

# MĂSURAREA PUTERII UTILE LA TRATAMENTELE CU PLASMĂ NON-TERMICĂ

Ș.l. dr. ing. Adrian SABĂU<sup>1</sup>, Conf. dr. ing. Bogdan HNATIUC<sup>1</sup>, Lector dr. Simona GHIȚĂ<sup>1</sup>,  
Conf. dr. ing. Mihaela HNATIUC<sup>1</sup>, Maxime WARTEL<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Universitatea Maritimă Constanța, România

<sup>2</sup> Université d'Orléans, Laboratoire GREMI, Site de Bourges, France

**REZUMAT.** Eficiența procesului de decontaminare utilizând diverși agenți de lucru activați cu plasmă non-termică este deja bine cunoscută din literatura de specialitate. Problema eficienței producerii acestor agenți rămâne încă de actualitate. În consecință în această lucrare se prezintă un studiu asupra puterii electrice utile a descărcării ce produce plasma non-termică în reactoare de tip GlidArc. Testele au fost efectuate modificând tipul gazului de lucru și debitul acestuia.

**Cuvinte cheie:** putere medie, putere instantanee, GlidArc, gaz de lucru, plasmă non-termică.

**ABSTRACT.** The efficiency of decontamination using various working agents activated by non-thermal plasma is already well known from references of different published papers. The production efficiency of these agents still needs to be studied. For this reason this paper presents a work on useful electric power of electric discharges producing non-thermal plasma in GlidArc reactors. The tests were performed by changing the working gas and its flow rate.

**Keywords:** Average power, Instantaneous power, GlidArc, Working gas, Non-thermal Plasma.

## 1. INTRODUCERE

GlidArcul reprezintă o succesiune de descărcări electrice de tip alunecător (Gliding Arc = GlidArc), amorsate la presiune atmosferică. Producerea lor presupune aplicarea între cel puțin 2 electrozi de formă divergentă, fabricați dintr-un material conductor ce poate fi inox, aluminiu, oțel etc., a unei înalte tensiuni de ordinul 5 – 15 kV, în condițiile limitării valorilor maxime ale curentului electric. Sursa ce furnizează înalta tensiune poate fi de curent alternativ, continuu sau în impulsuri, iar limitarea curentului se poate face prin construcția transformatorului ridicător de tensiune sau utilizarea unor elemente electrice de limitare, cel mai adesea bobine sau rezistențe, [1,2].

Amorsarea unei descărcări are loc în punctul de distanță minimă între electrozii divergenți, iar alunecarea – alunecarea sa – se produce apoi ca urmare a aplicării unui debit de fluid între electrozi, Fluidul cel mai des folosit este aerul, datorită prețului său, însă poate fi și azot, dioxid de carbon, heliu, argon, oxigen etc. Atunci când descărcarea se apropie de poziția corespunzătoare distanței maxime între electrozi, densitatea de energie pe unitatea de volum scade foarte mult și aceasta se va stinge, urmând ca în același moment sau la o durată scurtă de timp să se amorseze descărcarea următoare, în punctul de distanță minimă între electrozi, unde densitatea de

energie pe unitatea de volum permite acest lucru. Ea va urma același ciclu descris mai sus ca și descărcarea anterioară.

Limitarea curentului la valori sub 1 A nu permite evoluția descărcării electrice spre arc electric, care ar însemna creșterea substanțială a temperaturii particulelor din plasmă, de unde și denumirea de plasmă rece sau non-termică.

În raport cu celelalte tipuri de descărcări electrice ce produc o astfel de plasmă, GlidArcul are cei mai importanți parametri: grad de ionizare,  $\gamma = 10^{-2}$ , densitate de curent electric,  $J = (10^2 - 10^3) \text{ A/cm}^2$ , valoare maximă a curentului electric  $I_n = 1 \text{ A}$ , energia specifică  $q = (400 - 500) \text{ J/l}$  [3,4].

## 2. MONTAJ EXPERIMENTAL

Montajul experimental a fost realizat în conformitate cu schema electrică din figura 1. Tensiunea descărcării a fost măsurată cu o sondă de înaltă tensiune, HVP, raport de transformare (1:1000) și curentul cu o rezistență de tip shunt calibrat, SH, (10 Ohms / 5 W). Tensiunile au fost măsurate simultan cu un osciloscop digital cu două canale OSC, (Tektronix TDS210), care a fost cuplat la un PC cu ajutorul unei interfețe seriale.

Softul specializat al firmei Tektronix a permis achiziționarea și prelucrarea primară a datelor

## MĂSURAREA PUTERII UTILE LA TRATAMENTELE CU PLASMĂ NON-TERMICĂ

măsurate. Sursa de alimentare de înaltă tensiune utilizată,  $S$ , a fost un transformator special de tip AUPEM SEFLI AC de 10 kV / 150 mA / 50 Hz, care asigură limitarea curentului în descărcare prin impedanța sa internă, [5].

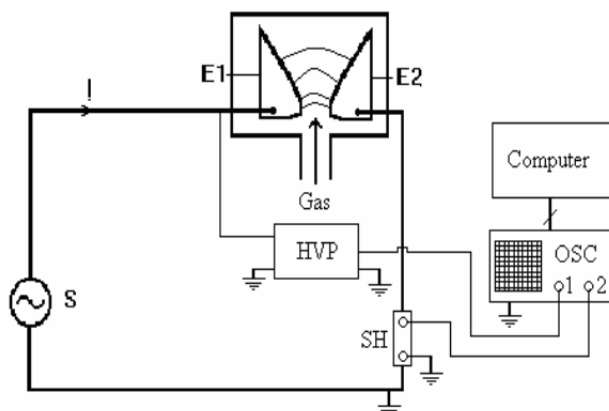


Fig. 1. Schema de măsurare a parametrilor electrici.

Electrodul  $E2$  a fost pus la masă pentru a asigura securitatea măsurătorilor (prin intermediul șuntului). Caracteristicile geometrice ale glidarcului (distanță minimă între electrozi, formă și înălțime electrozi) au fost menținute constante pe toată durata măsurătorilor.

Distanța dintre electrozi în zona de amorsare a fost de 2 mm, lungimea activă a electrozilor a fost de 100 mm, iar distanța de la capătul electrozilor la piesa de probă tratată cu plasmă a fost menținută constantă și egală cu 20 mm.

### 3. REZULTATE EXPERIMENTALE

Măsurătorile au fost efectuate pentru 4 gaze de probă diferite: aer ambiental de umiditate relativă 50%, azot, argon și oxigen industrial puritate 97% la temperatura de 25°C. Pentru fiecare gaz de probă s-au făcut măsurători la debite de 7, 8, 9 și 10 l/min, măsurate cu rotametre de gaze etalonate corespunzător.

Datele măsurate, tensiunea (curba superioară) și curentul (curba inferioară), preluate de la osciloscopul digital Tektronix TDS210 în cazul unor perturbații electromagnetice reduse și după stabilizarea funcționării reactorului GlidArc (durată de aproximativ 5 minute) sunt prezentate grafic în figura 2.

Dificultatea principală întâmpinată la măsurarea puterii a fost reprezentată de zgomotul de semnal datorat perturbațiilor produse de amorsarea și stingerea arcului electric.

Semnalele parazite generate de descărcare perturbă puternic semnalele măsurate și osciloscopul, chiar dacă s-au luat măsuri specifice de compatibilitate electromagnetică pentru diminuarea influenței acestora.

Sistemul de achiziție al osciloscopului digital Tektronix TDS210 poate prelua maxim 2500 de valori simultan pentru fiecare din cele două canale

de măsurare. Având în vedere că s-a utilizat pentru efectuarea măsurătorilor constanta de timp 5 ms/div, ca rezoluție temporală, pentru frecvența de 50 Hz cât furnizează rețeaua de alimentare, datele înregistrate reprezintă aproximativ 2.5 perioade, suficiente pentru o bună prelucrare statistică a datelor experimentale.

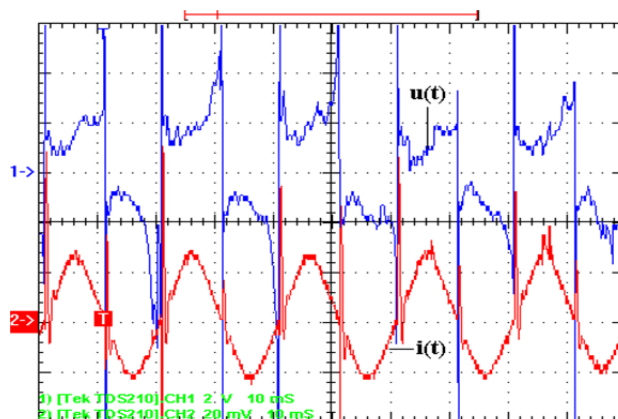


Fig. 2. Parametrii electrici pentru GlidArc (valori preluate osciloscop).

Prelucrarea datelor s-a efectuat în două moduri:

a) cu mediul de dezvoltare MathWorks Matlab, care dispune de o bibliotecă de funcții ce permit prelucrarea datelor experimentale, atât prin interpolare cât și statistic;

b) prin preluarea directă a datelor în format csv și prelucrarea lor cu ajutorul softului EXCEL.

Prelucrarea primară pentru ambele metode a presupus inițial filtrarea datelor, pentru limitarea valorilor eronate (imposibile din punct de vedere fizic, de regulă mult prea mari, vârfuri de tensiune, puteri electrice negative) provenite în principal de la influența perturbatoare a câmpului electromagnetic generat de amorsarea și stingerea arcului electric, altfel spus de trecerile consecutive prin zero ale curentului, ceea ce a provocat uneori depășirea domeniului de măsură al osciloscopului.

Toate prelucrările efectuate au ținut seama că semnalul de curent este relativ simetric, că ambele semnale sunt periodice și în fază (descărcările electrice de tip GlidArc având o caracteristică pur rezistivă).

În cazul primei metode tensiunea descărcării electrice a fost prelucrată prin interpolare cu funcții spline, rezultând reprezentări de tipul celei prezentate în figura 3, graficul din partea superioară. Pe grafic au fost suprapuse pentru comparație semnalul prelucrat (în stânga figurii) și cu cel neprelucrat (în dreapta).

Cel de al doilea semnal de tensiune înregistrat pe rezistența de shunt, care a fost utilizat pentru calculul intensității de curent, a fost interpolat utilizând funcții sinusoidale, iar rezultatele sunt prezentate în Figura 3 partea de jos. Toate datele experimentale au fost prelucrate cu aceleași funcții de interpolare pentru compatibilitate.

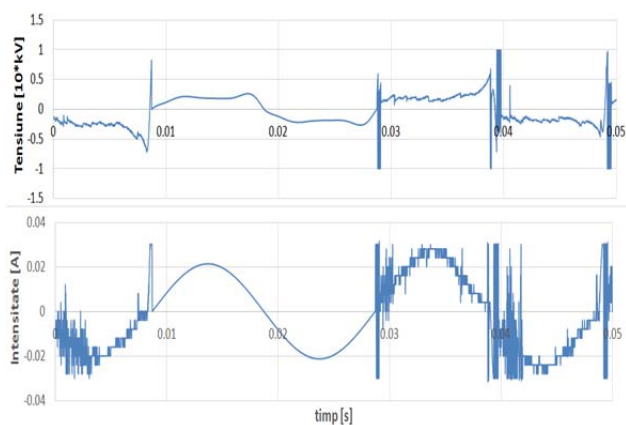


Fig. 3. Variația tensiunii și a curentului – semnale prelucrate (metoda 1) și reale.

Puterea  $P$  a descărcării a fost calculată utilizând relația (1) luând în considerare că sarcina generată de reactor este pur rezistivă, deci nu există defazaj între tensiune și curent, [6]:

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T p(t) dt = \frac{1}{T} \int_0^T u(t)i(t) dt, \quad (1)$$

Calculul efectiv al integralei s-a făcut numeric tot în mediul de dezvoltare Matlab.

În figura 4 sunt prezentate semnalele tensiune și curent utilizate pentru calculul puterii prin cea de a doua metodă, de prelucrare directă a datelor în EXCEL.

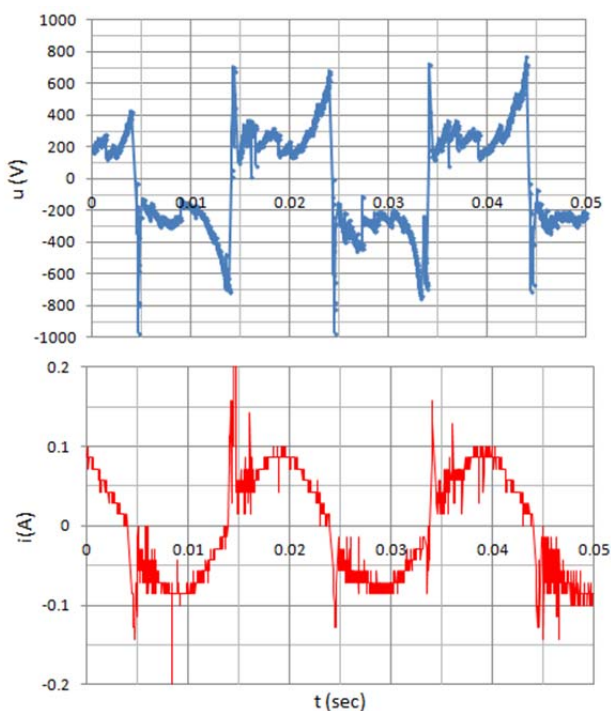


Fig. 4. Evoluția tensiunii și curentului descărcării în timp (valori preluate EXCEL – metoda 2).

Primele determinări ale puterii s-au făcut pentru aer ambiental, cu umiditatea relativă de 50% la

temperatura de 25 °C, alimentat din butelia unui compresor de aer printr-un regulator de presiune. Măsurătorile s-au efectuat pentru debitele de 7, 8, 9, 10 și 11 l/min. Rezultatele obținute sunt sintetizate în figura 5, care prezintă variația puterii calculate funcție de debitul de gaz introdus.

Se observă că puterea crește ușor odată cu creșterea debitului. Valoarea maximă obținută se plasează pe porțiunea crescătoare a dependenței putere utilă în funcție de debitul de gaz [5].

Instalația experimentală utilizată nu a permis efectuarea de teste la debite foarte mari. În acest caz, fenomenul care se produce se referă la amorsarea descărcării doar pe anumite perioade, datorită ionizării reduse, ceea ce se traduce printr-o micșorare a puterii electrice măsurate.

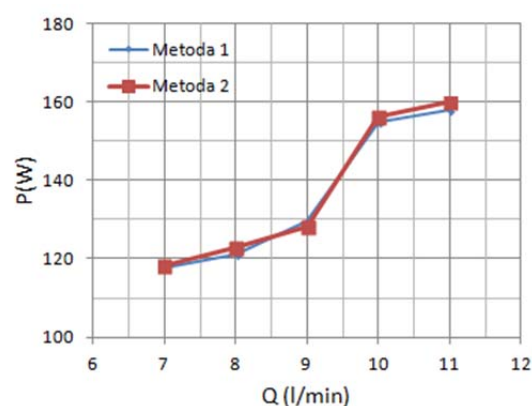


Fig. 5. Variația puterii cu debitul de aer introdus.

În aceleași condiții s-a efectuat testarea cu Ar, care a fost alimentat dintr-o butelie cu gaz industrial (pentru sudare puritate min. 97%), prin intermediul unui regulator de presiune. Rezultatele obținute sunt prezentate în figura 6.

La fel ca și în cazul aerului se observă aceeași tendință de creștere în cazul Argonului. Similar, aceeași limitare experimentală nu a permis efectuarea de teste cu debite și mai mari de gaz, pentru a putea verifica o scădere ulterioară a puterii. Trasarea completă a acestei dependențe a puterii față de debit permite identificarea unui punct energetic optim de funcționare pentru fiecare reactor de tip GlidArc.

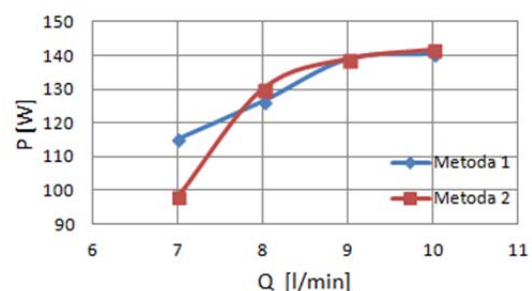


Fig. 6. Variația puterii cu debitul de argon introdus.

Testele efectuate cu  $N_2$  și  $O_2$ , s-au realizat în aceleași condiții ca și în cazurile anterioare, utilizând

## MĂSURAREA PUTERII UTILE LA TRATAMENTELE CU PLASMĂ NON-TERMICĂ

gaze industriale (butelie gaz de sudură, puritate min 97%), alimentate prin regulatoare de presiune. Rezultatele obținute sunt prezentate în figurile 7 și 8 și prezintă evoluții similare.

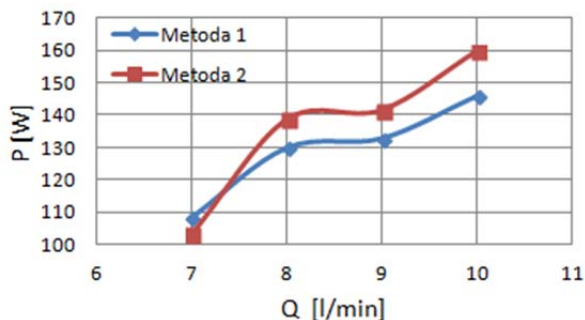


Fig. 7. Variația puterii cu debitul de  $N_2$  introdus.

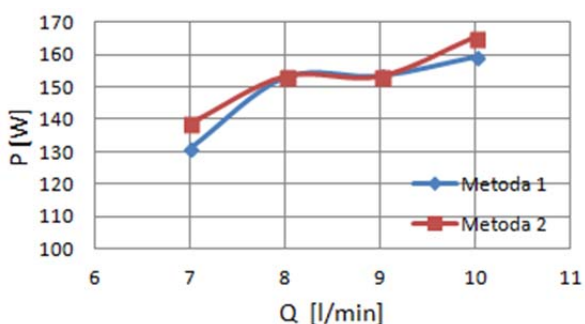


Fig. 8. Variația puterii cu debitul de  $O_2$  introdus.

Se poate observa că evoluția puterii în funcție de debit, pentru  $N_2$  și  $O_2$  este similară cu a celorlalte două gaze. Valorile maxime și minime diferă în funcție de gazul utilizat, fiind însă în intervalul 98 – 165 W pentru toate debiturile considerate. Metoda 2 a indicat valori măsurate apropiate, dar ușor mai mari decât metoda 1.

Dacă se analizează curbele de variație ale puterii obținute prin metoda 1 în funcție de debiturile de gaz pentru aer, azot și oxigen, vezi Figura 9, se poate observa că valoarea minimă a puterii pentru aer tinde către valoarea minimă a puterii specifice pentru  $N_2$  și respectiv valoarea maximă tinde către valoarea maximă a puterii specifice pentru  $O_2$ .

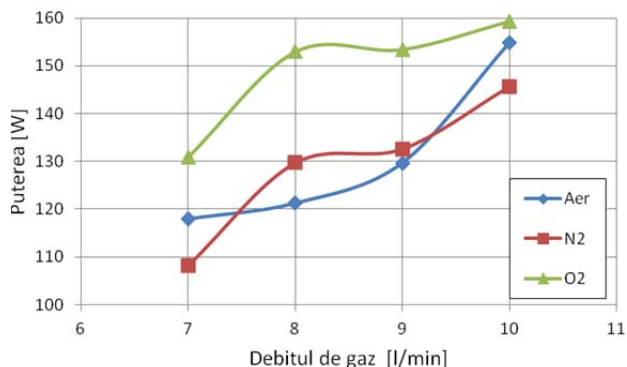


Fig. 9. Variația puterii în raport cu debiturile de Aer,  $N_2$  și  $O_2$  introduse.

Dacă suprapunem toate curbele de putere se observă că folosind  $O_2$  se obține în toate cazurile cea mai mare putere electrică indiferent de debitul de gaz. Valorile de putere activă cele mai mici măsurate s-au obținut în cazul utilizării Argonului, care reprezintă un gaz inert ce nu favorizează producerea ionizărilor și în consecință valori mai mici ale tensiunii descărcării.

Testele efectuate au permis și trasarea evoluției în timp a puterii descărcării pentru datele corespunzătoare metodei 1 de calcul. În Figura 10 s-a trasat evoluția în timp pentru o semiperioadă a puterii instantanee pentru aer și Argon la un debit de 8 l/min.

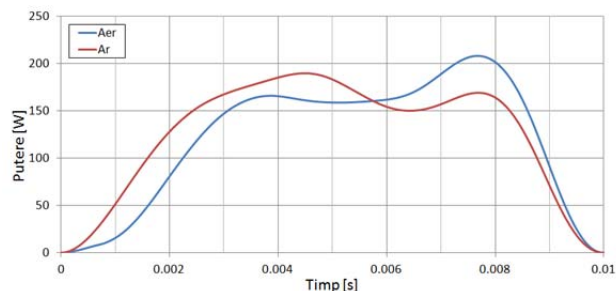


Fig. 10. Puterea instantanee pentru aer și Argon

În figura 11 s-a trasat evoluția temporală a puterii instantanee pe o semiperioadă pentru azot și oxigen la o valoare a debitului de 8 l/min.

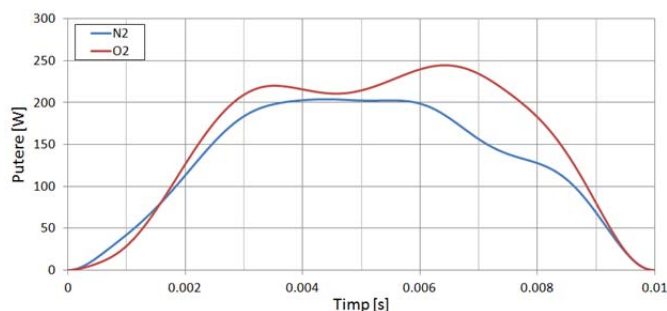


Fig. 11. Puterea instantanee pentru  $O_2$  și  $N_2$

Din figurile 10 și 11 se observă că valorile instantanee ale puterii utile a descărcărilor au forme relativ asemănătoare. Valoarea instantanee maximă a puterii se obține în cazul utilizării oxigenului ca gaz de suflaj. Prin folosirea metodei 1 de prelucrare a datelor experimentale valorile de vârf corespunzătoare amorsării și stingerii descărcării sunt atenuate. De asemenea anumite fenomene specifice evoluției GlidArcului, precum amorsarea mai multor descărcări pe o semiperioadă sau deplasarea punctelor de amorsare a descărcării pe electrozi, care se pot observa în figura 4, sunt complet eliminate.

## 4. CONCLUZII

Asigurarea unei puteri utile maxime pentru descărcările electrice produse într-un reactor de tip

GlidArc înseamnă optimizarea acestuia în vederea obținerii unei eficiențe maxime a tratamentului cu plasmă. Experimentele efectuate în această lucrare au evidențiat diferențele ce se obțin între diferite tipuri de gaz suflat între electrozi, însă nu au permis identificarea valorilor limită de debit care dacă sunt depășite puterea electrică măsurată va scade. În cazul utilizării aerului și a O<sub>2</sub> s-au obținut cele mai mari valori ale puterii măsurate, în jurul valorii de 165 W.

Utilizarea datelor interpolate cu ajutorul MathWorks MathLab a determinat valori finale ale puterii măsurate în deplină concordanță cu valorile obținute printr-o metodă directă de calcul, utilizând softul EXCEL.

Randamentul energetic în cazul utilizării drept sursă de alimentare a transformatorului de tip AUPEM SEFLI este unul foarte scăzut, în jurul valorii de 15 %.

### Recunoștință

Autorii doresc să mulțumească pentru fondurile alocate pe tema lucrării prin proiectul UEFISCDI de

colaborare bilaterală cu Franța nr. 771/2014, acronim TraiBioPlasma, 2015 – 2016.

### BIBLIOGRAFIE

- [1] E. Hnatiuc et al., *Procédés électriques de mesure et de traitement des polluants*, Edit. Lavoisier Tech&Doc, Paris, 2002.
- [2] A. Czernichowski, *Gliding arc. Applications to engineering and environment control*, Pure and Appl.Chem., vol.66, 1301-1310, 1996.
- [3] B. Hnatiuc, P. Pastva, A. Czernichowski, E. Hnatiuc, A. Ranaivosoloarimanana, *La mesure de la puissance utile dans un réacteur électrochimique à plasma froid*, Bul. I.P. Iasi, Tom XLV (IL), Fasc. 1-2, 1999.
- [4] B. Hnatiuc, E. Hnatiuc, R. Burlica, *L'appréciation de quelques paramètres des décharges électriques de type GlidArc utilisées pour la dépollution des gaz contenant de produits à base de toluene*, september 2003, SIELMEN 2003, Chisinau, Moldova Republic.
- [5] E. Hnatiuc, B. Hnatiuc, A. Czernichowski, M. Cernat, *The influence of the distance between electrodes to the electrical performances for an electrochemical reactor GlidArc type*, XIII-th Symposium on Physics of Switching Arc, FSO'99, 1999, Brno, Czech republic.
- [6] F. Richard, J.-M. Cormier, S. Pellerin, J. Chapelle, *Physical study of gliding arc discharge*, J.Appl.Phys. 79-5, 2245-2250, 1996.

---

### Despre autori

Ș.l. dr. ing. **Adrian SABĂU**

Universitatea Maritimă Constanța

Este absolvent al Universității Tehnice "Traian Vuia" din Timișoara, Facultatea de Inginerie Mecanică și al Universității Maritime Constanța, Facultatea de Electromecanică Navală. A obținut titlul de doctor inginer în Inginerie Mecanică din anul 2007 la Universitatea Transilvania din Brașov, instructor IMO din anul 2010.

Domeniile sale de interes se referă la motoare navale Diesel, aplicații pentru mediu, simulări procese mecanice, operațiuni și procese navale.

Conf. dr. ing. **Bogdan HNATIUC**

Universitatea Maritimă Constanța

Este absolvent al Facultății de Electrotehnică din cadrul Universității Tehnice "Gheorghe Asachi" din Iași (1995).

A obținut titlul de doctor inginer în Inginerie electrică al Universității Tehnice "Gheorghe Asachi" din Iași (2001) și titlul de doctor în Fizica Plasmei al Universității din Orleans, Franța (2002). Este specialist în Aparate Electrice, Compatibilitate Electromagnetică, Bazele Electrotehnicii, Aspecte legate de aplicațiile plasmei reci

Lector dr. **Simona GHIȚĂ**

Universitatea Maritimă Constanța

Este doctor în științe biologice din anul 2011, Specializarea Microbiologie marină al Universității Ovidius din

Constanța. Domeniile de competență profesională se referă la microbiologia marină, managementul calității mediului, mecanisme fiziologice de adaptare, hidrobiologie, conservarea biodiversității - dezvoltare durabilă, expertize de mediu.

Conf. dr. ing. **Mihaela HNATIUC**

Universitatea Maritimă Constanța

Este absolventa în 1995 a Facultății de Electronică și Telecomunicații din Iași. Master în Bioinginerie și Inteligență artificială, în 2002 și doctorat în Inginerie electrică, finalizat în 2006, la Facultatea de Electronică și Telecomunicații din Iași. Are ca domenii de interes sistemele, sistemele de automatizare, rețele de senzori și inteligența artificială cu aplicații în electronică.