Institutul de Cercetare Dezvoltare pentru Materie Condensata si Electrochimie Timisoara

Proiect: **Validarea experimentala a propulsiei ionice in conditii de laborator. Demonstrator: sistem de zbor cu motor ionic rotativ,**
Codul de inregistrare al proiectului**: PN-III-P2-2.1-PED-2019-364**
Contract finantare**: PED 414 2020-IPROLAB**
Director proiect: **Chirita Mihaila Ion Marius**

Raport Tehnic Etapa III (01.01.2022 - 26.10.2022)

Activitățile desfășurate pe parcursul etapei a III- a proiectului PED 414 2020-IPROLAB au avut ca obiectiv major validarea performanțelor tehnice in condiții de laborator in scopul confirmării nivelului TRL 4 pentru un propulsor ionic optimizat d.p.d.v.constructiv (dimensiune, greutate, srtuctură, geometrie, raport tensiune/turatie, etc). În acest scop au fost realizate toate activitățile planificate, conform contractului de finantate, rezultatele obținute depăsind semnificativ numărul si importanța rezultatelor planificate.

Activitatea A 3.1 (O3) a urmărit realizarea analizei performantelor dinamice si statice obtinute la testele realizate anterior de sistemele RIE si introducerea imbunatatirilor tehnice si metodologice intr-un nou ciclu PDCA in scopul stabilirii unui maxim a performantelor dinamice si statice şi a celui mai performant sistem dinamic creat in cadrul etapei a II-a (teste de optimizare dinamică şi statică). In acest scop, parametrii dinamici (ex. forta asecensionala, raportul forță/greutate, etc.), alaturi de cei statici (ex. greutatea propulsoarelor, intensitatea curentului, tensiune, etc.), au fost măsurați şi utilizați la selectarea propulsorului cu cele mai bune performanțe dinamice şi statice, acesta urmând a fi utilizat la validarea nivelului TRL 4.

Testele de optimizare a performanței au fost realizate atât pe sisteme cu un propulsor (în variantă monoelice si dublă elice), cât şi pe sisteme cu ”n” propulsoare, respectiv cu două, cu trei, cu patru, respectiv cu şase propulsoare, montate pe structuri mecanice adecvate determinărilor în condiții de laborator şi cu asigurarea condițiilor de securitate impuse de alimentarea la tensiuni de 30-100 kV. În urma determinărilor succesive realizate în cadrul acestei etape, s-a constatat că utilizarea variantei de propulsor dublă-elice nu conduce la obținerea unor îmbunătățiri majore ale performantei sistemelor şi astfel, din rațiuni privind necesitatea optimizării sistemelor utilizate la validarea pentru TRL 4, acest tip de propulsoar a fost abandonat, nemaifiind utilizat la testele de optimizare cu sisteme de ”n” propulsoare. Valorile rezultate de pe urma determinărilor multiple, precum şi sistemele de propulsie utilizate sunt descrise în paragrafele următoare.

In cadrul **activității A 3.2** s-a urmărit realizarea unor sisteme dinamice de maximă performanță, cu propulsie RIE, folosind rezultatele obtinute in urma analizei de performanta si optimizare a sistemelor dinamice testate in cadrul etapei a II-a şi optimizate pe parcursul activității A 3.1 (conform procesului PDCA), precum si pregatirea acestora (calibrare geometrică şi mecanică) pentru testele de confirmare si validare asociate nivelului TRL4.

În acest scop, datele constructive obținute în urma procesului de optimizare au fost utilizate la imbunătătirea caracteristicilor constructive ale sistemelor testate in etapa a II-a si la realizarea unor metode testare cu grad superior de reproductibilitate si siguranță. Pentru realizarea îmbunătățirilor constructive ale sistemelor de propulsie RIE, selectate pentru a fi testate la nivelul maxim de performantă în condiții de laborator, au fost achizitionate cu materiale cu care s-au realizat noi elemente structurale la dimensiuni, forme și caracteristici constructive stabilite in urma analizei de performanta si optimizare (A3.1).

În urma testelor privind optimizarea sistemelor de propulsie RIE s-au introdus o serie de modificari ale structurilor de susținere mecanică (fig. 1 si fig. 2) și de conectare electrică a acestora (fig. 3), cât și o modificare esențială a geometriei și structurii electrodului de ”ground”. Astfel, s-a renunțat la utilizarea elecrtodului de ground cu structura cilindrică si s-a trecut la utilizarea exclusivă a electrodului **cu geometrie toroidală**, acesta fiind obiectul cererilor de brevet, inregistrate la OSIM cu nr. A/00268/07.07.2022 si respectiv SUNY RF case #: 230-2218, USA. Toodată, introducerea de îmbunătățiri constructive majore ale propulsoarelor create pe parcursul etapei de optimizare a condus la realizarea unui nou model de propulsor ionic cu contraelectrod toroidal, care face deasemenea obiectul unei cereri de brevet depuse la OSIM și inregistrate cu nr. A/00323/14.06.2022.



Fig. 1 Subansamble de susținere mecanică a electrozilor ground cu geometrie toroidală



Fig. 2 Subansamble de fixare mecanică a propulsoarelor pregătite pentru testare dinamică

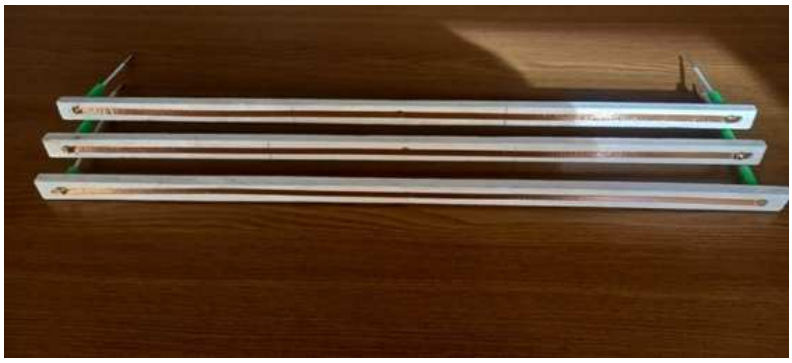


Fig. 3 Elementelele de conectare electrică ale subansamblelor de susținere mecanică a propulsoarelor cu ground toroidal

Proiectată ca o activitate asociată testărilor post optimizare și operaționalizare (corespunzătoare etapei ”act” din cadrul ciclului Plan-do-check-act), anterioare testării pentru validarea nivelului TRL 4, **activitatea A 3.3** – a condus la realizarea proceselor asociate testarii dinamice si statice prin pregatirea sistemelor selectate. În acest scop, toate sistemele selectate pentru testarea finală, dedicate alegerii propulsorului celui mai performant au fost incluse intro lungă serie de teste de anduranță, care să conducă la stabilirea modelului de sistem dinamic RIE de maximă performanță, al cărui comportament poate să asigure cel mai ridicat nivel de reporductibilitate a mărimilor dinamice (turație și forță ascensională) și statice (intenitatea curentului, tensiune, rezistența mecanică).

Minim 60 de detrmінări (teste) au fost realizate pentru fiecare tip de sistem (cu 1, 2, 3, 4, 5 si 6 propulsoare cu ground toroidal) avand parametri optimizati si testat în cadrul activităților A 3.1 si A 3.2. Testele au fost realizate in conditii diverse de presiune, umiditate si temperatura existente în laborator, conform unui protocol similar celui stabilit pentru testele de validare TRL4. Testările repetate si imbunatatirile aduse, au permis stabilirea cu certitudine a celui mai performant tip de propulsor care a fost ulterior utilizat la validarea nivelului tehnolgic TRL4. Totodată, au fost stabilite detaliile protocolului destinat testarii finale si validarii nivelului TRL4. La testarea sistemelor multipropulsor s-au utilizat structuri care au permis montarea coplanară a propulsoarelor testate, conform imaginilor de mai jos (fig. 4, fig. 5 si fig. 6.).



Fig. 4. Sistem de testare a dispozitivului cu triplă propulsie RIA (sursa: realizări proprii)



Fig. 5. Sistem de testare a dispozitivului cu triplă propulsie RIA (sursa: realizări proprii)



Fig. 6. Sistem de testare a dispozitivului cu triplă propulsie RIA (sursa: realizări proprii)

Pentru a se stabili performanta dinamică a sistemelor RIE cu n propulsoare (n = 2, 3, 4, 5 sau 6) cu functionare simultană și stabilirea modelului cu cele mai ridicate rezultate ale forțelor ascensionale pe toată durata testelor realizate, propulsoarele au fost conectate in paralel din punct de vedere electric și alimentate la aceeași sursă de tensiune. Inainte de conectarea electrică, fiecare motor a fost calibrat astfel incat să dezvolte o forta maxima de 250 mN/unitate. Pentru fiecare sistem cu mai mult de un propulsor au fost realizate structuri mecanice dedicate (fig. 4, fig. 5 și fig. 6), fiecare dintre acestea fiind dotate cu subansamble de conectare la sursa de inaltă tensiune (fig. 3) prin circuite conductoare de inaltă calitate (benzi de Cu).

Mărimile măsurate pe parcursul testelor au fost: tensiunile electrice de alimentare (U - kV), intensitatea curentului (I, miliamperi), numarul de rotatii pe minut a elicei propulsorului (n - rot/min), respectiv marimea forței ascensionale, exprimată in mili-newton (mN)/unitate de suprafață, conform standardelor stabilite de NASA, (F – mN/m^2). Tensiunea electrică si intensitatea curentului au fost stabilite folosind indicațiile tabloului de măsură al sursei de inaltă tensiune (echipament de laborator de inaltă performanță). Toate determinările s-au realizat folosind aceeași procedură ca și in cazul celor realizate în etapa a II-a a proiectului, pentru sistemele cu o singură unitate de propulsie. Pentru calculul erorilor s-au luat in considerare seturi de cate 10 masuratori. Valorile medii obtinute la testarea sistemelor cu trei, patru si șase propulsoare sunt reprezentate in tabele de mai jos.

U (kV)	I (mA)	N (rot/min)	F (N/m^2)
100	2.5	3280	71.5
95	2.15	3184	65.5
90	1.9	3037	58.8
85	1.6	2886	52.2
80	1.4	2735	45.3
75	1.2	2620	40.45
70	1	2455	34.38
65	0.8	2315	29.75
60	0.7	2165	25
55	0.5	1990	20.8
50	0.4	1862	16.85
45	0.3	1658	13.34
40	0.2	1486	10
35	0.1	1297	7.2
30	0.05	1041	4.71
25	0.025	882	2.83
20	0.01	645	1.24
15	0.005	379	0.32
10	0	0	0

U (kV)	I (mA)	N (rot/min)	F (N/m^2)
100	3.5	3525	100
95	3	3378	87.35
90	2.6	3254	79.03
85	2.2	3123	70
80	1.9	2982	63.12
75	1.6	2845	56.3
70	1.4	2662	48.36
65	1.15	2469	41.32
60	0.95	2304	34.72
55	0.75	2171	29.32
50	0.6	1981	23.47
45	0.45	1755	18.19
40	0.3	1593	14.01
35	0.2	1395	10
30	0.1	1201	6.73
25	0.05	952	4.03
20	0.025	710	1.95
15	0.0125	628	0.37
10	0	0	0

U (kV)	I (mA)	N (rot/min)	F (N/m^2)
100	6	3470	138
95	5	3368	125
90	4	3220	110
85	3.4	3098	96
80	3	2984	84
75	2.5	2821	72
70	2.1	2670	63.5
65	1.7	2523	55.2
60	1.4	2293	44.5
55	1.1	2161	37.37
50	0.8	1971	29.2
45	0.6	1779	24
40	0.4	1587	18.14
35	0.3	1367	12.31
30	0.2	1194	8.19
25	0.1	960	4.26
20	0.05	660	1.44
15	0.025	302	0.25
10	0	0	0

Tabele cu mărimile medii ale valorilor măsurate ale forței (F) și a numărului de turații pe minut (N) în funcțiede tensiunea (U) și intensitatea curentului de alimentare (I) la trei sisteme cu număr diferit de propulsoare (n): a) n=3 propulsoare, b) n= 4 propulsoare, c) n= 6 propulsoare

Dupa cum se poate observa din datele prezentate în tabelele de mai sus, utilizarea modelului de propulsor optimizat la testarea sistemelor de tip multipropulsor (n=2, n=3, n=4, n=5, n=6), a confirmat stabilitatea funcționării acestuia și posibilitatea scalării sistemelor de tip multipropulsor în scopul obținerii unor forțe superioare. Astfel, în baza determinărilor repetate realizate, prin reluarea consecutivă de cicluri PDCA pentru fiecare sistem testat, s-au confirmat atât *stabilitatea performanțelor dinamice și statice ale propulsorului cu ground toroidal, precum și scalabilitatea performanțelor sistemelor create prin utilizarea de n propulsoare cu grund toroidal în cadrul sistemelor multiplex (n>1) cu funcționare simultană a propulsoarelor.*

Dupa cum reiese din graficul variației mărimii forței de ascensiune (trust) în funcție detensiunea de alimentare, forța generată a sistemului multi RIE crește (aparent liniar) odată cu numărul de unități RIE utilizate. În graficul din figura 7, valorile cele mai mici ale forței sunt cele determinate pentru un sistem care utilizează un singur propulsor (cu culoare albastru inchis), în timp ce valorile maxime corespund forțelor măsurate la utilizarea sistemelor cu șase propulsoare cu funcționare smultană, alimentate in paralel, la aceeasi sursa de tensiune. Micile variatii ale fortei cu numărul de RIE toroidale se datorează imperfecțiunilor de natură constructivă a propulsoarelor cu ground toroidal utilizate la realizarea sistemelor multiplex (n>1). Erorile nu au fost incluse in grafice pentru a nu supraincarca figura 7.

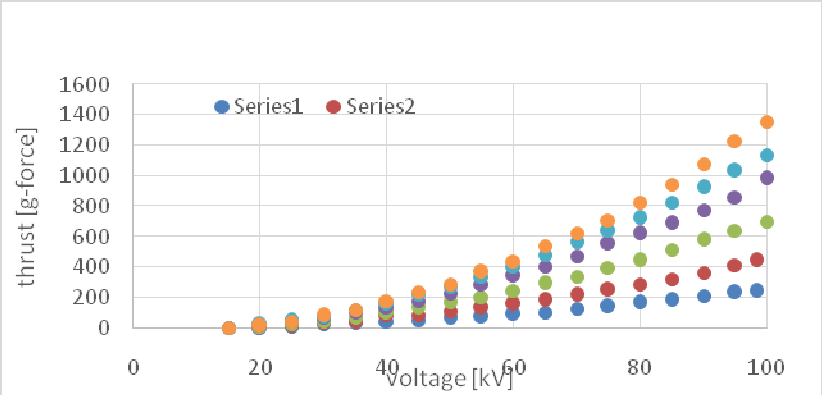


Fig. 7 Dependența fortei axiale de tensiune și de numărul de unități conectate în paralel.
(Sursa: determinări experimentale proprii. Graficul este preluat din lucrarea trimisa de catre autori la Scientific Report si incarcat in baza de date „Research Square" link: https://doi.org/10.2514/1.B38521)

În urma testării sitemelor mono, dublu, triplu, quadruplu, penta si hexa propulsie, precum si a sistemelor cu dublă elice (dual propellers), din perspetiva parametrilor dinamici, stabilitate și reproductibilitate a parametrilor statici, precum si din punctul de vedere a scalabilității, s-a ajuns la concluzia că *sistemul de propulsie cu performanțe dinamice si statice maxime este asigurat de motorul ionic rotativ (RIE) cu o singură elice (mono propeller, având lungimea de 12.4 cm, suprafata 12 cm^2 si un contra-electrod toroidal cu diametrul interior de 17 cm.* Ca urmare, toate determinările privind validarea nivelului de maturitate tehnologică a propulsorului cu motor ionic rotativ, conceput si dezvoltat de către Fiz.Dr. Marius Ion Chiriță Mihaila, in cadrul INCEMCT și Prof. Dr. Ieța Adrian (S.U.A.) pana la nivelul TRL 3 si dezvoltat ulterior, până la nivelul de marturitate tehnologica 4 (TRL 4), in cadrul proiectului PED 414/2020, condus de Fiz.Dr. Marius Ion Chiriță, vor fi realizate cu utilizarea acestui propulsor (fig. 8).

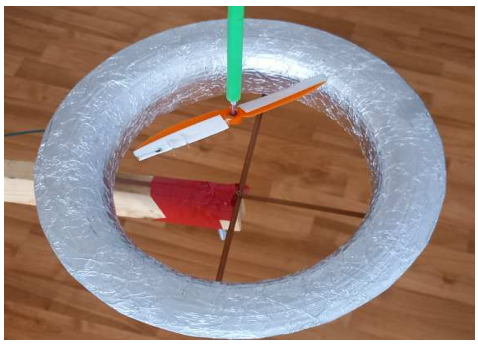


Fig. 8. Propulsorul cu ground toroidal pregătit pentru testarea asociată validarii nivelului TRL 4.

Derularea **activității A 3.4,** având ca scop efectuarea testelor multiple (dinamice si statice) pentru validarea experimentala a nivelului tehnologic corespunzator TRL4 pentru un sistem dinamic bazat pe motorul ionic rotativ (RIE), s-a realizat conform protocolului elaborat in cadrul activității A 3.3 si a condus la formularea următoarelor răspunsuri la întrebările asociate

nivelului TRL 4 al tehnologiilor/produselor inovative, (intrebări formulate de prof. Alexandru Marin, https://usb.ro/proiectul-simba/) astfel:

1. ” Noua tehnologie și / sau concept a fost descrisă în mod clar? Care sunt funcțiile critice care ar fi îndeplinite de orice aplicații preconizate ale abordării conceptuale, dispozitivului și / sau software-ului? Care sunt noile capabilități care ar rezulta din acest nou concept?”
2. A fost identificată și definită o aplicație prospectivă, cu suficiente detalii în ceea ce privește mediul operațional preconizat, cerințele de performanță și tehnologiile constitutive? Sunt bine înțelese interacțiunile dintre aceste elemente?
3. Noul concept, tehnologie și / sau abordare a fost modelat și testat clar și riguros? Este fezabil din punct de vedere tehnic? Rezultatele studiilor analitice și / sau de laborator verifică dacă noua tehnologie poate satisface cerințele aplicațiilor potențiale (conform întrebării 4.2 de mai sus)? Ce valori au fost utilizate pentru a concluziona că experimentele de laborator au funcționat conform ipotezelor de verificat?
4. Pe baza rezultatelor, există o cale viabilă de dezvoltare care să conducă experimentul și / sau demonstrațiile către o viitoare aplicație? Care sunt capabilitățile care vor fi necesare pentru a urmări acea cale (inclusiv medii operaționale, medii de testare etc.)? Poate fi evaluat riscul și efortul tehnic?”

În baza constatărilor realizate de către participanții la testele proiectate pentru verificarea stabilității si reproductibilității marimilor dinamice si statice ale RIE și validarea nivelului de maturitate tehnologică a propulsorului/motorului ionic rotativ (RIE) cu ground toroidal, au fost formulate următoarele răspunsuri la întrebările de mai sus:

R1. Principiile fizice de funționare, descrieri constructive, precum si rezulatele obținute în cadrul testelor de laborator cu dispozitivul RIE, cu ground cilindric, precum și cu RIE cu ground toroidal, există, fiind publicate de către autorii RIE, Fiz. Dr. Marius Chiriță și Prof.dr. Adrian Ieța (U.S.A.).

R2. Există mai multe descrieri clare si detaliate a propulsorului RIE publicate, inclusiv a părților si subansamblelor propulsorului, în cadrul cererilor de brevet depuse la OSIM de către Fiz. Dr. Marius Ion Chiriță Mihaila;

R3. Experimentele riguroase si studiile analitice realizate în scopul dezvoltării propulsorului RIE, atât cu electrod de ground cilindric, cât și cu ground toroidal au fost prezentae în cadrul conferințelor de specialitate și publicate, sau trimise la publicare în reviste specializate din domeniu.

R4. Argumentele cu privire la posibilitățile multiple de utilizare ale propulsorului RIE există si, în măsura în care aceste descrieri au putut fi făcute publice (unele dintre acestea fiind secret de serviciu), ele au fost introduse în descrierile asociate cererilor de brevet, precum si documentațiile trimise la saloanele de Inventica, din 2021 și 2022, unde s-au obșinut medaliile de aur pentru invențiile realizate.

Conținutul procesului verbal stabilit cu privire la testarea functionalității stabile și a reproductibilității tuturor caracteristicilor statice și dinamice ale propulsorului RIE cu ground toroidal (dispozitivul prezentat in fig 8) este următorul (redat integral cu caractere *italics*):

” *Prezentul process privește validarea functionalitatii unui sistem RIE realizat in cadrul proiectului PED 414/2020 în condiții atmosferice normale. Modelul testat pentru validarea nivelului TRL 4 a fost obtinut prin optimizarea parametrilor constructivi, in urma testărilor repetate realizate in cadrul proiectului PED 414/2020 si reflectă performanța maximă a RIE exprimata in gF si in N/m2, la momentul finalizării activităților de cercetare planificate in cadrul acestui proiect.*

La realizarea testării pentru validarea nivelului TRL 4 s-a utilizat un dispozitiv RIE în sistem monoelice, a carui geometrie, dimensiuni fizice și structură au fost stabilite ca fiind cele mai performante la funționarea în condiții de laborator. În privința geometriei sistemului RIE utilizat, menționăm că acesta folosește un contraelectrod toroidal, subansamblu care face obiectul unei solicitări de brevet de invenție Nr A00268/17.05.2022, “Contraelectrod Toroidal pentru Propulsia Ionica”depus la OSIM si a unei solicitari de brevet depuse in USA “Toroidal counter-electrode for ionic thruster”, patent application, SUNY RF case #: 230-2218.

Pentru testarea funționării dispozitivului RIE s-au realizat un numar de 5 (cinci) teste, pentru aceeași valoare a tensiunii și curentului de alimentare, furnizate de aceeași sursă de tensiune. Valorile obținute pentru forțele de propulsie, densitatea de forță (N/m2), precum și valorile înregistrate ale temperaturii, umidității și presiuniunii atmosferice, tensiunii de alimentare și intensității curentului din circuitul de alimentare al RIE sunt inscrise în tabelul de mai jos.

Echipamentele utilizate pentru testare au fost următoarele :

- *Motor Ionic Rotativ (RIE) cu o singură elice având diametrul elicei 12.4 cm, suprafata 12 cm2 si un contra-electrod toroidal cu diametrul interior de 17 cm, conceput si realizat în cadrul proiectului PED 414/2020. Detaliile constructive corespund intru totul celor prezentate in lucrările științifice trimise pentru publicare, ca rezultate ale proiectului;*
- *Sursa de tensiune 0- 100kV XP GLASSMAN, model PS/KT100R20 – 220, achiziționată din bugetul proiectului;*
- *Balanta cu lungimea l = 2m construită conform schiței tehnice elaborate in cadrul PED 414 și realizată cu material achizitionate in cadrul acestui proiect;*
- *Cantar de precizie(0-500gr), achiziționat din bugetul proeictului.*

Testele au fost realizate de catre Fiz. Dr. Marius Ion Chiriță Mihăilă, directorul proiectului PED 414/2020, in laboratorul INCEMC Timișoara în prezența domnilor: Conf. Fiz. Dr. Catalin Nicolae Marin (Universitatea de Vest, Timisoara), Conf. Fiz. Dr. Aurel Ercuta (Univ. de Vest Timisoara), CS I Dr. Ing. Florin Balcu, directorul general al INCEMCT si a domnului Fiz. Drd. Virgil Rotaru, responsabil pentru calitate in cadrul proiectului PED 414/2020.

Nr test	Pres. atm mBarr	T (oC)	Umiditate mosferica (%)	U (kV)	I (mA)	Număr rotații pe minut	Forța (gF)	Densitate de forta (N/m2)
1	1003	24.6	68	99.8	1.1	3020	26.91	22.40
2	1003	24.6	68	99.8	1.1	3064	27.02	22.51
3	1003	24.6	68	99.7	1.1	3042	27.22	22.68
4	1003	24.6	68	99.8	1.1	3081	26.88	22.40
5	1003	24.6	68	99.8	1.1	3121	27.22	22.68

Tabel cu valorile masurate pe parcursul validarii RIE toroidal la data 09.09.2022

În urma testelor efectuate, comisia intrunită pentru validarea nivelului de maturitate tehnologică a dispozitivului RIE dezvoltat în cadrul proiectului PED 414, constată că:

- *Densitatea de forta calculate de paseste valoarea limită de 20 N/m2, impusa de NASA in 2009 ca și condiție necesara pentru zbor (Wilson, J., Perkins, H. D., Thompson, W. K. An investigation of ionic wind propulsion. NASA/TM 215822, 2009),*
- *Comportamentul dispozitivului RIE testat a fost stabil și sigur pe toată durata testelor efectuate;*
- *Valorile înregistrate pentru mărimile fizice măsurate au fost obținute cu utilizarea sursei de tensiune, a aparaturii si a dispozitivelor de măsura descries mai sus;*
- *Forțele de tracțiune obținute au fost inregistrate la valorile reale, masurate in conditiile create pe parcursul testarii (temperatură, umiditate și presiune existente în laborator), fără aport adițional de gaze, sau surse suplimentare de energie (termică, electrică, sau magnetică);*
- *Dimensiunile constructive, cat si toate marimile înregistrate pentru parametrii atmosferici si electrici corespund celor inregistrate în tabelul de mai sus.*

Ca urmare a rezultatelor testelor realizate, în unanimitate, comisia stabilește că ***dispozitivul RIE realizat în cadrul proiectului PED 414/2020 indeplineste toate condițiile necesare pentru încadrarea acestuia pe nivelul 4 de maturitate tehnologica (TRL 4).***

Comisia confirmă că valorile măsurătorilor sunt corecte si valideaza testele realizate in condiții de laborator pentru dispozitivul RIE dezvoltat in cadrul proiectului PED 414/2020.
Urmează semnaturile pologrefe ale participanților Conf. Fiz. Dr. Catalin Nicolae Marin (Universitatea de Vest, Timisoara), Conf. Fiz. Dr. Aurel Ercuta (Univ. de Vest Timisoara), CS I Dr. Ing. Florin Balcu, directorul general al INCEMCT si a domnului Fiz. Drd. Virgil Rotaru, responsabil pentru calitate in cadrul proiectului PED 414/2020."

Procesul verbal semnat de către participanții la testarea stabilității funcționale, precum și îndeplinirea (și depășirea) tuturor cerințelor solicitate în cadrul metologiei utilizate la validarea nivelului de maturitate TRL4, confirmă pe deplin *încadrarea propulsorului/motorului ionic rotativ (RIE) pe nivelul 4 de maturitate tehnologică și posibilitatea utilizării acestuia la fazele corespunzătoare nivelelor superioare (TRL 5, TRL 6, etc).*

În cadrul activității **A 3.5.** rezultatele teoretice si experimentele obtinute pe parcursul proiectului au fost prezentate in cadrul unor manifestări științifice si/sau formulate ca lucrari stiintifice trimise spre publicare in reviste intexate Web of Science. La formularea rezultatelor s-a avut in vedere influența surselor de erori de masurare intervenite (erori aleatoare cat si erori de metoda), iar interpretarea rezultelor s-a făcut pornind de la modul in care acestea ar putea modifica rezultatele experimentale. În acest scop, valorile considerate pentru mărimea forțelor obținute reprezintă o medie a determinărilor realizate pentru cel putin trei măsurări consecutive, la aceeași valoare a tensiunii și a curentului din circuit.
Conținutul lucrărilor prezentate, si al celor trimise spre publicare au în vedere prezentarea rezultatelor experimentale, care în esență, evidențiază o dependență aproape liniară a mărimii forței de ascensiune/propulsie (trust) de tensiune și de viteza de rotație a elicei. Această dependență este evidențiată în cadrul reprezentărilor grafice din figura 9 a, 9b, 9c și 9d. O comparație a forței ionice obținute cu RIE toroidal față de RIE cilindric proiectat cu aceeași elice, aceiasi pini emițători ca

si RIE toroidal și același diametru interior (17 cm) al contraelectrodului cilindric este prezentată în fig. 9a.

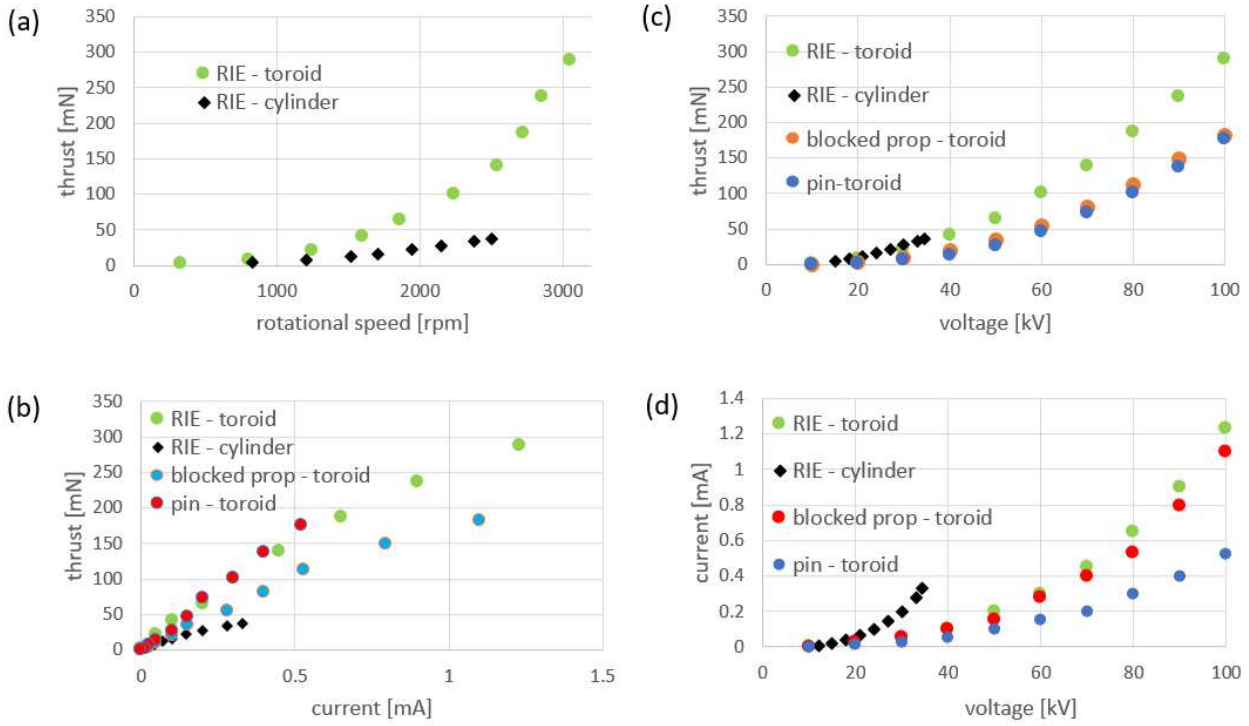


Fig 9. Dependența mărimilor dinamice , forța de ascensiune/tracțiune (trust) și numărul de rotații pe minut, de tensiunea și intensitatea curentului din circuit (sursa: determinări exp. proprii).
Graficele sunt preluate din lucrările publicate si /sau trimise spre publicare pe parcursul proiectului PED 414/2020.

Au fost efectuate teste suplimentare folosind RIE toroidal dar cu elicea blocată, astfel încât să nu fie posibilă rotirea. De asemenea, într-un experiment elicea a fost îndepărtată, deasupra nivelului toroidului rămânând doar axul alimentat cu înalta tensiune. Graficele de comparație sunt prezentate în fig. 9 b,c,d. Variația fortei axiale cu curentul este dată în fig. 9b pentru toate sistemele studiate. *Se constata ca RIE cilindric oferă cea mai mică forță pentru oricare dintre valorile date.* Dacă elicea este blocată fara a se putea învârti într-un RIE toroidal, forta axială rezultată este semnificativ mai mică decât în cazul în care elicea este liberă să se rotească, dar peste valorile înregistrate pentru RIE cilindric. Dacă elicea este scoasă din RIE toroidal, se formează un sistem pin (emițător) – toroid (contra electrod), care pana la o anumita valoare a curentului (in jur de 0.6 mA) oferă o forță mai mare decât pentru sistemul cu elicea care se rotește. Curentul nu atinge însă nivelurile RIE toroidal pentru ca are loc descarcarea electrica. Forta maxima maximă pentru RIE toroidală (288,55 mN) este cu 63,8 % mai mare decât pentru configurația pin/ax-toroid (176,1 mN). Atât sistemele pin – toroid, cât și cele cu elicele blocate – toroid oferă aproximativ aceeași forță maximă (181,4 mN și 176,1 mN în mod corespunzător).

Cu toate acestea, sistemul cu elicele blocate funcționează la un curent și o putere (1,23 mA, 123 W) mult mai mari decât sistemul pin-toroid (0,52 mA, 52 W).

O prezentare diferita a performanței relative a propulsoarelor ionice atmosferice examinate este facuta în fig. 9c. La o anumită tensiune, cea mai mare forță este dată de RIE cilindric. Cu toate acestea, tensiunea care poate fi aplicată înainte de descarcare este limitată de distanța mică dintre suprafața interioară a contraelectrodului cilindrului și pinii de pe palele elicei plasate coaxial în interiorul cilindrului. Această limitare face ca RIE cilindric să genereze o forta de tracțiune foarte mică în comparație cu RIE toroidal, unde descarcarea electrica poate fi întotdeauna evitată prin ridicarea elicei oricat de mult deasupra electrodului (care în cele din urmă aduce câmpul electric sub valoarea de descarcare). Pentru comparație, valoarea maximă pentru RIE toroidală este cu 778,1% mai mare decât forța dată de RIE cilindric.

Fortele obtinute cu elicea blocată și cu sistemele de ax – toroid sunt foarte apropiate la orice tensiune dată și semnificativ mai mici decât pentru RIE toroidală (37% mai mică la 100 kV și din ce în ce mai mică la 100 kV tensiuni – cu 63,5 % la 20 kV). Creșterea forței RIE toroidal (cu elicea aflata in miscare de rotatie) față de sistemul pin/ax – toroid la o anumită tensiune este cu 63,8% mai mare la 100 kV și crește până la 429,1% la 20 kV. Forta generată de elicea blocată față de sistemul ax – toroid este mai mare la orice tensiune. Acest lucru demonstrează că emițătorii de tip pin de pe palele elicei nu contribuie mult la forța axială suplimentară atunci când elicea nu se poate roti. Plusul este este de numai 3,2 % la 100 kV și crește la tensiuni mai mici. La 20 kV, contribuția la forța axială inițială furnizată de sistemul pin-toroid este de 93%. Cu toate acestea, dacă elicei i se permite să se rotească, contribuția se ridică la 429,1% suplimentar la 20 kV.

Deși fortele pentru RIE toroidal și a sistemului cu elicea blocata (Fig. 9c) sunt semnificativ diferite (a fost cu 57,8% mai mare la 100 kV și cu un procent în creștere față de sistemul de elice blocat la tensiuni mai mici), curenții corespunzători la o tensiune dată prezintă o schimbare mult mai mică (11,8% mai mare la 100 kV) – vezi Fig. 9d. Odată ce elicea este lăsată să se învârtă liber, forta creste brusc pe măsură ce „impulsul ionic” generat în planul de rotație al elicei este captat și convertit în mișcare de rotație și eventual în forță axială convențională suplimentară.

O comparație a caracteristicilor curent – tensiune ale sistemelor studiate este prezentată în fig. 9d. La o tensiune dată, RIE cilindric oferă cel mai mare curent și forță. La 25 kV oferă cu aproximativ 25 % mai multă forță decât RIE toroidal. Cu toate acestea, diferența se reduce odată cu creșterea tensiunii. În plus, tensiunea de descarcare este atinsă rapid, ceea ce limitează atat curentul cat și forta obținută în RIE cilindric.

La RIE toroidal, elicea cu pinii emițătorii poate fi plasată coaxial la diferite înălțimi deasupra contraelectrodului toroidal. Înălțimea este considerată optimă atunci când produce o forță axială maximă menținând constantă tensiunea.Variația forței maxime înregistrate la diferite tensiuni este dată în fig. 10a. Curba pare să se aplatizeze, sugerând cresteri mai mici de forta la tensiuni mai mari atunci când înălțimea elicei este variată. Datele experimentale sugereaza ca contribuția fortei axiale datorită rotației elicei se micsoreaza odata cu plasarea elicei la o inaltime

mai mare. Graficul din figura 10 b) redă dependenta fortei axiale și de numarul de motoare (n=1, 2, 3, 4 propulsoare).

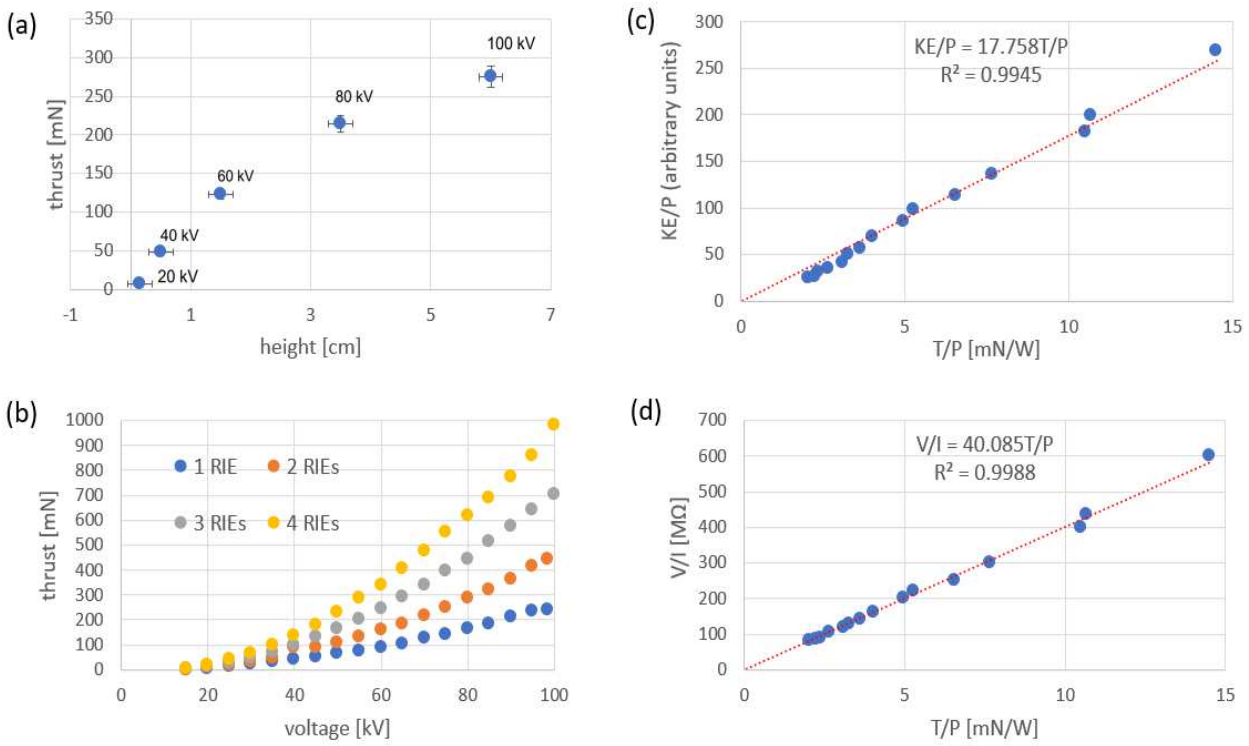


Fig. 10 a) Dependența maximă de forță axială de înălțimea axială a elicei deasupra contraelectrodului toroidal la diferite tensiuni.Barele de eroare sunt erori de măsurare estimate. b) Dependența fortei axiale la RIE toroidal de tensiune și numărul de unități conectate în paralel c) Proporționalitatea directă observată experimental a raportului tracțiune/putere (T/P) și a raportului energie cinetică/putere a elicei (KE/P). d) Proporționalitatea directă observată experimental a raportului T/P și a raportului tensiune la curent (V/I). Graficele sunt preluate din lucrările publicate pe parcursul proiectului PED 414/2020.

Totodată, în umra determinărilor experimentale realizate, s-a observat că exista o relatie de directa proportionalitate intre raportul forta/putere (T/P) si raportul energie cinetica/putere (KE/P) pentru RIE toroidal. Graficul experimental din fig. 10 c) arată o potrivire bună cu relatia (1) $\eta_T = \frac{T}{P} = \Lambda_E \frac{KE}{P}$, deoarece coeficientul de determinare a regresiei liniare între cele două mărimi are valori mai mari de 0,99. Datele experimentale din fig. 10 d) arată o potrivire bună a relației (2) $\eta_T = \frac{T}{P} = \Lambda_R \frac{V}{I}$ la tensiuni mari. Prin urmare, raportul tracțiune-putere pare să fie bine măsurat pentru RIE toroidal prin rapoartele KE/P sau V/I (mai puțin o constantă de proporționalitate). Ca si consecinta, forta de propulsie poate fi determinata din calcul fara a avea un dispozitiv special pentru masurarea fortelor.

Prezentarea experimentelor realizate, a mărimilor obținute, a condițiilor de determinare a acestora și a interpretarilor științifice ale rezultatelor experimentale, s-a realizat prin lucrări realizate în cadrul activității A 3.5. Rezultatele acestei activități s-au concretizat în patru lucrări științifice trimise la publicare în reviste internationale, si una aflata in redactare dupa cum urmeaza:

Lucrari stiintifice trimise spre publicare conform A 3.5:

1. Marius Chirita, Adrian Ieta. 2021: *First Rotary Ionic Engine with Contra-Rotating Propellers,* Journal of Propulsion and Power, Data publicarii online: 17 Mai 2022, pg. 1-8, https://doi.org/10.2514/1.B38521, article In Presss. (acceptata la publicare in 2022 [1].)

2. Adrian Ieta, Marius Chirita (coresponding author) 2022: *First thrust measurements in ionic multi-propeller rotational engines,* Propulsion and Power Research, manuscris trimis la publicare in data de 27.02.2022, indicativ PPR-2022-0078, statutul actual: Awaiting ED decision.

3. Marius Chirita, Adrian Ieta 2022: *Toroidal Counter Electrode for Ionic Propulsion,* Scientific Reports, manuscris trimis la publicare in data de 04.08.2022, indicativ 1e05487c-9f99-47e6-9a16-566a1c79193a | v.1.0, statutul actual: Reviewer reports received / Ready for editor's decision.

4. Marius Chirita, Adrian Ieta2022.*Toroidal Counter Electrode for Ionic Propulsion,* se afla incarcata in baza de date „Research Square" link: https://doi.org/10.2514/1.B38521,

Lucrare stiintifica aflata in redactare conform A 3.5:

1) Marius Chirita, Adrian Ieta, *Ionic wind characteristics of nitrogen-oxygen binary mixtures at atmospheric pressure,* articol aflat in redactare.

Mai jos este o scurtă prezentare (rezumat) a conținutului lucrărilor publicate.

In lucrarea "*First rotary ionic engine with counter-rotating propellers*" – sunt prezintate experimentele asociate studiilor prin care autorii demonstreaza ca RIE permite pentru prima oara ca doua sau mai multe elice dispuse pe acelasi ax sa se invarta independent una fata de alta, fara un mecanism auxiliar (fără adaptoare axiale/arbore suplimentar concentric, etc.) fie in acelasi sens, fie in sens contrar (contrarotative - CRP). Experimentele indică faptul că elicele care se rotesc în direcții opuse alcatuiesc un sistem cu moment unghiular zero. Cu alte cuvinte, intr-un CRP RIE, perechea elice stânga/dreapta induce moment unghiular zero în sistem, iar cilindrul rămâne în echilibru. Pentru sistemele „single propeller" cu diametrul D=12,4 cm, a fost înregistrat un maxim de 2812 rot/min față de 1720 rot/min raportat anterior derularii proiectului.

De asemenea, au fost proiectate CRP-uri care se rotesc până la 2035 rpm, -29,5 kV şi 340 μA (limita superioara a sursei de inalta tensiune). Pentru sistemele de elice cu diametrul elicei D = 24 cm, au fost înregistrate până la 936 rpm pentru o singură elice şi 710 rpm pentru sistemul CRP. Raportul putere-viteză de rotatie este remarcabil de liniar cu intensitatea curentului pentru toate sistemele studiate. Am introdus astfel, pentru prima oara, drept metoda de calcul a eficienței, raportul dintre energia cinetică a elicei (elicelor) și puterea totală.

De asemenea am constatat că raportul dintre puterea absorbită şi viteza de rotatie elicei variază liniar cu curentul total în intervalul explorat (cu excepția curenților foarte mici) și ar putea fi utilizat (raportul) pentru a compara modelele RIE. Atâta timp cât liniaritățile observate experimental rămân valabile în afara intervalului investigat, ele prezic viteze de rotație mult mai mari, care s-ar putea obține la tensiuni și curenți mai mari decat valorile permise de sursa noastra de alimentare. Astfel am arătat ca dacă drone ionice bazate pe RIE vor fi dezvoltate, CRP-urile vor avea avantajul de a fi proiectate ca sisteme cu moment unghiular zero.

In lucrarea „*First thrust measurements in ionic multi-propeller rotational engines* au fost investigate sisteme ionice rotative RIE cu o singura elice şi cu mai multe elice de diametru 12.6 cm, dispuse coaxial cu contraelectrozi cilindrici cu diametre de 14, 16 şi 17 cm. La o valoare dată a curentului, forta cea mai mare a fost obținută pentru o singură elice RIE cu contraelectrod cilindric de 17 cm, în timp ce cea mai mică forta a fost inregistrata pentru RIE cu un diametru al contraelectrodului de 14 cm GD. La diametre mai mari de 17 cm forta scade. Au fost investigate raporturile lor tracțiune-putere.

Pentru prima dată s-au facut masuratori de forta, pentru RIE cilindric. Aici a fost investigată doar geometria coaxială elice-cilindru. S-a obținut o forță de până la 40 mN în RIE cu o singură elice la 2600 rpm, 0,34 mA, 37,5 kV și un diametru optim al contraelectrodului de 17 cm. O forță mai mare/per elice poate fi obținută in RIE cilindric cu două și cu trei elice. Raportul tracțiune-putere indica formarea unui maxim la curenți mici. Maximul e mai mare pentru RIE cu o singură elice și pare să scadă pe măsură ce se adaugă mai multe elice pe RIE. Maximul are o valoare mai mare pentru RIE cu contraelectrod de 17 cm față de cei 14 cm sau 16 cm testați de asemenea. Mai multă forță poate fi obținută cu două și trei elice pe RIE care funcționează la același curent per elice. Forța suplimentară de la două până la trei elice RIE pare mai puțin semnificativă decat câștigul de la una la două.

S-a studiat si variatia fortei cu distanta de separare intre elice. Interactiunea dintre elice joacă un rol important atunci când distantele de separare sunt mai mici de 5 cm, la distante mai mari sau egale cu 5 cm interactiunea dintre ele este minimala. Cu alte cuvinte, daca dorim sa obtinem o forta mai mare, distanta dintre ele trebuie sa mai mare sau egala cu 5 cm. Raportul tracțiune-putere prezintă un maxim la curenți mici (maximum 30 mN/W). Variația tracțiune-putere poate fi evaluată prin raportul energia cinetică si putere si de asemenea, prin raportul tensiune-curent la curenți mai mari de aproximativ 0,1 mA. Investigații detaliate ale forței ionice în RIE au fost efectuate numai pentru o elice cu două pale cu diametrul de 12,6 cm, ceea ce limitează concluziile lucrării noastre.

In lucrarea "*Toroidal Counter Electrode for Ionic Propulsion*"a fost raportat pentru prima oara functionarea unui motor ionic rotativ intr-o noua configuratie geometrica, prin care forma cilindrica a contraelectrodului a fost inlocuita cu forma toroidala. Forta maxima raportata este de 288,55 mN/RIE la o densitate de forta de 23,15 N/m^2. Comparand noul sistem RIE toroidal cu vechiul RIE cilindric, am obtinut o forta disponibila de până la 778,1% mai mare.

Noua configuratie permite atat captarea forței generate de ionii accelerați liniar între cei doi electrozi cat și a celei din planul de rotație al elicei. Experimentele au arătat că intre RIE toroidale cu elice care se rotesc liber si RIE toroidale cu elicele blocate prezintă doar mici diferențe la nivel de curenți, dar majore în ceea ce privește forta axială. S-au facut pentru prima oara determinari ale fortelor generate de mai multe motoare legate electric in paralel. Forța obținută cu rețele de RIE toroidale legate in paralel a fost proporțională cu numărul de motoare, ceea ce dovedeste scalabilitatea sistemelor (s-a obținut până la 1 N pentru o matrice 4-RIE si 1,4 N pentru o matrice alcatuita din sase RIE). A fost efectuată o evaluare a raportului forta-putere, indicând faptul că raportul dintre energia cinetică/puterea și respectiv tensiune/curent poate fi folosit pentru determinarea fortei de propulsie fara a se mai face masuratori mecanice. Noile modele RIE au permis o creștere substanțială a forței axiale față de RIE anterioare. Densitatea de forta obtinuta de catre noi si raportata (23,43 N/m^2), depaseste limita de 20 N/m^2 impusa de NASA in 2009 (Wilson, J., Perkins, H. D., Thompson, W. K) ca fiind limita inferioara necesara pentru zbor. An investigation of ionic wind propulsion. NASA/TM 215822 (2009) https://ntrs.nasa.gov/api/citations/20100000021/downloads/20100000021.pdf).

Conferinte internationale conform A 3.6:

1) 2022 Joint Conference on Electrostatics, June 12-15, 2022, Hilton Charlotte University Place, Charlotte, NC USA Session B. Section: Atmospheric and space applications, Monday, June 13, 11:30 – 11:45, B4: A. Ieta, M. Chirita (coresponding author), V. Rotaru, M. Nicolaescu, D. Rogers, *"Properties of EHD Contra Rotating Propellers"*
2) 2022 Joint Conference on Electrostatics, June 12-15, 2022, Hilton Charlotte University Place, Charlotte, NC USA, Poster Session and Demonstrations, Monday, June 13, 14:30, P2:M. Chirita, A. Ieta, V. Rotaru, M. Nicolaescu, M. Marghitas, L. Mocanu, J. Weinschreider, "*Rotary Ionic Engines with Single and Double Coaxial Propellers*"
3) Proceedings of the 14th Edition of European Exhibition Of Creativity And Innovation EuroinventICIR 2022, International Conference on Innovative Research, 26th - 28th May 2022, Iasi – Romania, RO 268: M. Chirita, A. Ieta, V. Rotaru, L. Mocanu, M. Marghitas, M. Nicolaescu, *First Rotary Ionic Engine with Contra-Rotating Propellers,* pg.487, medaliat cu aur.



Publicatii media:

1) IMPACTPRESS, 1 Iunie 2022, Titlu articol: *Pentru al –II- lea an consecutiv, medalie de aur la INCEMC Timisoara, pentru Marius Chirita si pentru grupul condus de el, la EUROINVENT 2022, cea mai mare competitie de profil, care se desfasoara in estul Europei.* *https://www.impactpress.ro/2022/06/01/pentru-al-doilea-an-consecutiv-medalie-de-aur-la-incemc-timisoara-pentru-marius-chirita-si-pentru-grupul-condus-de-el-la-euroinvent-2022-cea-mai-mare-competitie-de-profil-care-se-desfasoara-in-est/*

2) IMPACTPRESS, 6 Iunie 2022, Titlu articol: *Gold medal at INCEMC Timisoara for Marius Chirita and his group, at 14th European Exhibition of Creativity and Innovation, EUROINVENT 2022, the biggest profile competition from Eastern Europe*.https://www.impactpress.ro/2022/06/06/gold-medal-at-incemc-timisoara-for-marius-chirita-and-his-group-at-14th-european-exhibition-of-creativity-and-innovation-euroinvent-2022-the-biggest-profile-competition-from-eastern-europe-p/

3) IMPACTPRESS, 08 August 2022, Titlu articol: *O noua realizare remarcabila la INCEMC Timisoara! „Contraelectrodul Toroidal pentru Propulsia Ionica", inovatie a grupului condus de fiz. Dr. Marius Chirita.*https://www.impactpress.ro/2022/08/08/o-noua-realizare-remarcabila-la-incemc-timisoara-contraelectrodul-toroidal-pentru-propulsia-ionica-inovatie-a-grupului-condus-de-fiz-dr-marius-chirita-p/

4) IMPACTPRESS, 09 August 2022, Titlu articol: *Disruptive technology at INCEMC Timisoara, Romania.*https://www.impactpress.ro/2022/08/09/disruptive-technology-at-incemc-timisoara-romania-p/

5) Buletinul Informativ Nr. 42, August 2022, Ministerul Cercetării, Inovării si Digitaliză Rii, Direcția Comunicare, Transparență și Dialog Social, Titlu articol: *Contraelectrodul toroidal pentru propulsia ionică - o nouă realizare remarcabilă la INCEMC Timişoara*. https://www.research.gov.ro/uploads/comunicare/buletin-informativ/2022/buletin-informativ-42.pdf

Cereri de brevet de inventie:

1) Chirita Mihaila Ion Marius, *Contraelectrod toroidal pentru propulsia ionica*, Nr. OSIM A/00268/07.07.2022

2) Chirita Mihaila Ion Marius, Rotaru Virgil, *Propulsor ionic cu contraelectrod toroidal,* Nr. OSIM A/00323/14.06.2022

3) Chirita Mihaila Ion Marius, Adrian Ieta, *Toroidal Counter Electrode for Ionic Thruster,* patent application**,** SUNY RF case #: 230-2218, USA.

In concluzie, putem afirma că *toate rezultatele planificate pentru etapa a III-a a proiectului* și implicit, *TOATE rezultatele asumate în cadrul proiectului PED 414/2020 au fost obținute la un nivel superior celui planificat, astfel încât motorul ionic cu propulsie rotativă și cu electrod de ground cu geometrie toroidală fiind validat la nivelul de maturitate tehnologică TRL4.*

Fiz, Virgil Rotaru,

Resp. pt calitate

Director de proiect,

CS III, Fiz. Dr. Marius Ion Chiriță Mihăilă

Timișoara, 17.10.2022