

Reactor experimental pentru studiul proceselor biochimice sub acțiunea câmpurilor electrice

Mónika LINGVAY, PhD Levente CZUMBIL*

Abstract

An experimental reactor for the study of the effects of electric fields on the mechanism and kinetics of biochemical processes is presented. With its specific construction, the developed reactor allows the creation of homogeneous and controllable electric fields in the experimental biomass, which is arranged in a rectangular container of insulating material. The calculation of the electric field strength applied to biomass was calculated by numerical modelling with a specialized software, Ansoft Maxwell 14.0, depending on the voltage applied and the construction / geometry of the reactor, for a biomass with given electric characteristics (dielectric permittivity and conductivity).

Keywords: biomass, biochemical reactor, electric field, numerical modeling

1. Introducere

În urma progreselor tehnologice, producția și consumul de energie electrică sunt în continuă creștere. Atât rețelele de transport și distribuție aferente sistemului energetic trifazat, cât și consumatorii de energie electrică, generează în biosferă câmpuri electromagnetice de origine antropică. Pe de altă parte, materia vie are la bază celula formată din membrană celulară, citoplasmă și nucleu. Dezvoltarea celulelor este determinată în mare măsură de procesele biochimice complexe ce au loc la interfața membrană celulară/ citoplasmă. Citoplasma fiind un mediu conductor de speța a II-a în procesele redox ce se desfășoară atât la interfața membrană/citoplasmă, cât și în citoplasmă, intervine transferul de sarcină dintre diverse grupe funcționale. În aceste condiții, suprapunerea unui câmp electric peste mediul natural al materiei vii poate modifica mecanismul și cinetica proceselor biochimice din celule [1], deci câmpurile electromagnetice de origine antropică

reprezintă un factor de stres asupra materiei vii, deci pot fi considerate factori poluanți.

Numeroase studii, bazate pe observații și statistici de incidențe au pus în evidență influența câmpurilor electromagnetice perturbatoare asupra diverselor specii de plante și/sau animale [2]-[10]. Studii recente [11]-[14] au evidențiat faptul că se produc modificări în comportamentul și în metabolismul *Saccharomyces cerevisiae* (drojdia de bere) din cauza câmpurilor electrice perturbatoare de 50 Hz și mai mari de 50 mV/cm.

Se constată că studiul influenței câmpurilor electromagnetice perturbatoare asupra materiei vii este o problemă actuală de mare complexitate (necesită cunoștințe interdisciplinare din domeniile: biochimie, inginerie electrică, biologie, medicină etc.) și cu implicații practice deosebite.

Studiul experimental al influențelor câmpurilor electromagnetice asupra materiei vii /bioprocetelor este condiționat de concepția și realizarea unor bioreactoare experimentale adecvate scopului care permit aplicarea asupra mediului de reacție (biomasei) a unor câmpuri electrice omogene, fără ca electrozii aferenți generatorului de câmp electric să facă contact ohmic cu biomasa.

Având în vedere aceste considerente, *scopul prezentei lucrări* constă atât în

*Mónika LINGVAY: MSc Stud., Universitatea "Babeș-Bolyai", Cluj-Napoca, Facultatea de Chimie și Inginerie Chimică, str. Arany János, nr. 11, Cluj-Napoca, jud. Cluj, România; monika_lingvay@yahoo.com

Levente CZUMBIL: Doc.Eng., Research Assistant, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, Departamentul de Electrotehnică și Măsurări, str. Barițiu, nr. 26-28, sala 53, Cluj-Napoca, jud. Cluj, România; levente.czumbil@ethm.utcluj.ro

prezentarea unui model de reactor experimental destinat atât studiului proceselor biochimice sub acțiunea câmpurilor electrice, cât și a modelării numerice a câmpului electric din biomasa, în funcție de construcția reactorului, tensiunea aplicată și caracteristicile electrice ale biomasei experimentate.

2. Concepția și realizarea reactorului experimental

Reactorul conceput este de formă paralelipipedică cu pereții realizați din plăci de plexiglas cu grosime de 2 mm (pereții de 100 x 40 mm), respectiv de 4 mm (fundul și pereții de 100 x 20 mm). Tensiunea generatoare de câmp electric se aplică pe doi electrozi plan paraleli din folie de cupru ($\approx 36 \mu\text{m}$) aplicată pe suport din sticlotextolit (placă cu $\approx 0,5 \text{ mm}$) găurit în centru pentru formarea bornei de conexiune (trecerea cosei lipite de folia de cupru). Imaginea reactorului realizat este prezentată în fig. 1.

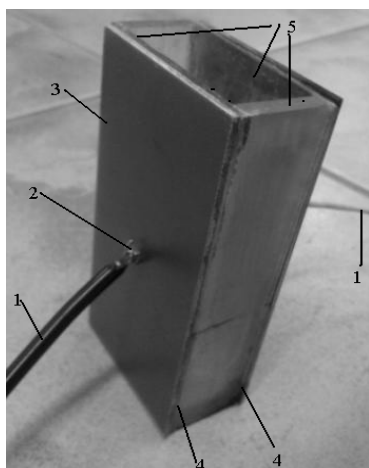


Figura 1. Imaginea reactorului experimental: 1 - fire de legătură pentru aplicarea tensiunii; 2 - borne de legătură; 3 - placă sticlotextolit placată cu folie de cupru; 4 - electrozii plan-paraleli din folie de cupru ($36 \mu\text{m}$); 5 - pereții din plexiglas ai reactorului.

Din analiza fig. 1., se constată că la aplicarea unei tensiuni U între borne între electrozii plan paraleli și prin pereții de 2 mm ai reactorului în interiorul reactorului se obține un câmp electric al cărei valoare este determinată de tensiunea aplicată între bornele de legătură, grosimea (2 mm), permitivitatea dielectrică și conductivitatea pereților din plexiglas, precum și de parametrii electrice ai biomasei din reactor.

Circuitul electric echivalent al reactorului experimental din fig. 1. este prezentat în fig. 2.

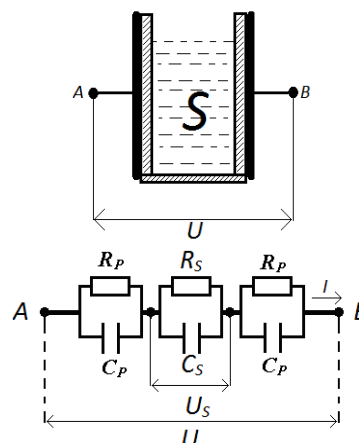


Figura 2. Circuitul electric echivalent al reactorului experimental din fig. 1.

Semnificațiile din fig. 2. sunt: U - tensiunea aplicată la bornele A și B ale reactorului; U_s - tensiunea divizată pe biomasa S (suspensia) studiată; C_p - capacitățile formate de pereții reactorului; R_p - rezistențele pereților date de rezistivitatea plexiglasului; R_s - rezistența coloanei de suspensie studiată; C_s - capacitatea dintre pereții reactorului datorată permitivității dielectrice a suspensiei studiate; I - curentul ce trece prin sistem.

Având în vedere cele din fig. 2., câmpul electric E aplicat pe suspensia studiată este:

$$E = U_s / d_s \text{ [V/m]} \quad (1)$$

în care d_s reprezintă distanța între fața interioară a pereților cu electrozii plan-paraleli ai reactorului (grosimea coloanei de suspensie).

În studiile privind impactul câmpurilor electrice asupra materiei vii, respectiv a biomasei studiate din reactor, este important ca biomasa studiată, în tot volumul ei, să fie expusă la un câmp electric omogen cu intensitate cunoscută.

În consecință, pentru reactorul experimental din fig. 1., s-a efectuat modelarea numerică a câmpului electric - calculele fiind realizate pentru suspensii de *Saccharomyces cerevisiae* și tensiuni (50 Hz) aplicate de $1\,000 \text{ V}_{\text{rms}}$, $2\,000 \text{ V}_{\text{rms}}$ și $3\,000 \text{ V}_{\text{rms}}$.

3. Modelarea numerică a câmpului electric din biomasa experimentală

Modelarea numerică a câmpului electric din biomasa (suspensia) experimentală, pentru reactorul din fig. 1. a fost realizată cu softul specializat *Ansoft Maxwell 14.0*.

Principalele etape ale modelării sunt prezentate în fig. 3.

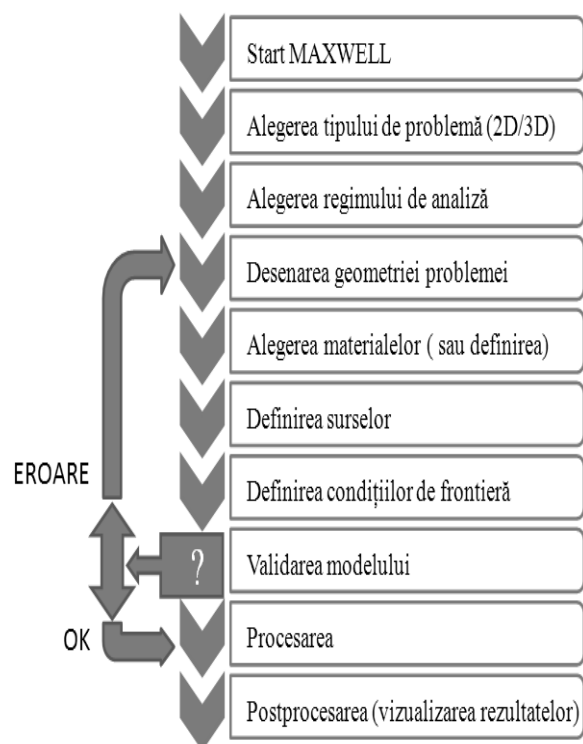


Figura 3. Principalele etape ale modelării numerice cu Ansoft Maxwell 14.0.

După inițierea programului **Maxwell 14.0**, în prima etapă, s-a selectat tipul problemei din meniul **Project/Insert Maxwell 2D Design**.

Următorul pas a constat în alegerea regimului de analiză și a sistemului de referință corespunzător problemei: prin accesarea meniului **Maxwell 2D/Solution Type**, iar în fereastra ce se deschide s-a ales sistemul de referință **Cartesian XY** și regimul **AC Conduction**.

Următoarea etapă a modelării numerice a fost desenarea geometriei prin accesarea din meniul **Draw** a comenzii **Rectangle**. Alegerea sau definirea materialelor s-a efectuat după desenarea corpurilor (a figurii). Pentru aceasta, s-a accesat cu dublu click corpul căruia s-a dorit să i se atribuiască un material. Din fereastra deschisă, prin accesarea opțiunii **Edit** a câmpului **Material**, se deschide o altă fereastră, unde se permite alegerea materialului dintr-o bază de date complexă, editarea materialelor existente sau adăugarea de noi materiale prin specificarea proprietăților acestora.

Definirea surselor este următoarea etapă a procesului de modelare numerică.

După atribuirea inițială a unor materiale corpurilor desenate, s-a definit corpul ce are rol de sursă de curent, dând click dreapta pe corpul respectiv, selectând din lista apărută opțiunea **Assign Excitation** și introducând sursa ca valoare și defazaj.

În continuare, s-au definit condițiile de frontieră, selectând element cu element frontiera domeniului de analiză /dreptunghiul. Pentru aceasta, s-a accesat din meniul **Edit/Select** opțiunea **Edges**, iar apoi prin apăsarea continuă a tastei **Ctrl** cu mouse-ul, s-au selectat entitățile ce alcătuiesc frontiera printr-un simplu click. După ce frontiera a fost selectată, s-a accesat din meniul **Maxwell 2D /Boundaries /Assign**, iar apoi condiția de frontieră potrivită.

O altă etapă a procesului de modelare o reprezintă configurarea soluției. Pentru aceasta, s-a accesat din meniul **Maxwell 2D /Analysis Setup /Add Solution Setup**, iar apoi în cadrul ferestrei deschise, s-a configurat numărul minim și maxim de pași în care s-a încercat soluționarea problemei, eroarea cu care problema să fie soluționată, frecvența etc.

În următoarea etapă, s-a validat ca modelul să fie corect desenat, iar apoi toate etapele anterioare celei curente, accesând din meniul **Maxwell 2D /Validation Check**. În fereastra apărută, s-a observat validarea sau invalidarea etapelor anterioare.

Etapă de procesare din cadrul procesului de modelare numerică s-a efectuat prin selectarea din meniul **Maxwell 2D** a opțiunii **Analyze All**. În partea dreaptă jos a ferestrei programului, s-a observat o bară progresivă care indică în ce fază se află procesarea.

Ultima etapă este postprocesarea, în cadrul căreia s-au vizualizat rezultatele simulării (hărți de câmp sub formă de pată de culoare, sub formă de linii, animații, parametrii etc). Pentru vizualizarea rezultatelor, s-a accesat din meniul **Maxwell 2D /Fields /Fields**, iar apoi s-au plotat și vizualizat informațiile dorite.

Rezultatele rulării programului pentru tensiunile (50 Hz) aplicate de 1000 V_{rms}, 2000 V_{rms} și 3000 V_{rms} și diverse valori ale permitivității relative și ale conductivității mediului, sunt prezentate în Tabelul 1.

Tabelul 1. Valorile numerice ale intensității câmpului electric din mediul studiat, funcție de tensiunea U aplicată pe reactor

ϵ_r	σ [S/m]	U= 1000 V _{rms}	U= 2000 V _{rms}	U= 3000 V _{rms}
		E [V/m]	E [V/m]	E [V/m]
500	0,0175	3373,304	6755,969	10199,097
1000	0,0175	1716,497	3432,616	5161,269
1500	0,0175	1151,128	2307,410	3461,348
2000	0,0175	865,818	1735,729	2614,765
2500	0,0175	693,893	1391,077	2095,594
3000	0,0175	579,243	1160,621	1748,436
500	0,0144	3371,739	6746,608	10133,953

ϵ_r	σ [S/m]	U= 1000 V _{rms}	U= 2000 V _{rms}	U= 3000 V _{rms}
		E [V/m]	E [V/m]	E [V/m]
500	0,0164	3371,739	6746,608	10133,953
500	0,0175	3373,304	6755,969	10199,097
500	0,0230	3371,739	6746,608	10133,953
500	0,0280	3371,739	6746,608	10133,953
500	0,0298	3371,739	6746,608	10133,953

Distribuțiile liniilor de câmp electric în funcție de permitivitatea și conductivitatea mediului din reactor, la tensiunea (50 Hz) aplicată pe borne $U=1000$ V_{rms} sunt ilustrate în fig. 4-9.

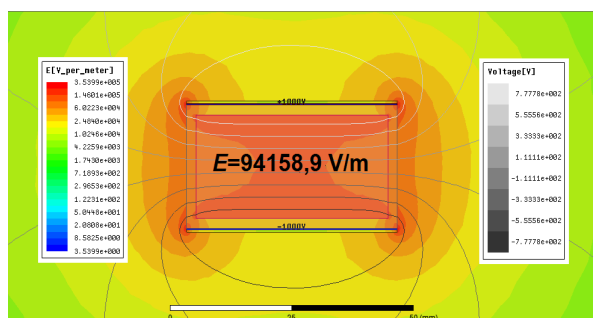


Figura 4. Distribuția liniilor de câmp în reactorul gol (umplut cu aer $\epsilon_r = 1$; $\sigma = 0$), la $U = 1000$ V

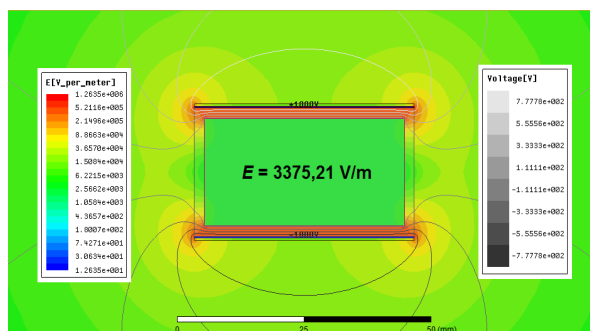


Figura 5. Distribuția liniilor de câmp în reactorul cu mediu având $\epsilon_r = 500$; $\sigma = 144$ μ S/cm, la $U = 1000$ V

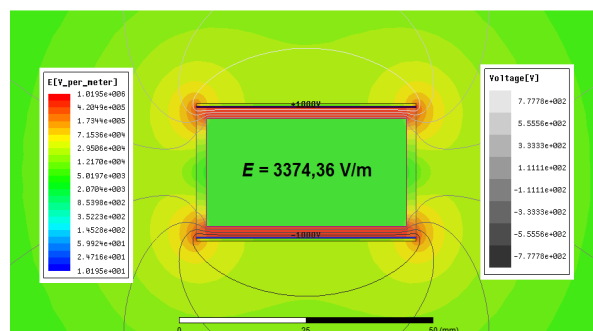


Figura 6. Distribuția liniilor de câmp în reactorul cu mediu având $\epsilon_r = 500$; $\sigma = 175$ μ S/cm, la $U = 1000$ V

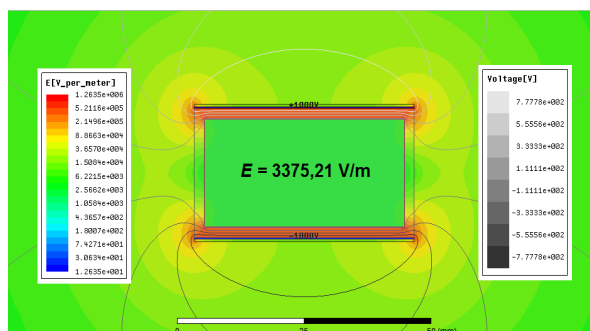


Figura 7. Distribuția liniilor de câmp în reactorul cu mediu având $\epsilon_r = 500$; $\sigma = 298$ μ S/cm, la $U = 1000$ V

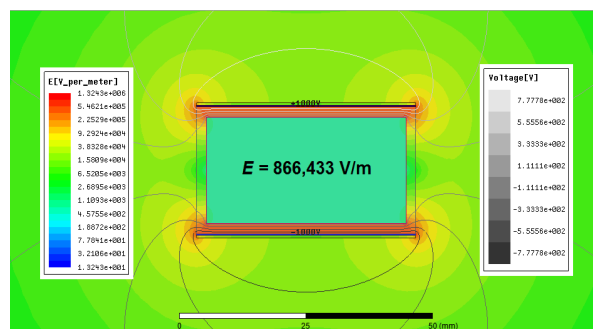


Figura 8. Distribuția liniilor de câmp în reactorul cu mediu având $\epsilon_r = 2000$; $\sigma = 175$ μ S/cm, la $U = 1000$ V

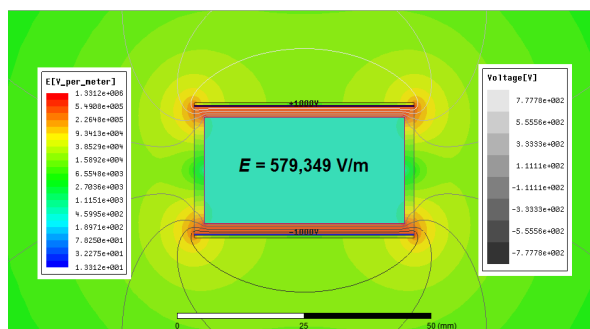


Figura 9. Distribuția liniilor de câmp în reactorul cu mediu având $\epsilon_r = 3000$; $\sigma = 175$ μ S/cm, la $U = 1000$ V

Din analiza fig. 4-9, se constată că intensitatea câmpului electric în interiorul reactorului în domeniul permitivităților ($1 < \epsilon_r < 3000$) și al conductivităților ($0 < \sigma < 298 \mu\text{S/cm}$) investigate este determinată, în primul rând, de permitivitatea mediului din reactor.

Astfel, din figurile 5-9, se observă că, la tensiunea de lucru $U = 1000 V_{\text{rms}}$ aplicată pe bornele reactorului din fig. 1. umplut cu medii având conductivitățile cuprinse între $144 \mu\text{S/cm}$ și $298 \mu\text{S/cm}$, asupra mediului /biomasei investigate acționează un câmp electric cu intensitate constantă având valorile cuprinse între 580 V/m și 3375 V/m în funcție de permitivitatea mediului studiat ($500 < \epsilon_r < 3000$).

4. Concluzii

A fost conceput și realizat un reactor experimental destinat studiului proceselor biochimice sub acțiunea câmpurilor electrice. Prin modelarea numerică cu softul specializat **Ansoft Maxwell 14.0.**, aplicată pentru caracteristicile constructive ale reactorului realizat, se constată că biomasa studiată este expusă unui câmp electric cu intensitate constantă a cărei valoare este determinată, în primul rând, de tensiunea aplicată pe bornele reactorului și de permitivitatea relativă a biomasei, și doar în mică măsură de conductivitatea acesteia.

7. Resurse bibliografice

- [1] Lingvay I., Lingvay C., Voina A., „Impact of the Anthropogenic Electromagnetic Fields on Electrochemical Reactions from the Biosphere”. in *Rev. Roumaine Sci. Tech. Sér. Électrotech. Énergét.* 2008, 53 (2bis): pp.85-94.
- [2] Marino A.A., Becker R.O., „Biological Effects of Extremely Low Frequency Electric and Magnetic Fields: a Review”. in *Physiol. Chem. & Physics.* 1977, 9: pp. 131-142.
- [3] Anderson L.E., „ELF: Exposure Levels, Bioeffects and Epidemiology”. in *Health Phys.* 1991, 61: pp. 41-46.
- [4] Hendee W.R., Boteler J.C., „The Question of Health Effects from Exposure to Electromagnetic Fields”. in *Health Phys.* 1994, 66: pp.127-136.
- [5] Nageswari K.S. et al., „Effect of prolonged Low Power Microwave Radiation on Peripheral Leucocyte Counts in Rabbits”. in *Indian J. Med. Res.* 1982, 75: pp. 453-459.
- [6] Hyland G.J., „Physics and Biology of Mobile Telephony”. in *The Lancet.* 2000, 356: pp.1833-1836.
- [7] Salford L.G., Brun A.E., Eberhardt J.L. et al., „Nerve Cell Damage in Mammalian Brain after Exposure to Microwaves from GSM Mobile Phones”. in *Environ Health Perspect.* 2003, 111: pp. 881-883.
- [8] Volkow N.D., Tomasi D., Want G. et al., „Effects of cell phone radiofrequency signal exposure on the brain glucose metabolism”. in *JAMA.* 2011, 305: pp. 808-813.
- [9] Cleveland R.F., Ulcek J.L., „Questions and Answers about Biological Effects and Potential Hazards of Radiofrequency Electromagnetic Fields”. in *Federal Communications Commission Office of Engineering & Technology*, OET BULLETIN 56, 4th Ed., 1999.
- [10] Martínez A.B., „The Effects of Microwaves on the Trees and Other Plants”, Valladolid, Spain, 2003. [online]. [http://www.teslabel.be/001/documents/The effects of microwaves on trees and other plants.pdf](http://www.teslabel.be/001/documents/The%20effects%20of%20microwaves%20on%20trees%20and%20other%20plants.pdf) [Accesat: 10.03.2014].
- [11] Lingvay M., Stancu C., Szatmári I., Lingvay I., „The influence of 50Hz electric field to dielectric permittivity of yeast (*Saccharomyces cerevisiae*) suspensions”, *EEA-Electronică, Electrotehnică, Automatizări.* 2013, 61 (1): pp. 43-47.
- [12] Stancu C., Lingvay M., Szatmári I., Lingvay I., „Influence of 50 Hz Electromagnetic Field on the Yeast (*Saccharomyces Cerevisiae*) Metabolism”. in: *The 8th International Symposium on Advanced Topics in Electrical Engineering*, Bucharest, Romania, May 23-25, 2013. CD Proceedings ISBN 978-1-4673-5978-8, IEEE Catalog Number CFP1314P-CDR, <http://ieeexplore.ieee.org>.
- [13] Lingvay, M. *Controlul prin câmp electric al reacției de obținere a (S)-(-)-1-feniletanolului prin reducerea 1-feniletanonei, mediată de Saccharomyces cerevisiae* [Control by electric field of the (S)-(-)-1-phenylethanol obtaining by (S)-(-)-1-phenylethanol reduction reaction mediated by *Saccharomyces cerevisiae*]. Bachelor thesis, Babeș-Bolyai University, Cluj-Napoca - Faculty of Chemistry and Chemical Engineering, 2013.
- [14] Lingvay, M. *Influența câmpurilor electromagnetice asupra comportării și dezvoltării Saccharomyces cerevisiae* [Influence of electromagnetic fields on the behaviour and evolution of *Saccharomyces cerevisiae*]. MSc thesis, Babeș-Bolyai University, Cluj-Napoca - Faculty of Physics, 2014.

8. Biography



Mónica LINGVAY was born in Bucharest (RO) on May 9, 1991. She graduated the Babeş-Bolyai University of Cluj-Napoca, Romania, Faculty of Chemistry and Chemical Engineering and

Faculty of Physics in 2013 and is MSc Student at Faculty of Chemistry and Chemical Engineering. Her research interests concern effects of electromagnetic signals of anthropic origin on the living world.



Levente CZUMBIL was born in Baia Mare (Romania), on September 6, 1985.

He graduated the Technical University of Cluj-Napoca, Faculty of Electrical Engineering in Cluj-Napoca, Romania, in 2009.

He received the PhD degree in electrical engineering from the Technical University of Cluj-Napoca (Romania), in 2012.

He is a Research Assitent at the Technical University of Cluj-Napoca (Romania).

His research interests concern electromagnetic interferences, numerical modelling, artificial intelligence techniques, power lines.