  - Tensiune nominală: 32,2 V
  - Suprafață utilă panou/oglinzi:  $1,86 \text{ m}^2/1,32 \text{ m}^2$
  - Tehnologie utilizată în construcția panoului: policristalină

Puterea totală nominală a componentelor sistemului HEFVT estimată în condiții standard de testare a panourilor FV (Standard Test Conditions - STC) este de circa 3710 W. Dacă din puterea totală se scad pierderile în convertoarele electronice, în sistemul de pompare, respectiv pierderile de căldură pe circuitul termic (dependente de distanța dintre sistem și utilizatorul final), puterea utilă totală a sistemului HEFVT va rămâne superioară valorii impuse de 3 kW.

O parte a rezultatelor cercetării au fost diseminate în această etapă prin elaborarea unui articol științific trimis spre publicare la revista indexată ISI Thomson intitulată *Revue Roumaine des Sciences Techniques - Serie Electrotechnique et Energetique* [1], respectiv prin participare cu o contribuție originală la *Expoziția de Invenții și Inovații* organizată pe 12 martie 2018, în București, cu ocazia evenimentului intitulat „100 de ani de invenție românească” [2]:

[1] Tudorache T., Bostan V.: *Numerical Analysis of a Grid Tie Counter-Rotating Wind Turbine*, *Revue Roumaine des Sciences Techniques - Serie Electrotechnique et Energetique*, revistă indexată ISI Thomson (în curs de recenzie).

[2] CBI A00169/2017, "*Generator electrotermic rotativ cu magneți permanenți cu flux radial*", Autori: Tiberiu Tudorache (UPB), Mihail Predescu (AEOLUS).

## 5. REZULTATE OBȚINUTE ÎN CADRUL ETAPEI CURENTE

Obiectivele propuse pentru *Etapa III/2018* a proiectului de cercetare WINDSOL (Contract PNIII, Nr. 68BG/2016) au fost atinse integral.

În urma cercetărilor întreprinse s-a efectuat asamblarea modelului experimental al sistemului HEFVT, s-a realizat standul de măsură, s-a implementat sistemul de măsurare, monitorizare și achiziție de date și s-a testat funcționarea sistemului, determinându-se caracteristicile specifice și performanțele sale. De asemenea s-a elaborat documentația tehnică și s-au diseminat rezultatele cercetării prin elaborarea unui articol științific trimis spre publicare la *Revue Roumaine des Sciences Techniques - Serie Electrotechnique et Energetique*, (revistă indexată în baza de date ISI Thomson) [1], respectiv prin participare cu o contribuție originală la *Expoziția de Invenții și Inovații* organizată pe 12 martie 2018, în București, cu ocazia evenimentului intitulat „100 de ani de invenție românească” [2]:

[1] Tudorache T., Bostan V.: *Numerical Analysis of a Grid Tie Counter-Rotating Wind Turbine*, *Revue Roumaine des Sciences Techniques - Serie Electrotechnique et Energetique*, revistă indexată ISI Thomson (în curs de recenzie).



[2] CBI A00169/2017, "*Generator electrotermic rotativ cu magneți permanenți cu flux radial*", Autori: Tiberiu Tudorache (UPB), Mihail Predescu (AEOLUS).

## 6. CONCLUZII

Conform planului de realizare a proiectului WINDSOL (*Contract PNII Nr. 68BG/2016*) pentru *Etapa de execuție Nr. III/2018* au fost prevăzute 2 activități tehnico-științifice, acestea fiind realizate integral. Activitățile efectuate în cadrul etapei curente au vizat asamblarea sistemului HEFVT, realizarea standului necesar determinărilor experimentale, testarea funcționării sistemului pentru diferite scenarii energetice și determinarea caracteristicilor de funcționare și a performanțelor acestuia, elaborarea documentației tehnice aferente sistemului, respectiv diseminarea rezultatelor cercetării.

În cadrul *Activității III.1* s-a efectuat asamblarea sistemului HEFVT, s-a realizat standul experimental și s-a implementat sistemul de măsurare și achiziție de date, respectiv s-au efectuat măsurători pentru determinarea caracteristicilor de funcționare și a performanțelor acestuia. *Rezultatele experimentale obținute prin măsurători efectuate pe stand au evidențiat performanțe foarte bune atât ale PFVT cât și ale GEET respectiv ale sistemului de gestiune a energiei electrice și termice.*

*Activitatea III.2* a vizat elaborarea documentației tehnice aferente sistemului HEFVT pe baza performanțelor determinate experimental și diseminarea rezultatelor cercetării prin elaborarea unui *articol științific* trimis spre publicare la *Revue Roumaine des Sciences Techniques - Serie Electrotechnique et Energetique*, (*revistă indexată în baza de date ISI Thomson*) [1], respectiv prin participare cu o contribuție originală la *Expoziția de Invenții și Inovații* organizată pe 12 martie 2018, în București, cu ocazia evenimentului intitulat „*100 de ani de invenție românească*” [2].

Cercetările întreprinse pe întreaga durată de desfășurare a proiectului WINDSOL au condus la obținerea unor rezultate științifice și tehnice consistente, diseminate printr-un număr total de *6 lucrări/articole științifice*, dintre care *2 lucrări științifice* au fost publicate la două simpozioane internaționale și *4 articole științifice* au fost publicate sau trimise spre publicare la *Revue Roumaine des Sciences Techniques - Serie Electrotechnique et Energetique* (*revistă indexată în baza de date ISI Thomson*). Dintre cele 6 lucrări, 3 sunt deja indexate ISI Thomson (încă 2 având șanse foarte mari de a fi indexate ISI Thomson în anul curent).

## 7. BIBLIOGRAFIE

[1] Tudorache T., Bostan V.: *Numerical Analysis of a Grid Tie Counter-Rotating Wind Turbine*, *Revue Roumaine des Sciences Techniques - Serie Electrotechnique et Energetique*, (în curs de recenzie la revista indexată ISI Thomson).

[2] CBI A00169/2017, "*Generator electrotermic rotativ cu magneți permanenți cu flux radial*", Autori: Tiberiu Tudorache (UPB), Mihail Predescu (AEOLUS).

[3] Raport științific și tehnic aferent Etapei I/2016, Proiect PNIII - WINDSOL (Contract Nr. 68BG/2016), "*Proiectare modele experimentale GEET și FVT*".

[4] Raport științific și tehnic aferent Etapei II/2017, Proiect PNIII - WINDSOL (Contract Nr. 68BG/2016), "*Finalizarea proiectării și realizarea componentelor sistemului HEFVT*".

Data: 25.03.2018