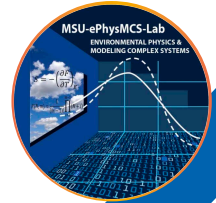


Conferința științifico-practică  
„TEHNOLOGII FIZICE AVANSATE  
CU APLICAREA UVS ÎN  
MONITORIZAREA ȘI MODELAREA  
FACTORILOR DE MEDIU”,  
Ediția a V-a

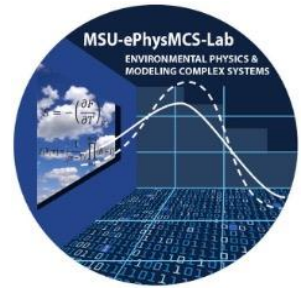


Scientific and Practical Conference  
„ADVANCED PHYSICAL TECHNOLOGIES  
WITH UVS APPLICATION  
IN MONITORING AND MODELING  
OF ENVIRONMENTAL FACTORS”,  
5<sup>th</sup> edition



08.11

TehFizUVS-2024



**MOLDOVA STATE UNIVERSITY  
INSTITUTE OF APPLIED PHYSICS  
Scientific Research Laboratory  
"Environmental Physics and Complex Systems Modeling"**

Proceedings of the Scientific and Practical Conference  
**“Advanced Physical Technologies with UVS Application in  
Monitoring and Modeling of Environmental Factors” (TehFizUVS),**  
5th Edition,  
dedicated to the International Day of Science for Peace and Development  
November, 8, 2024

Materialele Conferinței științifico-practice  
**„TEHNOLOGII FIZICE AVANSATE CU APLICAREA UVS ÎN MONITORIZAREA ȘI  
MODELAREA FACTORILOR DE MEDIU” (TehFizUVS),** Ediția a V-a,  
dedicată Zilei Internaționale a Științei pentru Pace și Dezvoltare  
8 noiembrie 2024

Chisinau, 2024

Proceedings of the Scientific and Practical Conference  
**“Advanced Physical Technologies with UVS Application in Monitoring and Modeling of Environmental Factors” (TehFizUVS)**, 5th Edition,  
dedicated to the International Day of Science for Peace and Development  
November, 8, 2024

Materialele Conferinței științifico-practice  
**„TEHNOLOGII FIZICE AVANSATE CU APLICAREA UVS ÎN MONITORIZAREA ȘI MODELAREA FACTORILOR DE MEDIU” (TehFizUVS)**, Ediția a V-a,  
dedicată Zilei Internaționale a Științei pentru Pace și Dezvoltare  
8 noiembrie 2024

**Editorial Production:**

PhD, associate professor, leading scientific researcher Veaceslav Sprincean, Moldova State University  
PhD, senior scientific researcher Marianna Savva, Moldova State University

**"Tehnologii fizice avansate cu aplicarea UVS în monitorizarea și modelarea factorilor de mediu" (TehFizUVS), conferință științifico-practică (5 ; 2024 ; Chișinău).** Materialele Conferinței științifico-practice "Tehnologii fizice avansate cu aplicarea UVS în monitorizarea și modelarea factorilor de mediu" (TehFizUVS), Ediția a 5-a, dedicată Zilei Internaționale a Științei pentru Pace și Dezvoltare, 8 noiembrie 2024 = Proceedings of the Scientific and Practical Conference "Advanced Physical Technologies with UVS Application in Monitoring and Modeling of Environmental Factors" (TehFizUVS), 5th Edition, dedicated to the International Day of Science for Peace and Development, November 8, 2024 / scientific committee: Veaceslav Sprincean [et al.]. – Chișinău : [Editura USM], 2024. – 138, [1] p. : fig. color, tab.

Cerințe de sistem: PDF Reader.

Antetit.: Moldova State University, Institute of Applied Physics, Scientific Research Laboratory, "Environmental Physics and Complex Systems Modeling". – Rez.: lb. engl. – Referințe bibliogr. la sfârșitul art.

**ISBN 978-9975-62-819-8 (PDF).**

**535:621:502/504(082)**

**T 32**

The event is organized within the research subprogramme “Advanced physical methods and UAV-based technologies for complex monitoring, evaluation and modeling” (PHYSTECH), subprogramme code 011210.  
Note! The responsibility for the scientific quality of the articles published in this collection lies with the authors.

© Veaceslav Sprincean, Savva Marianna et al., 2024  
©Moldova State University, 2024

## **CONFERENCE SCIENTIFIC COMMITTEE:**

Veaceslav Sprincean	Moldova State University, PhD, associate professor, leading scientific researcher, research subprogramme director
Florentin Paladi	Moldova State University, DSc, professor, principal scientific researcher
Ion Tighineanu	President of the Academy of Sciences of Moldova, academician, DSc, professor
Tudor Braniște	Technical University of Moldova, PhD, senior scientific researcher
Sergiu Matveev	Moldova State University, PhD, associate professor, leading scientific researcher
Marianna Savva	Moldova State University, PhD, senior scientific researcher
Ana Bîrsan	Moldova State University, PhD, associate professor, leading scientific researcher
George Culea	“Vasile Alecsandri” University of Bacau, Romania, DSc, professor
Gabriel Puiu	“Vasile Alecsandri” University of Bacau, Romania, PhD, lecturer
Pasquale Daponte	University of Sannio, Benevento, Italy, Dr.h.c., professor
Luca De Vito	University of Sannio, Benevento, Italy, PhD, associate professor
Erika Ottaviano	University of Cassino and Southern Lazio, Italy, PhD, associate professor
Dorin Afanas	“Alexandru cel Bun” Military Academy of the Armed Forces, PhD, associate professor
Vasile Iarmulschi	Institute for Prehistoric Archaeology, Free University of Berlin, Germany, PhD, research scientist
Andrei Asăndulesei	ARHEOINVEST Center, “Alexandru Ioan Cuza” University of Iasi, Romania, PhD, scientific researcher

## **CONFERENCE ORGANIZING COMMITTEE:**

Veaceslav Sprincean	Moldova State University, PhD, associate professor, leading scientific researcher, research subprogramme director
Marianna Savva	Moldova State University, PhD, senior scientific researcher
Sergiu Matveev	Moldova State University, PhD, associate professor, leading scientific researcher

## SENSORS AND MEASUREMENTS FOR UAV SAFETY

**Luca DE VITO**

University of Sannio, Benevento, Italy

ORCID: 0000-0003-1896-2614,

email: devito@unisannio.it

*Abstract: This paper presents an overview of sensor and measurement technologies for enhancing the safety of Unmanned Aerial Vehicles (UAVs). In particular, the paper discusses the sensors and measurement technologies to improve the perception of the environment in UAVs as well as the platforms for ground verification of UAVs. The paper finally presents the prototype of a UAV test platform for small UAVs, developed as result of a collaboration between the University of Sannio and a company, allowing to measure the thrust force in several directions, the orientation of the UAV and the power consumption. The platform was recently enhanced with a machine learning-based fault detection method which was proven to identify propeller defects.*

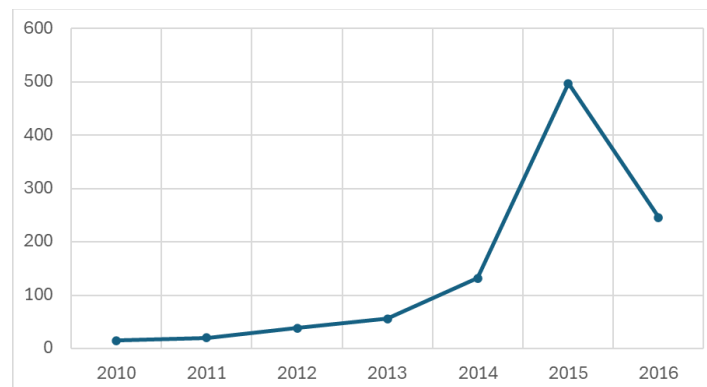
*Keywords: Unmanned Aerial Vehicle, Testing, Safety.*

### Introduction

The rapid advancement of unmanned aerial vehicles (UAVs) has revolutionized various sectors, including agriculture, logistics, surveillance, and disaster management. These versatile devices offer unprecedented capabilities, from high-resolution aerial photography to precise delivery services. However, as UAVs become increasingly integrated into our daily lives and critical infrastructures, ensuring their safe operation has become crucial.

The UAS (Unmanned Aerial System) safety risk portfolio and analysis [1], published in 2016 by the European Union Aviation Safety Agency (EASA) has documented all safety occurrences in the period between 2010 and 2016. According to the EASA definition, a safety occurrence is any safety-related event which endangers or which, if not corrected or addressed, could endanger an aircraft, its occupants or any other person.

Fig. 1 reports the trend of reported occurrences from 2010 to 2016. It is worth noting that [1] only reports partial data for 2016 until the end of May; therefore, it was expected to have at the end of the year a value at least twice what is reported in the figure. It can be observed that the occurrences increased every year, thus confirming the growing interest in UAV safety.



**Fig. 1. UAS occurrences per year (source: [1])**

In [1], key risk areas have been identified. Two significant areas among them are the collision of the UAV with people or objects and the failure of any UAV subsystems.

This paper presents sensor and measurement technologies to enhance UAV safety by reducing these risk areas. In the next section, the sensor and measurement requirements to enhance UAV awareness of the surrounding environment are presented regarding the former risk area. Then, the platforms for ground verification of the UAV subsystems will be described, which aim to reduce the risk associated with the latter area. Finally, a test platform designed as a result of a collaboration between the Laboratory of Measurement and Signal Processing of the University of Sannio and a company will be discussed.

### Sensors and measurements for collision avoidance

As mentioned above, one of the most significant risks for a UAV is the collision with people or objects. To reduce this risk, the UAV must be equipped with proper devices and algorithms able to sense the presence of objects and people in the neighborhood and to react by both predicting the risk of collision and eventually moving away from the point of a collision or changing the flight trajectory to avoid it. According to [2], collision avoidance can be divided into two phases (Fig. 2): perception and action. In the perception phase, the contribution of measurement and instrumentation is crucial as the UAV must become aware of the possible risk of collision. For this, different sensor technologies are used, which can be classified into passive and active sensors. In active sensors, the working principle is based on the transmission of light or the emission of a wave and the reflected back-scatter reading. LIDARs, sonars and radars belong to this category. Passive sensors use instead a different source, such as the reflected object sunlight, to read the obstacle discharged energy. Cameras or passive infrared sensors are part of this category. Since different sensor types can have advantages and disadvantages, advanced collision avoidance systems often use a combination of sensor technologies whose data are fused by specific algorithms.

Regarding the action phase, actions can be classified into four types: geometric, force-field, optimized, and sense-and-avoid. Geometric actions use the UAV's position data to steer clear of obstacles. Force-field actions navigate around obstacles by applying attractive and repulsive forces. Optimized actions utilize predefined parameters for obstacle avoidance. Sense-and-avoid actions depend on real-time sensor data to make immediate decisions for avoiding obstacles.

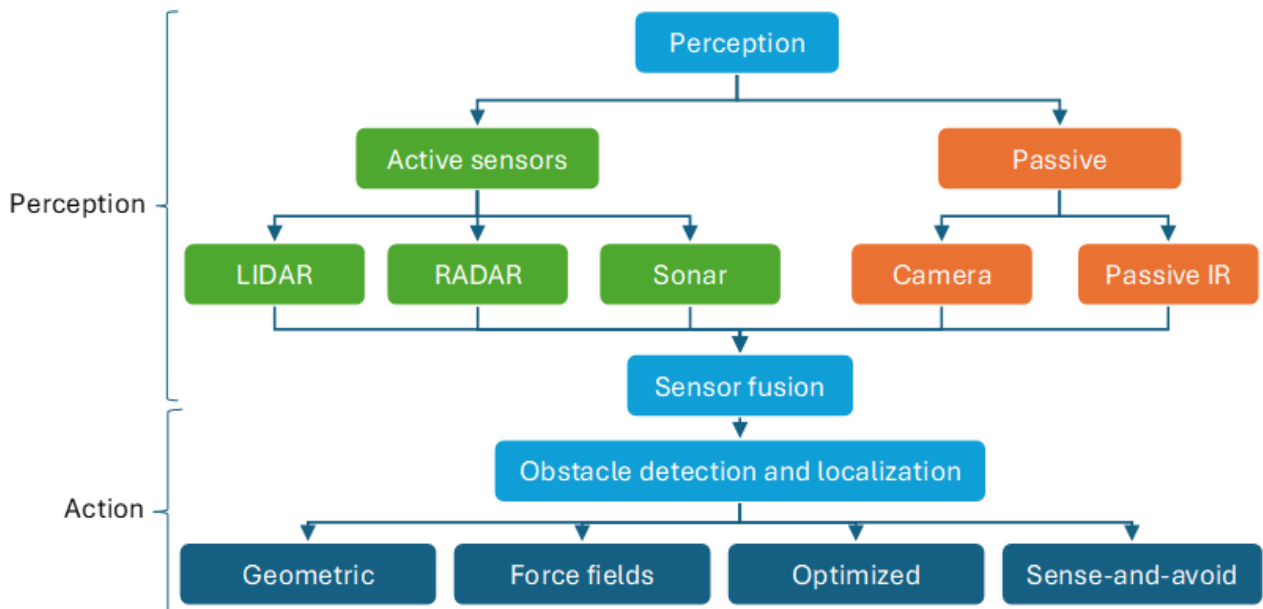


Fig. 2. Stages of collision avoidance

### Platforms for ground UAV verification

To reduce the risk of failure in any UAV subsystems, it is crucial to perform accurate verifications of the UAV, which could have a good coverage of a broad range of malfunctions. In the literature, many platforms have been proposed to evaluate the performance of UAV subsystems, such as the battery reliability or the performance of the propulsion system.

In [3], the authors proposed a test bench equipped with: (i) a load cell to measure the thrust force of the pair motor-propeller, (ii) an infrared speed sensor TCRT5000, to measure the propeller angular speed, and (iii) voltage and current sensors, to measure the power transferred by the battery. With such a platform, they evaluated the efficiency (i.e. the produced thrust force per unit of power), the propeller angular rate and the consumed power for different values of the imposed throttle. Similar approaches were used in [4] and [5].

These test benches, however, were mainly intended to evaluate different combinations of motor and propeller at the design stage rather than for UAV verification before the flight. Moreover, they are only able to verify the propulsion system and do not provide an automatic identification of possible faults or the early detection of small damages.

In [6], the authors proposed an approach based on the installation of accelerometer sensors on each arm of the UAV frame (a quadrotor UAV was considered). They prove that the sensed acceleration signals are sensitive to defects in any of the motor-propeller couples and they also provided a machine learning-based method for the identification and the localization of the faults. While providing fault detection and localization, this method involves the installation of specific sensors on the UAV, and the fault detection results could depend on the UAV shape and size, as well as on the location of the sensors. Therefore, it does not adapt well to the verification of a general UAV before the flight.

### The Dronesbench platform

To overcome the limitations mentioned above, a UAV test platform called Dronesbench has been designed, as a result of the collaboration between the Laboratory of Signal Processing and Measurement Information of the University of Sannio and the DPM Elettronica company [7-8]. It consists of a base with three feet (Fig. 3a) supporting a measurement head (Fig. 3b). The measurement head consists of a star-shaped structure with three arms, with a  $120^\circ$  angle each other. The measurement head is equipped with four load cells to measure the thrust produced by the UAV in different directions. Three load cells are located at the end of each arm, where the measurement head is suspended from the base. A fourth load cell (Fig. 3b) is located below the head to measure the thrust in the vertical direction.

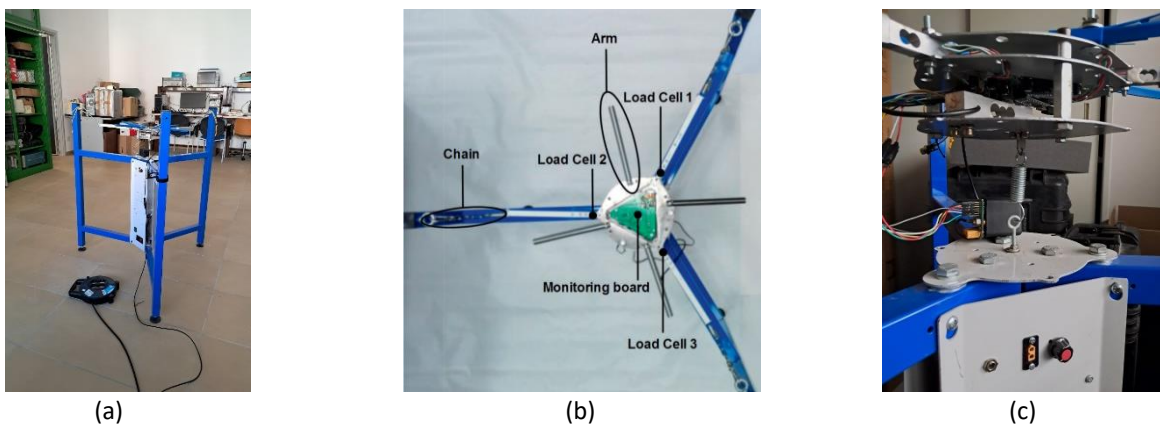
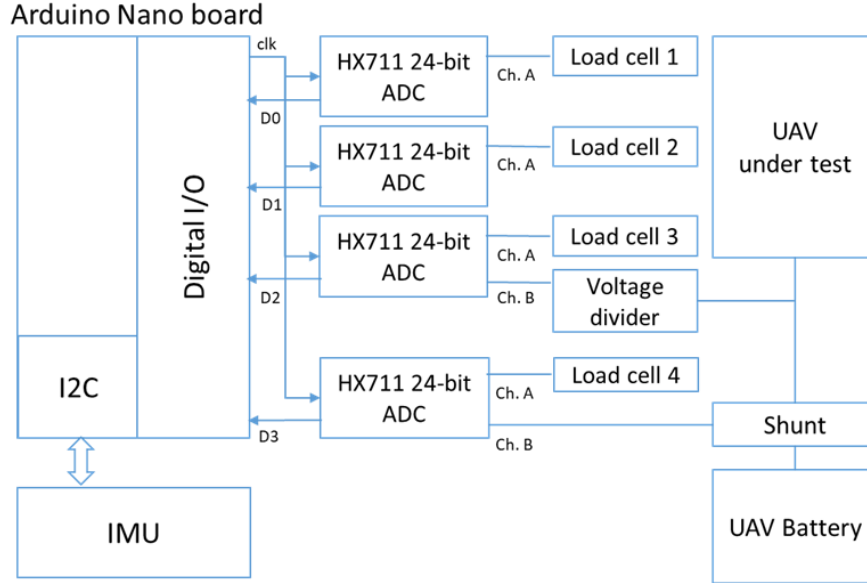


Fig. 3. Pictures of the Dronesbench test platform

An electronic board is also installed on the measurement head, whose block scheme is depicted in Fig. 4. It consists of: (i) an Arduino Nano board equipped with an Atmel ATmega328 microcontroller, which is in charge of managing all other circuits and collecting the measurements; (ii) a 1/3 voltage divider and a 0.2  $\Omega$  shunt, which serves capture the voltage and current signals transferred from the battery to the UAV, (iii) four HX711 2-channel 24-bit Analog-to-Digital Converters (ADCs), allowing to digitize both the signals from the load cells and those of the current and voltage; and (iv) an Inertial Measurement Unit, which is in charge of measuring the orientation of the measurement head.



**Fig. 4. Block scheme of the Dronesbench electronic board**

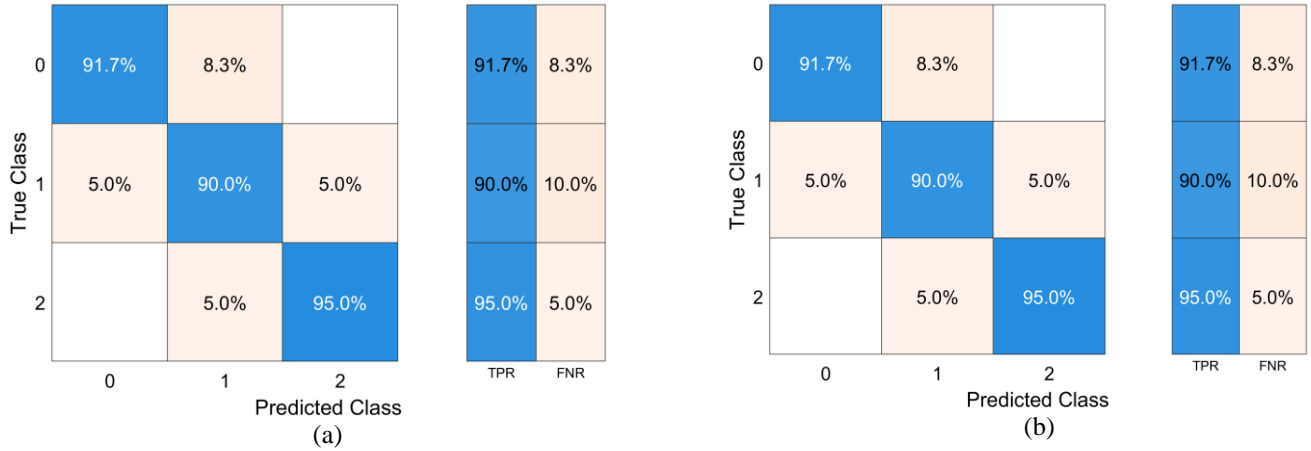
During the test, the UAV is tied to the measurement head, and its battery is connected to the platform to extract the voltage and current signals. The platform can provide measurements of the thrust obtained by the four load cells, the orientation of the head and the power transferred by the battery.

As described in [8], the Dronesbench has been complemented by a machine learning-based fault detection method. The method was used to identify and locate faults in the propellers. Two types of faults were considered, i.e. a propeller having a cut on a single tip or both tips.

With the considered faults, a signal dataset was created consisting of: (i) 60 records in case of all propellers intact (ii) 100 records in case of one propeller with a cut on a single tip, 25 for each of the 4 considered propeller positions, and (iii) 100 records in case of one propeller with cuts on both tips, 25 for each of the 4 considered propeller positions. Two fault detection problems were defined aiming to: (i) identify the presence and type of the defect, i.e. one-tip or two-tip cut, and (ii) identify the location of the damage, i.e. on the left side or the right side of the UAV, respectively. For each record and each measured quantity (i.e., 4 thrust force measurements, triaxial accelerations and angular rates, current, and voltage measurements), time and frequency domain features were extracted from each trial consisting of approximately 300 samples. The extracted features in the time domain were peak value, mean, root mean square (RMS), standard deviation (std), total harmonic distortion (THD), and signal-to-noise and distortion (SINAD) ratio. The features in the frequency domains were the band power, the frequency of the first harmonic peak and its magnitude. The features were ranked using one-way Analysis of Variance and the first 15 for each detection problem were selected.



A dataset with the feature values was therefore created and used for the training and classification. In particular, 80% of the dataset was used in the training and validation phases, while the remaining 20% was used for testing. Different classification algorithms were evaluated, including Quadratic Discriminant, Neural Network, K-Nearest Neighbors, Ensemble Tree, Subspace Discriminant Ensemble, and Support-Vector Machines. The classifiers obtaining the best results were the Quadratic Discriminant, and the Subspace Discriminant Ensemble, for the defect identification and localization problems, respectively. Fig. 5 reports the confusion matrices obtained by these classifiers, where it can be observed that a True Positive Rate or 90% or above was obtained in both cases, confirming the capability of the platform to accurately identify both the type and the location of the defect.



**Fig. 5. Confusion matrices for the classification of the type (a) and the location (b) of the defect**

## Conclusions

In this paper, instrumentation and measurement technology for UAV safety was discussed. According to EASA two major risk areas for UAVs are the risk of collisions with people or objects and the failure of some UAV subsystems. Therefore, instrumentation and measurement technologies to enhance safety in these two areas were discussed. In particular, to test UAV subsystems, test platforms are used to evaluate the UAV capabilities before the flight. A test platform designed as a result of the collaboration between the Laboratory of Measurement and Signal Processing of the University of Sannio and a company was presented. It is able to measure the thrust in different directions, the orientation of the UAV and the power transferred from the battery to the UAV. Moreover, it was complemented with a machine learning-based fault detection method that was able to identify and locate small defects in the propellers. Although several instrumentation and measurement technologies have been proposed for improving UAV safety, there are still open research gaps. Advanced mapping systems and fast and accurate reaction algorithms are still required for collision avoidance. Moreover, sensors and measurement methods for in-flight self-diagnosis are still to be improved. Finally, integrated platforms capable of testing several subsystems and detecting early faults are needed.

## References:

1. EASA, UAS Safety Risk Portfolio and Analysis, 2016, <https://www.easa.europa.eu/en/document-library/general-publications/uas-safety-risk-portfolio-and-analysis>.
2. WANNER, D., HASHIM, H.A., SRIVASTAVA, S., STEINHAUER, A. UAV avionics safety, certification, accidents, redundancy, integrity, and reliability: a comprehensive review and future trends. Drone Systems and Applications, Vol. 12, 2024, pp.1-23, doi: 10.1139/dsa-2023-0091.

3. HERNÁNDEZ, J.D., NANDAR, J.E., CHANGOLUISA, I.D., CRUZ, P.J., VALENCIA, E. Test-bench development for the efficiency analysis of UAV motor-propeller sets. In: Proc. of 2021 IEEE Fifth Ecuador Technical Chapters Meeting (ETCM), 2021, pp. 1-6, doi: 10.1109/ETCM53643.2021.9590717.
4. FAUNDES, D.N., WUNSCH, V., HOHNSTEIN, S., GLASS, B., VETTER, M. Research paper on the topic of different UAV drive train qualification and parameter sets. In: Proc. of the 32nd Digital Avionics Systems Conference (DASC), East Syracuse, NY, Oct., pp. 6-10, 2013, doi: 10.1109/DASC.2013.6712629.
5. CZYBA, R., SZAFRAŃSKI, G., JANIK, M., PAMPUCH K., HECCEL, M. Development of Co-Axial Y6-Rotor UAV – Design, Mathematical Modeling, Rapid Prototyping and Experimental Validation. In: Proc. of 2015 International Conference on Unmanned Aircraft Systems (ICUAS), 2015.
6. BONDYRA, A., GAŚIÓR, P., GARDECKI, S., KASIŃSKI, A. Development of the sensory network for the vibration-based fault detection and isolation in the multirotor UAV propulsion system. In: Proc. of the 15th International Conference on Informatics in Control, Automation and Robotics – Volume 2: ICINCO, INSTICC. SciTePress, 2018, pp. 102–109, doi: 10.5220/0006846801020109.
7. DAPONTE, P., DE VITO, L., LAMONACA, F., PICARIELLO, F., RICCIO, M., RAPUANO, S., POMPETTI, L., POMPETTI, M. DronesBench: an innovative bench to test drones. In: IEEE Instrumentation & Measurement Magazine, vol. 20, No. 6, pp. 8-15, December 2017, doi: 10.1109/MIM.2017.8121945.
8. DAPONTE, P., DE VITO, L., PICARIELLO, F., TUDOSA, I. UAV test-bench platform for propeller diagnostics using Machine Learning. In: Proc. of 2024 Int. Workshop on Technology for Defense, Naples, Nov. 2024.

The work has been supported by the following project: "Advanced Technologies for Physical Resilience Of cRitical Infrastructures (APRIORI)", code: SPS G6140, funded by the NATO, Science for Peace and Security (SPS) Call for Proposals 2023-1.

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗНАЧЕНИЙ СИНГУЛЯРНЫХ ИНТЕГРАЛОВ  
С ПРИЛОЖЕНИЯМИ В ФИЗИКЕ И ТЕХНИКЕ**

**DETERMINING THE VALUES OF SINGULAR INTEGRALS WITH APPLICATIONS IN  
PHYSICS AND ENGINEERING**

**Alexandr A. BARSUK**  
Universitatea de Stat din Moldova

ORCID: 0000-0003-0601-545X  
e-mail: [a.a.barsuk@mail.ru](mailto:a.a.barsuk@mail.ru)

**Florentin PALADI**  
Universitatea de Stat din Moldova

ORCID: 0000-0001-8099-9413  
e-mail: [fpaladi@yahoo.com](mailto:fpaladi@yahoo.com)

***Abstract.** The analysis of numerous problems in physics and mechanics naturally leads to singular integrals. In particular, we come to such integrals in the study of the processes occurring in electron plasma first emitted in the fundamental studies of A.A. Vlasov. We show that the calculation of the singular integral in the sense of the principal value leads to its true value and represents a way of uncertainty disclosure.*

***Keywords:** Singular integral; Cauchy principal value; parametric representation of solutions.*

Под сингулярным интегралом всюду ниже будем понимать интеграл от вещественной функции одной переменной, имеющей внутри интервала интегрирования полюс первого порядка, т.е. интегралы вида

$$I = \int_a^b f(x)dx = \int_a^b \frac{\varphi(x)}{x-c} dx, \quad \varphi(c) \neq 0, \quad a < c < b, \quad (1)$$

где пределы интегрирования  $a, b$  могут обращаться и в бесконечность. В математической литературе такие интегралы принадлежат к классу интегралов типа Коши (см. например [1]). Общепринято считать, что интеграл (1) не существует, и в связи с этим рассматривается его регуляризованное значение вычисляемое в смысле Коши, т.е.

$$I = \lim_{\varepsilon \rightarrow 0} \left( \int_a^{c-\varepsilon} \frac{\varphi(x)}{x-c} dx + \int_{c+\varepsilon}^b \frac{\varphi(x)}{x-c} dx \right), \quad \varepsilon > 0. \quad (2)$$

Подчеркнем, что несмотря на кажущимся на первый взгляд искусственным способ регуляризации (2), получающиеся при его использовании результаты приводят к корректному описанию исследуемых проблем (см. например [2]).

Ниже излагается более тщательный анализ сингулярного интеграла (1), приводятся его точные значения для конкретных классов этих интегралов и выясняется их связь с процедурой регуляризации (2), т.е. с их значениями в смысле главного значения.

С этой целью представим интеграл  $I$  (1) в эквивалентной форме

$$I = \int_a^b \frac{\varphi(x) - \varphi(c)}{x-c} dx + \int_a^b \frac{\varphi(c)}{x-c} dx = I_1 + \varphi(c)I_2, \quad I_1 = \int_a^b \frac{\varphi(x) - \varphi(c)}{x-c} dx, \quad I_2 = \int_a^b \frac{dx}{x-c} \quad (3)$$

и отметим что интеграл  $I_1$  принадлежит уже к классу римановских интегралов для вычисления значений которых могут быть применены методы классического анализа и, таким образом, все особенности сингулярного интеграла  $I$  (1) сконцентрированы в интеграле  $I_2$  (3), анализ которого существенно упрощается по сравнению с анализом исходного сингулярного интеграла

$I$ . В свою очередь интеграл  $I_2$  в результате ряда простых преобразований эквивалентным образом представляется в виде

$$I_2 = \int_a^b \frac{dx}{x-c} = \int_{a-c}^{b-c} \frac{d\tau}{\tau} = \int_{-(c-a)}^{b-c} \frac{d\tau}{\tau} = \int_{-(c-a)}^{c-a} \frac{d\tau}{\tau} + \int_{(c-a)}^{b-c} \frac{d\tau}{\tau} = I_{21} + I_{22},$$

где  $I_{21} = \int_{-(c-a)}^{c-a} \frac{d\tau}{\tau}$ ,  $I_{22} = \int_{(c-a)}^{b-c} \frac{d\tau}{\tau} = \ln \frac{b-c}{c-a}$ . Отметим, что  $I_{21}$  представляет собой интеграл от нечетной функции в симметричных пределах. В результате приходим к заключению, что все особенности вычисления сингулярного интеграла  $I$  (3) сводятся к вычислению сингулярного интеграла вида

$$I_S = \int_{-d}^d \frac{d\tau}{\tau} \quad (4)$$

где, в частности, пределы интегрирования в (4) могут обращаться и в бесконечность.

Покажем, что значение сингулярного интеграла  $I_S$  в точности равно нулю. С этой целью представим  $I_S$  в эквивалентном виде

$$I_S = \int_{-d}^d \frac{d\tau}{\tau} = \int_{-d}^0 \frac{d\tau}{\tau} + \int_0^d \frac{d\tau}{\tau} = -\int_0^d \frac{d\tau}{\tau} + \int_0^d \frac{d\tau}{\tau} = -I_{S0} + I_{S0}, \quad I_{S0} = \int_0^d \frac{d\tau}{\tau} \quad (5)$$

и, таким образом,  $I_S = -\infty + \infty$  и представляет собой неопределенное выражение, подлежащее дополнительному анализу для раскрытия неопределенности. В связи с этим подчеркнем, что в соответствии с геометрическим смыслом интеграла значение  $I_S$  представляет собой площадь

фигуры образованной гиперболой  $f(x) = \frac{1}{x}$ , горизонтальной осью  $ox$  и вертикальными линиями  $x = -d$ ,  $x = d$  (или вертикальными линиями  $x = 0$ ,  $x = d$  в случае интеграла  $I_{S0}$  (5)).

Отметим, что отвечающая сингулярному интегралу  $I_S$  геометрическая фигура состоит из двух частей ограниченными вертикальными линиями  $x = -d$ ,  $x = 0$  с отрицательной площадью и  $x = 0$ ,  $x = d$  -- с положительной. Подчеркнем, что каждая из составляющих фигур преобразованием инверсии  $(x, y) \rightarrow (-x, -y)$  точно преобразуется без каких-либо деформаций

одна в другую, и, таким образом, имеем  $\int_{-d}^0 \frac{d\tau}{\tau} = -\int_0^d \frac{d\tau}{\tau}$  и в результате приходим к равенству

$$I_S = -\int_0^d \frac{d\tau}{\tau} + \int_0^d \frac{d\tau}{\tau} = -I_{S0} + I_{S0} = 0$$

К этому же заключению приходим и с использованием алгебраических рассуждений.

Имеем  $-I_S = -\int_{-d}^d \frac{d\tau}{\tau} = -\int_d^{-d} \frac{d\tau}{\tau} = \int_{-d}^d \frac{d\tau}{\tau} = I_S$  и, таким образом, получаем  $I_S = -I_S$  откуда следует

$$I_S = 0$$

Таким же образом может быть проанализирован интеграл от произвольной нечетной функции в симметричных пределах

$$I = \int_{-A}^A f^a(x) dx, \quad f^a(-x) = -f^a(x)$$

Имеем  $-I = -\int_{-A}^A f^a(x) dx = \int_{-A}^A f^a(-x) dx = -\int_A^{-A} f^a(x) dx = \int_{-A}^A f^a(x) dx = I$  и, следовательно,  $I = -I$ , откуда следует  $I = 0$  и, таким образом,

$$I = \int_{-A}^A f^a(x) dx = 0 \quad (6)$$

Отметим, что равенство (6) справедливо и для бесконечных пределов.

Наконец обратимся к вычислению  $I_S$  (4) с помощью введения параметра  $\alpha > 0$  и определения

$$I_S(\alpha) = \int_{-d}^d \frac{e^{-\frac{\alpha}{|x|}} dx}{x}, \quad \alpha \geq 0,$$

при этом имеем  $I_S(\alpha = 0) = I_S$ ,  $I_S(\infty) = 0$ .

Подчеркнем, что для всех значений параметра  $\alpha > 0$   $I_S(\alpha)$  представляет собой сходящийся интеграл, а  $I_S(\alpha)$  непрерывную функцию параметра  $\alpha$ . Зависимость  $I_S(\alpha)$  может быть вычислена в явном виде. С этой целью продифференцировав  $I_S(\alpha)$  по параметру  $\alpha$  последовательно имеем

$$\begin{aligned} I'_S(\alpha) &= -\int_{-d}^d \frac{e^{-\frac{\alpha}{|x|}} dx}{x|x|} = \int_{-d}^0 \frac{e^{\frac{\alpha}{x}} dx}{x^2} - \int_0^d \frac{e^{-\frac{\alpha}{x}} dx}{x^2} = \int_0^d \frac{e^{-\frac{\alpha}{x}} dx}{x^2} - \int_0^d \frac{e^{-\frac{\alpha}{x}} dx}{x^2} = -\int_0^d e^{-\frac{\alpha}{x}} d\left(\frac{1}{x}\right) + \int_0^d e^{-\frac{\alpha}{x}} d\left(\frac{1}{x}\right) = \\ &= \int_{1/d}^{\infty} e^{-\alpha\tau} d\tau - \int_{1/d}^{\infty} e^{-\alpha\tau} d\tau = -\frac{1}{\alpha} e^{-\frac{\alpha}{d}} + \frac{1}{\alpha} e^{-\frac{\alpha}{d}} = 0. \end{aligned}$$

Таким образом, приходим в результате к дифференциальному уравнению  $I'_S(\alpha) = 0$  и его решению  $I_S(\alpha) = Const$ , а с учетом значения  $I_S(\infty) = 0$  и к окончательному результату  $I_S(\alpha = 0) = I_S = 0$ .

Установим теперь связь между полученным точным значением сингулярного интеграла  $I_S$  (4)  $I_S = 0$  и его значением вычисляемом в смысле главного значения.

Имеем

$$v.P.I_S = \lim_{\varepsilon \rightarrow 0} \left( \int_{-d}^{-\varepsilon} \frac{d\tau}{\tau} + \int_{\varepsilon}^d \frac{d\tau}{\tau} \right) = \lim_{\varepsilon \rightarrow 0} \left( -\int_{\varepsilon}^d \frac{d\tau}{\tau} + \int_{\varepsilon}^d \frac{d\tau}{\tau} \right) = 0$$

и, следовательно, вычисление сингулярного интеграла в смысле главного значения приводит к точному его значению.

Таким образом, вычисление сингулярного интеграла в смысле главного значения приводит к его истинному значению и представляет собой способ раскрытия неопределенности  $\infty - \infty$

возникающей при вычислении этого класса интегралов. Так, например, вычисление значения  $I_S$  в соответствии с процедурой

$$I_S = \lim_{\varepsilon_1, \varepsilon_2 \rightarrow 0} \left( \int_{-d}^{-\varepsilon_1} \frac{d\tau}{\tau} + \int_{\varepsilon_2}^d \frac{d\tau}{\tau} \right) = \lim_{\varepsilon_1, \varepsilon_2 \rightarrow 0} \ln \frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2} \neq 0, \quad \varepsilon_1 \neq \varepsilon_2, \quad \varepsilon_1, \varepsilon_2 > 0$$

и в зависимости от соотношения  $\varepsilon_1, \varepsilon_2$  может принимать любое значение.

**Библиография:**

1. WHITTAKER, E.T., WATSON, G.N. *A Course of Modern Analysis*. Cambridge University Press; 4th edition, 1996. 620 p.
2. BARSUK, A.A., PALADI, F. Parametric representation, asymptotic and bifurcation analyses of the electronic plasma oscillations. 2024, working paper.

Autorii menționează cu recunoștință sprijinul financiar oferit de către Ministerul Educației și Cercetării în cadrul proiectului PHYSTECH cu cifrul 011210.

**PARCUL DIGITAL 3D AL MONUMENTELOR DE ARHITECTURĂ DIN CHIȘINĂU:  
INOVAȚIE ȘI VALORIFICAREA PATRIMONIULUI CULTURAL**

**3D DIGITAL PARK OF ARCHITECTURAL MONUMENTS IN CHISINAU:  
INNOVATION AND VALORIZATION OF CULTURAL HERITAGE**

**Veaceslav SPRINCEAN,**  
Universitatea de Stat din Moldova

ORCID ID: 0000-0001-6719-7387  
e-mail: veaceslav.sprincean@usm.md

**Sergiu PASCARI,**  
Universitatea de Stat din Moldova

ORCID ID:  
e-mail: pascariserghei@gmail.com

**Marianna SAVVA,**  
Universitatea de Stat din Moldova

ORCID ID: 0000-0003-0618-5360  
e-mail: savva.mariana90@gmail.com

**Sergiu MATVEEV,**  
Universitatea de Stat din Moldova

ORCID 0000-0001-8515-2852  
e-mail: sergiu.matveev@usm.md

*Abstract: UAV-based photogrammetry technologies allow the architectural and aesthetic details of monuments to be captured with extreme precision, which helps to thoroughly document their current condition. These models can be used for further restoration, even if the monument would suffer degradation or destruction. The 3D models act as a digital archive of monuments, making it possible to preserve cultural elements in virtual format even if they physically disappear.*

*Keywords: 3D digital park, architectural monuments, cultural heritage, uav based photogrammetry technologies, 3D models, Agisoft Metashape, Pix4D Mapper.*

### **Introducere**

Patrimoniul arhitectural al municipiului Chișinău își trage originile de la începutul sec. XV, prima atestare documentară a Chișinăului datând din 17 iulie 1436, când domnii Moldovei Ilie și Ștefan, au întărit lui Oancea logofătul mai multe sate pe râurile Răut, Ichel și Bâc. Pe parcursul secolelor următoare orașul a trecut toate intemperiile epocilor: inundații, incendii, războaie, politici de demolare etc. în care de rând cu oamenii au avut de suferit și construcțiile. Drept urmare, cele mai vechi construcții păstrate la ziua de astăzi și singurele edificii din sec. XVIII sunt bisericile Măzărache (1752) și Sfinții Împărați Constantin și Elena (1777). Cele mai grave afecțiuni patrimoniului arhitectural al orașului au fost aduse în prima jumătate a secolului XIX, când orașul Chișinău a fost selectat de administrația țaristă pentru a servi drept capitală provinciei recent anexate la Imperiu, orașul fiind reamenajat conform rigorilor urbelor guberniale de epocă. Din această perioadă au supraviețuit câteva edificii printre care Catedrala Mitropolitană „Nașterea Domnului” (1836), casele negustorilor Ivan Naumov (1820) și Mihalache Cațica (începutul sec. XIX). Cele mai multe edificii cu valoare de patrimoniu ale Chișinăului datează din ultimele decenii ale sec. XIX-primele decenii ale secolului următor, care au suferit grav în anii 1941 și 1944 în timpul celui de-al Doilea Război Mondial, dar și în timpul reamenajării orașului postbelic în contextul impunerii arhitecturii de tip sovietic. În anii de independență, în ciuda existenței unei legi speciale privind ocrotirea monumentelor [1], demolările și degradarea monumentelor de arhitectură din centrul istoric al orașului Chișinău a continuat, devenind o problemă acută în contextul conservării orașului vechi.

Procesul respectiv era însoțit și de o atitudine de lăsare în ruină sau reconstrucție necontrolată deseori ilicită a unor obiective. Astfel, Cartea neagră a patrimoniului cultural al municipiului Chișinău apărută în anul 2010 enunța 977 de edificii de arhitectură de importanță locală și națională înscrise în Registrul monumentelor ocrotite de stat, dintre care 44 au fost demolate în perioada 1993-2006 și 33 de edificii arhitecturale au fost demolate în perioada 2006-2010, adică circa 8% din listă [2]. Alte 155 de edificii (cca 15,9%) au suferit intervenții considerabile structurale ilicite, care au prejudiciat autenticitatea și integritatea monumentelor și a zonelor de protecție a acestora, totodată din indiferența și inacțiunea factorului uman, 17 edificii (1,74%) se aflau în proces de ruinare continuă [2]. Degradarea și distrugerea patrimoniului arhitectural a continuat și în anii următori, astfel încât conducerea municipiului Chișinău s-a văzut nevoită să instituie o interdicție temporară (moratoriu) la autorizarea lucrărilor și demolare în zona istorică centrală a orașului Chișinău [3]. Autoritățile statului finanțând prin intermediul programelor de stat a unor proiecte de cercetare a patrimoniului construit, spre ex: „Sporirea valorii patrimoniului arhitectural din Republica Moldova” (2020-2023), finalizat cu mai multe lucrări [1, 4].

Tehnologiile actuale oferă variate posibilități de aplicare a unor inovații în valorificarea patrimoniului arhitectural, una dintre care este crearea unei baze de date digitale materializate în parcuri digitale 3D. Ultimul timp tot mai multe țări își concentrază efortul spre realizarea unor arhive digitale a patrimoniului arhitectural [5-11] etc. Astfel, demersul nostru se aliază într-un trend global, valoarea căruia a fost conștientizată în mai multe țări de pe glob.

### **Preliminarii**

Parcurile digitale 3D pot atrage turiști și pot stimula interesul pentru istoria și cultura locală. Tururile virtuale permit vizitatorilor să exploreze monumentele din Chișinău, chiar dacă aceștia nu pot călători fizic în oraș. În școli și universități, modelele digitale pot fi folosite pentru lecții interactive, oferind elevilor și studenților o experiență imersivă și captivantă, ceea ce face procesul de învățare mai atractiv. Orașele pot organiza expoziții cu modele 3D ale viitoarelor parcuri pentru a încuraja feedback-ul comunității. Modelele 3D și tururile virtuale oferă accesibilitate persoanelor care nu se pot deplasa sau celor care locuiesc în alte colțuri ale lumii. Prin platforme digitale, Chișinăul își poate promova patrimoniul la nivel internațional. De asemenea, aceste inițiative digitale vor oferi acces persoanelor cu dizabilități, în special celor nevăzătoare, care vor avea posibilitatea să pipăie obiectele obținute la imprimanta 3D, precum și celor care întâmpină dificultăți în vizitarea fizică a monumentelor

Implicarea specialiștilor locali și colaborarea cu instituțiile monumentelor de arhitectură din Chișinău și cele educaționale va genera noi oportunități pentru dezvoltarea unor competențe specializate în domeniul digital. Proiectul realizat va deveni un model replicabil pentru alte localități din Moldova, consolidând poziția țării în rândul promotorilor patrimoniului digitalizat.

Atât modelele digitale 3D cât și cele imprimate pot fi folosite pentru monitorizarea continuă a stării monumentelor, permițând autorităților să detecteze din timp problemele de degradare și să intervină prompt. Acest tip de gestionare eficientă reduce costurile pe termen lung prin prevenirea deteriorării și planificarea optimizată a lucrărilor de întreținere și restaurare.

Proiectul **3DTur** urmărește crearea unui parc digital 3D al monumentelor de patrimoniu din Chișinău, folosind tehnici inovative de fotogrammetrie, cartografie și tehnologii digitale moderne. Acest demers se aliază cu nevoia stringentă de digitalizare a patrimoniului cultural și de integrare a acestuia în circuitul turistic și educațional prin soluții interactive și accesibile publicului larg.

### **Metodologia proiectului**

Obiectivele acestei lucrări include fotogrammetria avansată cu drone pentru captarea detaliilor arhitecturale. Pentru realizarea acestor obiective s-au realizat lucrări de teren și lucrări de birou prin efectuarea scanării și prelucrare computațională a datelor pentru a genera modele digitale precise.



## Lucrări de teren

Imaginile au fost captate folosind aparatul de zbor DJI Phantom 4 PRO, care este un sistem format dintr-o dronă (UAV) specializată în aerofotografiere și filmări aeriene, utilizabil pentru prelucrarea datelor foto. Modelul Phantom 4 PRO (P4M) este echipat cu un modul RTK integrat, care oferă informații de poziție cu precizie centimetrică în timp real, asigurând astfel o acuratețe ridicată. De asemenea, drona dispune de un modul GNSS redundant, care îi permite să mențină precizia înaltă zborului chiar și în zone cu semnal slab. Drona este compatibilă cu diverse fluxuri de lucru și permite conectarea în mai multe moduri:

- la stația mobilă D-RTK 2, într-un sistem similar cu baza-rover;
- prin protocolul NTRIP (Rețeaua de transport RTCM prin Internet Protocol), utilizând Sistemul Național de Poziționare „MOLDPOS”.

Conexiunea poate fi realizată prin 4G (dongle USB), Wi-Fi, OcuSync sau LAN, garantând o transmisie de date continuă și stabilă. Serviciul TimeSync sincronizează în permanență controlerul de zbor, camera și modulul RTK, maximizând performanța modulelor de poziționare ale P4M.

Planificarea zborului cu fotografie și zbor - punct de referință. Piloții pot alege calea de zbor a dronei în timp ce ajustează elemente precum viteza, altitudinea și parametrii camerei. Precum și o serie de caracteristici, cum ar fi o alertă de vânt puternic care alertează piloții cu privire la condițiile meteorologice nefavorabile.

## Lucrări de birou

Pentru prelucrarea datelor colectate cu P4M au fost folosite două softuri, Agisoft Metashape și în Pix4D Mapper. Agisoft Metashape este un software care utilizează algoritmi de fotogrammetrie pentru a converti fotografiile aeriene sau terestre în modele 3D, ortomozaicuri și modele digitale de elevație (DEM). Etapele de prelucrare în Agisoft Metashape care le-am urmat au fost: Am importat setul de imagini captate de dronă. Este important să fie acoperite toate zonele vizate, cu suprapunere între cadre (de obicei 70-80%).

- Agisoft identifică puncte comune (puncte de interes) între imagini și le aliniaza pe baza acestora. Se generează o structură preliminară de nor de puncte dispersat, care oferă o reprezentare inițială a poziționării spațiale a fotografiilor. Pe baza punctelor identificate, software-ul construiește un nor de puncte dens, care conține informații spațiale detaliate *Figura 1*. Acest nor poate fi colorat în funcție de imaginile originale. Am generat o suprafață 3D pe baza norului de puncte dens, folosind o tehnică de interpolare pentru a construi un model tip Mesh (rețea de poligoane) *Figura 2*.

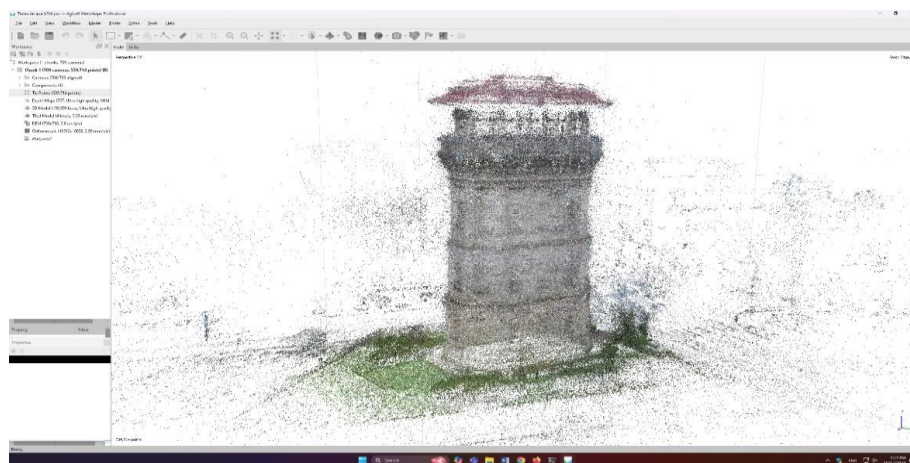
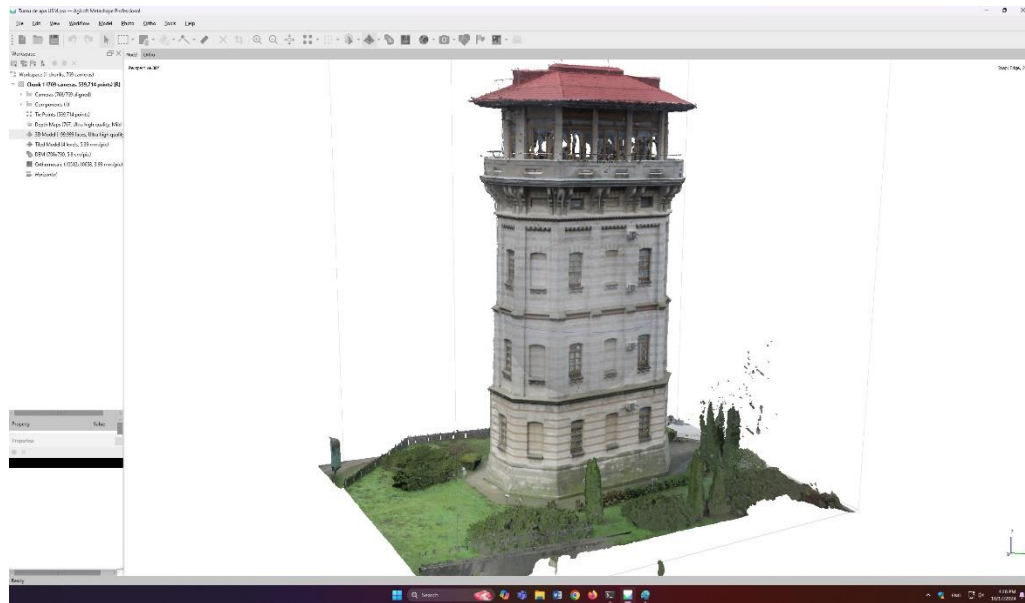


Figura 1. Crearea norilor de puncte



**Figura 2 Modelul 3D a turnului de apă**

DEM-ul l-am creat prin procesarea datelor 3D, extrăgând elevațiile fiecărui punct. În funcție de tipul de model, putem obține și un DSM (Model Digital al Suprafeței) sau un DTM (Model Digital al Terenului), excluzând vegetația, clădirile și alte obiecte care creează distorsiuni. Ulterior am generat un ortomozaic prin corectarea distorsiunilor și proiectarea imaginilor pe modelul 3D, obținând o hartă georeferențiată, fără deformări de perspectivă[12, 13]. Rezultatele pot fi exportate în diverse formate: nor de puncte (.LAS), model 3D (.OBJ, .PLY), DEM (.TIF) sau ortomozaic (.TIFF, .JPEG).

Deci putem spune că acest soft este potrivit pentru procesări complexe și detaliate, care oferă suport pentru integrarea datelor GNSS/RTK pentru o mai bună georeferențiere, totodată Agisoft Metashape poate lucra cu fotografiile multispectrale și termale.

Pix4D Mapper este un alt software de fotogrammetrie popular, specializat în generarea de produse geospațiale precum norii de puncte, DEM și ortomozaicuri, cu accent pe utilizarea datelor din drone. Procesul de lucru este similar cu Agisoft, dar are câteva diferențe notabile. Am importat fotografiile aeriene și am creat un nou proiect. Pix4D detectează automat metadatele (informații GNSS, altitudine etc.) din fișierele EXIF. Software-ul identifică puncte comune în imagini și aliniaza cadrele pentru a crea o structură inițială. Acest proces este esențial pentru generarea norului de puncte. Pix4D-ul oferă opțiuni avansate de calibrare automată a camerei, pentru a corecta erorile geometrice și a optimiza alinierea. După aliniere, am generat un nor de puncte dens, folosind un algoritm de interpolare avansată. Pix4D permite vizualizarea și editarea norului pentru eliminarea punctelor eronate. După care am creat un model 3D pe baza norului de puncte, care poate fi utilizat pentru vizualizări, simulări sau alte analize. Deci Pix4D Mapper permite crearea atât a unui DSM (care include toate obiectele aflate la suprafață), cât și a unui DTM (care prezintă doar relieful, eliminând clădirile și vegetația). În final obținem un ortomozaic georeferențiat, fără distorsiuni, care poate fi folosit pentru analize topografice și cartografiere. Pix4D Mapper oferă posibilitatea de a exporta norii de puncte (.LAS), modelele 3D, DEM (.TIF) și ortomozaicurile în formate compatibile GIS (.GeoTIFF).

Ca particularități ale Pix4D Mapper sunt, integrarea nativă cu drone și senzori multispectrali, capacitate de a corela datele cu rețele de corecție GNSS, cum ar fi NTRIP și RTK și oferă funcții avansate de editare și optimizare a norilor de puncte și a DEM [12, 14].

Atât Agisoft Metashape, cât și Pix4D Mapper sunt soluții eficiente pentru obținerea norilor de puncte, modelelor 3D, DEM și ortomozaicuri, dar fiecare are avantaje specifice [15]. Agisoft este mai potrivit pentru utilizatori care doresc control detaliat și procesare complexă, în timp ce Pix4D Mapper excelează prin integrarea nativă cu drone și un flux de lucru automatizat, ideal pentru proiecte rapide și eficiente (Tabelul 1).

*Tabelul 1 Compararea fluxului de lucru între Agisoft și Pix4D*

Aspect	Agisoft Metashape	Pix4D Mapper
<b>Interfață</b>	Ușor tehnică, cu multe opțiuni avansate.	Mai prietenoasă și intuitivă.
<b>Calibrare cameră</b>	Manuală și automată, cu suport pentru multe tipuri de camere.	Calibrare automată avansată.
<b>Tipuri de produse</b>	Modele 3D, DEM, ortomozaicuri.	DEM, ortomozaicuri, analize multispectrale.
<b>Performanță</b>	Procesare detaliată, dar mai lentă.	Procesare rapidă și optimizată pentru drone.
<b>Flux de lucru</b>	Necesită mai multă intervenție manuală.	Mai automatizat, dar cu opțiuni de control.

Pentru a transfera modelele 3D din Agisoft Metashape sau Pix4D Mapper în Blender, trebuie să exportăm proiectele într-un format compatibil (precum OBJ, FBX sau PLY). Pentru exportarea din Agisoft Metashape se deschide proiectul în Agisoft Metashape, selectează modelul pe care dorim să-l exportăm din secțiunea Workspace; File → Export → Export Model, alegem formatul dorit (OBJ, FBX, PLY sau STL). În fereastra de export, selectăm detaliile dorite: texturile, coordonatele UV și decimarea poligoanelor (dacă este necesar). În cazul care dacă modelul are texturi bifăm opțiunea "Export texture" și salvăm fișierul într-o locație pe disc. Pentru exportarea din Pix4D Mapper deschidem proiectul selectăm 3D Textured Mesh sau modelul pe care dorim să-l exportăm și alegem: Menu → Process → Export Outputs, alege formatul de export (\*\*OBJ\*\*, \*\*PLY\*\*, \*\*FBX\*\*) și setăm export. Selectăm rezoluția modelului și ne asigurăm că texturile sunt incluse în fișier și în final salvăm fișierul exportat într-o locație pe disc.

Pentru a importa modelului în Blender, deschidem programași selectăm File → Import, alegem formatul fișierului exportat (de exemplu, \*\*OBJ\*\* sau \*\*FBX\*\*), apoi navigăm către locația fișierului și îl selectăm. Ne asigurăm că opțiunea Import materials and textures este activată, pentru a importa materialele și texturile asociate modelului. Apoi ajustăm scara modelului deoarece modelele noastre sunt prea mari). După import, utilizăm Viewport Shading în Blender pentru a verifica dacă texturile sunt aplicate corect și efectuăm eventuale ajustări necesare la lumină, poziționare sau texturi.

Blender suportă o varietate de formate (OBJ, FBX, PLY, STL), dar OBJ este cel mai frecvent utilizat pentru modelele din fotogrametrie. În unele cazuri texturile nu apar corect după import, pentru aceasta suntem nevoiți să verificăm în secțiunea Shader Editor din Blender pentru a reasocia fișierele de textură. Este bine să păstrăm organizate fișierele (modelul și texturile) într-un singur fișier pentru a evita probleme la import. Acest flux ne permite să integrăm modelele fotogrammetrice în Blender pentru post-procesare sau pentru utilizări mai avansate [16-18]. După ce am efectuat prelucrarea proiectului transmitem model 3D realizat în Blender către imprimanta 3D. Pentru realizarea acestui proces am urmat careva pași esențiali. Am selectat obiectul pe care dorim să îl imprimăm apoi am selectat File → Export. Este necesar de ales formatul potrivit pentru imprimare 3D, cum ar fi STL (.stl) care este cel mai folosit pentru imprimare 3D, dar în unele cazuri am folosit și OBJ (.obj), deoarece

acest stil este cel mai potrivit pentru modele mai detaliate. Deoarece imprimarea am efectuat-o la diferite imprimante, am fost nevoiți să folosim și formatul 3MF (.3mf), deoarece unele imprimante folosite este compatibilă doar cu acest format [19].

La realizarea modelului este important să verificăm dacă modelul este imprimabil, totodată ne asigurăm că modelul are dimensiunile reale necesare (în mm/cm). În Blender mergem la Object Properties → Scale și aplicăm cu `Ctrl + A` → Scale. După care activăm `3D Print Toolbox` în Blender prin (Edit → Preferences → Add-ons). Verificăm eventualele erori: găuri, intersecții de suprafețe sau obiecte duble. După care folosim funcția Check All din meniul 3D Print Toolbox pentru a identifica dacă persistă careva problemele. Înainte de a imprima, modelul l-am trecut printr-un software de slicing pentru a genera fișierele G-code necesare imprimantei. Cele mai populare softuri de slicing sunt: Cura care este un soft (open-source), PrusaSlicer, Simplify3D dar acesta este un soft comercial. Apoi am importat modelul STL/OBJ în softul de slicing și am configurat parametrii de imprimare. Noi la modelele noastre am folosit înălțimea stratului de obicei între 0.1 - 0.3 mm, am setat temperatura extruderului și platformei, Infill (densitatea obiectului), iar în unele cazuri este nevoie de a seta și suporturi deoarece unele modele necesită susținere în timpul imprimării. După setările din slicer am exportat fișierul G-code pe un card USB. Am introdus cardul USB în imprimanta 3D, după care în meniul imprimantei am selectat fișierul G-code și am pornit procesul de imprimare. Periodic am verificat primele straturi pentru a ne asigura că imprimarea decurge corect, deoarece erorile de imprimare apar de obicei la început cum ar fi aderența la platformă sau probleme de extrudare.



Figura 3. Obiectul 3D imprimat

În final, am obținut un model 3D complet imprimat cu ajutorul imprimantei 3D, transformând designul digital din Blender într-un obiect fizic palpabil *Figura 3*. Rezultatul final reflectă procesul atent de pregătire și ajustare, unde fiecare pas a fost esențial pentru a asigura o imprimare reușită.

Modelul a fost imprimat strat cu strat folosind filamentul corespunzător PLA și ABS, conform parametrilor setați în software-ul de slicing. Am urmărit ca detaliile complexe să fie redată cu precizie, iar suprafețele să fie netede și uniforme.

Densitatea internă a fost calibrată pentru a asigura un echilibru între durabilitate și economie de material, iar suporturile generate automat au fost îndepărtate cu grijă după finalizarea imprimării.

După imprimare, obiectul a trecut printr-o verificare a calității, pentru a identifica eventuale defecte, cum ar fi decalaje între straturi sau zone care necesită finisare. În cazul în care a fost necesară o post-procesare suplimentară, aceasta a inclus fie șlefuirea ușoară a suprafețelor, fie adeziv pentru a îmbina părțile componente. Rezultatul final este un obiect personalizat și unic, demonstrând clar beneficiile tehnologiei de imprimare 3D. Am reușit să transformăm un concept digital într-o prototipare rapidă și funcțională, oferind atât un exemplu concret al procesului de design, cât și un produs fizic ce poate fi utilizat sau expus.

### **Concluzii**

Digitalizarea monumentelor de arhitectură devine esențială în contextul proceselor de restaurare și valorificare promovate de Ministerul Culturii, dar și pentru a contracara impactul negativ al dezvoltatorilor imobiliari.

Prin intermediul fotogrammetriei și tehnologiilor cloud, 3DTur oferă instrumente noi pentru conservarea patrimoniului, promovând în același timp Chișinăul ca destinație turistică modernă.

Modelele digitale și imprimate 3D oferă o nouă metodologie pentru valorificarea patrimoniului cultural prin utilizarea fotogrammetriei și a dronelor. În plus, colaborarea între instituțiile implicate asigură o diseminare eficientă a rezultatelor prin expoziții și seminare.

Produsele digitale dezvoltate vor putea fi utilizate în lucrările educaționale și ghiduri turistice, contribuind astfel la formarea competențelor la elevi și studenți privind cunoașterea și promovarea patrimoniului național. În plus, modelele 3D vor fi accesibile și pentru persoanele cu deficiențe de vedere. Ele vor putea fi comercializate în magazinele muzeelor.

Modelele 3D pot contribui la creșterea competitivității turismului cultural din Republica Moldova și la elaborarea de noi servicii educaționale și tehnologice.

### **Bibliografie:**

1. ALBU, Svetlana, et al. Preserving the Value of Architectural Heritage in Chișinău Municipality. In: *HERIPRENEURSHIP Sustainable Tourism, Heritage Management and the Cultural and Creative Industries: Creating New Investment Opportunities at Places of Cultural Significance Proceedings of an International Conference*. Tulcea. June 8th-9th 2023. Cluj-Napoca, 2023. pp. 181-190.
2. ȘTEFĂNIȚĂ, Ion. Cartea neagră a patrimoniului cultural al municipiului Chișinău. "Continental Crup" SRL, 2010.
3. [https://www.chisinau.md/public/files/anul\\_2021/cmc2021/07.20.21/28.\\_instituirea\\_interdictiei\\_temporare\\_la\\_authorized\\_works\\_of\\_construction.pdf](https://www.chisinau.md/public/files/anul_2021/cmc2021/07.20.21/28._instituirea_interdictiei_temporare_la_authorized_works_of_construction.pdf) (vizitat pe 1.10.2024).
4. ALBU, Svetlana, et al. Patrimoniul construit: aspecte tehnice, economice și juridice. Probleme și propuneri. Chișinău, 2023.
5. YÖRÜK, Ali Akif, BÜLBÜL, Muhammed Abdullah, HAJISMAIL, Salah. 3D Architectural Heritage Platform. In: *Digital international journal of Architecture Art Heritage*, 2022, vol. 1, no. 2, pp. 65-90.
6. SAMADZADEGAN, Farhad, DADRASS, Javan F, ZEYNALPOOR, Asl M. Architectural heritage 3D modelling using unmanned aerial vehicles multi-view imaging. In: *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 2023, vol. 48. pp.1395-1402.
7. KURAPKAT, Dietmar, et. al. Digital Monument Preservation in 3D. The virtual bazaar of Aleppo (Suq al-Madina) as a discussion tool for the preservation of historical monuments. In: *Forum for Digital Archaeology and Infrastructure*. 2023, pp. 1-15.
8. NOARDO, Francesca. Architectural heritage information in 3D geospatial models: developing opportunities and challenges. In: *Science and Digital Technology for Cultural Heritage-*

Interdisciplinary Approach to Diagnosis, Vulnerability, Risk Assessment and Graphic Information Models, 2019, pp. 10-18.

9. GARCIA-ESPINEL, Jose Daniel, GONZÁLEZ, José María López-Galiacho, TORRES, Manuel Fernández. 3D Heritage: Preserving Historical and Cultural Heritage Through Reality Capture and Large-Scale 3D Printing. In: Decoding Cultural Heritage: A Critical Dissection and Taxonomy of Human Creativity through Digital Tools. 2024, Springer, pp. 377-394.

10. TAKÁČ, Ondrej, et al. Protection of the city's cultural heritage also with the help of partial 3D models. In: International Journal of Advanced Natural Sciences and Engineering Researches, 2024, pp. 64-72.

11. STOREIDE, Markus, BAKKEN, Sebastian, et. al. Standardization of digitized heritage: a review of implementations of 3D in cultural heritage. In: Heritage Science, 2023, vol. 11, no. 1, pp. 1-22.

12. OVER, Jin-Si R, et. al., Processing coastal imagery with Agisoft Metashape Professional Edition, version 1.6—Structure from motion workflow documentation. 2021, US Geological Survey.

13. HAN, Soohee, HONG, Chang-Ki. Assessment of parallel computing performance of Agisoft metashape for orthomosaic generation. In: Journal of the Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry and Cartography, 2019, vol. 37, no. 6, pp. 427-434.

14. BARBASIEWICZ, Adrianna, WIDERSKI, Tadeusz, DALIGA, Karol. The analysis of the accuracy of spatial models using photogrammetric software: Agisoft Photoscan and Pix4D. In: E3S Web of Conferences. 2018. EDP Sciences.

15. ALIDOOST, F, AREFI, H. Comparison of UAS-based photogrammetry software for 3D point cloud generation: a survey over a historical site. In: ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 2017, vol. 4, no. pp. 55-61.

16. BRITO, Allan. Blender 3D. Novatec New York, 2007.

17. GUEVARRA, Ezra Thess Mendoza. Modeling and animation using blender: blender 2.80: the rise of Eevee. Apress, 2019.

18. FISHER, Gordon. Blender 3D printing essentials. Packt Publishing Ltd, 2013.

19. HATTORI, Tetsuo, et. al. Utilization of both free 3DCG software “Blender” and 3D printing for early STEM education. in 2020 IEEE International Conference on Teaching, Assessment, and Learning for Engineering (TALE). 2020. IEEE.

**Finanțare:** Această cercetare a fost finanțată de Ministerul Educației și Cercetării al Republicii Moldova în cadrul subprogramului nr. 011210, „Metode fizice avansate și tehnologii bazate pe UAV pentru monitorizare complexă, evaluare și modelare” și Proiectul Voucher inovațional 3DTur 2024-2025.

**NANOSTRUCTURAREA ELECTROCHIMICĂ DIRIJATĂ A COMPUȘILOR  
SEMICONDUCTORI ÎN ELECTROLIT PRIETENOS MEDIULUI ÎNCONJURĂTOR**

**CONTROLLED ELECTROCHEMICAL NANOSTRUCTURING OF  
SEMICONDUCTOR COMPOUNDS IN ENVIRONMENTALLY-FRIENDLY ELECTROLYTE**

**Eduard V. MONAICO<sup>1</sup>**

Centrul Național de Studiu și Testare a  
Materialelor, Universitatea Tehnică a  
Moldovei

ORCID: 0000-0003-3293-8645

e-mail: [eduard.monaico@cnstm.utm.md](mailto:eduard.monaico@cnstm.utm.md)

**Elena I. MONAICO<sup>1</sup>**

Centrul Național de Studiu și Testare a  
Materialelor, Universitatea Tehnică a  
Moldovei

ORCID: 0000-0002-9486-2589

e-mail: [elena.monaico@cnstm.utm.md](mailto:elena.monaico@cnstm.utm.md)

**Veaceslav V. URSAKI<sup>1,2</sup>**

Centrul Național de Studiu și Testare a  
Materialelor, Universitatea Tehnică a  
Moldovei,  
Academia de Științe a Moldovei, Chișinău,  
Republica Moldova

ORCID: 0000-0003-4488-850X

e-mail: [vvursaki@gmail.com](mailto:vvursaki@gmail.com)

**Ion M. TIGINYANU<sup>1</sup>**

Centrul Național de Studiu și Testare a  
Materialelor, Universitatea Tehnică a  
Moldovei, Chișinău, Republica Moldova

ORCID: 0000-0003-0893-0854

e-mail: [tiginyanu@gmail.com](mailto:tiginyanu@gmail.com)

**Abstract:** Porous semiconductor compounds represent a class of materials that has been subjected to intense research in recent years. This work is dedicated to obtaining of self-organized porous layers in InP by electrochemical etching in neutral electrolyte based on NaCl. Accessible technological procedures are presented that allow to control the direction of pore growth. From the systematic study of the SEM images, the impact of the shape of the photoresist mask on the morphology of the obtained porous layer is analyzed. The control of the pore propagation opens new application opportunities in microfluidics. The formation peculiarities of multilayer porous structures obtained in InP and GaAs are discussed. The possibility of electrochemical nanostructuring in neutral electrolyte is also demonstrated on other semiconductor substrates.

**Keywords:** porous layer, parallel pores, current line oriented pores, multilayer structures, neutral electrolyte.

## 1. Introducere

De regulă, corodarea electrochimică cu scopul de a introduce pori în materiale semiconductoare este efectuată în acizi agresivi precum HF, HCl, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, HNO<sub>3</sub> etc., sau în electroliții alcalini [1,2]. Din cauza problemelor de protecție a mediului și de siguranță, multe grupuri de cercetători lucrează asupra elaborării tehnologiilor verzi pentru producerea materialelor la scară nanometrică. Alegerea electroliților sustenabili joacă un rol crucial în protejarea mediului, deoarece aceștia facilitează procese electrochimice eficiente fără a compromite resursele naturale, contribuind astfel la dezvoltarea unor tehnologii mai ecologice și mai durabile [3]. În ultimul deceniu, pentru ca procesul de nanofabricare bazat pe corodarea

electrochimică să fie pe larg accesibil și ecologic, cercetările s-au concentrat pe nanostructurarea substraturilor semiconductoare în electroliți neutri pe bază de soluție apoasă de NaCl, în locul acizilor agresivi sau electroliților alcalini folosiți în mod obișnuit [1].

Studiului fotoluminescenței a straturilor poroase obținute a demonstrat o intensitate a emisiei mai mare față de proba masivă, acest lucru sugerează că rata de recombinare a suprafeței nu crește în templatele poroase, ceea ce indică o pasivare eficientă a suprafeței interne uriașe a probelor poroase în timpul anodizării în electrolitul pe bază de NaCl [2,4].

Un alt subiect important constă în identificarea posibilităților de dirijare a morfologiei porilor precum și a direcției de propagare a lor. Dirijarea direcției de creștere a porilor în compușii semiconductori reprezintă o provocare tehnologică majoră, implicând tehnici costisitoare, precum litografia cu fascicul de electroni (EBL) [5–7] sau fascicul de ioni focalizat (FIB) [8,9]. Aceste tehnici, deși eficiente, sunt limitate la suprafețe relativ mici și implică investiții semnificative în echipamente și materiale specializate. În consecință, se solicită de a dezvolta tehnologii alternative care să ofere un control comparabil asupra creșterii porilor, dar la costuri mai accesibile și pe suprafețe extinse. Identificarea unor soluții cost-eficiente pentru nanostructurare devine esențială, atât din perspectiva sustenabilității economice, cât și din necesitatea extinderii aplicabilității acestor procese la scară industrială. O direcție promițătoare este utilizarea electroliților prietenoși mediului înconjurător, care, pe lângă faptul că nu sunt dăunători din punct de vedere ecologic, au demonstrat capacitatea de a susține procese de nanostructurare controlată. Cercetările recente au arătat că, prin optimizarea parametrilor electrochimici, se pot obține structuri poroase bine definite, evitând în același timp complexitatea și costurile ridicate asociate metodelor tradiționale. În acest articol se va discuta aspectele tehnologice pentru crearea straturilor poroase cu schimbarea direcției de creștere a porilor atât în adâncime cât și pe suprafață.

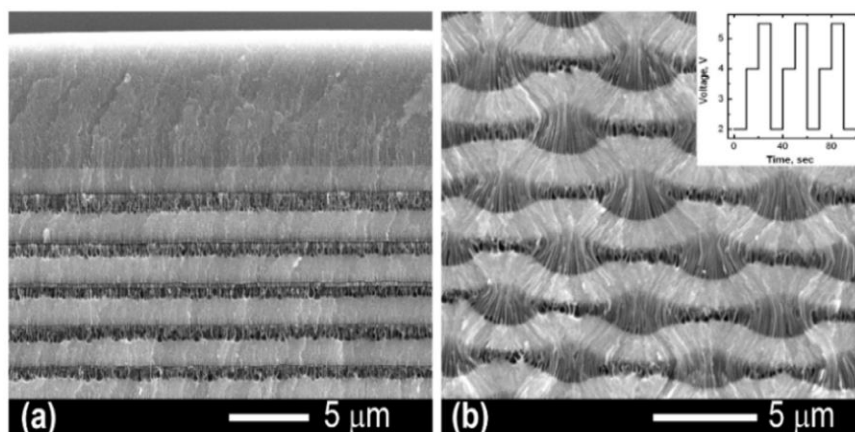
## **2. Rezultate și discuții**

### **2.1. Structuri poroase multistrat**

De regulă porii orientați după liniile de curent sunt orientați perpendicular pe suprafața substratului și este atinsă o auto-ordonare fără folosirea proceselor fotolitografice [10].

O modalitate de dirijare a gradului de porozitate și a direcției de propagare a porilor în adâncime constă în comutarea periodică a curentului sau tensiunii de anodizare în timpul procesului. Un exemplu de structuri poroase multistrat după anodizarea substraturilor de InP în electrolit de 3,5 M NaCl în regim galvanostatic la diferite valori ale curentului, având loc formarea de straturi poroase cu diferite grade de porozitate și pori paraleli între ei, este prezentat în Figura 1a [11]. Spre deosebire de anodizarea galvanostatică, în regimul potențiostatic cu schimbarea periodică a tensiunii în timpul anodizării are loc modularea stratului poros (Figura 1b). Acest fapt se datorează asigurării prin parametrii tehnologici optimizați a trecerii consecutive de la pori orientați după liniile de curent (formați la tensiunea de 6 V) la pori cristalografici ce sunt formați la tensiunea de 2 V [12]. Controlul morfologiei structurilor poroase prin consecutivitatea valorilor de tensiune aplicate a fost recent demonstrată și în cazul templatelor de aluminiu poros [13].



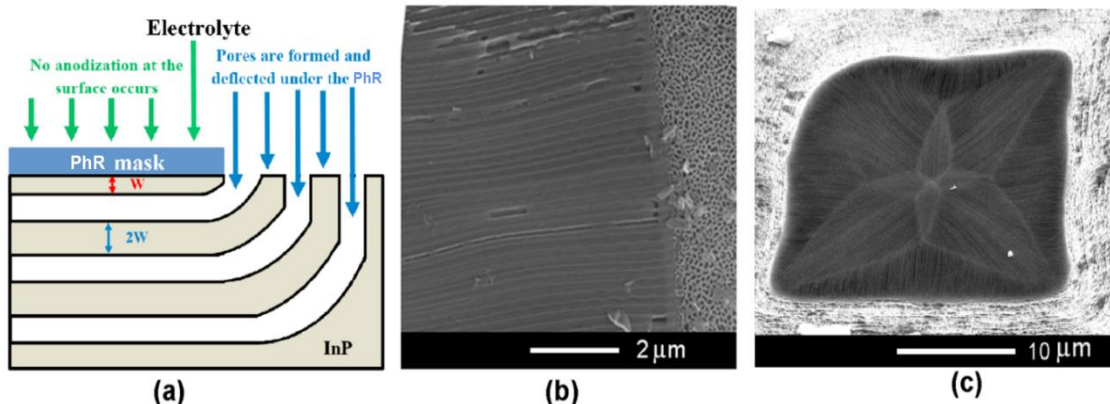


**Figura 1. Imagini SEM a structurii poroase multistrat în InP obținute prin corodarea în electrolit de 3,5 M NaCl pentru: (a) regim galvanostatic cu schimbarea consecutivă a curentului de la  $50 \text{ mA}\cdot\text{cm}^{-2}$  la  $500 \text{ mA}\cdot\text{cm}^{-2}$ ; (b) regim potențiostatic cu aplicarea consecutivă a tensiunii de 2 V, 4 V și 6 V**

Un alt material important în micro- și nano-electronică este GaAs, care de asemenea poate fi nanostructurat cu succes în electrolit de 1,75 M NaCl. Trebuie de remarcat faptul că, până în prezent, în GaAs au fost raportați doar pori cristalografici, care se pot intersecta între ei, spre deosebire de porii orientați după liniile de curent care sunt paraleli și nu se intersectează [14]. O mimare a porilor orientați după liniile de curent, ce cresc perpendicular pe suprafața cristalului a fost obținută folosind cristale de GaAs cu orientarea cristalografică (111)B [4]. Corodarea electrochimică la comutarea tensiunii de la valori mai mari la valori mai mici rezultă în formarea straturilor cu grad diferit de porozitate (de la porozitate mai mare spre grad de porozitate mai mic). Morfologia stratului poros este complet diferită în cazul corodării electrochimice cu comutarea tensiunii de la valori mai mici la valori mai mari. Formarea doar a porilor cristalografici, creează premise pentru crearea doar a unui singur strat poros cu grad de porozitate ce corespunde ultimei valori a tensiunii aplicate. Acest lucru poate fi explicat prin recorderarea porilor formați la tensiune mai mică în timpul aplicării tensiunilor mai mari [15].

### *2.1 Straturi poroase cu pori paraleli cu suprafața substratului*

O altă posibilitate pentru controlul direcției de propagare a porilor este demonstrată folosind procedee fotolitografice în combinație cu corodarea electrochimică [16]. Metoda se bazează pe un design special al măștii, în care unele zone ale suprafeței substratului de InP sunt acoperite de fotorezist (FR) în formă de fâșii cu lățime de  $35 \mu\text{m}$ , în timp ce alte zone sunt expuse electrolitului în procesul de anodizare. Abordarea dată este bazată anume pe prezența porilor orientați după liniile de curent, care se propagă perpendicular pe suprafață și sunt paraleli între ei în cazul corodării fără implicarea măștii de FR. Conform mecanismului de formare a porilor din Figura 2a, porii perpendiculari de la marginea măștii de FR sunt forțați să se propage inclusiv și în spațiul de sub mască de FR. În cazul dat, masca de FR joacă rolul unui scut care protejează suprafața InP de formarea stratului poros, spațiul de sub mască de FR fiind format din pori paraleli cu suprafața. Demonstrarea experimentală a porilor paraleli cu suprafața este prezentată în imaginea SEM după înlăturarea măștii de FR din Figura 2b.



**Figura 2. (a) Ilustrarea schematică a procesului de formare a straturilor poroase cu pori paraleli cu suprafața superioară a probei. Imagini SEM ale porilor obținuți în InP conform abordării din figura (a) cu aplicarea măștii de FR în formă de fâșie (b) și pătrat (c). Reprodus cu permisiune din [17]**

### 2.2 Straturi poroase după design

Arhitecturi poroase spectaculoase au fost obținute prin aplicarea unor măști sub formă de pătrate pe suprafața probei supusă anodizării, în locul fâșiilor de FR [18]. Similar abordării tehnologice de obținere a porilor paraleli cu suprafața substratului, porii se inițiază pe suprafață în regiunile neacoperite cu FR, iar la marginea măștii sunt forțați să se propage sub fotorezist. De menționat că în cazul folosirii măștii de FR în formă de pătrat vom avea patru laturi, în loc de două. Astfel, porii sunt forțați să se dezvolte în spațiul restrâns sub FR. Luând în considerare că porii orientați după liniile de curent nu se pot intersecta, are loc un proces complicat de auto-ordonare ce rezultă în morfologie spectaculară după cum este prezentat în Figura 2c. Formă geometrică a măștii, precum și prezența diferitor orificii deschise în mască, joacă un rol important în morfologia obținută, după cum a fost demonstrat în lucrările recente [17,19].

### 2.3 Sistematizarea compușilor semiconductori potriviți pentru anodizare în NaCl

Corodarea electrochimică în electrolit ecologic și inofensiv mediului înconjurător reprezintă o metodă cost-efectivă pentru nanostructurarea controlată a compușilor semiconductori, atrăgând astfel atenția considerabilă și eforturi de cercetare, așa cum este rezumat în tabelul 1. În afară de substraturile semiconductoare de InP și GaAs, o atenție deosebită merită atrasă posibilității de nanostructurare electrochimică în NaCl și a nitrurii de galiu, care la moment este considerat al doilea material important, după siliciu.

*Tabelul 1. Compușii semiconductori potriviți pentru corodarea electrochimică în electrolit neutru*

Compus semiconductor	Electrolitii tipici pentru anodizare [11]	Nanostructurarea în electrolit neutru prin anodizare	
III-V	InP	HCl; HNO <sub>3</sub>	NaCl [12,14,16,20–22]
	GaAs	HCl; HNO <sub>3</sub>	NaCl [2,4,14]
	GaN	KOH; HCl; H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> ; HNO <sub>3</sub>	NaCl [23]; NaNO <sub>3</sub> [24,25]; KNO <sub>3</sub> [26]
	InAs	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> ; HNO <sub>3</sub> ; KOH	NaCl [27]
	GaP	HCl; HNO <sub>3</sub> ; H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> ; HBr	La moment nu este raportat
II-VI	CdSe	HCl	NaCl [2]
	ZnSe	K <sub>2</sub> Cr <sub>2</sub> O <sub>7</sub> :H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	La moment nu este raportat
	ZnCdS	HCl; HNO <sub>3</sub>	La moment nu este raportat

## Concluzii

Corodarea electrochimică a compușilor semiconductori în condiții specifice a permis fabricarea de straturi poroase bidimensionale de nanopori, ceea ce părea imposibil fără aplicarea proceselor de fotolitografie. Nanostructurarea compusului semiconductor InP în combinație cu aplicarea măștilor de fotorezist cu design special a permis de a obține o varietate de morfologii spectaculoase, inclusiv formarea de rețele de pori orientați paralel cu suprafața superioară a substratului semiconductor și de domenii poroase excluzând intersectarea porilor între ei.

Dezvoltarea domeniilor poroase care exclud intersectarea porilor între ei un control sporit asupra dimensiunilor și distribuției porilor, ceea ce este esențial pentru optimizarea performanței dispozitivelor bazate pe aceste nanostructuri. Aceste realizări demonstrează că abordările electrochimice pot revoluționa procesul de fabricare a materialelor semiconductoare, oferind soluții sustenabile și eficiente pentru viitoarele tehnologii în domeniul energiei regenerabile și al electronicii avansate. Un element esențial al acestei cercetări este utilizarea electroliților prietenoși cu mediul, care nu doar că reduc impactul negativ asupra ecosistemelor, dar și sprijină dezvoltarea unor soluții tehnologice durabile. Acest angajament pentru sustenabilitate este în perfectă armonie cu tendințele globale de promovare a unui consum mai responsabil de resurse în industria semiconductorilor, contribuind astfel la o abordare ecologică în procesele de fabricație.

## Referințe:

1. MONAICO, E., TIGINYANU, I., URSAKI, V. Porous Semiconductor Compounds. În: *Semicond. Sci. Technol.* 2020, Vol. 35, p. 103001, doi:10.1088/1361-6641/ab9477.
2. TIGINYANU, I.M., URSAKI, V.V., MONAICO, E., FOCA, E., FÖLL, H. Pore Etching in III-V and II-VI Semiconductor Compounds in Neutral Electrolyte. În: *Electrochem. Solid-State Lett.* 2007, Vol. 10, p. D127, doi:10.1149/1.2771076.
3. MA, X., ZHANG, D., WEN, J., FAN, L., RAO, A.M., LU, B. Sustainable Electrolytes: Design Principles and Recent Advances. În: *Chemistry – A European Journal* 2024, Vol. 30, p. e202400332, doi:10.1002/chem.202400332.
4. MONAICO, E.I., MONAICO, E.V., URSAKI, V.V., HONNALI, S., POSTOLACHE, V., LEISTNER, K., NIELSCH, K., TIGINYANU, I.M. Electrochemical Nanostructuring of (111) Oriented GaAs Crystals: From Porous Structures to Nanowires. În: *Beilstein J. Nanotechnol.* 2020, Vol. 11, p. 966–975, doi:10.3762/bjnano.11.81.
5. ZHU, C., EKINCI, H., PAN, A., CUI, B., ZHU, X. Electron Beam Lithography on Nonplanar and Irregular Surfaces. În: *Microsyst Nanoeng* 2024, Vol. 10, p. 1–23, doi:10.1038/s41378-024-00682-9.
6. GROVES, T.R. 3 - Electron Beam Lithography. In *Nanolithography*; Feldman, M., Ed.; Woodhead Publishing, 2014; pp. 80–115 ISBN 978-0-85709-500-8.
7. SAHOO, P.K., COATES, E., SILVER, C.D., LI, K., KRAUSS, T.F. On the Reproducibility of Electron-Beam Lithographic Fabrication of Photonic Nanostructures. În: *Sci Rep* 2024, Vol. 14, p. 8703, doi:10.1038/s41598-024-58842-w.
8. LI, P., CHEN, S., DAI, H., YANG, Z., CHEN, Z., WANG, Y., CHEN, Y., PENG, W., SHAN, W., DUAN, H. Recent Advances in Focused Ion Beam Nanofabrication for Nanostructures and Devices: Fundamentals and Applications. În: *Nanoscale* 2021, Vol. 13, p. 1529–1565, doi:10.1039/D0NR07539F.
9. MANDAL, R., CHOWDHURY, K., HALDER, S. Focused Ion Beam Technique for Micro/Nanoscale Fabrication: Progress over the Last Decade. In *Comprehensive Materials Processing (Second Edition)*; Hashmi, S., Ed.; Elsevier: Oxford, 2024; pp. 536–546 ISBN 978-0-323-96021-2.
10. TIGINYANU, I.M., MONAICO, E.V. Self-Organized Porous Semiconductor Compounds. In *Encyclopedia of Condensed Matter Physics (Second Edition)*; Chakraborty, T., Ed.; Academic Press: Oxford, 2024; pp. 350–374 ISBN 978-0-323-91408-6.

11. MONAICO, E.V. *Micro- and Nano-Engineering of III-V and II-VI Semiconductor Compounds and Metal Nanostructures Based on Electrochemical Technologies for Multifunctional Applications*; Bons Offices: Chisinau, Moldova, 2022; ISBN 978-9975-166-63-8.
12. TIGINYANU, I.M., MONAICO, E., ALBU, S., URSAKI, V.V. Environmentally Friendly Approach for Nonlithographic Nanostructuring of Materials. În: *physica status solidi (RRL) – Rapid Research Letters* 2007, Vol. 1, p. 98–100, doi:10.1002/pssr.200701007.
13. JEONG, C., JUNG, J., SHEPPARD, K., CHOI, C.-H. Control of the Nanopore Architecture of Anodic Alumina via Stepwise Anodization with Voltage Modulation and Pore Widening. În: *Nanomaterials* 2023, Vol. 13, p. 342, doi:10.3390/nano13020342.
14. MONAICO, E.I. Structuri Hibride Metal-Semiconductor În Baza Nanoșabloanelor de InP Și GaAs Pentru Aplicații Electronice Și Fotonice. Teza de doctor în științe ingineresti., Universitatea Tehnică a Moldovei: Chișinău, Republica Moldova, 2023.
15. MONAICO, E.I., MONAICO, E.V., URSAKI, V.V., TIGINYANU, I.M. Evolution of Pore Growth in GaAs in Transitory Anodization Regime from One Applied Voltage to Another. În: *Surf. Engin. Appl. Electrochem.* 2021, Vol. 57, p. 165–172, doi:10.3103/S106837552102006X.
16. TIGINYANU, I.M., URSAKI, V.V., MONAICO, E., ENACHI, M., SERGENTU, V.V., COLIBABA, G., NEDEOGLU, D.D., COJOCARU, A., FÖLL, H. Quasi-Ordered Networks of Metal Nanotubes Embedded in Semiconductor Matrices for Photonic Applications. În: *Journal of Nanoelectronics and Optoelectronics* 2011, Vol. 6, p. 463–472, doi:10.1166/jno.2011.1197.
17. MONAICO, E.V., MONAICO, E.I., URSAKI, V.V., TIGINYANU, I.M. Porous Semiconductor Compounds with Engineered Morphology as a Platform for Various Applications. În: *physica status solidi (RRL) – Rapid Research Letters* 2023, p. 2300039, doi:10.1002/pssr.202300039.
18. MONAICO, Ed., MONAICO, E.I., URSAKI, V.V., TIGINYANU, I.M., NIELSCH, K. Electrochemical Deposition by Design of Metal Nanostructures. În: *Surf. Engin. Appl. Electrochem.* 2019, Vol. 55, p. 367–372, doi:10.3103/S1068375519040070.
19. MONAICO, E.V. Micro- Și Nano-Ingineria Compușilor Semiconductori Și a Structurilor Metalice În Baza Tehnologiilor Electrochimice. Lucrare de sinteză pentru titlul de doctor habilitat în științe fizice (elaborată în baza lucrărilor științifice publicate), Universitatea Tehnică a Moldovei, 2024.
20. TIGINYANU, I., MONAICO, E., MONAICO, E. Ordered Arrays of Metal Nanotubes in Semiconductor Envelope. În: *Electrochemistry Communications* 2008, Vol. 10, p. 731–734, doi:10.1016/j.elecom.2008.02.029.
21. VOLCIUC, O., MONAICO, E., ENACHI, M., URSAKI, V.V., PAVLIDIS, D., POPA, V., TIGINYANU, I.M. Morphology, Luminescence, and Electrical Resistance Response to H<sub>2</sub> and CO Gas Exposure of Porous InP Membranes Prepared by Electrochemistry in a Neutral Electrolyte. În: *Applied Surface Science* 2010, Vol. 257, p. 827–831, doi:10.1016/j.apsusc.2010.07.074.
22. MOISE, C.C., MIHAI, G.V., ANICĂI, L., MONAICO, E.V., URSAKI, V.V., ENĂCHESCU, M., TIGINYANU, I.M. Electrochemical Deposition of Ferromagnetic Ni Nanoparticles in InP Nanotemplates Fabricated by Anodic Etching Using Environmentally Friendly Electrolyte. În: *Nanomaterials* 2022, Vol. 12, p. 3787, doi:10.3390/nano12213787.
23. MONAICO, E., MOISE, C., MIHAI, G., URSAKI, V.V., LEISTNER, K., TIGINYANU, I.M., ENACHESCU, M., NIELSCH, K. Towards Uniform Electrochemical Porosification of Bulk HVPE-Grown GaN. În: *J. Electrochem. Soc.* 2019, Vol. 166, p. H3159, doi:10.1149/2.0251905jes.
24. SCHWAB, M.J., HAN, J., PFEFFERLE, L.D. Neutral Anodic Etching of GaN for Vertical or Crystallographic Alignment. În: *Appl. Phys. Lett.* 2015, Vol. 106, p. 241603, doi:10.1063/1.4922702.
25. GAO, Q., XIAO, H., CAO, D., YANG, X., LIU, J., MAO, H., MA, J. Fabrication and Properties of Self-Standing GaN-Based Film with a Strong Phase-Separated InGaN/GaN Layer in Neutral Electrolyte. În: *Journal of Alloys and Compounds* 2017, Vol. 722, p. 767–771, doi:10.1016/j.jallcom.2017.06.158.

26. ZHANG, C., YUAN, G., BRUCH, A., XIONG, K., TANG, H.X., HAN, J. Toward Quantitative Electrochemical Nanomachining of III-Nitrides. În: *J. Electrochem. Soc.* 2018, Vol. 165, p. E513, doi:10.1149/2.1181810jes.
27. SIRBU, L., MONAICO, E., URSAKI, V.V., TIGINYANU, I.M. Electrochemical Porosification of InAs Substrates. In: Proceedings of the ICMCS-2007: The 5th international conference on microelectronics and computer science Proceedings V 1; Technical University of Moldova: Moldova, Republic of, 2007; pp. 95-98.

### **Mulțumiri**

Această lucrare a fost efectuată cu suportul Ministerului Educației și Cercetării al Republicii Moldova în cadrul subprogramului instituțional 02.04.02 nr. 4/FI „Elaborarea tehnologiilor și investigarea proprietăților compușilor semiconductori stratificați, nanostructurilor hibride și ale surselor laser”.

## ABORDĂRI STEAM ALE DRONELOR ÎN PREDAREA DISCIPLINELOR EXACTE

### STEAM APPROACHES TO DRONES IN THE TEACHING OF EXACT DISCIPLINES

**Dorin AFANAS**

"Ion Creangă" State Pedagogical University from  
Chisinau

ORCID: 0000-0001-7758-943X

e-mail: afanasdde@gmail.com

**Arina BRIGALDA**

"Ion Creangă" State Pedagogical University from  
Chisinau

ORCID: 0009-0000-2600-2360

e-mail: arinabrigalda@gmail.com

***Abstract.** In order to meet the requirements of the modern educational process, the teaching staff is always looking for another way of teaching-learning-evaluating the curricular subjects, relevant to the students' interests. Such a way can be given to us by drones, because with their help we can visualize the world with new eyes. Educational drones, in specialized literature, are also called aerial vehicles without a human pilot on board. This article presents examples of STEAM approaches to the application of drones in mathematics, physics and technology education. Thus, the following themes are researched: linear dependence, proportionality, quadratic function and quadratic relationship, area calculation, gravitational acceleration. The application of drones in other fields is also discussed.*

***Keywords:** drone, addiction, STEAM, proportionality, acceleration.*

#### **Introduction**

21<sup>st</sup> century education must be dynamic and collaborative. That is why in every lesson we must have effective tools for managing the didactic process that will be able to provide instant and direct feedback from and between students, while preserving privacy, allowing even the shy ones to actively participate in the discussion and active learning. One such relevant tool could be drones. Due to the immense possibilities [1, p. 11; 2; 3, p. 5], these unmanned aerial vehicles can be implemented in various educational activities within the curricular subjects of general education starting with primary classes [1, pp. 41 – 53] and continuing in secondary schools [1, pp. 54 – 69] and high schools [1, pp. 70 – 91].

Thus, education can be accompanied by tools that are meant to enhance the learning experience to a fundamentally new level. Many educational drones are accompanied by software applications that themselves include simulations. This allows students to practice in a safe and bug-friendly environment before connecting to real drones and flying them. They also allow teachers to assign lessons to students for self-directed learning, as homework, or as project-based learning. Students don't need access to real drones to enjoy the excitement and engagement that UAVs bring. In different lessons we need to use different modern technologies that allow contextualization of education and help students bring abstract concepts to life. Interactive tools, within the subject taught, will be an additional layer, designed to help students express their knowledge, deepen their understanding and enable better retention of the subjects taught.

#### **Application of drones within exact disciplines**

We present here examples of STEAM approaches to the application of drones within the disciplines of mathematics, physics and technology education.

1. Linear dependence. Proportionality. In this lesson, by means of the drone, the concept of proportionality of a straight line  $y = ax + b$  is demonstrated (fig. 1).



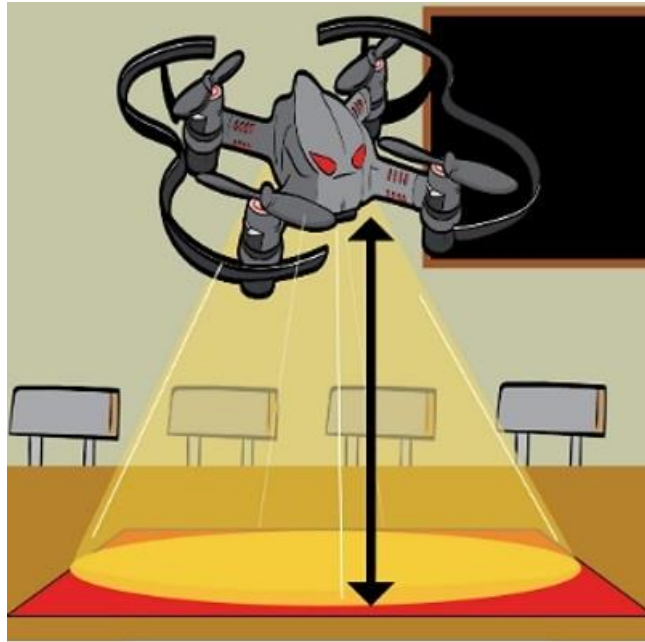
**Figure 1. Linear dependence**

After this lesson, students should be able to understand the concept of linear proportionality and will be able to apply the given concept to solve real-life problems.

The objectives of this lesson will be:

- students' ability to identify linear equations and their writing in the form of slope interpretation;
- students will be able to determine whether an equation results in a linear or non-linear representation;
- students will be able to determine the slope and variable  $y$  of linear equations by writing equations in the form of slope interpretation;
- students will be able to construct the graphs of linear functions.

2. Quadratic function. Quadratic relationship. This lesson demonstrates the concept of a quadratic relationship (fig. 2). After this lesson, students will understand the concept of quadratic proportionality and be able to apply it to solving problems in everyday life. This lesson demonstrates how a quadratic function can be graphed and how it relates to concrete cases. It also facilitates awareness of the relationship of a quadratic function to the physical world.



**Figure 2.** Quadratic function

One of the main goals should be to identify how changing the sides of the quadratic equation affects how a graph of the quadratic function will look.

3. Area calculation. Students will use a drone to calculate the area of the school campus, football, basketball, volleyball or simply the sports field. They will identify the relationships between the height of the unmanned aerial vehicle and the area that the video camera attached to the drone can see (fig. 3).

4. Gravitational acceleration. This lesson demonstrates the concept of gravitational acceleration, the opposing forces of gravitational acceleration, and the force that rotor blades must overcome (fig. 4). The main objectives of this lesson are recommended to be:

- identifying the influencing factors in Newton's second law;
- application of Newton's second law to real-life situations;



**Figure 3.** Area calculation



5. Drones in engineering. Within the technological education lessons, the following scenario entitled "Drones. Engineering. STEAM":

*What is engineering?* Engineering means finding a solution to a problem.

A question is formulated for which the answer is found (the question being the problem, and the answer being the solution). Engineers pay attention to what is happening around them to notice problems, then be creative, identify possible solutions.

*What does STEAM mean?*

STEAM comes from "science", "technology", "engineering", "art", "maths", five closely related fields. For example, engineers would not be able to do their jobs well without science, technology, art and mathematics. They use mathematics and other sciences as tools to solve problems and build different devices.

*What will we learn?*

Today we will learn interesting things about drones. We will see in what field they were first used and what uses they have recently received.

They were used for the first time in the military field.

*What are drones?*

Drones are devices that can perform various actions even in the absence of humans. There are drones that can operate on water and land. The most commonly used, for their increased utility, are flying drones. A flying drone with a camera attached can reach places that are difficult or impossible for humans to access, see things that are hard to see, without making the noise that other aircraft such as helicopters make. *The main elements of a drone:*

- a GPS chip for orientation;
- an altimeter for height measurement;
- an ultrasound scanner to determine the distance to the ground.

The drone is controlled by radio or WiFi signals. It has four propellers for stability and to be able to carry weights. It is often equipped with a video camera.

Which of the following missions can be performed by a flying drone (fig. 5)?

Can they...



**Figure 4.** Gravitational acceleration



**Figure 5.** Which of the missions can the drone perform

Which of the following missions can be performed by a flying drone (fig. 6)?  
I can...



**Figure 6.** Which of the missions can the drone perform

Which of the following missions can be performed by a flying drone (fig. 7)?  
I can...



**Figure 7.** Which of the missions can the drone perform

Here are the correct answers, with some additional explanations:

Drones can:

- to show farmers crops that have not grown enough;
- fly over vast agricultural areas, observing the crops up close, more efficiently, faster than the farmer can do;
- to help save endangered species;
- follow groups of animals, because they can fly closer to them than a human and far enough, so as not to scare them (fig. 8);
- to extinguish forest fires;
- detect fires and film with special cameras through the smoke, providing firefighters with relevant information about the direction and intensity of the fire;
- to film at a height.



Figure 8. Red panda

Without drones, much more time would be required for these shoots and much more equipment.

Drones can:

- to help build a very high block;
- raise cables to great heights that they can weave into the structure of the building;
- to take photos;
- to save lives: they sometimes manage to deliver medical equipment in a shorter time than an ambulance.

What missions would you give to a drone (fig. 9)?

Be creative!



**Figure 9.** What missions can we give a drone

After these activities, the teaching staff will propose to the students to draw a drone, an unprecedented, funny... original one.

Such approaches can also be carried out in other subjects of general education.

Those interested in the methodology of implementing drones in general education, according to existing disciplinary curricula, are recommended the source [1], which includes:

- Implementation of drones in primary education from a STEAM perspective [1, p. 41 – 53].
- Implementation of drones in secondary education from a STEAM perspective [1, p. 54 – 69].
- Implementation of drones in high school education from a STEAM perspective [1, p. 70 – 91].

### **Conclusions**

Both innovations in the field of information technologies and smart devices can be successfully used by teachers to teach exact subjects. This allows us to more effectively train students in the ability to apply new inventions to make future activities more efficient.

Increasingly, these days, unmanned aerial vehicles are widely used in various branches of the world economy. Such vehicles can be implemented in the teaching of the exact subjects from the perspective of the STEAM approach, integrating the acquired knowledge. At the same time, we can achieve, within the lessons, learning based on non-standard problems.

Within the exact disciplines, students get to know different geometric figures and bodies, perform practical activities related to calculating lengths and perimeters [4, pp. 274 – 276], calculating areas, get to know rectilinear and curvilinear motion, a particular case of the last one being circular motion [5, p. 14], I get to know the classification and properties of electromagnetic waves, etc. [6, p. 83]. Using the drones, the students will have the opportunity to fly over the air space to view the school yard from a height and observe the shapes of the geometric bodies of the elements in the school yard. They will have the opportunity to analyze the drone to observe and discover the relationships between the shape, the distance of the placement of the engines and the propellers for the most efficient operation.

### **References:**

1. AFANAS, D. Metodologia implementării aparatelor de zbor fără pilot în procesul educațional general din perspectiva STEAM. Ghid. Chișinău: F.E.-P. „Tipografia central”, 2020, 108 p. ISBN 978-9975-117-51-7.
2. AFANAS, D. Implementarea dronelor în agricultura de precizie. Recomandări de politici. Proiectul „Consolidarea gestionării cunoștințelor pentru o mai mare eficacitate a dezvoltării în Orientul Apropiat, Africa de Nord, Asia Centrală și Europa”. Chișinău, 2022, 36 p.  
<http://viitorul.org/files/library/Agricultura%20de%20precizie.%20Recomand%C4%83ri%20de%20politi%20tici.pdf>.

3. NEDEOGLO, N., ROTARU, C., DANICI, A., SEINIC, V., SPRINCEAN, V., VOZIAN, C., CAZAN, V., CORCIMARI, I., CEBOTARU, E. Educație pentru drone. Suport de curs. Chișinău: CEP USM, 2019, 330 p. ISBN 978-9975-142-85-4.
4. CARCHILAN, L. Implementarea dronelor în didactica disciplinelor școlare (concept STEAM). In: *Science and education: new approaches and perspectives*, Ed. 25, 24-25 martie 2023, Chișinău. Chișinău: (CEP UPSC, 2023, Seria 25, Vol.3, pp. 274-281. ISBN 978-9975-46-787-2. DOI: <https://doi.org/10.46727/c.v3.24-25-03-2023.p274-281>.
5. BOTGROS, I., BOCANCEA, V., DONICI, V., CONSTANTINOV, N. Fizică. Manual pentru clasa a 7-a. Ediția a IV-a, actualizată. Editura: Cartier, SRL, Chișinău, 2016, 142 p. ISBN 978-9975-79-896-9).
6. BOTGROS, I., BOCANCEA, V., DONICI, V., CONSTANTINOV, N. Fizică. Manual pentru clasa a 9-a. Ediția a III-a, revăzută și adăugată. Editura: Cartier, SRL, Chișinău, 2016, 112 p. ISBN 978-9975-86-082-6.

## DEVELOPMENT OF A DRONE-BASED OBJECT TRACKING SYSTEM

**Félicien Thierry LOTIN DIPITA LOBE,**  
Faculty of Sciences, Centre for Molecular  
Atomic Physics and Quantum Optics, University  
of Douala, Douala, Cameroon

e-mail: [lotindipita@gmail.com](mailto:lotindipita@gmail.com)

**Damarice Carole BANGA ZE,**  
Faculty of Sciences, Department of Physics,  
University of Yaounde, Yaounde, Cameroon

**Richard Fabrice EBONGUE EBONGUE,**  
Faculty of Sciences, Department of Physics,  
University of Yaoundé, Yaoundé Cameroon

***Abstract.** The tracking of moving objects by a single UAV does not provide maximum performance because of their limited processing capacity and the autonomy required to accomplish the mission. In this paper, we propose a surveillance system that can manage and coordinate a swarm of UAVs in the surveillance task. Our approach is based on three main phases. The first consists of a global search of the area to be monitored using the ‘Levy Flights’ algorithm. As soon as a problem is detected, the drone switches to a local search using the ‘Fireflies’ algorithm. This enables the drone to move locally from one problem to another in order to locate the most important one. When the system stabilises, it starts running the Grey Wolves algorithm to maximise the field of view, as a single drone is not enough. To ensure maximum efficiency, a replacement strategy in the event of battery failure is proposed to guarantee mission continuity. The proposed algorithms have been implemented and tested using our own simulator. The results are encouraging.*

***Keys words:** algorithm, fireflies, grey wolves, levy flights, UAV.*

### 1. Introduction

Dans les dernières années, il y a eu un intérêt considérable pour le développement et l’amélioration des outils de surveillance soit dans les endroits publics ou privés. Les véhicules aériens sans pilote (UAV) ou drone sont parmi les nouvelles technologies qui sont utilisées dans le contexte de la vidéosurveillance. Les drones sont des objets volants sans pilote à bord, ils sont équipés par divers capteurs (tels que des caméras) et ils possèdent une capacité de traitement qui permet un déploiement facile, une grande mobilité et un large champ de vision. Dans le contexte du suivi des objets mobile, un seul drone n’est pas suffisant pour fournir des tâches opérationnelles complètes, en raison de leur limitation dans : la capacité de traitement, l’efficacité et la qualité de la mission, la flexibilité dans l’exécution des tâches, le temps de vol (énergie). Pour surmonter les limitations des drones dans les systèmes de surveillance, les récents travaux scientifiques ont mis l’accent sur la modélisation des essaims pour mieux comprendre comment des animaux sociaux interagissent et atteignent leurs objectifs (Swarm UAV). Ces derniers sont utilisés dans de nombreuses applications telles que l’exploration, la surveillance, les attaques et la cartographie d’environnements inconnus. Techniquement, un «UAV essaim» est un groupe d’UAV communiquant les uns avec les autres de manière autonome à l’aide d’un algorithme de contrôle intelligent embarqué. Dans le but de réduire le coût du système de surveillance en termes d’énergie, bande passante et capacité de stockage et d’améliorer la qualité du suivi des objets mobiles, nous allons proposer une nouvelle approche distribuée basée sur les algorithmes méta heuristiques qui permet de gérer et coordonner des drones pour le suivi des objets en mouvement.

Notre système a été divisé en trois principales phases ; chacune d'elle est gérée par un algorithme méta euristiques. La première phase appelée phase de recherche permet en premier temps de surveiller la zone pour détecter d'éventuel problème en utilisant l'algorithme de recherche globale "Levy Flights". Dès la réception d'un signal, le système se bascule vers une recherche locale guidée par l'algorithme "Fireflies". La deuxième phase permet de coordonner la communication entre les drones en utilisant l'algorithme du "Grey Wolves". La dernière phase consiste à remplacer les drones avec des batteries faibles par d'autres drones ayant plus d'énergie.

## **2. Matériel et méthode**

Notre objectif est de concevoir un système de surveillance basé sur la coopération de plusieurs UAV en maximisant leurs performances et en diminuant au maximum leurs consommations d'énergie.

### **2.1. Conception du Système**

#### **2.1.1. Stratégie**

Avant de choisir un algorithme, il faut bien comprendre le problème (la gestion des drones dans notre cas), ensuite trouver une méthode à suivre pour résoudre ce problème. Parfois il suffit de choisir un seul algorithme pour résoudre un problème, mais dans notre cas, on a trouvé qu'un seul algorithme ne peut satisfaire nos besoins. Pour cela, on a décomposé le problème en sous-problèmes et on a choisi un algorithme pour traiter chaque sous-problème. Le résultat obtenu de chaque sous-problème va jouer le rôle de donnée en entrée dans le sous-problème suivant et ainsi de suite. Cette méthode s'appelle "diviser pour résoudre", c'est une méthode algorithmique basée sur le principe suivant : On prend un problème (généralement complexe à résoudre), on divise ce problème en une multitude de petits problèmes, l'idée étant que les "petits problèmes" seront plus simples à résoudre que le problème original. Une fois les petits problèmes résolus, on recombine les "petits problèmes résolus" afin d'obtenir la solution du problème de départ [1].

#### **2.1.2. Choix des algorithmes**

Afin de mettre en œuvre notre système, nous avons choisi un algorithme métaheuristique pour chaque module. En effet, chaque sous problème a besoin d'un algorithme bien spécifique pour le résoudre. Nous avons opté pour l'algorithme de l'aigle pour la recherche, l'algorithme des loups gris pour le suivi et l'encerclement du problème et enfin nous avons utilisé un algorithme simple pour le remplacement des drones qui ont consommé leur batterie. L'algorithme de l'aigle est divisé en deux étapes, chacune d'elle est gérée par un algorithme. Nous avons choisi d'utiliser "levy flight" pour la vision globale à cause de son pouvoir à bien traiter des problèmes aléatoires qui apparaissent de façon aléatoire dans des places aléatoires. L'algorithme "Lévy flight" n'a pas une stratégie de mémorisation des places visitées, pour cela nous avons augmenté la possibilité de visiter le même endroit plusieurs fois dans des périodes différentes. Pour la vision locale, nous avons choisi d'utiliser "Fire flies" qui concorde exactement avec nos besoins de traiter les problèmes dans un ordre décroissant. En effet, on commence d'abord par traiter le grand problème et ainsi de suite si son emplacement lui permet bien sûr. Algorithme des loups gris : Dans la tâche de surveillance, nous avons besoin à un certain moment d'un drone chef qui s'occupe de la gestion des communications entre les drones sélectionnés pour la surveillance, de la stratégie de remplacement utilisé en cas de baisse de batterie de l'un des drones ; ou pour organiser les drones afin de couvrir plus de 80% du problème détecté. Cet algorithme est basé sur la sélection du chef et la modification dynamique des positions des loups par rapport à la position de ce dernier. Il est clair que cet algorithme fournit une modélisation qui peut être qualifiée de très compatible avec le problème de la gestion des drones dans le cas d'une détection de quelconque anomalie dans la surface de surveillance.

#### **2.2. Phase d'initialisation**

C'est la première phase, ici on va définir le nombre de drones et aussi le nombre de problèmes, chaque drone va commencer par une batterie pleine (100%)

#### **2.3. Phase de recherche (Eagle Search)**

La phase de recherche est assurée par l'algorithme "Eagle Search". ES est un algorithme qui s'exécute à deux phases : une pour la recherche globale et l'autre pour la recherche locale. Cet algorithme offre l'avantage d'être optimal et rapide dans la recherche globale, car ce dernier ne s'arrête pas lorsqu'il trouve un problème, mais il va essayer de chercher encore et encore jusqu'à ce qu'il trouve le problème le plus important. Cette procédure lui permet de s'échapper aux minima locaux. Cependant, pour éviter une recherche infinie, nous avons limité la surface de recherche par un cercle pour chaque drone exécutant cet algorithme.

Recherche globale (Lévy flights) : Grâce à cette méthode, on peut faire une recherche globale plus efficace par rapport aux autres méthodes de recherche. Au début le drone va chercher l'existence de problèmes dans une zone limitée précédemment ; pour cela on applique l'algorithme de "levy flights" en se basant uniquement sur le champ de vision et l'énergie du drone. Ce dernier utilise des déplacements aléatoires pour la recherche (Algorithme 5). Dès qu'un drone capture un ou plusieurs problèmes, il va changer son état vers la recherche locale.

Recherche locale (Fireflies): L'exécution de cet algorithme est conditionnée par la détection préalable d'un problème au niveau de la zone de recherche. "Fireflies" permet de scanner les zones les plus proches du problème initial afin de vérifier l'existence d'un autre problème plus grand que le premier, si la condition est vérifiée le drone se déplace vers lui et lance une autre recherche jusqu'à ce qu'il trouve le problème le plus grand. Après la détection du problème dans l'étape précédente, le drone va utiliser son champ de vision pour détecter s'il existe un problème plus grave. Si un tel problème existe, le drone se déplace vers celui-ci. De la même manière, il essaye de détecter l'existence d'un autre problème plus grave. Le drone se stabilise lorsque le problème en cours de traitement est le plus grand dans son champ de vision.

#### **2.4. Phase de coordination et de communication (GWO):**

Dans cette phase, le drone qui a détecté le problème le plus grand va envoyer un message pour demander de l'aide aux autres drones qui sont proches du problème en cours de traitement. Les drones qui se trouvent à proximité du problème et qui n'ont pas de tâche critique vont répondre par un message positif et se déplacent vers le drone qui a envoyé le message. La coordination et la communication entre les drones sont gérées par la stratégie des loups gris (Grey Wolves). Pour cela, on a besoin d'un chef (alpha) qui a la meilleure vision ; les autres drones encerclent le problème ensuite, se rapprochent et changent leurs positions par rapport à la position d'alpha, bêta et delta. Le champ de vision est calculé à chaque fois pour essayer de couvrir le problème à 80% au minimum en utilisant les drones nécessaires. En même temps, si un drone actif a consommé son énergie, il sera remplacé par un autre drone ayant la capacité de continuer le processus.

#### **2.5. Phase de remplacement:**

Dans cette phase les drones ayant une batterie faible (inférieur à un seuil) seront automatiquement changés par d'autres drones ayant des batteries pleines que ce soit dans la même équipe ou en utilisant un autre drone libre. Pour cela, on va appliquer l'algorithme de remplacement. Au niveau simulation, l'énergie du drone est modélisé en temps de traitement et la taille du problème par le nombre de pixels qui le représente, par exemple : Un drone avec 100% d'énergie est modélisé par 10 minutes ; donc chaque 6 secondes, l'énergie diminue de 1%. Un problème d'une taille de 6 pixels nécessite 2 minutes pour le résoudre et n autre problème d'une taille de 3 pixels nécessite juste 1 minute pour le résoudre.

#### **2.6. Environnement de réalisation**

##### **2.6.1 Environnement matériel**

Le développement de notre application est réalisé par ordinateur avec les caractéristiques suivantes : X Système d'Exploitation (SE) : Linux Ubuntu 18.04.5 LTS 64-bit X Processeur : Intel R Core™ i5-3340 CPU @ 3.10GHz 4 X Disque dur : 486,3 GB X Mémoire vive (RAM) : 3,7 GiB X Carte graphique (ou Carte vidéo) : Intel R HD Graphics 2500 (IVB GT1)



### **2.6.2. Environnement Logiciel Python:**

Python est un langage de programmation de haut niveau interprété, orienté objet, très attractif pour le développement rapide d'applications, ainsi que pour une utilisation comme langage de script ou de collage pour connecter des composants existants entre eux. La syntaxe de Python est simple et facile à apprendre. Elle met l'accent sur la lisibilité et réduit donc le coût de la maintenance. Python prend en charge les modules et les packages, ce qui encourage la modularité du programme et la réutilisation du code [2]. Dans ce travail, nous avons utilisé la version 3.6.9. Python est un langage qui supporte plusieurs paradigmes de programmation. Parmi ces paradigmes, le paradigme Multithreading que nous avons utilisé. Le Paradigme Multithreading : On a utilisé aussi les threads pour être capable de construire un système distribuer. Un thread est similaire à un processus, car tous deux représentent l'exécution d'un ensemble d'instructions du langage machine d'un processeur, du point de vue de l'utilisateur.

Ces exécutions semblent se dérouler en parallèle [3]. Les threads ont trois caractéristiques principales [4]. La première caractéristique concerne le calcul distribué ou le calcul parallèle. Grâce à cette caractéristique, l'exécution des tâches indépendantes sera donc plus rapide, car l'exécution peut être effectuée simultanément. La deuxième caractéristique est le raccordement de threads avec des interfaces graphiques. Cette caractéristique a permis de développer des interfaces graphiques contrôlées indépendamment par un ou un ensemble de threads grâce à la propriété précédente. L'importance de cette caractéristique se manifeste dans le développement des jeux. La troisième caractéristique concerne la communication entre ordinateurs ou plus généralement la communication Internet.

Avec cette caractéristique, il est possible de développer un système totalement distribué. Cette caractéristique permet au système de ne pas rester bloqué dans l'état d'attente des messages, mais il est capable d'écouter les messages qu'il reçoit via un port par un thread, et permet à d'autres threads d'effectuer d'autres tâches indépendamment de la tâche de l'autre thread. Notre contexte de travail nécessite une interface graphique. Python a plusieurs modules graphiques. Dans notre implémentation, nous utilisons le module Turtle graphics [turtle]. Turtle graphics : Turtle graphics ou les graphiques de tortues sont un moyen populaire pour le développement graphique des jeux. Il faisait partie du langage de programmation Logo original développé par Wally Feurzeig et Seymour Papert en 1966. Le module Turtle est un module intégré en python qui ne nécessite pas une installation supplémentaire. Turtle est un stylo imaginaire utilisé pour créer des formes et des dessins 2D par des fonctions de contrôle (telles que : avancer, tourner, orienter, poser le stylo, relever le stylo, couleur et largeur du stylo, et ainsi de suite). Les principaux avantages de ce module est qu'il est extrêmement simple et permet de dessiner très facilement des choses à l'écran. Cependant, le module Turtle prend en charge certaines fonctionnalités avancées dont nous aurons besoin dans la programmation. Le module tortue fournit des primitives graphiques de tortue, à la fois de manière orientée objet et orientée procédure. Comme il utilise la bibliothèque Tkinter pour les graphiques sous-jacents. PyCharm : PyCharm est un environnement de développement intégré (IDE) pour le langage de programmation Python développé par la société tchèque JetBrains. PyCharm est un éditeur multi-plaforme qui fonctionne sous Windows, Mac et Linux [5]. Dans notre travail on a utilisé la version 2020.2.2.

### **3. Résultat**

Dans cette partie, nous allons présenter notre simulateur. L'interface graphique principale du simulateur comprend un ensemble de composants à partir desquels on peut facilement paramétrer le système. La console se présente par une interface, qui s'affiche au démarrage de l'exécution. Dans cette interface, il y a trois groupes de paramètres : le premier (en bleu) contient les paramètres initiaux du simulateur (nombre de drones, nombre de problèmes et vitesse du drone). Le deuxième groupe (en vert) contient les paramètres de l'algorithme "Lévy Flight" et le dernier groupe (en gris) contient tous des paramètres prédéfinis de l'algorithme du loup gris (GWO). L'interface contient également le bouton de démarrage et d'arrêt de la simulation.



Figure 1: (a) Vue globale de notre simulateur: (b) Scénario général

La Figure 1a montre un aperçu de notre simulateur qui se compose de trois composants principaux : La zone de recherche, qui modélise l'espace autorisé dans lequel les drones effectuent leurs recherches, le tableau de bord qui affiche l'état actuel de la charge des drones et la station de base qui permet de changer ou recharger les batteries des drones.

La figure 1b présente un scénario général qui détermine les différentes étapes du drone pendant une mission et la figure 2 indique la signification des couleurs du drone (cercles) et des problèmes.

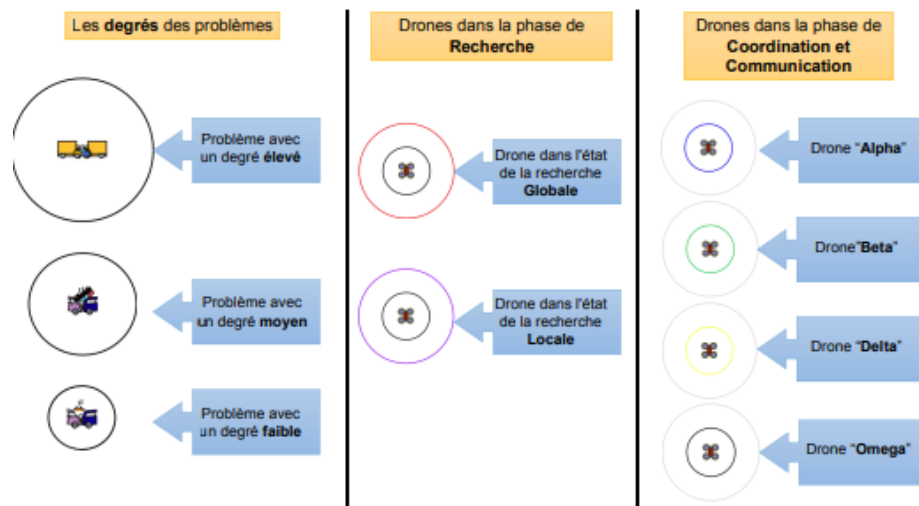


Figure 2: Scénario général

#### 4. Conclusion

Dans cet article, nous avons présenté un système coopératif et distribué basé sur les drones de surveillance dans le but d'offrir une bonne détection des problèmes et une meilleure gestion des interventions. Le système proposé permet de surmonter les difficultés rencontrées par les approches à base d'un seul drone et qui est, dans la plupart des cas, insuffisantes pour fournir des tâches opérationnelles complètes, en raison de leur limitation dans la capacité de traitement et la flexibilité dans l'exécution des tâches conditionnées par le temps de vol (énergie). Pour aboutir à de meilleures performances, notre système a été divisé en trois modules. Chaque module implémente un algorithme métaheuristique qui permet de gérer au mieux les tâches désirées. La première phase consiste à chercher dans la zone de surveillance l'existence d'un éventuel problème à résoudre. Cette dernière s'effectue grâce à l'algorithme de l'aigle en deux étapes, à savoir la recherche globale et la recherche locale.

Dans la recherche globale, le champ de vision est très large permettant au drone de surveillance de détecter des anomalies dans la zone. Cette dernière est assurée par l'algorithme "Levy Flights" qui permet un déplacement optimal au drone dans la zone de surveillance. La détection d'un problème déclenche automatiquement la recherche locale qui est assurée par l'algorithme "Fireflies". Ce dernier gère le déplacement du drone à proximité du problème principal afin de trouver d'autres problèmes plus prioritaires et qui nécessitent une intervention immédiate. C'est à ce moment-là que le système passe d'une surveillance basée sur un seul drone vers une surveillance multi drone. Ce passage active la deuxième phase qui consiste à coopérer et faire communiquer les drones par le biais de l'algorithme des "Grey Wolves" pour maximiser la performance. Pour minimiser le risque de pannes dû à la diminution des batteries, le dernier module assure une stratégie de remplacement optimale des drones.

Afin de tester les algorithmes proposés, nous avons implémenté notre propre simulateur qui permet la création aléatoire de plusieurs problèmes dans la surface de surveillance et d'assurer la résolution par un essaim de drones. Les résultats de la simulation sont très encourageants, le système a réussi à gérer de façon optimale tous les problèmes générés dans différents scénarios. Comme perspectives, nous proposons de tester d'autres algorithmes métaheuristiques et d'implémenter le système dans un environnement distribué.

**Référence:**

1. Diviser pour régner. [https://pixees.fr/informatiquelycee/n\\_site/nsi\\_term\\_algo\\_diviser\\_pour\\_regner.html](https://pixees.fr/informatiquelycee/n_site/nsi_term_algo_diviser_pour_regner.html), date d'accès: 08.09.2020.
2. PyCharm. <https://www.pcmag.com/encyclopedia/term/pycharm>, date d'accès: 04.10.2020.
3. threads. [https://fr.wikipedia.org/wiki/Thread\\_\(informatique\)](https://fr.wikipedia.org/wiki/Thread_(informatique)), date d'accès: 04.10.2020.
4. threads. [http://www.xavierdupre.fr/app/teachpyx/helpsphinx/c\\_parallelisation/thread.html](http://www.xavierdupre.fr/app/teachpyx/helpsphinx/c_parallelisation/thread.html), date d'accès: 04.10.2020.
5. What is Python? Executive Summary. <https://www.python.org/doc/essays/blurb/>, date d'accès: 04.10.2020.

## CELULE SOLARE BAZATE PE FILME SUBȚIRI CdTe:Mn

### Victor SUMAN<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Technical University of Moldova, Institute of Electronic Engineering and Nanotechnologies "D. Ghitu"

ORCID: 0000-0003-3309-9476

e-mail: victor.suman@iien.utm.md

### Tamara POTLOG<sup>2</sup>

<sup>2</sup>Moldova State University

ORCID: 0000-0003-1243-9371

e-mail: tamara.potlog@usm.md

### Vadim MORARI<sup>1</sup>

ORCID: 0000-0003-3625-251X

### Lidia GHIMPU<sup>1</sup>

ORCID: 0000-0002-5268-9407

e-mail: lidia.ghimpu@iien.utm.md

### Marius ENACHESCU<sup>3</sup>

<sup>3</sup>Universitatea Politehnica București

ORCID: 0000-0001-8492-1998

e-mail:

**Abstract:** *Heterostructures based on CdS/CdMnTe are being studied due to their semiconducting properties evidenced with a potential use in photovoltaics and their indispensability. Thin film solar cells generate the development of new practical and cost-effective alternative energy sources. The CdMnTe material is used together with CdTe as an absorber top layer in photovoltaic cells. Thus, HJ based on CdS/Cd MnTe as an alternative of cadmium telluride has been studied. In this study, the physical properties were studied, which demonstrate a cubic zinc blende structure and polycrystalline nature of CdMnTe layers. SEM micrographs of CdMnTe thin films demonstrate a homogeneity of the grains with a size between 3-5  $\mu\text{m}$ , the thickness of the layers ranging between 5-6  $\mu\text{m}$ . Examination of the physical properties of the CdS/CdMnTe solar cells revealed a conversion efficiency of 10.29 % with a filling factor of 61.63.*

**Keywords:** *heterojunctions, CdMnTe, XRD, SEM, photovoltaic parameters.*

### 1. Introducere

Criza de energie electrică pune la moment în fața științei probleme căutării de noi dispozitive semiconductoare pentru conversia energiei solare în energie electrică. Compușii binari  $A^{II}B^{VI}$  se caracterizează prin bandă interzisă largă, energia fotonilor cuprinde în spectrul energetic regiunile de la infraroșu apropiat până la ultraviolet. Pentru fabricarea celulelor solare pe bază de compuși  $A^{II}B^{VI}$  este necesar de a forma heterojuncțiuni, care permit substanțial să lărgescă domeniul fotosensibilității spectrale, prin urmare să majoreze eficacitatea fotoconvertoarelor. Straturile subțiri ai compușilor binari din grupa semiconductorilor ca CdS, CdTe, ZnTe, CdSe, datorită fotosensibilității înalte și a eficacității cuantice a luminescenței ridicate au o mare importanță pentru utilizarea lor în dispozitivele optoelectronice [1].

Factorul hotărâtor, ce determină capacitatea de concurență a convertoarelor fotoelectrice, este micșorarea sine costului per unitate de putere. Datorită faptului că calea de creștere influențează în mod semnificativ randamentul, grosimea diferitelor straturi de material și post tratamentele aplicate

dispozitivului, celulele solare CdTe pot obține aceleași performanțe ca celulele solare fabricate din siliciu cristalin cu arhitectură adecvată de „divice” atât pentru joncțiunea simplă, cât și pentru cele tandem [2].

Este una din cele mai rentabile opțiuni principale pentru aplicații solare. Câțiva micrometri de CdTe pot absorbi mai mult de 90% din lumina solară, datorită coeficientului sau de absorbție superior ( $>10^5 \text{cm}^{-1}$ ) și benzii energetice directe aproape optime de 1,45 eV [3]. Pentru celulele solare (CS) CdTe, unde stratul de sulfura de cadmiu (CdS) este exploatat ca strat fereastră de tip n în heterojoncțiunile convenționale structura superstrat este structura adecvată a dispozitivului. Conform First Solar Inc., celulele solare CdTe cu design superstrat au atins o eficiență superioară de 22,1%. Pe de altă parte, acest lucru necesită substraturi unice care trebuie să îndeplinească simultan standardele de transparență și flexibilitate [3]. Adecvarea contactului metalic din spate în structura superstratului, densitatea ridicată a straturilor de suprafață și rata ridicată de recombinare a stratului absorbant de CdTe sunt uneori probleme inerente celulelor solare de CdTe. Deși materialul de telurură de cadmiu nu are decalajul de bandă pentru stratul superior, acesta poate fi totuși utilizat ca un strat superior absorbant în structurile dispozitivelor solare bazate pe tandem prin formarea a două materiale noi și promițătoare  $\text{CdSe}_{1-x}\text{Te}_x$  (CST) și  $\text{CdMn}_{1-x}\text{Te}_x$  (CMT) folosind o soluție solidă de telurură de cadmiu cu selenură de cadmiu și telurură de mangan. Benzile interzise optice ale CST și CMT pot fi personalizate în intervalul de 1,31,-,1,72 eV, și respectiv 1,45-2,85 eV, ceea ce le face foarte promițătoare pentru aplicațiile fotovoltaice [4].

Spre deosebire de CMT, care are un coeficient de segregare adecvat pentru mangan (Mn), o rezistivitate ridicată, un interval de bandă largă, un produs mobilitate-durată a parcurului liber ridicat și proprietăți excelente de transport electronic, materialul CST are o energie a intervalului de bandă reglabilă, stabilitate și un coeficient de segregare aproape unitar pentru selen.

Pentru a rezolva problema pierderii de tensiune în circuit deschis în celulele solare CdTe, tehnologiile fotovoltaice bazate pe CST și CMT sunt tehnologii fotovoltaice de substituție viabile și au costuri reduse pentru obținerea eficienței maxime a celulelor, având în vedere limita Shockley-Queiser. În ceea ce privește literatura de specialitate, eficiența celulelor solare este influențată de mai mulți factori, cum ar fi tehnica de procesare, grosimea stratului și diferitele condiții de pre sau post – tratament. Ca urmare, activitatea actuală se desfășoară la îmbunătățirea proprietăților structurale și optice corelate cu morfologia de suprafață a filmelor CST și CMT și dezvoltarea celulelor solare bazate pe starturile de CST și CMT.

## 2. SECȚIUNEA EXPERIMENTALĂ

### 2.1 Depunerea și caracterizarea filmelor CMT

Filmele ITO conductoare (rezistivitate de suprafață  $\approx 70\text{-}100 \Omega \cdot \text{cm}^{-1}$ ), transparente ( $\geq 80\%$ ) au fost depuse pe suporturi de sticlă (dimensiunea 22x22mm) prin pulverizare magnetron RF utilizând ținte ceramice ITO. Metoda de evaporare în vid (în vid înalt  $\approx 2,4 \times 10^{-5} \text{mBa}$ , volum cuazi-închis) a fost utilizată pentru prepararea filmelor de CdS, CMT și a celulelor solare în acest studiu, deoarece această tehnică a oferit beneficii semnificative cum ar fi: rata de creștere, depunere controlabilă, cheltuieli materiale mai mici și un grad mai înalt de reproductibilitate. Ciclul tehnologic de depunere a filmelor de CDS/CMT constă din următoarele etape:

- Încărcarea materialului în incinta camerei de lucru și instalarea suportului. Ca material pentru depunere erau utilizate cristalite uniforme (după dimensiune) distribuite uniform pe fundul evaporatorului.
- Vidarea camerei de lucru. Se lua în considerație că viteza de evaporare a gazelor restante din incinta volumului cuazi-închis să fie mai mică decât în restul camerei de lucru, de aceea vidul necesar în incinta camerei de lucru se obținea cu o întârziere de 25-30 min.

- Eliminarea impurităților din camera de lucru și degazarea suportului. La obținerea heterostructurilor se efectua curățarea termică și degazarea. Răcirea suportului (stabilizarea temperaturii de condensare) era etapa finală înainte de depunere.

- Stabilirea regimului de lucru propriu zisă. Consecutivitatea stabilirii temperaturilor de lucru a suportului și a evaporatorului influențează semnificativ morfologia straturilor. S-a demonstrat că rezultatele cele mai bune se obțin la stabilirea concomitentă a temperaturilor de lucru.

- Răcirea suportului. La această etapă este necesar de exclus doi factori necontrolabili, în primul rând depunerea suplimentară în condițiile  $T_{sup} < T_{ev}$ , și în al doilea rând reevaporarea la  $T_{sup} > T_{ev}$ .

Pentru regiunile menționate mai sus sau obținut filme de CdS, CMT la o temperatură a substratului de 320°C cu o rată de creștere măsurată de  $\approx 8-10 \text{ \AA} \cdot \text{s}^{-1}$  și o temperatură a sursei de evaporare de (520-530)°C. Apoi probele au fost exploatate pentru analize structurale, optice și morfologice și topografice de suprafață utilizând difracția de raze X (Rigaku Smart labbx Ray Diffractometer) utilizând radiația  $\text{Cu}_{K\alpha}$  ( $\lambda = 0,15406 \text{ nm}$ ). Identificarea datelor a fost efectuată utilizând referințele la Internațional Center for Diffraction Data-ICDD. Morfologia straturilor a fost studiată folosind microscopul electronic de baleiaj Hitachi SU 8230.

## 2.2 Dezvoltarea de celule solare pe bază de CMT.

Celulele fotovoltaice au fost dezvoltate în aranjamentul strat pe strat cu structurile dispozitivelor sticlă/ITO/CdS/CMT/Ni folosind tehnica de evaporare în vid. Pentru realizarea dispozitivelor un strat frontal (fereastră) de CdS (grosimea  $\approx 500 \text{ nm}$ ) a fost mai întâi depus pe suportul de sticlă acoperit cu un strat de ITO conductor și transparent. Ulterior straturi absorbant d CMT (grosime de  $\approx 5-8 \text{ }\mu\text{m}$ ) a fost depus deasupra stratului de CdS și s-a menținut rata de depunere constantă  $100 \text{ nm}/\text{min}^{-1}$ . Tratarea celulelor solare (CS) în soluția de  $\text{CdCl}_2$ :metanol timp de 12 ore, urmată de tratarea termică în atmosferă la temperatura de circa 420° C a scos în evidență o restructurare a împachetării cristalitelor după o formă geometrică bine pronunțată.

Tratarea termică a CS Cd/CMT la temperatura de 420°C în atmosferă în prezența  $\text{CdCl}_2$  duce la o creștere semnificativă a densității cristalitelor în rezultatul segregării cristalitelor în clustere mult mai mari cu granița între clustere bine pronunțate. Se consideră că tratarea termică în prezența  $\text{CdCl}_2$  îmbunătățește esențial atât structura straturilor, cât și parametrii fotovoltaici ai heterostructurilor preparate.

## 3. REZULTAE SI DISCUȚII

### 3.1. Analiza proprietăților fizice ale filmelor CMT.

Determinarea structurală și identificarea fazelor filmelor CMT au fost realizate prin difracția de raze X în intervalul  $2\theta$  de 20°-80°, iar modelele de difracție de raze X (XRD) sunt prezentate în Figura 1.

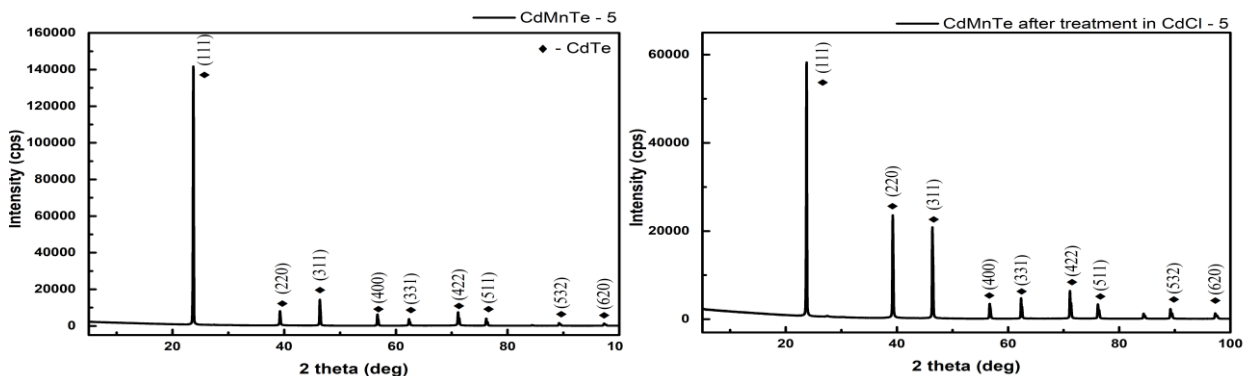


Fig. 1 Modelul XRD al filmului CMT (a) până la tratare, (b) după tratarea termică în prezența  $\text{CdCl}_2$ .

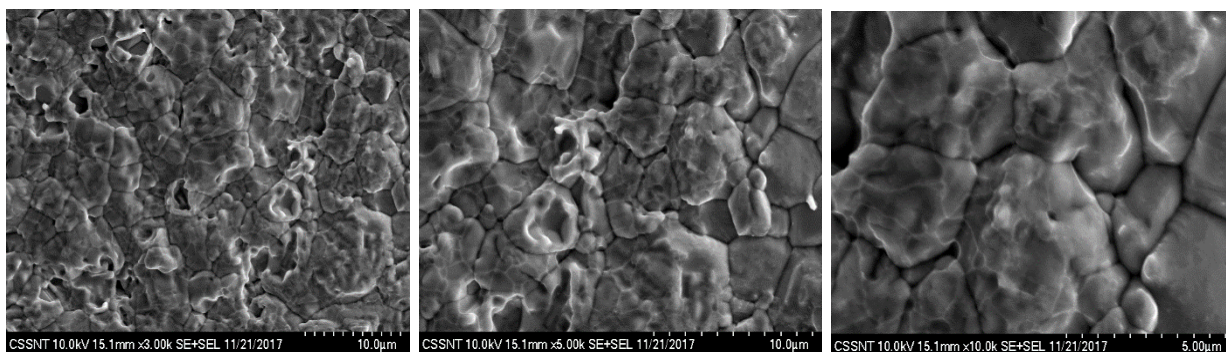
Microfotografiile XRD ale filmelor de CMT tratate termic în prezența de  $\text{CdCl}_2$  relevă mai multe vârfuri de difracție corespunzătoare reflexiilor (111), (220), (311), (400), (422), (511), (532), (620), astfel cum sunt formalizate prin cardul nr. 51-1129 (pentru MT) ale Comitetului comun privind standardele de difracție a pulberilor (JCPDS), care dezvăluie structura cubică de blende zinc și natura policristalină a acestor filme. Intensitatea vârfurilor de difracție (111), (220) și (311) se dovedește a fi mai mare în comparație cu alte vârfuri, iar maximul este observat pentru vârful (111), ceea ce arată că reflexia preferată pentru filmele CMT este reflexia (111). Intensitatea ridicată a picului de difracție (220) și (311) poate fi atribuită procesului de recristalizarea CMT (111) ca urmare a post-recuperării în condițiile tratării termice în prezența  $\text{CdCl}_2$ . Difracția preferată (111) pentru filmele de CMT sunt observate la  $2\Theta = 23,75^\circ$ .

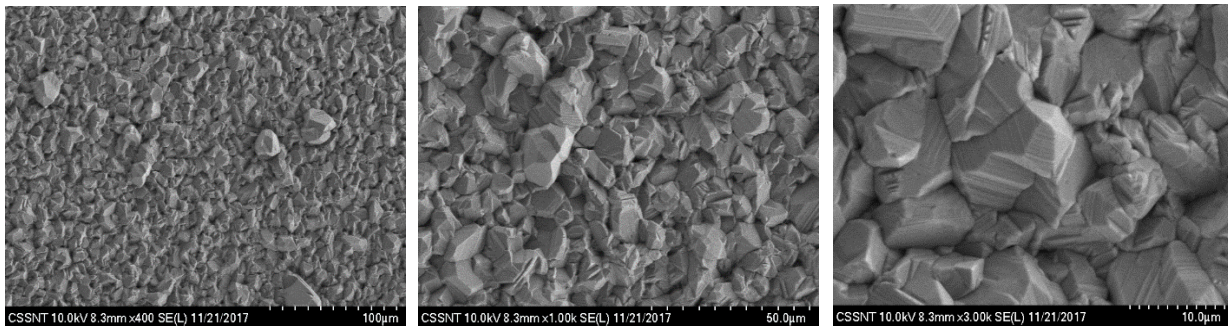
Mai mulți parametri cristalografici legați de această reflexie preferată (111) a filmelor de CMT sunt evaluate utilizând formulele în cauză (14) și se constată că sunt corelate cu materialele semiconductoare standard ale  $\text{CdMnTe}$ :

*Tabelul 1. Rezumatul vârfurilor modelului de difracție*

No.	2-theta(deg)	d(ang.)	FWHM(deg)	Size(ang.)	Phase name	Chemical formula
1	23,7504	3,74329	0,1217	696,77	Cadmium Telluride(1,1,1)	Cd Te
2	27,4591	3,24555	0,2935	291,04	Cadmium Telluride(2,0,0)	Cd Te
3	30,2714	2,95013	0,8672	99,12	Tellurium(0,2,1)	Te
4	39,2513	2,29341	0,1266	695,59	Cadmium Telluride(2,2,0)	Cd Te
5	46,3719	1,95647	0,1311	688,51	Cadmium Telluride(3,1,1)	Cd Te
6	56,6728	1,62288	0,1666	565,74	Cadmium Telluride(4,0,0)	Cd Te
7	62,3366	1,48834	0,1396	694,56	Cadmium Telluride(3,3,1), Tellurium(0,4,2)	Cd Te, Te
8	64,1369	1,45084	0,1382	708,35	Cadmium Telluride(4,2,0)	Cd Te
9	71,1289	1,3244	0,153	666,75	Cadmium Telluride(4,2,2)	Cd Te
10	76,1537	1,24903	0,1923	548,11	Cadmium Telluride(5,1,1)	Cd Te
11	84,3742	1,14704	0,1759	636,5	Cadmium Telluride(4,4,0)	Cd Te
12	89,2129	1,09692	0,1854	628,59	Cadmium Telluride(5,3,1)	Cd Te
13	97,2661	1,02639	0,2449	512,65	Cadmium Telluride(6,2,0)	Cd Te

Este utilă utilizarea microscopiei electronice de baleiaj (SEM) pentru a examina omogenitatea materialului care acoperă zone vaste. În special instrumentul SEM poate fi de asemenea, utilizat pentru a găsi diferite defecte de suprafață și precipitații de Te în  $\text{CdMnTe}$ . Microfotografiile SEM ale filmelor CMT tratate termic în  $\text{CdCl}_2$  sunt prezentate în figura 2, informații justificative, care demonstrează că dimensiunea granulelor aparent sunt mai mari pentru filmele CMT tratate termic în prezența  $\text{CdCl}_2$ ,





**Fig.2 a) Microfotografia filmului de CMT până la tratare, b) Microfotografia filmului de CMT după tratare termică în prezența CdCl<sub>2</sub>.**

cea ce este în concordanță cu rezultatele XRD. Dimensiunile granulelor filmelor sunt cuprinse între 50 și 300 nm, în timp ce coalescența granulelor este, de asemenea, observată pe suprafață. Unele granule mai mari sunt, de asemenea, detectate în filme, ceea ce s-ar putea datora la recristalizării granulelor și pasivarea la 420°C.

### 3.2. Analiza celulelor solare fotovoltaice bazate pe stratul de CMT

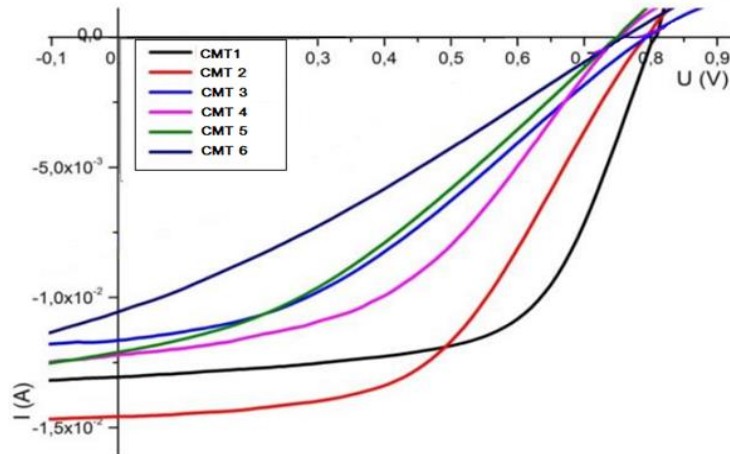
Performanța celulelor solare fotovoltaice fabricate pe bază de CMT a fost analizată prin măsurătorile caracteristicii curent-tensiune și au fost determinați parametrii de performanță, cum ar fi tensiunea de circuit deschis, curentul de scurt circuit, factorul de umplere și eficiența de putere (randamentul). Parametrii fotovoltaici sunt prezentați în Tabelul 2.

*Tabelul 2. Parametrii fotovoltaici ai heterostructurilor ITO/CdS/CdMnTe/Ni la 300°C și iluminare -100mW/cm<sup>2</sup>.*

Nr. prob	U <sub>cd</sub> , V	I <sub>sc</sub> , mA	FF, %	η, %	P <sub>max</sub> , mW
CMT1	0,810	13,10	61,63	10,29	6,54
CMT2	0,736	18,62	33,27	7,18	4,56
CMT3	0,801	14,57	50,15	9,20	5,84
CMT4	0,769	13,59	47,22	7,77	4,93
CMT5	0,760	12,18	44,11	6,43	4,08
CMT6	0,802	11,62	35,55	5,20	3,30

În condiții analogice de depunere, au fost fabricate în total 6 dispozitive la diferite grosimi ale filmului de CMT. Apoi cele mai bune mostre de dispozitive pentru celulele fotovoltaice bazate pe CMT au fost utilizate pentru discuții.





**Fig.5. Caracteristicile de sarcină a heterostructurilor ITO/CdS/CdMnTe/Ni**

În Figura 5 sunt prezentate caracteristicile de sarcină a heterojoncțiunilor IO/CdS/Cd<sub>0,99</sub>Mn<sub>0,1</sub>Te/Ni. Caracteristicile de sarcină au fost ridicate la temperatura  $T=300\text{K}$  și o putere a luminii incidente de  $100\text{ mW/cm}^2$ . Se observă o îmbunătățire esențială a caracteristicii de sarcină în cazul structurilor cu o grosime de  $5,2\text{ }\mu\text{m}$ , unde: tensiunea de circuit deschis  $U_{cd}=0,81\text{V}$ , curentul de scurt circuit  $I_{sc}=18,64\text{ mA}$ , coeficientul de umplere  $FF=61,63\%$  și randamentul  $h=10,29\%$ . Majoritatea parametrilor fotovoltaici, specificați în tabelul 1, sunt determinați de faptul că CdS cu grosimea  $d\approx 0,50\text{ }\mu\text{m}$  are rolul de fereastră optică și conduce la diminuarea vitezei de recombinare la suprafața structurii. Aceasta se datorează faptului că lărgimea benzii interzise a compusului CdS ( $E_g=2,42\text{ eV}$ ) și Cd<sub>0,99</sub>Mn<sub>0,1</sub>Te ( $E_g=1,48\text{ eV}$ ) asigură apariția câmpului electric, care se opune deplasării purtătorilor de sarcină minoritari spre suprafața, și, respectiv, micșorează procesul de recombinare a lor.

### CONCLUZII.

În această lucrare, celulele solare fotovoltaice pe bază de CMT cu dispozitivul de tipul ITO/CdS/Cd<sub>0,99</sub>Mn<sub>0,1</sub>Te/Ni au fost explorate prin utilizarea tehnicii de evaporare în vid (volum cuazi-închis) și s-a încercat să se ofere un înlocuitor pentru materialul CdTe obișnuit. Înainte de fabricarea dispozitivelor, proprietățile fizice au fost analizate, iar analiza structurală a confirmat că filmele CMT au o structura cubică policristalină. Au fost fabricate CS ITO/CdS/Cd<sub>0,99</sub>Mn<sub>0,1</sub>Te/Ni tratate termic în prezența CdCl<sub>2</sub> la diferite temperaturi și a fost studiată influența interdifuziei la interfața CdS/CMT asupra performanței celulei, iar aceste celule fotovoltaice au prezentat o eficiență de conversie a energiei de  $10,29\%$ .

Rezultatele explorării sugerează că sunt necesare cercetări suplimentare pentru a îmbunătăți performanța celulelor fotovoltaice bazate pe CMT, care pot fi candidați potențiali pentru utilizare ca alternativă economică la tehnologiile fotovoltaice pentru următoarea generație.

### Referințe:

1. DEALIANG, W., ZERONG, H., ZHIZHONG, B. Study of interdiffusion reaction at the CdS/CdTe interface. J. Mater. Res., Vol. 26, No. 5, Mar 14, 2011, <https://doi.org/10.1557/jmr.2010.90>.
2. PATEL, S.L., HIMANSHU, S.C., KANNAN, M.D., DHAKA, M.S. Impact of chloride treatment on the physical properties of polycrystalline thin CdTe films for solar cell applications. Phys. Lett.A 2019, 383, 1778. <https://doi.org/10.1016/j.physleta.2019.03.001>.
3. SUBHASH, C.R., SURYA KANT, T. Toward Development of CdZnTe and CdMnTe Thin Film-based Solar Cells: Optimized Properties and a Comparative Performance Exploration. J. Advanced Materials Interface, 2023, <https://doi.org/10.1002/admi.202300327>

4. ROHATGI, A., RINGEL, S., WELCH, A., MEEKS, J., POLLARD, E.K., ERBIL, A., et. all.  
Growth and characterization of CdMnTe and CdZnTe polycrystalline thin films for solar cells Sol.  
Cells 1988, 24, 185, [https://doi.org/10.1016/0379-6787\(88\)90048-8](https://doi.org/10.1016/0379-6787(88)90048-8).

**Mulțumiri:** Acest articol este susținut de proiectul „Nanostructuri și materiale avansate pentru aplicații în spintronică, termoelectricitate și optoelectronică”, Codul subprogram: 020201. Autorii acestei lucrări aduc sincere mulțumiri Centrului pentru Știința Suprafeței și Nanotehnologii, Universitatea Politehnică din București.

## SKY-HIGH SOLUTIONS: BEST PRACTICES IN UAV TECHNOLOGIES FOR SUSTAINABLE TOURISM

**Veronica BULAT,**  
Moldova State University

ORCID: 0000-0002-6051-3460  
e-mail: [veronica.bulat@usm.md](mailto:veronica.bulat@usm.md)

**Abstract.** *The integration of Unmanned Aerial Vehicle (UAV) technologies in the tourism sector presents innovative opportunities for enhancing sustainable practices. This paper explores best practices in leveraging UAVs to improve tourist experiences while minimizing environmental impacts. We examine various applications, such as aerial photography for destination marketing, real-time data collection for managing tourist flows, and ecological monitoring of sensitive areas. Case studies from diverse regions illustrate successful UAV implementations that promote sustainable tourism development, focusing on community engagement and environmental stewardship. The findings highlight the importance of regulatory frameworks and ethical considerations in UAV deployment, ensuring safety and privacy. By showcasing successful models, this research provides valuable insights for tourism stakeholders aiming to harness UAV technologies responsibly, ultimately contributing to the long-term sustainability of tourism destinations. The paper concludes with recommendations for future research and policy development, encouraging a collaborative approach to integrate UAV technologies in sustainable tourism strategies.*

**Key words:** *UAV technologies, sustainable tourism, best practices, aerial photography, tourist management, safety in tourism, community engagement.*

### Introduction

Integrating Unmanned Aerial Vehicles (UAVs), commonly known as drones, into Geographic Information Systems (GIS) marks a transformative advancement in sustainable and safe tourism practices. UAV technology enables the capture of high-resolution spatial data and the creation of accurate terrain models, essential for informed decision-making in tourism, conservation, and visitor safety. By identifying potential hazards such as unstable terrain or environmentally sensitive areas, drones help tourism operators ensure visitor safety while preserving the integrity of natural and cultural sites.

Sustainable tourism increasingly depends on these technologies to support eco-friendly initiatives, reduce environmental impact, and promote the conservation of invaluable resources. In addition to environmental benefits, UAV-GIS applications improve site management by providing real-time data on visitor movement and site conditions, allowing for proactive safety measures and visitor flow management. This study delves into UAV-GIS technologies, examining their applications, safety benefits, and critical role in advancing sustainable tourism goals, especially within the framework of the United Nations' Sustainable Development Goals (SDGs).

The application of UAVs in GIS has expanded rapidly across various sectors, including urban planning, environmental monitoring, and disaster response. In tourism, these technologies facilitate responsible management of natural resources, optimize the use of renewable energy, and engage local communities in sustainable practices. With examples from regions known for their commitment to ecotourism, such as Costa Rica and Iceland, this paper explores the contributions of UAV-GIS technology to sustainable tourism. It also identifies challenges, potential future applications, and the broader impact of these innovations on the tourism industry.

### Materials and Methods

The analysis in this study relies on an extensive review of existing literature on UAV-GIS integration and sustainable tourism, including journal articles, case studies, and reports from international organizations. Primary sources include recent studies on UAV applications in various industries, with a

specific focus on tourism, urban planning, environmental monitoring, and disaster response. By reviewing advancements in UAV-GIS technology, including technical and operational aspects, the study highlights the key roles these technologies play in sustainable tourism.

The study utilized UAVs equipped with high-resolution cameras, thermal imaging, and multispectral sensors, specifically chosen to support both safety and sustainability in the tourism industry. GIS software was employed for data processing, enabling the creation of highly detailed maps and digital elevation models (DEMs). These tools contribute not only to enhancing visitor experience through visually rich, informative content but also to improving safety by identifying potential hazards, ensuring safer routes, and monitoring sensitive environmental zones. Case studies were selected from Costa Rica, Iceland, Bhutan, and the Galapagos Islands, regions recognized for their commitment to sustainable tourism practices, innovative use of technology, and alignment with the United Nations Sustainable Development Goals (SDGs). These destinations demonstrate how UAV-GIS technologies can enhance tourism safety by improving resource management, ensuring responsible environmental monitoring, and engaging local communities in sustainable practices. The analysis focused on evaluating the effectiveness of UAV-GIS applications in supporting conservation efforts, promoting safe tourism experiences, and fostering community involvement to protect natural and cultural resources.

By integrating technology and safety-oriented practices, this study highlights the role of UAV-GIS systems as tools not only for data collection but also for elevating safety standards, making tourism in ecologically sensitive areas both sustainable and secure.

### **Results and Discussions**

The integration of UAVs in GIS offers a range of applications critical to sustainable tourism. UAVs equipped with advanced sensors provide valuable data on terrain, vegetation, and wildlife habitats, aiding conservationists in mapping protected areas and identifying regions vulnerable to degradation [1]. In Costa Rica, for instance, UAV-GIS technology is employed within the Forever Costa Rica Program to monitor 26 national parks and numerous reserves, ensuring that tourism growth does not compromise ecological integrity [2, p.1230-1249]. UAVs also help in identifying the carrying capacities of natural sites, contributing to the preservation of biodiversity in fragile ecosystems like the Galapagos Islands.

UAVs contribute to sustainable tourism by facilitating the assessment and optimization of renewable energy sources. For example, Iceland uses UAVs to map geothermal fields, supporting the sustainable management of its abundant geothermal energy resources. By capturing precise thermal and spatial data, UAVs aid in the efficient allocation of renewable energy sources for tourism facilities. This practice minimizes carbon emissions and supports Iceland's goal of becoming a zero-emission nation. UAV-GIS technology also assists tourism facilities worldwide in monitoring energy consumption and identifying areas where renewable energy systems, such as solar panels or wind turbines, can be effectively integrated. Environmental monitoring is crucial in sustainable tourism, particularly in regions where natural resources are the main tourist attractions. UAVs are used to monitor air and water quality, map erosion-prone areas, and track the impact of tourism activities on ecosystems. Waste management is another area where UAVs offer valuable insights. By mapping waste distribution in high-traffic areas, UAVs help tourism facilities optimize waste collection points and recycling stations. These practices align with the objectives of the UN's SDGs, which emphasize the reduction of waste and pollution in tourism sectors.

UAV-GIS technology facilitates community engagement by providing valuable data that supports local conservation efforts and helps educate both tourists and local residents. In Bhutan, a carbon-negative country, UAVs are employed to assess the environmental impact of tourism and provide real-time data that supports the country's Sustainable Development Fee program. UAVs enable data collection on carbon footprints, forest health, and waste management, allowing communities to understand the environmental impact of tourism and adapt practices accordingly [3, p. 109-125].

The use of UAVs in promoting educational content, such as augmented reality (AR) and virtual reality (VR) applications, raises awareness among tourists about sustainable practices and local culture.

Despite the advantages of UAV-GIS technology in sustainable tourism, there are challenges to its implementation. High initial costs, the need for technical expertise, and regulatory restrictions limit widespread adoption, particularly in developing countries. Additionally, data privacy and security concerns arise when drones are used in sensitive areas [4, p. 303-316]. The future of UAV-GIS in tourism will likely focus on improving accessibility and affordability through technological advancements and increased regulation standardization [5, p. 855-869].

UAV-GIS technology significantly contributes to the achievement of various SDGs related to sustainable tourism, such as SDG 7 (Affordable and Clean Energy), SDG 11 (Sustainable Cities and Communities), SDG 13 (Climate Action), and SDG 15 (Life on Land). By providing real-time data on environmental conditions and resource use, UAVs enable tourism stakeholders to make informed decisions that support sustainable development [2, p.1230-1249]. In Costa Rica and Iceland, UAVs help monitor protected areas and geothermal energy use, respectively, aligning with SDG targets focused on preserving natural resources and promoting eco-friendly practices.

Drones have revolutionized tourism marketing, offering a cost-effective solution for creating breathtaking visual content. Unlike expensive options like helicopters, drones provide an affordable way for tourism companies to capture high-quality aerial footage, significantly reducing costs while delivering stunning visuals. This budget-friendly approach allows more companies to showcase their destinations, enhancing their appeal without breaking the bank. The flexibility and mobility of drones are unmatched. They can hover over iconic landmarks, soar to impressive altitudes, and navigate tight or otherwise unreachable areas to capture unique perspectives. This adaptability enables drones to produce real-time, high-definition footage, ideal for promoting destinations with captivating visuals that leave a lasting impression on potential visitors. Drones bring a fresh, immersive quality to tourism marketing that conventional photography often lacks.

Additionally, drones are incredibly quick to deploy, which is essential for capturing fleeting moments such as seasonal landscapes or local events. This quick turnaround allows tourism businesses to share timely content with their audiences, keeping potential tourists engaged and offering a constantly updated glimpse of the destination. Also, drones enhance safety in capturing footage of challenging or hazardous locations. Tourist destinations that may be too remote or difficult to access with traditional methods can now be safely showcased from above, offering viewers an immersive experience without risking the safety of photographers or videographers. By using drones, tourism companies can deliver exciting visuals that capture the essence of a destination, all while maintaining high safety standards.



**Fig. 1. Advantages of using drones in the tourism industry**

While drones offer exciting possibilities for the tourism industry, their use also brings certain challenges. Privacy is a primary concern, as drones capturing aerial footage in tourist areas may inadvertently infringe on personal spaces, affecting the privacy of tourists and local communities. Strict regulations and guidelines are crucial to safeguard privacy and maintain a positive experience for all.

Technically, drones still face limitations that may restrict their effectiveness because issues like limited flight time, small payload capacities, and vulnerability to weather can make it difficult to capture consistent, high-quality footage. To ensure reliable operations, drones require frequent maintenance and technology updates, adding additional costs and operational demands for tourism businesses.

Another potential drawback is interference in condition of popular tourist sites often crowded with electronic devices, drones may encounter signal disruptions from other devices or nearby drones, impacting their stability and footage quality. Additionally, unauthorized access to drone systems can pose security risks, making strong data protection protocols essential for safe use.

Operating drones requires navigating intricate regulations, including airspace permissions, permits, and operator certifications. This regulatory framework can be time-consuming and may delay content production or even restrict drone usage in certain areas. Tourism companies must stay informed and compliant with local regulations to avoid fines and ensure smooth operations.

### **Conclusion**

Integrating UAV-GIS technology is a significant step toward fostering sustainable tourism while enhancing safety standards. By providing precise, real-time data on environmental conditions, resource usage, and potential hazards, UAVs empower tourism stakeholders to make informed decisions that prioritize ecological preservation, community welfare, and visitor safety. In places like Costa Rica, Iceland, Bhutan, and the Galapagos Islands, UAV-GIS technology has shown great potential not only in promoting eco-friendly practices but also in identifying and mitigating risks—such as unstable terrain, weather conditions, or overcrowded areas—that could pose safety concerns for tourists.

Moreover, UAV-GIS technology facilitates community engagement by delivering actionable insights to local authorities and tourism operators, enabling them to create safer, sustainable experiences for visitors. Although there are still challenges, particularly in terms of cost and regulatory frameworks, advancements in UAV-GIS technology are expected to improve accessibility and affordability, especially for regions with limited resources and infrastructure. This study underscores that when effectively implemented, UAV-GIS technology can significantly contribute to sustainable tourism by addressing both environmental and safety aspects, aligning with global sustainability and safety goals.

### **References:**

1. QUAMAR, M.M., ALRAMADAN, B., KHAN, K., SHAFIULLAH, M., EL FERIK, S. Advancements and Applications of Drone Integrated Geographic Information System Technology- Review. *Remote Sens.*, 15, 2023, 5039. <https://doi.org/10.3390/rs15205039>.
2. KANDROT, S., HAYES, S. & HOLLOWAY, P. Applications of Uncrewed Aerial Vehicles (UAV) Technology to Support Integrated Coastal Zone Management and the UN Sustainable Development Goals at the Coast. *Estuaries and Coasts*, 45, 2022, 1230–1249. <https://doi.org/10.1007/s12237-021-01001-5>.
3. STAREK, M.J., GINGRAS, M., & JEFFRESS, G. Application of Unmanned Aircraft Systems for Coastal Mapping and Resiliency. In *Sustainable Development Goals Connectivity Dilemma (Open Access)*, edited by Abbas Rajabifard, 2019, pp. 109–125. CRC Press.
4. KHAN, N., KHAN, W., HUMAYUN, M., NAZ, A. Unlocking the Potential: Artificial Intelligence Applications in Sustainable Tourism. In *The Role of Artificial Intelligence in Regenerative Tourism and Green Destinations*, edited by Alnoor, A., Bayram, G.E., XinYing, C., & Shah, S.H.A., 2024, pp. 303–316. Emerald Publishing Limited.
5. BLASCO, D., PALOU RUBIO, S., & POCH ESPALLARGAS, M. Emergence and Spread of Critical Discourses Opposing Tourism: The Case of Girona, an Urban Satellite Destination of Barcelona. *Tourism Planning & Development*, 20(5), 2021, 855–869. <https://doi.org/10.1080/21568316.2021.1873840>.

**Acknowledgment:** *This paper is developed in the context of the realization” Strengthening socio-economic and legal mechanisms to ensure the well-being and security of the citizens” (CONSEJ 01.05.02).*

**PROCEDEU DE INACTIVARE A AGENȚILOR PATOGENI SUB ACȚIUNEA UVC  
CU APLICARE ÎN IMPLANTOLOGIE**

**PROCEDURE FOR INACTIVATING PATHOGENIC AGENTS UNDER THE ACTION  
OF UVC WITH APPLICATION IN IMPLANTOLOGY**

**Ion MUNTEANU**<sup>1,2</sup>

ORCID: 0000-0002-5685-8888

<sup>1</sup>Laboratorul de optică cuantică și procese  
cinetice, Institutul de Fizică Aplicată,  
Universitatea de Stat din Moldova

e-mail: ion.munteanu@usm.md

<sup>2</sup>Catedra de fiziologie a omului și biofizică,  
Universitatea de Stat de Medicină și Farmacie  
"Nicolae Testemițeanu"

**Abstract:** *At the present time, a special attention is given to the large-scale using of implant treatments. Modern implants have a good rate of success, reliability and longevity, they are minimally invasive, delicate and resistant. Due to the development of some forms of pathogens at the implant-tissue contact, there are situations of poor adhesion of the implant surface to the organic tissue. The application of chemical or surgical methods in such situations are difficult. But in order to solve these phenomena, new techniques are needed to be implemented. That why it is proposed to apply ultraviolet radiation on the optical system (photonic crystals and photonic fiber crystals) of modern implants to treat the infection that can appear on the surface between the implant and the cellular tissue in the process of poor adhesion. These combinations of periodic quartz optical structures are deposited and regularly arranged (set of fibers or spheres) on the implant surface, which can be used as a large volume dispersion of ultraviolet C radiation to treat the infection at the surface between the implant and adhesion tissue. The proposed periodic optical structure contributes considerably to increasing the adhesion of the implant to the cellular tissue, thus stimulating cellular growth between the elements and the implant.*

**Key-words:** *implant, decontamination, UV-C radiation, pathogen inactivation, metamaterials.*

### **Introducere**

Odată cu creșterea popularității din ultima perioadă a implanturilor și tratamentelor cu implant, precum și a numărului tot mai mare de metode de implantologie efectuate în ultimul timp, în așa fel se deschid noi oportunități pentru cercetarea inovatoare în acest domeniu [1-2]. Au fost efectuate numeroase studii în acest sens pentru a găsi noi metode eficiente de decontaminare a suprafeței dintre implant și țesutul celular în procesul de slabă aderență, cu scopul protecției suprafeței în urma apariției agenților patogeni [3]. Aceste studii științifice sunt stimulate și de o mare incidență a complicațiilor pe termen scurt și lung, care au avut loc recent în experimentarea implanturilor. Există diferite posibilități de inactivare a agenților patogeni care pot apărea la suprafața implantului cu țesutul celular din cauza aderenței slabe. Una dintre ele este atunci când aderența nu este cea mai bună compatibilitate cu procedurile clasice de decontaminare precum chimia, medicamente, etc., prin urmare se propune un set de efecte moderne în interacțiunea moleculară a radiațiilor UV-C (Ultraviolete de tip C) cu țesutul uman de pe suprafețele implantului. Iradierea cu radiații ultraviolete este o metodă cunoscută și folosită încă din 1877, când Downes și Blunt au observat că măbind timpul de expunere al eprubetelor care conțin soluție Pasteur la lumina solară, eprubetele au rămas libere de bacterii timp de câteva luni [4]. Pentru a trata infecțiile de suprafață din regiunea dintre implant și țesutul celular, este propus un nou sistem optic pentru controlul și gestionarea implanturilor terapeutice avansate.

Pentru a spori pătrunderea radiațiilor UVC în fluide, am încercat să minimizăm elementele structurilor de dispersie cvasi-periodice, care conduc la creșterea zonei libere de contaminare.

Acest lucru ar putea fi contracarat de acțiunea de penetrare a undelor evanescente, care evoluează proporțional cu densitatea elementelor metamateriale înmulțită cu suprafața lor totală. Alături de această linie, cea mai bună suprafață de contact constă dintr-o sferă și fibre optice întregi sau zdrobite drastic reduse. Acest concept nu funcționează totuși în cazul adâncimii de penetrare profundă a radiației în fluidele contaminate din cauza a două fenomene de bază. Primul este legat de împrăștierea intensă a radiației UVC pe suprafața elementelor metamateriale împachetate constând din sfere întregi sau zdrobite și fibre optice de diametru mic. Volumul efectiv de metamaterial pătruns de fluidul contaminat nu va fi, prin urmare, complet decontaminat. Al doilea fenomen este legat de creșterea rezistenței fluidului la contactul cu elemente metamateriale de dimensiuni mai mici. Astfel, experimentele au arătat că creșterea reflexiei la contactul dintre elementele metamateriale devine un obstacol major împotriva pătrunderii mai adânci a radiației în interiorul metamaterialului.

Pentru a depăși aceste dificultăți/contradicții aparente, apelăm la metamateriale compozite, constând dintr-un amestec de elemente optice mari și mici în contact cu fluidul contaminat. Elementele mari permit radiației UVC să traverseze o distanță mare în interiorul lichidului contaminat, în timp ce cele mici, care ocupă spațiul liber dintre ele, sunt de așteptat să asigure o dispersie optimă a radiației în volume mari, așa cum se confirmă atunci când se utilizează cristale de cuarț zdrobite. Radiațiile ultraviolete sau dovedit a fi cele mai eficiente în acest scop, iar în prezent sunt utilizate pe scară largă pentru inactivarea agenților patogeni virali. Dezinfecția cu ajutorul radiațiilor UV-C este foarte eficientă la lungimi de undă de 200-300 nm. Exista mai multe studii în acest sens care confirmă acțiunea radiațiilor ultraviolete de tip C, ca fiind una foarte eficientă în nimicirea virușilor și bacteriilor [5].

Anume acest interval al radiației este considerat germicid, deoarece este absorbit de ADN-ul patogenilor care ulterior îi distruge structura moleculară prin formarea dimerilor de timină  $T=T$ , astfel încât patogenii nu mai au posibilitatea de a se replica sau înmulți. În acest caz metodele tradiționale precum dezinfecția chimică nu mai este necesară, odată ce radiația UV-C inactivează efectiv virușii, bacteriile, ciupercile și sporii. Totodată dezinfecția bazată pe radiații UV este o metodă fiabilă și prietenoasă cu mediul, la intensități de iradiere suficient de mare nu mai este nevoie de substanțe chimice suplimentare [6-7], iar microorganismele precum virușii, bacteriile, drojdiile și ciupercile devin inofensive în câteva secunde urmare acestei iradierii.

Aceste aspecte ale decontaminării eficiente cu radiații ultraviolete (UV-C) deschid noi perspective în construcția de noi implanturi cu sensibilitate ridicată în decontaminarea microorganismelor ce pot apărea în procesul de slabă aderență. Pentru a trata infecțiile de suprafață în regiunea dintre implant și țesutul celular, este propus un nou sistem optic. Pentru a îmbunătăți suprafața de contact dintre agenți patogeni și radiația UVC, am folosit o combinație de elemente metamateriale, cum ar fi sfere și fibre întregi sau zdrobite din cuarț, în aranjamente de ambalare strânsă. Se demonstrează că suprafața totală a metamaterialelor pe implant în contact optic cu suprafața zonei contaminate a țesutului celular este semnificativ crescută. Probele de metamaterial super-ambalate au fost supuse iradierii UV-C, pentru a îmbunătăți formarea de antibiofilm cu avantaje așteptate pentru sterilizarea pe termen lung a implanturilor și prevenirea infecțiilor nosocomiale pe arii clinice mari. Ori de câte ori se ajunge la un contact bun între elementele metamateriale (sfere, fibre optice și/sau elemente zdrobite), lumina este „limitată” și dispersată prin unde evanescente într-un volum extins.

Acest lucru permite ca radiația ultravioletă să poată fi ușor manipulată prin metamaterialele, astfel încât o doză mai mare de radiație să fie dispersată pe suprafața infectată.

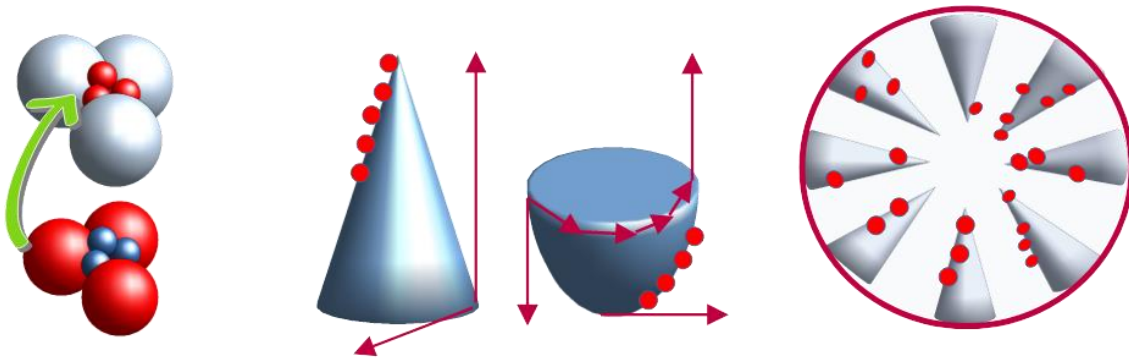
Este cunoscut că radiațiile UV-C au un impact negativ asupra sănătății omului. Metoda propusă în această lucrare este una non-invazivă deoarece odată ce este posibilă dirijarea și canalizarea radiației



strict în zona de interes, nu poate afecta cu nimic alte părți ale corpului decât suprafața afectată dintre implant și țesutul celular. În astfel de situație radiația UV-C este expusă direct patogenilor.

### Materiale și metode

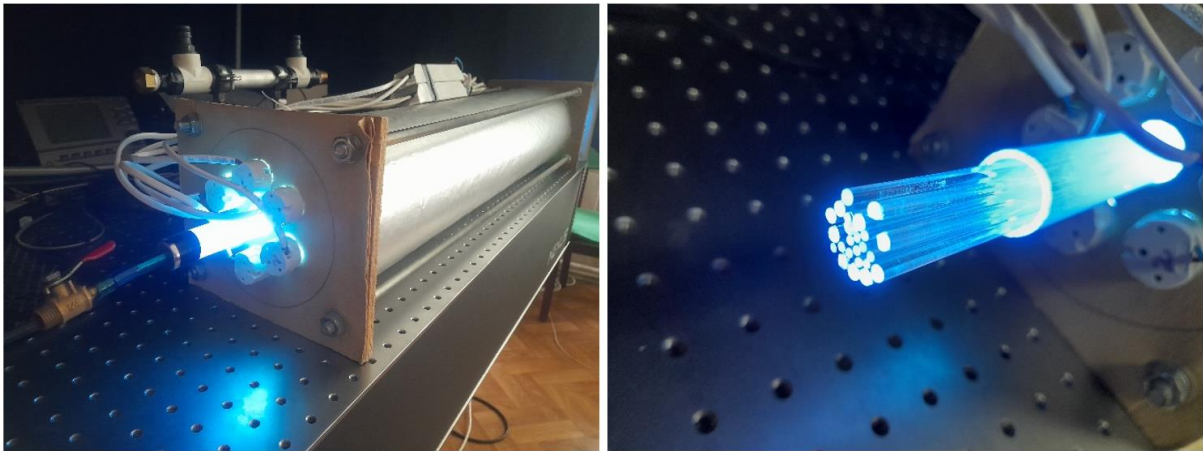
Radiația UV-C a fost utilizată în mod convențional în sisteme de purificare a aerului și de tratare a apei și a unor maladii de gripă [8]. A venit momentul ca această radiație sub formă să fie canalizată prin sisteme optice speciale precum structurile optice periodice. Se propune modalități de cooperativitate dintre biomolecule atât la emisia cuantelor de lumină cât și la absorbția ei. Aceste modalități de cooperare dintre radiatori sunt exportate la efectele de cooperare dintre fotonii modurilor de cavitate sau modurilor fibrelor optice la propagarea pulsurilor de lumină prin ele. La conversia luminii din modul de pompă în modurile Stokes și anti-Stokes se utilizează atât atomi cât și molecule ori biomolecule plasate în câmpul de evanescență ale sistemelor optice formate din cavitati cuplate, la contact cu fibre optice cuplate ori alt tip de elemente periodice. La dimensiuni reduse de ordinul lungimilor de undă de emisie aceste sisteme cuplate pot fi numite *molecule fotonice*, iar în cazul formării unor structuri extinse sunt numite în literatură *crystale fotonice* (vezi Fig. 1).



**Fig. 1. Molecule fotonice ce conțin microsferă de diferite dimensiuni. a) bilele de cuarț; b) con din cuarț; c) elemente împachetate într-un tub de cuarț**

În figura 1a, spațiul dintre sferele cu dimensiuni reduse cu diametrul  $d_1$  este suplinit cu sfere cu dimensiuni de zece de ori mai mici  $d_1/10$ . Această împachetare continuă după reducerea dimensiunilor elementelor metamaterialului cu alte sfere cu dimensiuni de 100 ori mai mici decât cele inițiale  $d_1/10$ . Procedura ar putea continua pentru a ajunge la scară nanometrică a tubulinelor. Propagarea luminii ce cade direct pe bazele unei calote sferice și a unui con din cuarț, ce suferă multiple reflecții înaintând spre vârful conului vezi Fig.1b, iar în Fig.1c. aceste elemente pot fi împachetate într-un tub de cuarț pentru a mări contactul optic cu fluidul ce se propagă prin el.

Ideea principală a acestei lucrări pentru prima dată a fost propusă în scopul decontaminării lichidelor (cum ar fi apa, plasma sanguină). Atunci s-a cercetat amănunțit aspecte ale suprafeței totale de decontaminare a structurilor periodice formate din fibre de cuarț sau bile introduse într-un cilindru gros cu diametrul de 3 cm și lungimea în jur de un metru. Pentru o eficiență crescută aratei de decontaminare radiația ultravioletă a fost focalizată în interiorul acestui cilindru al unui echipament inovativ dezvoltat în incinta laboratorului care funcționează cu ajutorul a șase lămpi de mercur cu lungimea de undă 253.4 nm, ilustrat în (Fig. 2) și publicat într-o serie de lucrări [6, 7].



**Fig. 2. Tubul de cuarț introdus în echipamentul de decontaminare ce conține 6 lămpi UVC**

În această lucrare ne vom axa doar pe unele structuri cuasi-periodice, în care fluidul (lichide ori gaze) pot ușor penetra spațiul dintre ele la scurgere. O atenție deosebită vom da suprafețelor de contact al fluidului cu aceste structuri, numite în literatură și metamateriale. Meta-materialele sunt definite ca fiind acele compozite cu proprietăți care nu se găsesc în natură. În cercetarea electromagnetică, există un mare interes în dezvoltarea compozitelor care prezintă valori precise ale permitivității electrice ( $\epsilon$ ) și permeabilității magnetice ( $\mu$ ), deoarece acestea dictează mișcarea radiației electromagnetice în și în jurul materialului. Metamaterialele precum cristalele fotonice sunt materiale macro-poroase cu proprietăți interesante, în special proprietăți optice. S-a decis să folosim aceste sisteme optice în îmbunătățirea aderenței și tratarea eventualelor infecții de suprafață. De asemenea, putem menționa că fibrele "band gap" cu miezuri goale pot ocoli limitele impuse de materialele disponibile, de exemplu pentru a crea fibre care ghidează lumina la lungimi de undă pentru care nu sunt disponibile materiale transparente (deoarece lumina este în primul rând în aer, nu în materiale solide).

Pentru a câștiga în suprafața de contact cu structurile cvasi periodice se propune de a umplea spațiul liber dintre elementele structurii (la împachetarea cubică sau hexagonală) cu introducerea suplimentară a unor elemente mai mici comensurabile cu spațiul dintre bile sau fibre (vezi Fig. 3). Această reîmpachetare a structurii cvasi periodice cu noi elemente are două aspecte utile la decontaminare sau diagnostică sub acțiunea luminii cu moleculele, biomoleculele situate în spațiul liber dintre elementele cvasi periodice. Prima este strâns legată de suprafața totală de contact dintre fluid și radiația ce penetrează în zona câmpului apropiat, iar a doua de reducere a spațiului liber nepenetrat de câmpul de evanescență și substituirea lui cu o nouă sursă de împrăștiere a luminii la propagarea ei.

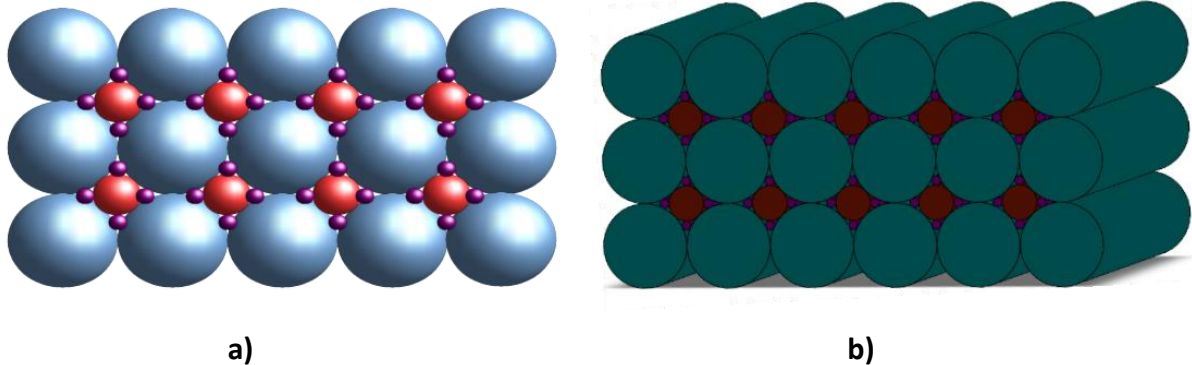
Spațiul dintre elementele de cuarț (sfere sau fibre) poate fi umplut cu fragmente mai mici, astfel încât radiațiile „să fie captate” în interiorul tubului pentru a asigura o activitate antipatogenă maximă.

Strategia noastră se bazează pe geometriile de ambalare ale elementelor metamateriale compozite. Această abordare este de așteptat să promoveze o îmbunătățire substanțială atât a decontaminării UVC pe suprafața în contact cu fluidele, cât și a ratei de decontaminare. Sarcina este de a proiecta și fabrica un nou decontaminator compact de lichide și gaze care funcționează prin contact optic între elementele metamateriale cu diferite dimensiuni. Mai precis, este propusă combinația de elemente groase și subțiri ale metamaterialelor compozite fie din bucăți de cuarț, fie din fragmente de fibre optice.

Această necesitate apare odată cu creșterea grosimii fibrelor sau a razei sferelor de cuarț la împachetarea lor într-un set optic cvasi-periodic, rămâne un volum destul de mare dintre bile/sfere nedecontaminat [8-10] care poate fi ușor de calculat fiind egal cu volumul cilindrului/dintelui în care au fost introduse fibrele minus volumul fibrelor. Acesta si este volumul total liber dintre fibre sau bile. Din acest volum total, doar o parte este utilizată în mecanismul de decontaminare cu radiații UVC, iar partea

care nu este utilizată poate fi ușor calculată. Din volumul liber trebuie scăzut volumul expus adâncimii de penetrare a radiației UV-C, adică volumul egal cu suprafața totală a fibrei/sferei înmulțit cu adâncimea de penetrare. În caz ca raza sferelor sau grosimea fibrelor crește, atunci volumul va fi unul foarte mic.

Acest volum v-a fi foarte mic în comparație cu volumul liber dintre elemente, prin aceasta ne referim la creșterea razei (grosimea fibrei), volumul nostru liber decontaminat crește. Pentru a o reduce, există o idee care constă în următoarele. Dintre fibrele groase (sau bile cu rază mare), putem introduce fibre subțiri sau bile cu rază mic.



**Fig. 3. Impachetarea cubică cu introducerea unor elemente mai mici comensurabile cu spațiul dintre a) bile și b) fibre**

Fibrele groase intrând în contact optic cu fibrele subțiri vor dispersa radiația ultravioletă în volumul încă infectat. Acesta va fi egal cu suma dintre aria fibrelor groase și aria fibrelor subțiri înmulțite cu adâncimea de penetrare a radiației UV-C. O situație similară a fost aplicată la un volum de decontaminare dintre sferele cuarț cu o rază de aproximativ 1.5 mm, unde spațiul dintre sferele mari a fost umplut cu sfere cu diametru mai mic, astfel încât volumul total de dezinfectie devine egal cu suprafața totală a sferelor mari și mici înmulțit cu adâncimea de penetrare. În așa fel a crescut cu mult eficiența decontaminării [11, 12].

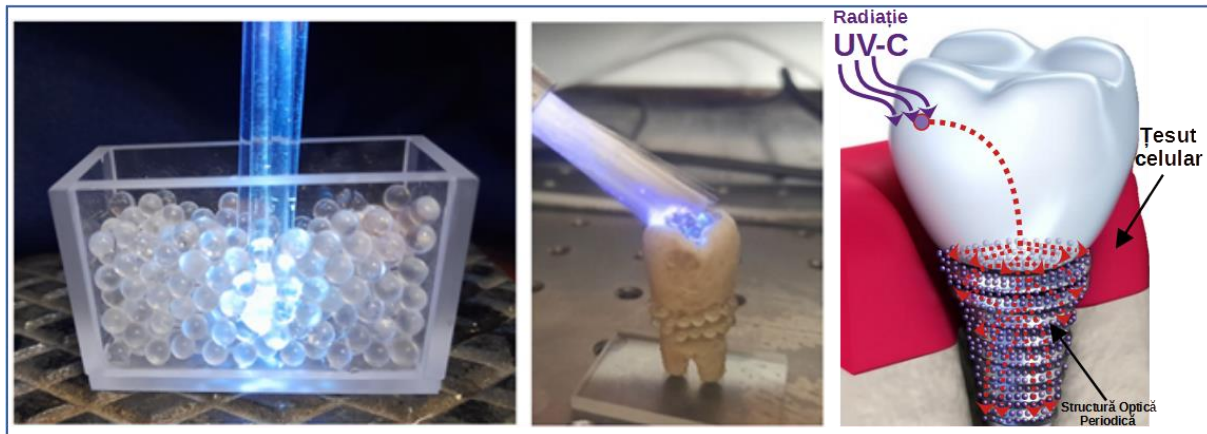
Toate aceste idei au fost dezvoltate pentru decontaminarea fluidelor care curg între elementele metamaterialelor și ulterior transferate pe modele de implant. Conform estimărilor noastre suprafața totală este egală cu suprafața fiecărui element ce se conține în cilindru din figura de mai sus înmulțită cu numărul acestora. Volumul total de decontaminare al fluidului este egal cu suprafața totală înmulțită cu adâncimea de penetrare a radiației ultraviolete din fibră/sferă în fluidul contaminat. Această adâncime de penetrare este egală cu:

$$d = \lambda / \sqrt{2\pi(n_q^2 - n_f^2)} \quad (1)$$

unde  $\lambda=254$  nm este lungimea de undă a radiației UVC aplicate, iar  $n_q$  și  $n_f$  sunt indicii de refracție ai cuarțului, respectiv al fluidului. Această concepție despre volum și suprafață de dezinfectie poate ușor fi transferată la rețeaua de difuzie a implantului format din structura optică periodică descrisă mai sus. În cazul când rețeaua de difuzie a implantului este formată din sfere în contact, atunci suprafața țesutului organic decontaminat va fi egală cu suprafața unei bile înmulțite cu numărul acestora de pe implant, iar volumul de decontaminare trebuie obținut prin înmulțirea suprafeței totale la adâncimea pătrunderii radiațiilor ultraviolete în țesutul celular infectat. Problema este în adâncimea de penetrare a radiațiilor ultraviolete în interiorul fluidului sau țesutului organic. Dacă adâncimea de penetrare este proporțională cu dimensiunea virusului sau bacteriilor, atunci totul e bine, și în această situație, putem înlocui în

expresia de mai sus pentru indicele de refracție al fluidului  $n_f$ , cu indicele de refracție al țesutului organic  $n_t \approx 1,41$ . Această adâncime de penetrare nu este dificil de estimat și este egală cu  $260 \text{ nm}$  împărțită la rădăcina patrata din  $2\pi$  pe lînga  $1,55$  (indicele de refracție pentru cuarț) la pătrat minus  $1,41$  (indicele de refracție al țesutului organic) la pătrat (formula de mai sus).

Pentru tratarea infecției de la suprafața dintre implant și țesutul de aderență, este necesar să existe un volum mare de dispersie de radiații UVC. De aceea propunem ca învelișul implantului să fie realizat din metamateriale, cum ar fi structurile optice periodice din cuarț descrise mai sus. Acest fenomen de dispersie este prezentat în figura 4.



**Fig. 4. Fenomenul de dispersie a radiațiilor UV-C. a) fibra-bile; b) set microfibre-bile asupra implantului dentar; c) Suprafața implantului acoperită de bule de cuarț în contact cu sursele externe**

Pe de o parte, acest fenomen de dispersie în metamateriale poate fi utilizat ca mediu de dispersie a radiațiilor UV-C (Fig.4a) pe suprafața destul de mare dintre implant și țesutul de adeziune, oferind efecte pozitive în tratamentul infecției, iar pe de altă parte, spațiile dintre elementele materialului (între microsfele sau fibre) pot avea efecte de bună aderență a țesutului la suprafața implantului.

În ideea acestor teorii descrise în această lucrare ar fi posibilă ca implantul dentar să poată consta dintr-un set de fibre sau bule de cuarț pachet periodic în interiorul cavității implantului, așa cum este reprezentat în (Fig.4b). Un astfel de implant dentar poate fi utilizat cu succes în implantologie, iar pentru gestionarea dezinfecției lui, putem apela la laser UVC de mici dimensiuni pentru aplicarea unei doze de radiație UV-C în fiecare dimineață. Sistemul optic periodic este introdus în regiunea mică de adeziv, între implant și țesutul celular, așa cum este reprezentat în (Fig.4c). Radiația acestui laser este ghidată în interior, în partea inferioară a implantului, pe care acesta vine în contact cu țesutul organic. În așa fel este posibilă tratarea eficientă a suprafeței implantului în contact cu țesutul celular.

### **Rezultate și discuții**

Experimentele efectuate cu împachetări diferite ale metamaterialelor au demonstrat în mod concludent și convingător că atât sferele de cuarț cât și cele din fibre în comun cu radiațiile UV-C pot inactiva eficient agenții patogenii prezenți în aer sau în diferite fluide de exemplu bacteriile drojdie și Kombucha [10-11], inclusiv Escherichia coli, sau Enterococcus precum Coliform, Covid-19, etc.

Metoda de decontaminare propusă va fi dezvoltată în baza a două efecte observate în optica modernă a metamaterialelor: unul este legat de creșterea substanțială a zonei de contact a virușilor și bacteriilor cu câmpului de radiație în apropiere de suprafața metamaterialului, și al doilea efect este legat de posibilitatea de atragere a acestor agenți patogenici în zona de decontaminare din zona apropiată suprafeței de contact a elementelor din care este construit meta materialul. Ultimul efect depinde de gradientul mărit al câmpului apropiat, indicele de refracție, densitatea agentului patogen.

Aplicând suprafața zonei evanescente ale unor astfel de structuri optice cvasi-periodice eficiența decontaminării crește drastic. Sistemul optic periodic propus atesta o îmbunătățire a contactului de adeziune dintre implant și țesutul celular. Între elementele structurilor periodice apare o nouă perspectivă asupra procedurilor de decontaminare. Eficiența decontaminării folosind suprafața zonei evanescente a unor astfel de structuri optice cvasi-periodice crește drastic, iar îmbunătățirea contactului mecanic cu țesutul organic și contactul optic între elementele structurilor periodice deschide o nouă perspectivă asupra procedurilor de decontaminare.

Legat de procedura de reambalare a meta-materialelor propuse, reproducerea miezului din dispozitivul de decontaminare consta din aceste materiale. Luând în considerare metodele de reambalare a metamaterialelor cu diametrele cunoscute atât sferelor mari cât și mici, putem obține o structură compactă foarte bună, asemănătoare celei solide. Cu siguranță, unele defecte în procedura de reambalare pot persista, chiar și acel factor uman, dar aici nu se observă o diferență semnificativă în eficiența decontaminării patogenilor. S-au propus două structuri topologice ale meta-materialelor din bile și fibre, pentru a crește suprafața de contact a radiațiilor UV ale implantului dentar cu materia.

### **Concluzii**

Lucrarea a fost organizată după cum urmează: este introdusă mai întâi o abordare teoretică pentru a descrie decontaminarea bazată pe noi metamateriale compozite care constau dintr-un amestec de granule și fibre mari și mici. Rezultatele experimentale au fost apoi introduse pentru elemente de cuarț cu dimensiuni și geometrii diferite în structurile de ambalare. Acordul dintre predicțiile teoretice și rezultatele experimentale a fost studiat pe baze statistice. Aspectul interacțiunii radiațiilor UV-C în aplicarea dezinfectării suprafețelor implanturilor și stimularea posibilă a contactului implantului cu țesutul celular a fost studiat. Drept urmare s-a propus o nouă metodă de împachetare a bilelor și fibrelor din cuarț în baza investigațiilor experimentale efectuate. Utilizând aceste împachetări ale bilelor și fibrelor (metamateriale/structuri optice periodice) în implantologie există posibilitatea de a manipula radiația UV-C în zona afectată, astfel sporind decontaminarea suprafeței afectate iar datorită spațiilor dintre bile/fibre apare o aderență considerabil de bună a legăturii implant-țesut.

### **Referințe:**

1. ENAKI, N. Non-linear Cooperative Effects in Open Quantum Systems, NY, Nova Science Publishers, 2015.
2. ZHANG, C., LAN, L., CHENG, J. Quantification of Lipid Metabolism in Living Cells through the Dynamics of Lipid Droplets Measured by Stimulated Raman Scattering Imaging, *Analytical chemistry*, 2017 89 (8), 4502-4507, <https://doi.org/10.1021/acs.analchem.6b04699>.
3. ENAKI, N., TURCAN, M., PASLARI, T., NISTREANU, A., BAZGAN, S., RISTOSCU, CARMEN., MIHAILESCU, ION. Efectele optoelectronice în modernizarea implanturilor avansate folosind structura optică periodică. În: *Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering*. București, 23-26 august 2018, Ediția a 9-a, Vol. 10977. Bellingham, Washington SUA: SPIE, 2018, pp. 1-15.
4. ENAKI, N., PROFIR, A., BIZGAN, S., PASLARI, T., RISTOSCU, T., et al. Metamaterials for Antimicrobial Biofilm Applications: Photonic Crystals of Microspheres and Optical Fibers for Decontamination of Liquids and Gases. *Handbook of Antimicrobial Coatings Elsevier*, 2017 pp. 257-282.
5. STOLIK, S, DELGADO, JA, PÉREZ, A, ANASAGASTI, L. Măsurarea adâncimii de penetrare a luminii roșii și aproape de infraroșu în țesuturile umane „ex vivo”. *J Photochem Photobiol B*. 2000 Sep;57(2-3):90-3. PMID: 11154088, [https://doi.org/10.1016/S1011-1344\(00\)00082-8](https://doi.org/10.1016/S1011-1344(00)00082-8).
6. TSEN, SW.D., WU, T.C., KIANG, J.G. et. al. Perspective pentru o nouă tehnologie cu laser cu impulsuri ultrascurte pentru inactivarea agenților patogeni. *J Biomed Sci*, (2012) 19, 62. <https://doi.org/10.1186/1423-0127-19-62>.

7. KOWALSKI, W. UVGI disinfection Theory, Ultraviolet germicidal irradiation handbook, Springer, 2009, pp.17-50.
8. MATVEEV, M., EROFEEV, A., TEREKHIN, S., PLOTNIKOVA, P., VOROBYOV, K., VLASOVA, O. Implantable devices for optogenetic studies and stimulation of excitable tissue, St. Petersburg Polytechnical University Journal: Physics and Mathematics 1, 2015.
9. RASTOGI, RP., RICHA KUMAR, A., TYAGI, M.B., SINHA, R.P. Mecanisme moleculare ale deteriorării și reparației ADN-ului induse de radiațiile ultraviolete. J Acizi nucleici. 2010 Dec 16;2010:592980, <https://doi.org/10.4061/2010/592980>.
10. MILLER, R.L., PLAGEMANN, P.G. Efectul luminii ultraviolete asupra mengovirusului: formarea de dimeri de uracil, instabilitatea și degradarea capsidei și legarea covalentă a proteinei la ARN viral. J Virol. 1974 Mar;13(3):729-39, <https://doi.org/10.1128/jvi.13.3.729-739.1974>.
11. ENAKI, N.A., PASLARI, T., BAZGAN, S. et. al. Dependența de intensitatea radiației UVC a ratei de decontaminare a agenților patogeni: teorie și experiment semiclassical. EURO. Fiz. J. Plus 137, 1047 (2022), <https://doi.org/10.1140/epjp/s13360-022-03252-y>.

### **Mulțumiri**

Această lucrare a fost susținută de proiectele: Subprogram cod 011206 și cifrul 24.80012.5007.26SE IFA, USM.

## ECOLOGICAL TECHNIQUES FOR STIMULATING PLANT GERMINATION AT SUBATMOSPHERIC PRESSURES AND CARBON NANOCCLUSERS

### TEHNICI ECOLOGICE DE STIMULARE A GERMINAȚIEI PLANTELOR LA PRESIUNI SUBATMOSFERICE ȘI NANOCCLUSERI DE CARBON

**Alisa MOȘNEAGA**

Moldova State University

ORCID: 0009-0009-2459-3596

e-mail: alisa.mosneaga@usm.md

**Petru LOZOVANU**

Moldova State University

ORCID: 0000-0003-3760-5727

e-mail: petru.lozovanu@usm.md

**Abstract.** *This study examined the impact of ecological stimulation on wheat and maize seeds under low-pressure conditions, using a composite material with C<sub>20</sub>-C<sub>60</sub> carbon nanoclusters. Seeds harvested in 2022 and maintained under standard conditions showed significant improvements compared to the control group when subjected to combined biostimulation at reduced pressure and immersion in a carbon nanocluster solution. Germination time was shortened, with germination capacity increasing by 35% for *Zea mays* L. and 15% for *Triticum aestivum* L. These findings suggest that nanotechnology could enhance seed performance, supporting sustainable agriculture and meeting the rising demand for healthy, sustainably produced food.*

**Keywords:** *biostimulation, carbon nanoclusters, germination, sustainable agriculture.*

### Introduction

Sustainable agriculture presupposes a minimum use of agrochemicals that can ultimately protect the environment and preserve various species from extinction. The literature suggests that replacing chemicals to increase the productive potential of crops or as herbicides with physical seed pretreatment methods would help to minimize the anthropogenic impact on agrosystems and improve the quality of sowing material. Therefore, in recent decades, the search for biophysical techniques and technologies is aimed at achieving genetic potential, increasing nonspecific resistance to abiotic and biotic stress, strengthening the adaptive potential of plants to grow and stabilize the crop [1-5].

Environmental pollution is one of the major global challenges, as pollutants of a different nature contaminate urban and agricultural areas [6]. In order to improve pollutant remediation strategies for environmental sustainability, there is a need to increase the effectiveness of conventional methods or to introduce innovative approaches. In this context, nanotechnology and in particular carbon-based nanomaterials can contribute greatly as they possess enormous absorption potential due to their large surface area. Advances in nanotechnology have led to the development of new materials with various applications. For instance, carbon nanomaterials (CNMs) have been used in diverse fields, including agriculture. These CNMs are characterized by their ability to be easily absorbed by plant cells, positively impacting plant growth and development. They have been applied to remove pesticides from water, extract heavy metals from soil and water, and exhibit antifungal and antibacterial effects. In agriculture, CNMs have been employed to stimulate seed germination and act as growth regulators, also enhancing the antioxidant activity of plants [7-9]. For example, in the studies of Yadong Li et. al, 2020 [10], TR Shojaei et. al, 2019 [11] and Moșneaga A. et al, 2020 [12] Carbon-based nanomaterials played a role in root and stem elongation, bio-mass accumulation, and improved carbohydrate content and photosynthesis, increased germination and growth rate of some agricultural crops. Also in their work, Acharya, R. et al. [13], demonstrate the utility of carbon nanofertilizers in improving seed germination,

seedling growth, shoot length, chlorophyll content, photosynthesis rate, and plant biomass increase in various cereals and horticultural crops. Additionally, the potential of carbon nanomaterials in agriculture is also discussed for the commercial production of nanocarbon as fertilizer.

Carbon-based nanomaterials have been utilized as efficient adsorbents to remove a wide range of contaminants for extended periods. Recently, increased attention has been given to nanoscale carbon-based adsorbents, which not only are capable of adsorbing pesticides or their degradation products but could also significantly contribute to enhanced pesticide degradation [14].

Thus, in the last decade, research into the application of carbon-based nano-materials in agriculture has been developed and deepened to monitor crop health, stimulate crop growth, enhance fertilizer efficiency, and manage diseases, pests, and environmental stress. Moreover, it has been found that carbon-based nanomaterials exhibit much lower toxicity to the environment and higher biocompatibility due to their non-toxic carbon backbone [15].

Research on seed processing at lower than atmospheric pressures has also shown a significant impact on germination. In a study conducted by NASA [16] it was found that subjecting seeds to frequent changes in atmospheric pressure can shorten germination time, improve the growth rate of young plants, and cause more massive and rapid root growth. One notable finding from the study is the observation of more massive and rapid root growth in plants subjected to pressure changes. Healthy root development is crucial for nutrient uptake and overall plant health, so this effect could significantly benefit plant growth and productivity. The effects of hypobaric (reduced atmospheric pressure) and hypoxia (reduced oxygen concentration) on seed germination have been studied in various plant species.

Research by Shuangsheng Guo et.al [17] investigated how these environmental factors influence the wheat germination process. The specific conclusions of the study would depend on factors such as the duration and intensity of hypobaric and hypoxic conditions, as well as the characteristics of the plant species studied. Photosynthetic rate, transpiration rate, biomass and wheat yield all increased, some nutrients also increased.

The experiment by Yongkang Tang et al demonstrated that lettuce (*L. sativa*) can be grown under long-term low pressure without adverse effects on seed germination, gas exchange and plant growth. Thus, under hypobaric conditions, the leaf area and root activity of lettuce plants were greater than those at ambient pressure, but the shoot/root ratio was lower [18].

The present study shows the results of biostimulation of seed germination of wheat and maize crops. Biostimulation was carried out in two steps: processing the seeds at lower pressure than the atmospheric one and immersing them in carbon nanocluster solution. Wheat and corn are not only among the important crops in the world, but also the primary candidate crop in CELSS (Closed Ecological Life Support System).

## **Material and method**

### **Seed pretreatment at lower than atmospheric pressures**

Preprocessing seeds under pressures lower than atmospheric pressure involves subjecting the seeds to environments where the pressure is reduced compared to the standard atmospheric pressure at sea level (101.3 kPa or 1 atm). The specificity of the treatment consists in the evacuation of air from the premises, where the seeds are placed, at a pressure of  $10^{-3}$  Torri. The depression is maintained by a vacuum pump, and water vapor is periodically introduced into the premises. The duration of treatment is 1 h for each batch. The rationale behind preprocessing seeds at lower pressures is to potentially enhance their performance in terms of germination rate, seedling vigor, and overall crop yield. However, the specific effects of this preprocessing method can vary depending on factors such as the type of seeds, the duration and intensity of the pressure reduction, and environmental conditions during subsequent growth stages.



### Preparation of composite material with carbon nanoclusters

To stimulate growth, materials of a mineral nature with the content of carbon clusters of the order of 3-5% were used. The primary substance, carbon clusters, were obtained by burning pure spectral graphite in helium atmosphere [19,20] The content of the clusters of different orders was determined by the gas pressure, the rate of combustion of the electrodes and the arc voltage.

The seeds of *Triticum aestivum L* and *Zea mays L* were used as model seeds, for reasons of growing conditions, to investigate the effect of individual and combined treatment on germination. The specifics of batch processing are given in Table 1.

*Table 1. Experimental conditions used in the study*

Sample series	carbon nanoclusters	pretreatment at less than atmospheric pressure
S1	-	-
S2	-	+
S3	+	-
S4	+	+

s<sub>1</sub> – control series of wheat and corn samples; s<sub>2</sub>, s<sub>3</sub> and s<sub>4</sub> – wheat and corn seeds subjected to the treatment

Prior to commencing the research, a germination assessment was conducted to evaluate the seed quality. Four samples, each containing 25 seeds per crop species, were arranged in Petri dishes lined with filter paper. Approximately 10 ml of water was uniformly applied to each dish. Subsequently, the seeds were positioned in indirect natural light conditions at room temperature (20°C), and germination progress was monitored weekly over a span of four weeks. Adequate moisture levels were maintained by irrigating the samples as necessary. Radicle emergence served as the criterion for determining germination.

Seeds were deemed suitable for inclusion in the main study if they exhibited a minimum germination rate of 85%. After testing the quality of the seeds samples of 50 seeds were placed in Petri dishes containing a thin layer of gauze. The samples were watered with 10 mL of water every 24 hours and placed in a dark chamber at a temperature of (20 ± 2) °C and relative humidity of (75 ± 5) %.

The number of germinated seeds was observed and recorded every day. The rate of germination, defined as the number of germinated seeds divided by the total number of seeds, was traced up to 5 days.

### Statistical processing of research results

Germination is a crucial step in establishing plants in agriculture and is fundamental for crop quality. Rapid seedling development ensures quick leaf expansion and root elongation, facilitating nutrient absorption, translocation through transpiration flow, and biomass production [21-23].

Slow germination can expose young seedlings, one of the most vulnerable stages in the plant life cycle, to various environmental stresses or pathogens, leading to decreased vigor and crop productivity, ultimately resulting in economic losses. Thus, the precise quantification of germination, achieved through the meticulous analysis of data collected during the germination process, is of interest.

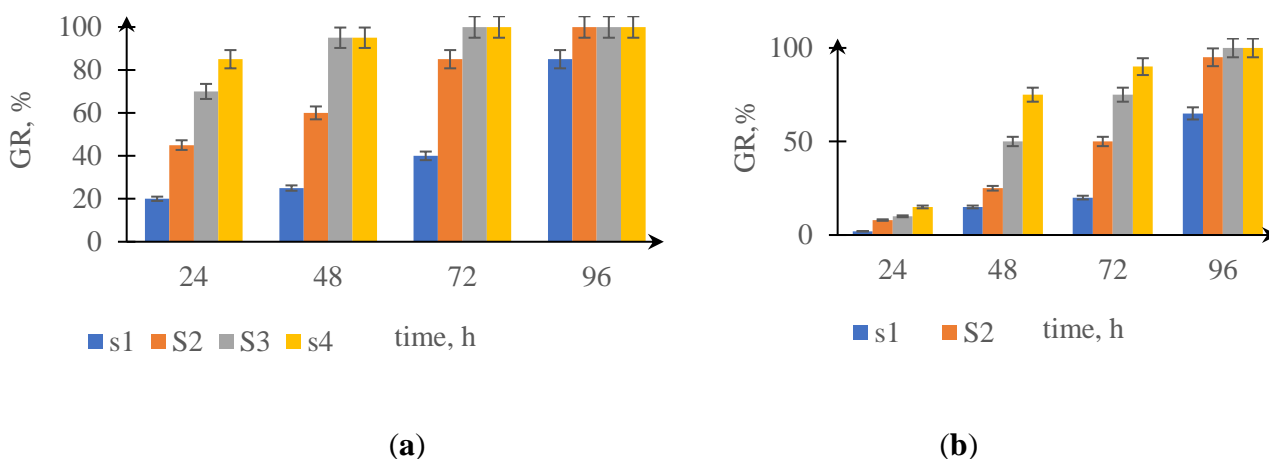
These indicators allow a rigorous evaluation of the ability of a plant organism to express its protective potential in the first stages of development.

### Results and discussions

The performance assessment of a seed lot can be achieved through precise quantification of cumulative germination data. The germination process involves seed imbibition with liquid, activation

process, and intra-seed growth culminating in embryonic emergence. Germination parameters analyzed include germination rate (GR), coefficient of variation of germination time (CVt), and mean germination time (MGT). Seeds are considered to be germinated when the emergence of radiculae was about 2 mm. Figure 1 shows the general germination results of the seeds of *Triticum aestivum L* and *Zea mays L* during the first 5 days after treatment.

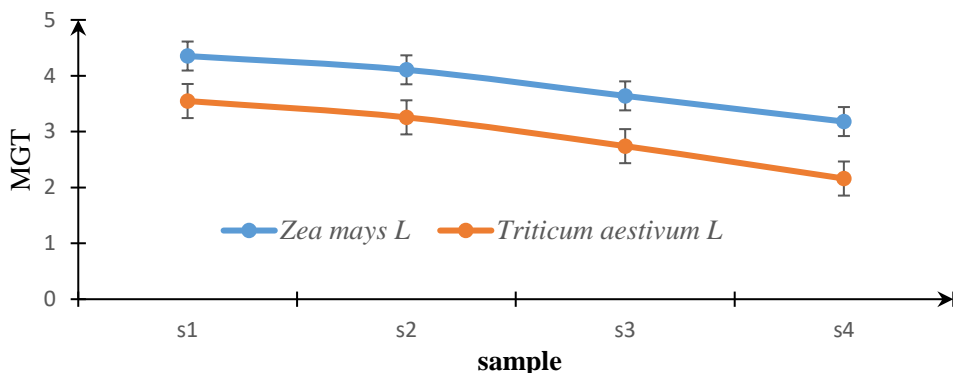
As depicted in Figure 1, employing a combined treatment involving carbon nanoclusters and reduced pressure conditions than the atmospheric pressure has led to an augmentation in both the germination rate and efficiency. Notably, for both analyzed crops, the highest germination rate of 100% was attained by the batches treated with the combined method, denoted as s<sub>4</sub>. A comparative analysis against the control batches clearly demonstrates the superior performance of the combined treatment across both species. This enhanced performance can be attributed to the optimization of physiological processes, consequently resulting in a shortened germination period and a notable increase in production potential, by 35% for *Triticum aestivum L*. and 15% for *Zea mays L*.



**Figure 1. Evolution of the seed germination rate (GR) of: (a)- *Triticum aestivum L.* and (b)- *Zea mays L.***

As observed, there is a difference in the response of the seeds of the two re-researched crops to stimuli. Thus, *Triticum aestivum L.* exhibited a higher early vitality compared to *Zea mays L.*, even within the first 24 hours. Seed germination provides a suitable basis for plant growth, development, and yield. Mean germination time (MGT) is a measure of germination speed and temporal spread of germination, considering viable seeds. Figure 2 presents the results of mean germination time for seeds of *Triticum aestivum L.* and *Zea mays L.*

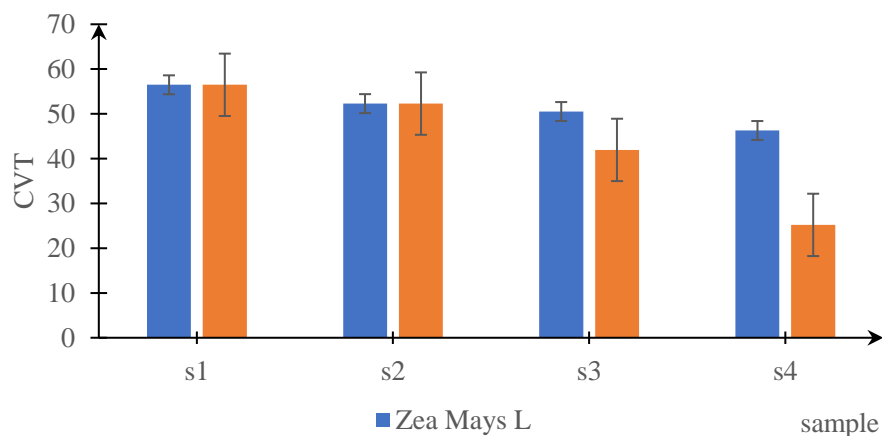
This metric provides valuable insight in to the overall germination process and can be used to compare the germination performance of different treatments or seed varieties. A lower mean germination time indicates faster and more uniform germination across the sample. The MGT recorded for each treatment showed lower values, compared to the control group, for both crops following the same trend.



**Figure 2. The mean germination time for seeds of *Triticum aestivum L.* and *Zea mays L.* depending on the pretreatment**

The combined treatment led to higher results, so the s4 series showed the earliest development in both species. As expected, not all species respond similarly to stimuli. However, in terms of germination time, the trend was the same for both species.

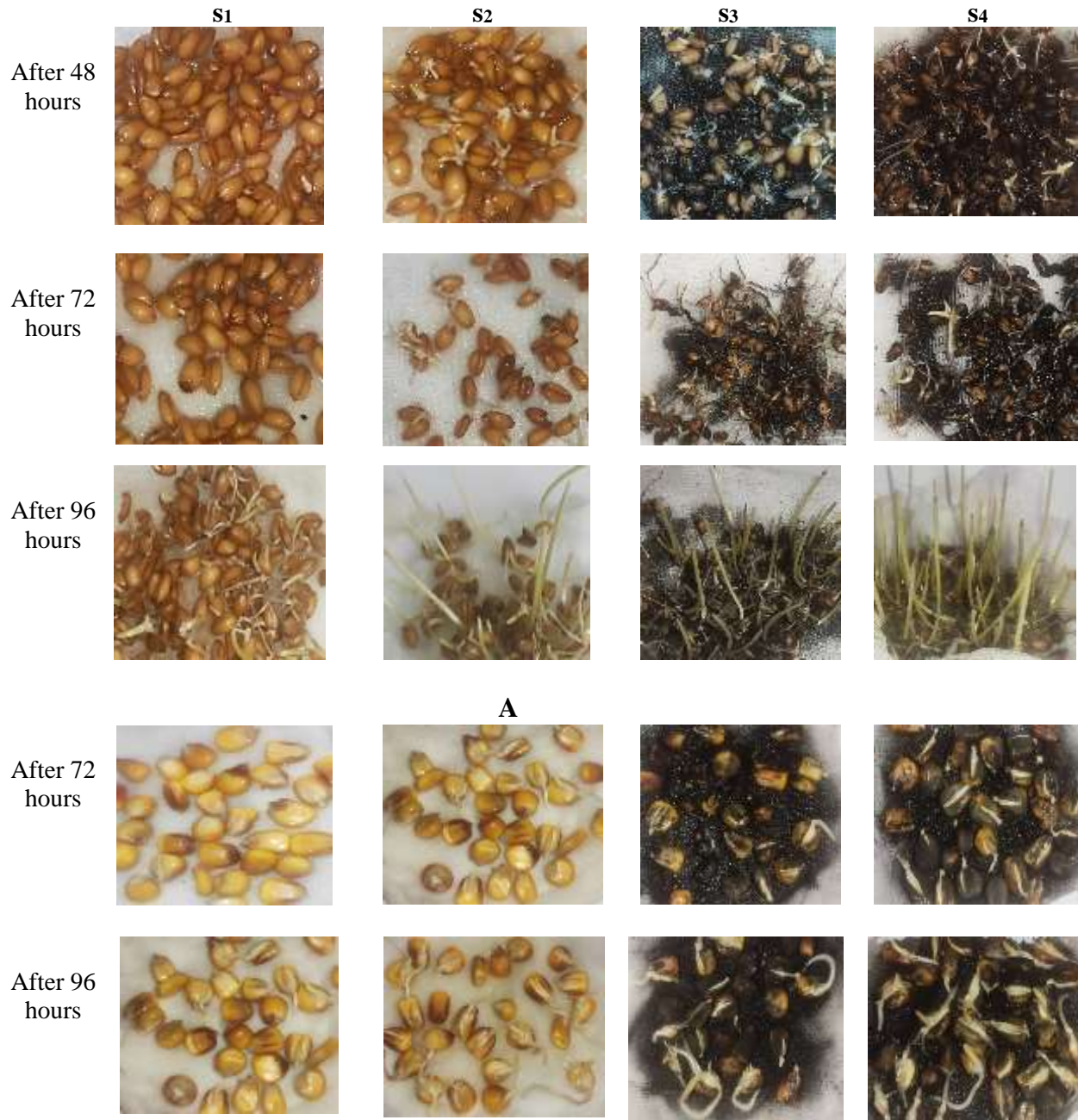
Figure 3 shows the variation of the germination rate coefficient CVt depending on the applied treatment. CVt gives us an indication of the rapidity of seed germination.



**Figure 3. The coefficient of variation of the germination time of *Triticum aestivum L.* and *Zea mays L.* seeds**

The CVt index increases as the number of germinated seeds increases and the time required for germination decreases. A higher CVt indicates greater variability in the germination times among the seeds in the sample, while a lower CVt suggests more uniformity in the germination process. Theoretically, the highest possible CVt is 100%, which occurs if all tested seeds in a treatment germinate on the same day. The seeds of all studied species do not have a CVt value higher than 56.48% for any of the tested treatments. The lowest CVt value, 25.19%, was obtained for *Triticum aestivum L.* seeds from lot 4. Additionally, lots s2 and s3, compared to the control lot, recorded lower CVt values. This may indicate a greater stimulation of germination and a shorter germination time for the studied seeds.

The picture of seeds germinated at different periods is shown in Figure 4. The obtained results suggest that the treatments administered to the investigated seeds, employing the specified methods, outperform the values observed in the control group samples. Consequently, these treatments have spurred a swifter development of the coleoptile compared to the control group, while concurrently fostering a more robust embryonic root system in the batches treated with the composite material.



**b**

**Figure 4. Image of seeds of (a)- *Triticum aestivum* L and (b)- *Zea mays* L at different germination periods**

The experimental findings reveal that seedlings arising from treated seeds demonstrate superior performance when compared to their untreated counterparts across a spectrum of parameters. These encompass not only germination rates and seedling stature but also root architecture, water absorption kinetics, respiratory activity, and photosynthetic efficiency. The onset of primary root emergence served as a crucial milestone in the germination process. Noteworthy is the observation that both the application of carbon nanoclusters and seed preconditioning under sub-atmospheric pressure proved to be effective stimulants for the germination of both plant species.

Additionally, seeds originating from the treated groups exhibited pronounced shoot elongation and increased root biomass, highlighting the multifaceted advantages conferred by the treatment methodologies. Both the root system and shoot system remained healthy, and no negative effects of carbon nanoclusters or low-pressure treatment on seedling growth were observed. The average length of the root system and shoot system is greater in the treated plants compared to the control batches, as depicted in Figure 4.

### Conclusions

The combined effects of seed processing with carbon nanoclusters at lower pressure than atmospheric pressure have been investigated. The combined treatment of immersion biostimulation in a solution with carbon clusters and the exposure of the seeds to pressures of  $10^{-3}$  Torr with of the seeds of the species *Triticum aestivum L.*, and *Zea mays L.* contributed to the reduction of the germination time, also increasing the germination rate by 35% for wheat and 15% for maize. So, composite materials with carbon nanoclusters cause changes in plant metabolism, such as the intensification or reduction of physiological processes with consequences on reducing the period of shaving and increasing productive potential. Following the analyses of the results and the conclusions presented in this paper, it may be recommended to use composite materials with carbon nanoclusters, in order to improve the percentage of germination indicators of the or seed.

The studies and results obtained demonstrate that carbon-based nanomaterials have potential applications in nanoactivated agriculture. However, the physiological and molecular mechanisms underlying plant growth mediated by carbon clusters remain unclear, requiring further investigation.

### References:

1. ALADJADJIYAN, A. Physical factors for plant growth stimulation improve food quality. *Food Production - Approaches, Challenges and Tasks*, Publisher InTech 2012, pp.145-168 [doi.org/10.5772/32039](https://doi.org/10.5772/32039).
2. ARAÚJO, S. DE S., PAPARELLA, S., DONDI, D., BENTIVOGLIO, A., CARBONERA, D., BALESTRAZZI, A. Physical methods for seed invigoration: advantages and challenges in seed technology. *Front Plant Sci.* 2016; 7(646), pp.1-12 [doi.org/10.3389/fpls.2016.00646](https://doi.org/10.3389/fpls.2016.00646).
3. REINA, F. G., PASCUAL, L. A., FUNDORA, I. A. Influence of a stationary magnetic field on water relations in lettuce seeds. Part II: experimental results. *Bioelectromagnetics* 2001, 22(8), pp. 596-602, [doi.org/10.1002/bem.89](https://doi.org/10.1002/bem.89).
4. HERNÁNDEZ, A.C., DOMINGUEZ, P.A., CRUZ, O.A., IVANOV, R., CARBALLO, C.A., ZEPEDA, B.R. Laser in agriculture. *Int. Agrophys*, 2010, 24, pp. 407- 422.
5. VASILEVSKI, G. Perspectives of the application of biophysical methods in sustainable agriculture. *Bulgarian Journal of Plant Physiology* 2003, 29(3), pp.179-186.
6. GONZÁLEZ-GARCÍA, Y., LÓPEZ-VARGAS, E.R., CADENAS-PLIEGO, G., BENAVIDES-MENDOZA, A., GONZÁLEZ-MORALES, S., ROBLEDO-OLIVO, A., ALPUCHE-SOLÍS, Á.G., JUÁREZ-MALDONADO, A. Impact of carbon nanomaterials on the antioxidant system of tomato seedlings. *Int. J. Mol. Sci.* 2019, 20, 5858. [doi.org/10.3390/ijms20235858](https://doi.org/10.3390/ijms20235858).
7. VERMA, S.K., DAS, A.K., GANTAIT, S., KUMAR, V., GUREL, E. Applications of carbon nanomaterials in the plant system: A perspective view on the pros and cons. *Sci. Total Environ.* 2019, 667, pp. 485-499. [doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.02.409](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.02.409).
8. GHORBANPOUR, M., HADIAN, J. Multi-walled carbon nanotubes stimulate callus induction, secondary metabolites biosynthesis and antioxidant capacity in medicinal plant *Satureja khuzestanica* grown in vitro. *Carbon N. Y.* 2015, 94, pp.749-759. [doi.org/10.1016/j.carbon.2015.07.056](https://doi.org/10.1016/j.carbon.2015.07.056).
9. PATEL, A., TIWARI, S., PARIHAR, P., SINGH, R., PRASAD, S.M. Carbon nanotubes as plant growth regulators: impacts on growth, reproductive system, and soil microbial community. In

- nanomaterials in plants, algae and microorganisms; *Elsevier: London, UK*, 2017, pp. 23-42. [doi.org/10.1016/B978-0-12-811488-9.00002-0](https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811488-9.00002-0).
10. LI, Y., XU, X., WU, Y., ZHUANG, J., ZHANG, X., ZHANG, H., LIU, Y. A review on the effects of carbon dots in plant systems. *Materials Chemistry Frontiers* 2020, 4(2), pp. 437-448. [doi.org/10.1021/acsomega.7b00657](https://doi.org/10.1021/acsomega.7b00657).
  11. SHOJAEI, T.R., SALLEH, M.A.M., TABATABAEI, M., MOBILI, H., AGHBASHLO, M., RASHID, S.A., TAN, T. Synthesis, Technology and applications of carbon nanomaterials, SA Rashid, RNI Raja Othman and MZ Hussein, Elsevier, 2019, pp. 247-277. [doi.org/10.1016/B978-0-12-815757-2.00011-5](https://doi.org/10.1016/B978-0-12-815757-2.00011-5).
  12. MOSNEAGA, A., NEDEFF, V., SANDU, I., LOZOVANU, P., MOSNEGUTU, E., LEHADUS, M.P., SANDU, I.G. Utilization of ozone and composite materials in the seed treatment to stimulate the germination and growth of agricultural crops, *Rev. Chim.* 2020, 71(2), pp. 365-370. [doi.org/10.37358/RC.20.2.7938](https://doi.org/10.37358/RC.20.2.7938).
  13. RUCHI, A., HEMRAJ, C. Nanocarbon fertilizers: Implications of carbon nanomaterials in sustainable agriculture production, In *Micro and Nano Technologies, Carbon Nanomaterials for Agri-Food and Environmental Applications*, Elsevier, 2020, pp. 297-321. [doi.org/10.1016/B978-0-12-819786-8.00015-3](https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819786-8.00015-3).
  14. JAMPÍLEK, J., KRÁLOVÁ, K. Potential of nanoscale carbon-based materials for remediation of pesticide-contaminated environment, In *Micro and Nano Technologies, Carbon Nanomaterials for Agri-Food and Environmental Applications*, Elsevier, 2020, pp. 359-399. [doi.org/10.1016/B978-0-12-819786-8.00017-7](https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819786-8.00017-7).
  15. MUHAMMAD, A., TAHIR, F., JASON, C., WHITE, Y. H., ZIFU, H., YUKUI, R. Carbon-based nanomaterials suppress tobacco mosaic virus (TMV) infection and induce resistance in *Nicotiana benthamiana*, In *Journal of Hazardous Materials*, 2021, 404, Part A, 124167. [doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.124167](https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.124167).
  16. <https://sbir.nasa.gov/SBIR/abstracts/87/sbir/phase1/SBIR-87-1-12.06-3053.html>.
  17. SHUANGSHENG, G., YONGKANG, T., FENG, G., WEIDANG, A., LIFENG, Q. Effects of low pressure and hypoxia on growth and development of wheat, *Acta Astronautica*, 63, Issues 7–10, 2008, pp. 1081-1085. [doi.org/10.1016/j.actaastro.2008.02.006](https://doi.org/10.1016/j.actaastro.2008.02.006).
  18. YONGKANG, T., FENG, G., SHUANGSHENG, G., FANG, L. Effects of hypobaria and hypoxia on seed germination of six plant species. In: *Life Sciences in Space Research*, 2014, V. 3, pp. 24-31. [doi.org/10.1016/j.lssr.2014.08.001](https://doi.org/10.1016/j.lssr.2014.08.001).
  19. LOZOVANU, P. Technology of preparation of C60 fullerenes. *Physics and Modern Technologies* 2005, 9(1-2), pp. 25-34.
  20. LOZOVANU, P., MOȘNEAGA, A., ZICHIL, V. Soot processing technology containing carbon clusters of a lower order than fullerenes in voltaic arc. In: *Integration through research and innovation*. 2013, pp.118-119.
  21. ESPIRITO SANTO PEREIRA, A., CAIXETA OLIVEIRA, H., FERNANDES FRACETO, L., SANTAELLA, C. Nanotechnology potential in seed priming for sustainable agriculture. *Nanomaterials* 2021, 11, 267. [doi.org/10.3390/nano11020267](https://doi.org/10.3390/nano11020267).
  22. NONOGAKI, H. Seed dormancy and germination—emerging mechanisms and new hypotheses. *Front. Plant Sci.* 2014, 5. [doi.org/10.3389/fpls.2014.00233](https://doi.org/10.3389/fpls.2014.00233).
  23. NONOGAKI, H., BASSEL, G.W., BEWLEY, J.D. Germination—Still a Mystery. *Plant Sci.* 2010, 179, pp. 574-581. [doi.org/10.1016/j.plantsci.2010.02.010](https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2010.02.010).

## PARTICULARITĂȚI ALE IMPLEMENTĂRII STANDARDELOR DE REFERINȚĂ ÎN EVALUAREA CONFORMITĂȚII CALITĂȚII APEI

### REFERENCE STANDARDS PARTICULARS IMPLEMENTATION IN THE ASSESSMENT OF WATER QUALITY CONFORMITY

**Liliana DMITROGLO**

Universitatea de Stat din Moldova

ORCID ID: 0000-0003-0703-5217

e-mail: [dmitrogloliliana@yahoo.com](mailto:dmitrogloliliana@yahoo.com)

**Virginia GURĂU**

Universitatea de Stat din Moldova

ORCID ID: 0000-0001-8843-6316

e-mail: [virginia\\_gurau@yahoo.com](mailto:virginia_gurau@yahoo.com)

**Ludmila LECA**

Universitatea de Stat din Moldova

ORCID ID: 0009-0001-2855-7420

e-mail: [liudaleca.25@gmail.com](mailto:liudaleca.25@gmail.com)

*Abstract. The basic particularities of the reference standards implementation in conformity assessment bodies involved in the assessment of water quality are analyzed. The particularities related to both the type of conformity assessment bodies and the reference standards, as well as the need to implement European standards in the assessment of water quality conformity, are highlighted.*

*Key-word: standards, water quality, european standards.*

### **Introducere**

Evaluarea competentă a calității apei, atât celei potabile, cât și a apelor uzate prezintă o necesitate stringentă în contextul protecției vieții, sănătății și securității persoanelor, precum și a protecției mediului. În acest scop, în Republica Moldova, activează un șir de Organisme de Evaluare a Conformității acreditate conform diferitor standarde de referință respectând legislația în vigoare:

- Legea nr.235 din 01.12.2011 privind activitățile de acreditare și de evaluare a conformității [1];
- Legea metrologiei nr. 19 din 04.03.2016 cu modificările ulterioare [2];
- Hotărârea Guvernului Nr. 1042 din 13.09.2016 cu privire la aprobarea Listei oficiale a mijloacelor de măsurare și a măsurărilor supuse controlului metrologic legal [3] ș.a.

Standarde de referință sunt standardele europene armonizate sau standardele internaționale adoptate la nivel național, care stabilesc criteriile pentru competența organismului național de acreditare și a organismelor de evaluare a conformității. Organismul național de acreditare și organismele de evaluare a conformității sunt obligate să respecte în permanență standardele de referință aplicabile.

Lista standardelor de referință se aprobă de către organul central de specialitate al administrației publice responsabil de infrastructură calității și se publică în Monitorul Oficial al Republicii Moldova [4]. Organismele acreditate de Evaluare a Conformității, care activează nemijlocit în scopul evaluării calității apei, conform [1], sunt laboratoarele de încercări (încercare – determinare, în baza unei proceduri, a unei sau a mai multor caracteristici ale unui obiect supus evaluării conformității [1]).

De asemenea în procesul de evaluare a calității apei sunt implicate și Organismele de Inspecție în domeniul metrologiei legale care verifică metrologic anumite echipamente utilizate la încercările de determinare a parametrilor de calitate a apei [1, 2], conform Listei oficiale a mijloacelor de măsurare și a măsurărilor supuse controlului metrologic legal [3].

Organismele de Inspecție în domeniul metrologiei legale sunt desemnate în conformitate cu Regulamentul General de Metrologie Legală privind modul de desemnare pentru verificarea metrologică a mijloacelor de măsurare și pentru efectuarea de măsurări în domenii de interes public [5] de către Ministerul dezvoltării economice și digitalizării. Laboratoarele de încercări sunt acreditate la conformitatea standardului de referință SM EN ISO/IEC 17025:2018 „Cerințe generale pentru competența laboratoarelor de încercări și etalonări,, [6], conform Listei standardelor de referință [4] și în conformitate cu documentele acreditării europene - EA, acreditării internaționale a laboratoarelor -ILAC aplicabile, regulile și procedurile Organismului Național de acreditare – MOLDAC [1].

Organismele de Inspecție în domeniul metrologiei legale sunt acreditate la conformitatea standardului de referință SM EN ISO/CEI 17020:2013 „Evaluarea conformității. Cerințe pentru funcționarea diferitelor tipuri de organisme care efectuează inspecții,, [7], conform Listei standardelor de referință [4] și în conformitate cu documentele acreditării europene - EA, acreditării internaționale a laboratoarelor -ILAC aplicabile, regulile și procedurile Organismului Național de acreditare – MOLDAC și documentele normative pertinente ale sistemului național de metrologie (inclusiv documentele Organismelor de Inspecții în domeniul metrologiei legale declarate naționale) pentru tipurile mijloacelor de măsurare solicitate de a fi incluse în domeniul de acreditare și desemnare [1].

Specific pentru Organismele de Inspecție în domeniul metrologiei legale este că conform ILAC G27:07/2019 în cazul în care activitatea de inspecție include măsurări și se realizează în conformitate cu acreditarea la ISO/IEC 17020, se aplică următoarele cerințe din ISO/IEC 17025: - Trasabilitatea metrologică (pct. 6.5 al ISO/IEC 17025:2017 [6]) - Asigurarea validității rezultatelor (pct. 7.7 al ISO/IEC 17025:2017 [6]).

Documente EA, ILAC pot fi accesate la următoarele adrese web: [www.european-accreditation.org](http://www.european-accreditation.org) și [www.ilac.org](http://www.ilac.org).

#### **Particularități de implementare a standardelor de referință**

Laboratoarele de încercări acreditate, care activează nemijlocit în scopul evaluării calității apei în Republica Moldova, conform [8], sunt:

1. Laboratorul central ape uzate din cadrul SA „Apă – Canal Chișinău”;
2. Laboratorul de Încercări din cadrul Agenției Naționale pentru Sănătate Publică;
3. Laboratorul central apă potabilă al SA „Apă – Canal Chișinău”;
4. Laboratorul ape uzate SA „Ape – Canal Chișinău”;
5. Laboratorul Chimia Apei „ILAS” al Institutului de Chimie din cadrul I.P. Universitatea de Stat din Moldova (USM);
6. LÎ din cadrul SRL “LABORATORUL INVESTIGAȚII DE MEDIU”;
7. Laboratorul de Referință de Mediu din cadrul Agenției de Mediu;
8. Laboratoarele de Încercări din cadrul IP Centrul Național Sănătatea Animalelor, Plantelor și Siguranța Alimentelor.

Conform domeniilor de acreditare al acestor laboratoare, plasat pe site-ul Organismului Național de acreditare (<https://acreditare.md/>), ele efectuează încercări pentru a determina un șir de parametri de calitate a apei, atât a apei potabile, îmbuteliată, cât și a apei subterane, de suprafață, uzată (apă reziduală) și epurată. În tabelul 1 sunt sistematizate metodele de determinare a parametrilor de calitate a apei în cadrul laboratoarelor de încercări acreditate din Republica Moldova, care activează nemijlocit în scopul evaluării calității apei. Laboratoarele de încercări utilizează pentru determinarea parametrilor de calitate a apei, în funcție de specificul laboratorului și de tipul apei, metode fizico-chimice: metode potențiometrice, gravimetrice, volumetrice, spectrofotometrice, spectrometrice de absorbție atomică, radiologice, titrimetrice și metode microbiologice și satisfac cerințele legislației în vigoare pentru asigurarea protecției vieții, sănătății și securității persoanelor, precum și a protecției mediului.



Tabelul 1 Metode de determinare a parametrilor de calitate a apei în cadrul laboratoarelor de încercări

Nr.	Metoda de încercare și încercarea	Tipul apei	Laboratorul de încercări
<b>1. METODE POTENȚIOMETRICE</b>			
1.1	Determinarea indicelui de hidrogen (pH)	Apă uzată (apă reziduală) Apă epurată Apă de suprafață Apă potabilă. Apă îmbuteliată.* Apa potabilă Apa subterană Apa de suprafață**	1; 4; 6; 8 7 2* 3**; 5**
1.2	Determinarea conductivității	Apă potabilă Apa subterană Apa de suprafață	3;6
<b>2. METODE GRAVIMETRICE</b>			
2.1	Determinarea materiei în suspensie (MS)	Apă uzată (apă reziduală)	1; 2*; 3**; 4; 6; 7
2.1	Determinarea rezidului filtrabil uscat (1050 C)	Apă epurată Apă de suprafață	1; 5**
2.3	Determinarea produselor petroliere	Apă potabilă. Apă îmbuteliată.*	1;4, 6
2.4	Determinarea substanțe extractibile cu solvent organic (grăsimi)	Apă potabilă Apa subterană Apa de suprafață**	1
2.5	Determinarea sulfatilor		1; 2*; 3**; 4
<b>3. METODE VOLUMETRICE</b>			
3.1	Determinarea clorurilor	Apă uzată (apă reziduală) Apă epurată	1;2*; 4; 5**; 6; 7, 8
3.2	Determinarea consumului chimic de oxigen (CCO)	Apă de suprafață Apă potabilă. Apă îmbuteliată.*	1; 4; 6
3.3	Determinarea consumului biochimic de oxigen (CBO5)	Apă potabilă Apa subterană Apa de suprafață**	1; 4; 6
3.4	Determinarea azotului amoniacal (NH4)		1; 4
3.5	Determinarea sulfurilor și hidrogen sulfurat		1
3.6	Determinarea durității totale	Apă potabilă. Apă îmbuteliată.	2; 6; 7
<b>4. METODE FOTOCOLORIMETRICE</b>			
4.1	Determinarea fosforului total	Apă uzată (apă reziduală) Apă epurată	1; 4; 6; 7
4.2	Determinarea agenți de suprafață anionici (MBAS)	Apă de suprafață Apă potabilă Apa subterană Apa de suprafață*	1; 4; 6
4.3	Determinarea fenolului		1
4.4	Determinarea fierului total		1; 3*; 5*
4.5	Determinarea cromului (crom 3+ ; crom 6+ )		1
4.6	Determinarea fluorurii		1; 3*; 5*; 6
4.7	Determinarea culorii	Apă potabilă Apa subterană Apa de suprafață	3
4.8	Determinarea turbidității		3
4.9	Determinarea conținutului de nitrați		3; 6
4.10	Determinarea conținutului de nitriți		3; 6
4.11	Determinarea conținutului de amoniu și amoniac		3; 6
<b>5. METODE SPECTROMETRICE DE ABSORBȚIE ATOMICĂ</b>			
5.1	Metale grele (nichel, cupru*, zinc*, cadmiu, plumb)	Apă uzată (apă reziduală) Apă epurată Apă de suprafață Apă potabilă Apa subterană Apa de suprafață*	1 3*
5.2	Determinarea conținutului de sodiu și potasiu	Apă potabilă Apa subterană Apa de suprafață	3
<b>6. METODE SPECTROMETRICE</b>			
6.1	Determinarea conținutului de fier	Apă potabilă. Apă îmbuteliată.	2
6.2	Determinarea conținutului de nitriți	Apă potabilă. Apă îmbuteliată.	2;

		Apa potabilă Apa subterană Apa de suprafață*	5**
6.3	Determinarea conținutului de nitrați	Apă potabilă. Apă îmbuteliată. Apa potabilă Apa subterană Apa de suprafață*	2; 5**
6.4	Determinarea conținutului de amoniu și amoniac	Apă potabilă. Apă îmbuteliată. Apa potabilă Apa subterană Apa de suprafață*	2; 5**
6.5	Determinarea conținutului de fluor	Apă potabilă. Apă îmbuteliată. Apa potabilă Apa subterană Apa de suprafață**	2; 5**
6.6	Determinarea conținutului de cupru	Apă potabilă. Apă îmbuteliată.	2
6.7	Determinarea conținutului de arseniu	Apă potabilă. Apă îmbuteliată.	2
<b>7. METODE TITRIMETRICE</b>			
7.1	Determinarea conținutului de clor rezidual total; clor rezidual liber	Apa potabilă Apa subterană Apa de suprafață	3
7.2	Determinarea oxidabilității după permanganat		3
7.3	Sulfuri și hidrogen sulfurat, sumar		3
7.4	Determinarea alcalinității		3
7.5	Determinarea calciului		3; 7
<b>8. METODE MICROBIOLOGICE</b>			
8.1	Determinarea numărului de colonii, la 220C; 370C	Apă potabilă. Apă îmbuteliată.	2; 3; 8
8.2	Determinarea Bacteriilor coliforme	Apă potabilă. Apă îmbuteliată.	2; 3
8.3	Determinarea Escherichia coli, inclusiv prezumtive și pozitive la β-glucuronidaza	Apă potabilă. Apă îmbuteliată.	2; 3; 8
8.4	Determinarea microflorei patogene, inclusiv Salmonella spp.	Apă potabilă. Apă îmbuteliată.	2; 3
8.5	Determinarea enterococilor Intestinali	Apă potabilă. Apă îmbuteliată.	2; 3; 8
<b>9. METODE RADIOLOGICE</b>			
9.1	Determinarea conținutului de radionuclizi: Ceziu – 137; Strontiu-90	Apă potabilă.	8

Nota 1. Indicele \* și \*\* lângă tipul apei și cifra corespunzătoare laboratorului de încercări indică că laboratorul dat efectuează încercări doar pentru acel tip de apă.

Organismele de Inspecție în domeniul metrologiei legale (OI/ML) care sunt acreditate și care efectuează verificări metrologice ale mijloacelor de măsurare ce sunt utilizate pentru determinarea parametrilor de calitate a apei în Republica Moldova, conform [8], sunt:

-OI (tip A) Verificări Metrologice și Dispozitive Medicale din cadrul ÎS „Centrul de Metrologie Aplicată și Certificare”:

-OI/ML (Organism de Inspecție tip A) „Tehlab Service” SRL:

-OI/ML (Organism de Inspecție tip A) al „AQUATEH” SRL ș.a.

Aceste OI/ML, conform Listei oficiale a mijloacelor de măsurare și a măsurărilor supuse controlului metrologic legal [3], efectuează verificări metrologice ale debitmetrelor, contoarelor de apă, densimetre, spectrometere, dozimetre, fotometre, colorimere, refractometre, polarimetre ș.a.

Implementarea standardului de referință SM EN ISO/IEC 17025:2018 „Cerințe generale pentru competența laboratoarelor de încercări și etalonări, [6], de către laboratoare de încercări implică cerințe noi de implementare, generale pentru toate laboratoarele așa ca:

- cerințe specifice față de competența personalului, de autorizare a personalului pentru anumite încercări și lucrul cu anumite echipamente, monitorizarea și instruirea continuă a personalului:

- cerințe față de analiza anumitor riscuri ale activității laboratorului și de evaluare a gradului de risc:

- cerințe specifice față de luarea anumitor decizii de conformitate ș.a.

Și de asemenea cerințe specifice pentru aceste laboratoare de încercări și OI/ML așa ca:

- Cerința de trasabilitate a unității de măsură a echipamentelor etalon proprii, trasabilitatea metrologică (pct. 6.5 al ISO/IEC 17025:2017 [6]):

- Asigurarea validității rezultatelor (pct. 7.7 al ISO/IEC 17025:2017 [6]).

Elementele definiției ale unei trasabilități valide, constau în:

- racordul mijlocului de măsurare (utilizat pentru obținerea informației de măsurare) la un lanț de trasabilitate, lanț, care la capătul superior este constituit de un etalon primar, oficial validat, (de regulă un etalon național sau internațional);

- caracterul neîntrerupt al lanțului și implicit al operațiilor de transmitere al unităților de măsură (etalonare), realizate în cadrul acestuia; faptul că toate aceste operații trebuie realizate cu încadrarea în incertitudinile stabilite.

În conformitate cu Politica privind trasabilitatea metrologică a măsurărilor, conform ILAC P10, toate etalonările efectuate de către laboratoare din cadrul INM cu tabele CMC declarate sau de către laboratoare acreditate de Organisme de Acreditare, care sunt acoperite de Aranjamente ILAC (ILAC MRA), sau de Aranjamente Regionale recunoscute de ILAC, se consideră că satisfac cerințele de trasabilitate. Răspunderea respectării tuturor cerințelor, pentru ca activitățile de etalonare efectuate de aceste unități să poată fi considerate valide din punct de vedere al trasabilității, este asumată de către laborator.

Având în vedere importanța calității apei pentru asigurarea protecției vieții, sănătății și securității persoanelor, precum și a protecției mediului o particularitate a implementării standardului de referință este că laboratorul trebuie să aibă o procedură pentru monitorizarea validității rezultatelor sale. Politica laboratorului privind participarea la teste de competență și comparații interlaboratoare, trebuie să se conformeze cu politica MOLDAC privind utilizarea testelor de competență și a altor comparații interlaboratoare în procesul de acreditare conform ILAC P9. Pentru determinarea nivelului și frecvenței de participare, laboratorul trebuie să se ghideze de documentul EA 4/18 G. Nivelul și frecvența participării ar trebui să fie dependente de măsura, în care au fost luate în considerare alte moduri de asigurare a validității rezultatelor. Laboratorul ar trebui să ia în considerare nivelul de risc și sectorul în care activează. Această analiză poate să includă: numărul de măsurători efectuate, frecvența încercărilor la diferite nivele de concentrație, numărul diferitor intervale de etalonari, experiența și cunoștințele personalului etnic, sursa trasabilității metrologice (informații și disponibilitatea materialelor de referință, etaloanele naționale de măsurare, etc.), stabilitatea/instabilitatea cunoscută a metodei, complexitatea și robustețea metodei, semnificația și utilizarea finală a datelor de măsurare, riscurile și oportunitățile asociate activităților de laborator.

## **Concluzii**

Laboratoarele de încercări acreditate, care activează nemijlocit în scopul evaluării calității apei în Republica Moldova, efectuează încercări pentru a determina un șir de parametri de calitate a apei, atât a apei potabile, îmbuteliată, cât și a apei subterane, de suprafață, uzată și epurată și utilizează în acest scop metode fizico-chimice (potențiometrice, gravimetrice, volumetrice, spectrofotometrice, spectrometrice de absorbție atomică, radiologice, titrimetrice) și metode microbiologice.

Organismele de Inspecții în domeniul metrologiei legale acreditate în Republica Moldova efectuează verificări metrologice ale mijloacelor de măsurare ce sunt utilizate pentru determinarea parametrilor de calitate a apei (debitmetre, contoare de apă, densimetre, spectrometere, dozimetre, fotometre, colorimere, refractometre, polarimetre ș.a.).

Particularitățile de bază ale implementării standardelor de referință în cadrul organismelor de evaluare a conformității implicate în evaluarea calității apei [6,7] stipulează cerințe noi de implementare,

generale pentru toate laboratoarele și de asemenea cerințe specifice pentru aceste laboratoare de încercări și OI/ML legate de trasabilitatea metrologică și asigurarea validității rezultatelor.

Organismele de evaluare a conformității acreditate în Republica Moldova, care sunt implicate în evaluarea calității apei, satisfac cerințele de implementare a standardelor de referință, legislația în vigoare și își aduc un aport considerabil în asigurarea protecției vieții, sănătății și securității persoanelor, precum și a protecției mediului.

**Referințe:**

1. Legea nr. 235 din 01.12.2011 privind activitățile de acreditare și a evaluării conformității cu modificările ulterioare.
2. Legea metrologiei nr. 19 din 04.03.2016 <http://lex.justice.md/md/364214/11>.
3. Hotărârea Guvernului Nr. 1042 din 13.09.2016 cu privire la aprobarea Listei oficiale a mijloacelor de măsurare și a măsurărilor supuse controlului metrologic legal.
4. Ministerul dezvoltării economice și digitalizării, ordin nr. 188 din 27-12-2023 cu privire la aprobarea listei standardelor moldovenești de referință prin care se adoptă standard europene armonizate pentru evaluarea conformității.
5. Regulamentul General de Metrologie Legală privind modul de desemnare pentru verificarea metrologică a mijloacelor de măsurare și pentru efectuarea de măsurări în domenii de interes public, aprobat prin HG nr 1118 din 14.11.2018 RGML 09:2018 “Elaborarea, aprobarea, conservarea, utilizarea, compararea, perfecționarea etaloanelor naționale ale unităților de măsură, precum și înregistrarea/radierea acestora din Registrul de stat al etaloanelor unităților de măsură.
6. SM EN ISO/IEC 17025:2018 Cerințe generale pentru competența laboratoarelor de încercări și etalonări.
7. SM EN ISO/CEI 17020:2013 Evaluarea conformității. Cerințe pentru funcționarea diferitelor tipuri de organisme care efectuează inspecții
8. <https://acreditare.md/>.

## UTILIZAREA ABORDĂRII STEAM ÎN CADRUL PROIECTELOR DE TRANSFER TEHNOLOGIC

### USING THE STEAM APPROACH IN THE FRAMEWORK OF TECHNOLOGICAL TRANSFER PROJECTS

**Elena FLEACĂ**,  
Universitatea Națională de Știință și  
Tehnologie POLITEHNICA, București,  
România

ORCID ID: 0000-0002-7828-2330  
e-mail: [elena.fleaca@upb.ro](mailto:elena.fleaca@upb.ro)

**Marian JALENCU**,  
Universitatea de Stat din Moldova

ORCID ID: 0000-0001-7690-7432C  
e-mail: [marian.jalencu@usm.md](mailto:marian.jalencu@usm.md)

*Abstract: One way to make technology transfer more efficient is to develop / write and carry out technology transfer projects, as well as implement their results in local businesses, in order to obtain new / innovative products and services, to increase economic and managerial performance. To streamline the process of developing technology transfer projects and their management, it is necessary to use the STEAM approach, that is, the comprehensive use of science, technology, engineering, art and mathematics.*

*Keywords: creativity, innovation, technology transfer, STEAM approach, sustainability.*

**Introducere.** Rezultatele obținute în urma realizării cercetărilor științifice, care sunt orientate spre utilizare în activitatea de antreprenariat, trebuie trecute prin procesul de transfer tehnologic, cu scopul de difuzie a inovației. O modalitate de eficientizare a transferului de tehnologie constă în elaborarea / scrierea și realizarea proiectelor de transfer tehnologic, precum și implementarea rezultatelor acestora în cadrul afacerilor locale, în scopul obținerii produselor și serviciilor noi / inovative, al sporirii performanței economice și manageriale. Propunem ca în procesul de elaborare a proiectelor de transfer tehnologic și managementul acestora să fie utilizată *abordarea STEAM*, adică utilizarea comprehensivă a *științei, tehnologiei, ingineriei, artei și matematicii*. Utilizarea abordării STEAM în managementul proiectelor de transfer tehnologic asigură creșterea calității lor, a gradului de utilitate și sustenabilitate, precum și a vitezei de difuzie a inovației în cadrul mediului antreprenorial local.

**Semnificația și sfera de cuprindere a procesului de transfer tehnologic.** *Transferul tehnologic* reprezintă procesul care desemnează transferul formal către industrie al descoperirilor rezultând din cercetarea universitară sau privată, în scopul comercializării sub forma de noi produse și/sau servicii. În această ordine de idei, transferul tehnologic este procesul prin care noi tehnologii și noi cunoștințe generate în laboratoare de cercetare, inclusiv universitare, sunt dezvoltate suplimentar și materializate comercial de către sectorul privat intern și sunt aplicate acolo unde este oportun [1, p. 47]. Transferul tehnologic reprezintă introducerea în circuitul economic a tehnologiilor și utilajelor specifice, a echipamentelor și instalațiilor, a hibrizilor, soiurilor, raselor, stamelor, preparatelor rezultate din cercetare sau achiziționate, în vederea sporirii eficienței și calității unor produse, servicii, procese sau obținerii altora, noi, care sunt cerute pe piață sau prin care se adoptă un comportament inovativ, inclusiv activitatea de diseminare a informației, de explicare, de transmitere a cunoștințelor, de consultanță, realizându-se trecerea unei idei sau tehnologii de la autor la beneficiar.

În "*Codul cu privire la știință și inovare al Republicii Moldova*", transferul tehnologic este definit drept un proces de punere în aplicare, în cadrul unor proiecte, a rezultatelor inovării în scopul obținerii produselor și serviciilor noi, sporirii performanțelor, precum și în scopul îmbunătățirii eficienței acestora [2]. Managementul transferului tehnologic este necesar a fi abordat sistemic și

sistematic, în baza următorului algoritm managerial: 1. *Identificarea domeniilor tehnologice critice*; 2. *Identificarea modalităților de acces la expertiza tehnologică*; 3. *Acțiuni strategice*, de exemplu parteneriate sau joint-venture; 4. *Acțiuni operaționale*, cum ar fi - dezvoltarea unei noi expertize etc.

Procesul de transfer tehnologic modern se realizează prin intermediul proiectelor de transfer tehnologic. *Proiectul de transfer tehnologic* este un proiect care, prin realizarea activităților preconizate, prevede fabricarea de produse și utilizarea unor servicii noi sau perfecționate, competitive pe piață, prin implementarea tehnologiilor și aplicarea proceselor noi, inclusiv ce rezultă din utilizarea obiectelor de proprietate intelectuală (brevete de invenții, modele industriale, topografie a circuitelor integrate, know-how etc.). Proiectul de transfer tehnologic este un proiect care include activități ce au ca scop crearea și implementarea inovațiilor și tehnologiilor noi, inclusiv prin transferul tehnologic, în scopul fabricării produselor competitive noi sau perfecționate, precum și în scopul utilizării unor procese, servicii și tehnologii progresive, în corespundere cu prioritățile și direcțiile strategice din “*Programul național în domeniile cercetării și inovării pentru anii 2020-2023*”, aprobat prin Hotărârea Guvernului Republicii Moldova, nr. 381/2019 [3]. În Legea Republicii Moldova “*Cu privire la parcurile științifico-tehnologice și incubatoarele de inovare*” un proiect de inovare și transfer tehnologic este definit drept un proiect din sfera științei și inovării care conține un complex de măsuri, interdependente prin executori, termene și resurse, privind soluționarea unei probleme (atingerea unui scop unic), destinate:

a) creării și/sau asimilării de tehnologii și/sau de noi tipuri de produse (lucrări, servicii), care să constituie rezultatul implementării unui obiect de proprietate intelectuală (brevet de invenție, model industrial, topografie a circuitelor integrate, know-how etc.), pentru care producătorul trebuie să dețină documentele necesare (certificat, patent etc.) sau licență eliberată de titularul de drept al obiectului proprietății intelectuale, ori care să fie elaborate pentru prima dată în Republica Moldova și/sau să fie mai competitive, să posede parametri tehnico-economici substanțial mai buni și să ridice nivelul tehnico-științific și tehnologic național;

b) îmbunătățirii parametrilor tehnico-economici ai tehnologiilor aplicate și/sau ai producției fabricate (lucrărilor executate, serviciilor prestate), care le-ar asigura competitivitate pe piața mondială [4].

În felul acesta, putem concluziona că *caracterul avansat al proiectului de inovare și transfer tehnologic implică soluționarea diverselor probleme, prin utilizarea soluțiilor tehnice, care nu au fost niciodată aplicate până la momentul respectiv*. În Republica Moldova, gestionarea activităților de Transfer Tehnologic la nivel național este realizată de către Agenția Națională pentru Cercetare și Dezvoltare a Republicii Moldova (ANCD), prin organizarea și derularea Concursului proiectelor de Transfer Tehnologic. Acest Concurs este conceput în corespundere cu prioritățile și direcțiile strategice din „Programul național în domeniile cercetării și inovării pentru anii 2020-2023”, aprobat prin Hotărârea Guvernului Republicii Moldova, nr. 381/2019. Propunerile de proiecte de inovare și transfer tehnologic pot fi elaborate în următoarele priorități: 1. *Sănătate*; 2. *Agricultură durabilă, securitate alimentară și siguranța alimentelor*; 3. *Mediu și schimbări climatice*; 4. *Provocări societale*; 5. *Competitivitate economică și tehnologii inovative* [5].

**Abordarea STEAM în proiectele de transfer tehnologic.** Luând în considerare particularitățile proiectelor de transfer tehnologic, precum diversitatea domeniilor de aplicare prioritare, în vederea eficientizării acestora, se impune utilizarea abordării STEAM în procesul conceptualizării, elaborării și implementării / gestionării acestora.

*Abordarea STEAM* în cadrul proiectelor de cercetare științifică / de transfer tehnologic are la bază importanța cunoștințelor științifice promovate de *științele naturii* (biologie, fizică, chimie, geografie fizică etc.), valorificate la nivel de *tehnologie* (știință aplicată social) și de *inginerie* (știință aplicată în producția agricolă, industrială, postindustrială, a serviciilor, bazată pe TIC etc.), demonstrate și ordonate *matematic și informatic* (prin resursele teoretice și metodologice generale și speciale ale matematicii și ale informaticii). Și aceasta fiindcă, astăzi, societatea modernă se confruntă cu provocări economice și sociale severe. Inovația - introducerea unui produs, proces sau metodă

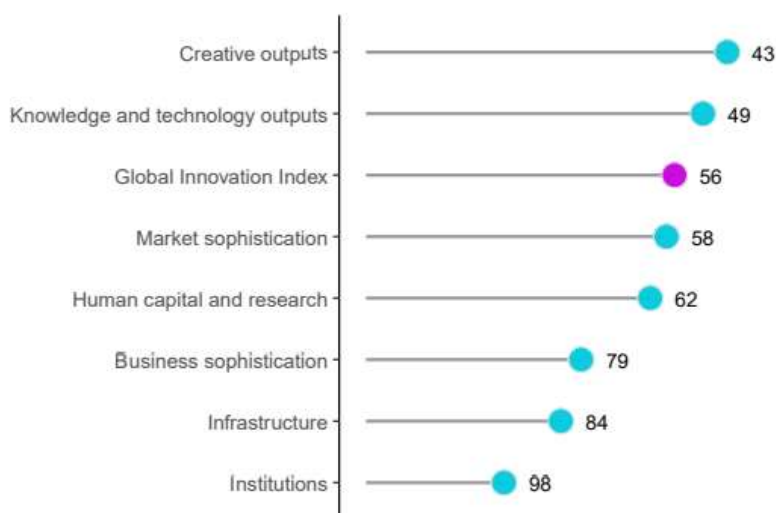
nouă sau îmbunătățită semnificativ - deține cheia pentru stimularea creșterii economice și a productivității. Inovația are implicații mult mai largi decât cercetarea și dezvoltarea și este influențată de o gamă mai largă de factori. Inovația poate facilita accelerarea redresării economice și poate determina creșterea durabilă și ecologică. Inovația permite unei țări să descopere oportunități care există sau care probabil vor apărea în timp, să se concentreze pe procesele și practicile de afaceri existente care îmbunătățesc eficiența, să găsească clienți potențiali, să minimizeze risipa și să crească profiturile.

În acest context, analiza *Global Innovation Index* (Indicele Global de Inovare) și *Global Competitiveness Index* (Indicele Global de Competitivitate) sunt considerate relevante.

*Indicele global de inovare.* Recunoscând că inovația este un motor cheie al dezvoltării economice, GII își propune să ofere un clasament al inovației și o analiză bogată care să facă referire la aproximativ 130 de economii. În ultimul deceniu, GII s-a impus atât ca o referință de top în materie de inovare, cât și un „instrument de acțiune” pentru economiile care încorporează GII în agendele lor de inovare. Global Innovation Index determină cele mai inovatoare economii din lume, clasificând performanța inovației a 132 de economii. Conform clasamentului din 2023 Republica Moldova se află pe locul 60 dintre cele 132 de economii prezentate în GII 2023, în anul 2022 a ocupat locul 56, iar în anul 2021 era pe locul 64 [6].

*Global Innovation Index (GII)* clasifică economiile mondiale în funcție de capacitățile lor de inovare. Constând din aproximativ 80 de indicatori, grupați în intrări și rezultate ale inovației, GII își propune să surprindă fațetele multidimensionale ale inovației. Indicele este un clasament al capacităților de inovare și a rezultatelor diverselor economii naționale, care măsoară inovația pe baza unor criterii care includ: ieșiri creative; rezultate de cunoștințe și tehnologie; dezvoltarea pieței; capital uman și cercetare; performanța în afaceri; infrastructură; institutii.

În ceea ce privește clasamentele în cele șapte domenii GII 2022, Republica Moldova are cele mai bune performanțe în producții creative, iar cea mai slabă performanță este la instituții și infrastructură, precum și nivelul relativ mai redus al capitalului uman și al cercetării (fig. 1). Ameliorarea acestor indicatori poate fi realizată prin intervenții sinergice, deoarece toți aceștia sunt interconectați. *O astfel de intervenție ar putea efectuată printr-o implicare activă / eficientă în diverse proiecte, inclusiv europene de cercetare, inovare și transfer tehnologic* [7].



**Fig. 1. Clasamentul privind cele șapte domenii GII 2022 pentru Republica Moldova (cea mai înaltă clasare posibilă în fiecare domeniu este 1)**

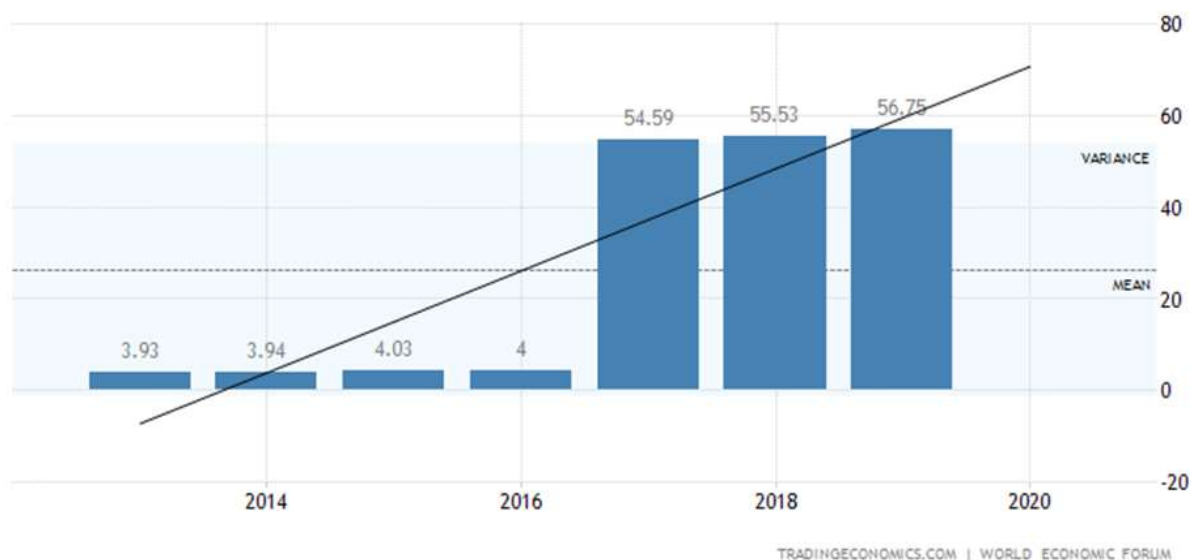
*Indicele Global de Competitivitate.* Ediția din 2018 a Global Competitiveness Report evaluează 140 de economii; ediția din 2019 evaluează 141 de economii. Raportul este alcătuit din 98 de

variabile, dintr-o combinație de date de la organizații internaționale, precum și din sondajul Executive Opinion Survey al Forumului Economic Mondial.

Variabilele sunt organizate în doisprezece piloni, cei mai importanți incluzând: instituții; infrastructură; implementarea TIC; stabilitate macroeconomică; sănătate; aptitudini; piața produselor; piața muncii; sistemul financiar; dimensiunea pieței; dinamismul afacerilor; și capacitatea de inovare.

Din 2015, Forumul Economic Mondial folosește metodologia modernă a Indicelui Global de Competitivitate (GCI), care măsoară setul de instituții, politici și factori care determină nivelurile sustenabile actuale și pe termen mediu de prosperitate economică. Din 2018, Forumul Economic Mondial a introdus o nouă metodologie, având ca scop integrarea noțiunii de a 4-a Revoluție Industrială în definiția competitivității. Subliniază rolul capitalului uman, inovației, rezilienței și agilității, nu numai ca factori, ci și caracteristici definitorii ale succesului economic în cea de-a patra revoluție industrială. Ca urmare, scala GCI s-a schimbat la 1 la 100 (de la 1 la 7 anterior), cu un scor mediu mai mare însemnând un grad mai mare de competitivitate.

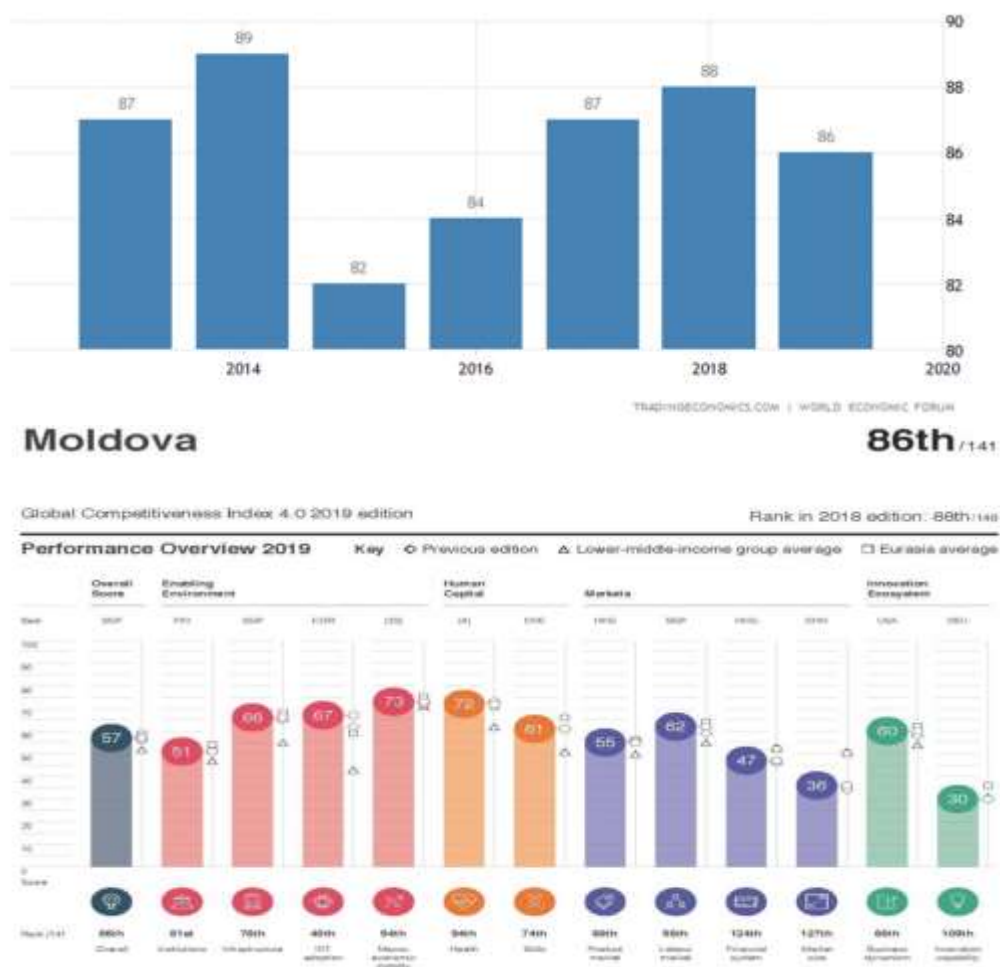
Republica Moldova a obținut 56,75 puncte din 100 în Raportul Global de Competitivitate 2019 publicat de Forumul Economic Mondial (fig.2).



**Fig. 2. Indicele de competitivitate a Republicii Moldova**

Republica Moldova s-a clasat pe locul 86 dintre cele 141 de țări clasate în ediția din 2019 a Raportului Global de Competitivitate, publicat de Forumul Economic Mondial. Rata competitivității în Moldova a fost în medie de 87,78 din 2011 până în 2019, atingând un maxim istoric de 94 în 2011 și un minim record de 82 în 2015 (fig. 3).





**Fig. 3. Clasamentul competitivității pentru Republica Moldova**

În anul 2019, Republica Moldova s-a clasat pe locul 86 din 141 de economii în clasamentul global al competitivității, urcând doar 2 poziții față de 2018 (din 140 de economii).

Acest raport evaluează capacitatea țărilor de a oferi cetățenilor lor un nivel ridicat de prosperitate, în funcție de modul în care sunt utilizate resursele disponibile. Cei mai scăzuți indicatori pentru Republica Moldova rămân - dimensiunea pieței (127), sistemul financiar (124) și capacitatea de inovare (109) din cele 141 de țări reprezentate în clasament. Menționăm pozițiile foarte bune ale Republicii Moldova în următorii indicatori - adoptarea TIC (48), piața muncii (56), dinamica afacerilor (68), piața produselor (68) și competențe (74). Pentru ameliorarea acestor indicatori, în „Strategia Națională pentru Educație 2030” a Republicii Moldova se prevede: necesitatea conectării politicilor naționale la Obiectivele de Dezvoltare Durabilă (ODD) ale ONU; necesitatea transferului și extinderii experiențelor, inovațiilor și bunelor practici internaționale în sistemul socio-economic al Republicii Moldova. Evidențiem următoarele Obiective Generale (OG) stabilite în Strategie, care ar asigura calitatea cercetării și inovării pentru dezvoltare durabilă, prin utilizarea abordării STEAM:

- OG (8): Promovarea inovațiilor și schimbărilor prin dezvoltarea cercetării științifice;
- OG (6): Îmbunătățirea funcționalității sistemului de cercetare și inovare prin implementarea eficientă a tehnologiilor digitale;
- OG (1): Conectarea cercetării științifice și inovării la cerințele și nevoile pieței muncii din perspectiva dezvoltării durabile, prin restructurarea mecanismelor de dezvoltare a capitalului uman;
- OG (3), OG (9): Asigurarea sistemului de învățământ cu personal didactic/stiințific-didactic și managerial calificat, competent, motivat și competitiv, prin eficientizarea rețelei și modernizarea infrastructurii.

**Concluzie:** Elaborarea proiectelor de transfer tehnologic, precum și gestionarea eficientă a acestora, reprezintă un obiectiv cheie în vederea dezvoltării procesului de inovare și transfer tehnologic în Republica Moldova. În cadrul sistemului inovativ autohton, propunerile de proiecte de inovare și transfer tehnologic pot fi elaborate în următoarele priorități: 1. Sănătate; 2. Agricultură durabilă, securitate alimentară și siguranța alimentelor; 3. Mediu și schimbări climatice; 4. Provocări societale; 5. Competitivitate economică și tehnologii inovative. Luând în considerație caracterul avansat al proiectelor de inovare și transfer tehnologic se impune soluționarea diverselor probleme, prin utilizarea soluțiilor tehnice, care nu au fost niciodată aplicate până la momentul respectiv. Datorită particularităților proiectelor de transfer tehnologic, precum diversitatea domeniilor de aplicare prioritare, în vederea eficientizării acestora, este oportună utilizarea abordării STEAM în procesul conceptualizării, elaborării și implementării / gestionării acestora, ceea ce ar însemna utilizarea comprehensivă a științei, tehnologiei, ingineriei, artei și matematicii.

Utilizarea abordării STEAM în elaborarea și gestionarea proiectelor de transfer tehnologic înseamnă o tratare exhaustivă / complexă și comprehensivă, bazată pe valențele științelor naturii - biologie, fizică, chimie, geografie fizică etc., valorificate prin intermediul ingineriei și tehnologiei de fabricație – a industriei 4.0, TIC (Tehnologii Informaționale de Comunicare) etc., demonstrate și ordonate prin resursele teoretice și metodologice generale și speciale ale matematicii și ale informaticii, trecute printr-o abordare creativă și inovativă.

În acest context, managementul transferului tehnologic este necesar a fi abordat sistemic și sistematic, în cadrul unor echipe multidisciplinare de cercetători și inovatori / antreprenori, în baza următorului algoritm managerial propus: 1. Identificarea domeniilor tehnologice critice; 2. Identificarea modalităților de acces la expertiza tehnologică; 3. Acțiuni strategice, de exemplu parteneriate sau joint-venture; 4. Acțiuni operaționale, cum ar fi - dezvoltarea unei noi expertize etc. Respectiva abordare comprehensivă STEAM a fost testată și utilizată cu succes în cadrul realizării proiectului de inovare și transfer tehnologic, cifrul 22.80015.7007.262T „Crearea platformei eALERT pentru monitorizarea mediului în regim de timp real și avertizarea instantanee a populației din Chișinău în cazul hazardurilor naturale și antropogene periculoase”, finanțat de Agenția Națională pentru Cercetare și Dezvoltare (ANCD) și Compania „PRIDE SYSTEM” SRL. [8, p. 44].

#### **Referințe:**

1. JALENCU, M., NICULIȚĂ, A., PALADI, F. (coord.), BULIMAGA, T., BALMUȘ-ANDONE, M., RUGINĂ-MATRAN, V. *Sistemul inovativ al universității: intraprenoriatul mediului universitar (pe exemplul Universității de Stat din Moldova)*. Chișinău: CEP USM, 2015. 288 p.
2. “Codul cu privire la știință și inovare al Republicii Moldova”, nr. 259-XV din 15.07.2004; data intrării în vigoare 30.07.2004.
3. „Programul național în domeniile cercetării și inovării pentru anii 2020-2023”, aprobat prin Hotărârea Guvernului Republicii Moldova, nr. 381/2019.
4. “Legea cu privire la parcurile științifico-tehnologice și incubatoarele de inovare” nr. 226 din 01.11.2018; data intrării în vigoare 07.09.2019.
5. <https://ancd.gov.md/ro/content/concursul-proiectelor-de-inovare-%C8%99i-transfer-tehnologic-pentru-anul-2022-0> - Concursul proiectelor de inovare și transfer tehnologic pentru anul 2022.
6. <https://agepi.gov.md/ro/news/republica-moldova-pe-locul-60-%C3%AEn-clasamentul-indicelui-global-al-inova%C8%9Biei-2023>.
7. MS3. “Benchmark Report on best practices of STEAM skills development in Higher Education”, developed by P5.USM within the Erasmus+ project “Developing and improving the STEAM skills of students and teachers for curriculum innovation and sustainable development of higher education institutions and local businesses”.
8. SPRINCEAN, v., JALENCU, M., PALADI, F., SAVVA, M., LEU, A., CIOBU, V. „Ghid de utilizare a platformei e-ALERT”. Chișinău: Editura USM, 2023. 96 p.

**INTEGRATION OF DIGITAL TECHNOLOGIES INTO AGRICULTURAL EDUCATION  
IN THE NORTHERN DEVELOPMENT REGION OF  
THE REPUBLIC OF MOLDOVA**

**Ion BODRUG**

ACETI & DIH of Moldova, Balti

**Dorin CEBANU**

National Center of Research and Seeds  
Production & ACETI, Balti

ORCID: 0000-0003-0760-394X

e-mail: [mr.cebanu@gmail.com](mailto:mr.cebanu@gmail.com)

**Sergiu PASCARI**

ACETI & DIH of Moldova, Balti

ORCID:

e-mail: [pascariserghei@gmail.com](mailto:pascariserghei@gmail.com)

**Mircea PETIC**

ACETI & DIH of Moldova, Balti

ORCID: 0000-0001-6044-7646

e-mail: [petic.mircea@aceti.md](mailto:petic.mircea@aceti.md)

*Abstract. The article presents the purpose, description of activities, and key achievements of the project "Edu-Tech-Agro-Nord: Agricultural Technological Education for the North," implemented by ACETI in collaboration with the members of the DIH of Moldova. The project aims to integrate digital technologies into agricultural education in the Northern Development Region of the Republic of Moldova. The focus is on familiarizing students with innovative technologies used in agriculture to strengthen their interest in the agricultural field and to develop this sector by preparing young specialists at the level demanded by the market. Another relevant objective is to facilitate relationships between vocational and technical institutions and research institutions in the agricultural field by engaging young people in corresponding activities, with the support of companies providing innovative digital services within the DIH of Moldova.*

*Keywords: agricultural education, digital technologies, digital transformation, innovative agriculture.*

## **1. Introduction**

The agriculture of the Republic of Moldova faces a series of challenges caused by climate change, the increase in the prices of industrial inputs, the degradation of natural resources, the lack of labour, etc. The continuous increase in the prices of non-renewable energy resources used in agriculture and their derivatives, such as mineral fertilizers, pesticides, fuels, etc., imposes the urgent need to rationalize their use. Often the administration of inputs, either in the form of mineral fertilizers or in the form of pesticides, is carried out incorrectly due to the lack of a clear picture regarding some parameters of the agro ecosystem, either with reference to soil fertility or the phytosanitary status of the field. The lack of information implies colossal, unjustified expenses, which are accompanied by harmful effects on the environment and people's health, simultaneously aggravating the problems related to global warming [1].

In order to obtain the necessary information about the state of the fields through the direct method, a multitude of laboratory analyses are needed, for the obtaining of which time, financial resources and labour are consumed. Despite the fact that these results are characterized by high precision, for the characterization of a single field it is necessary to take a very large number of samples due to its heterogeneity. This becomes extremely difficult or even impossible at the state level or even within a single household. That is why a solution would be the involvement and motivation of young people to participate in digital transformation activities of value-added agriculture, the wine sector and tourism, through partnerships between technical vocational education institutions, research institutes and private

companies, but also through the integration these young people in transformational digital activities in the target sectors. Therefore, the goal of the project is to develop the agricultural field both by training high-level specialists and by identifying innovative digital technologies for the formation of this valuable field, mainly in the Northern Development Region of the Republic of Moldova.

Accordingly, the present work is structured as follows: we will start with the project concept and the proposed activities, followed by the description of the project realization and the achieved impact. We will conclude the paper with conclusions and plans for the future.

## **2. Project concept**

Taking into account the actuality of agricultural innovation we came up with a project proposal that was supported to be implemented.

Thus, an effective alternative is proposed by replacing complex classical methods with the use of digital technologies in agriculture. Software solutions such as ERPs and digital video surveillance systems are useful in helping agricultural companies manage resources and optimize operations. In addition, modern technical equipment, including tools and technologies for soil moisture measurement and irrigation management, along with automatic irrigation systems, contribute to the efficiency of agricultural practices. Also, the multispectral drone can address multiple economic, ecological and social challenges by providing comprehensive services, such as streamlining pre-sowing herbicide treatments, spraying crops during the growing season to control weeds, diseases and pests, differential application of foliar fertilizers and desiccants. Their advantage lies in the processing of an enormous set of samples, in a very short time, with minimal expenses and without damaging the plot.

In this sense, the platform built by the Digital Innovation Hub of Moldova is useful, which includes digital providers of innovative services, but also educational institutions in particular with a technical professional profile in agriculture that cannot afford to purchase such digital tools. At the same time, the use of current technologies has an important effect not only on the real results in concrete agricultural situations, but also on the motivation of the students of technical vocational education institutions in the Northern Region of the Republic of Moldova (which are part of the DIH of Moldova) for the activity in the agricultural field through the use of technologies current.

Within the project, we facilitate both the relationship between professional technical institutions and the agricultural research environment by attracting young people to the appropriate activities, but also with the business environment, together with innovative digital service providers that will create a sustainable and competitive ecosystem. Accordingly, we consider it important to attract providers of innovative digital services with existing concrete examples of software solutions to help agricultural companies, technical tools for modern agriculture, but also the multispectral drone. Thus, for a competitive agriculture it is necessary not only the availability of such technologies, but also the training of appropriate skills. For technical professional education institutions in Bălți, Râșcani, Soroca, Grinăuți, Ungheni and Țaul, it is important to collaborate with various institutions and organizations that can offer innovative technological news and training to motivate students and disseminate the experience of young people passionate about agriculture and the possibilities of using technologies digital in this field. Starting from the intention to have a more systemic character, we planned the initiation of the creation of AgTech clubs, with the participation of about 10 students from each vocational technical education institution, but also with an interest in innovative technologies in the field of agriculture from each institution targeted.

In this sense, the activities to strengthen the ecosystem of digital transformation in agriculture among local actors (IT and agricultural companies, educational and agricultural research institutions but also associative entities) will contribute to motivating the young generation to get involved in studying and exploiting the possibilities digital in agriculture to catalyse the evolution of results.

### 3. Activities

Taking into account the above, ACETI aimed to contribute to the development of the high-value agricultural sector, both by increasing the number of high-level specialists in the field, and by promoting the use of innovative digital technologies, carrying out the following activities:

- **Regional forums** to bring together student members of AGTech clubs, teachers, AgTech companies, media representatives, ACETI members, local and international partners, representatives of academia and the private sector, thus creating a platform for the exchange of ideas, the promotion of innovations in agriculture and the strengthening strategic partnerships.

- **Acquisition of multispectral drones for training** and obtaining necessary authorizations for use in research, agricultural missions and educational processes, as training in research and educational institutions.

- **Seminars, study visits, master classes** with the participation of practicing specialists in the field of innovative agricultural digital technologies who have managed to implement several digital innovation projects in agriculture. These activities facilitate dialogue between students and professionals in the field to better understand how digital technologies are used in agriculture and to solicit ideas for future innovations.

- **The practical demonstration of the multispectral drone** on the research plots of the NCRSP Selectia sector, on the fields of the agricultural colleges, of the producers of fruits, vegetables, berries, medicinal plants and cereal crops, including those grown in the ecological system, produced in the Northern Region of the Republic of Moldova.

- **The development of a guide on the operation of the drone**, which would describe all the specific moments essential for piloting them.

Thus, the implementation of these activities involves capitalizing on the collaboration network that was formed by the ACETI partner group and their partners to contribute to the digital transformation in agriculture.

### 4. Achievements and impact

So far, several activities have been carried out within this project. We note the forums, master classes and study visits that aroused a keen interest in the process of innovation and digitization of agriculture from all participants, especially from the younger generation, budding specialists in the field of agriculture. These activities laid the foundations of the AgTech clubs from professional and technical institutions in the agricultural field in Ungheni, Țaul, Grinăuți and Soroca, by establishing direct dialogues with digital service providers in the agricultural field, namely with those who operate drones, install sensors, manage platforms digital agriculture, but also modern technological lines.

Based on the project, drones were procured and transmitted for research activities in agricultural missions and educational training processes at three agricultural colleges in the north of the Republic of Moldova and at the National Centre of Research and Seeds Production. Thus, these institutions received drones and other innovative equipment to conduct research and develop the professional skills of students. Thus, the National Centre of Research and Seeds Production Selectia sector, will be able to use in its research activities a high-performance multispectral drone, accompanied by a D-RTK station, which will increase the precision of research.

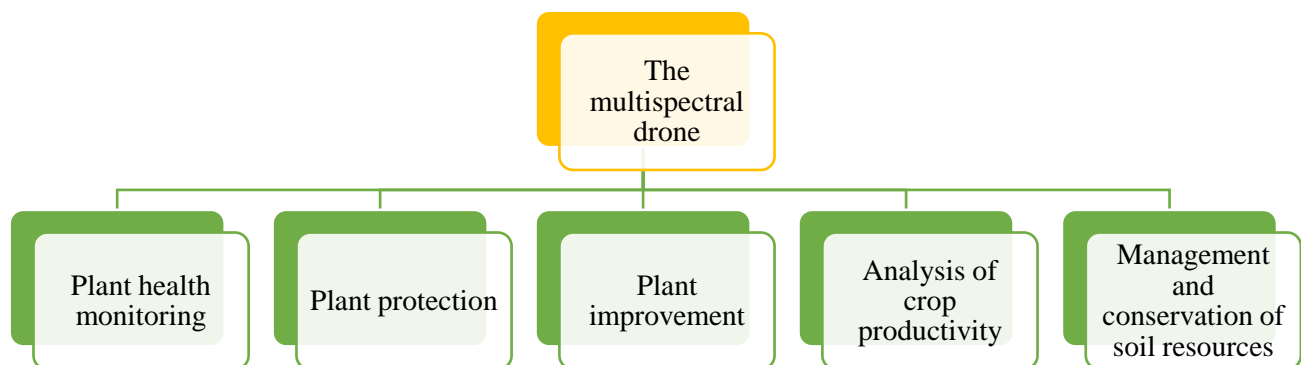
Three other drones will be used in the educational process by the Centre of Excellence in Horticulture and Agricultural Technologies from Țaul, the Agricultural Technical College from Soroca and the Gheorghe Răducan Agro industrial College from Grinăuți.

Another deliverable of the project was the creation of a guide on drone operation at the level of professional technical institutions. It contains a concise and informative description of the need to use agricultural drones, as well as specifying their advantage over conventional technologies.

In this endeavour, drones can be extremely useful and cost-effective. Accordingly, the guide developed within the project contains information about the types of drones and their applicability in society, an overview of agricultural drones and the possibilities of their use, but also useful information on how to select and register a drone correctly, including legislative aspects, those of the environment, safety and security. Analysing all these activities, it is important to know the opinion of those who deliver technologies to be known by the beneficiaries of the project. That's why, following the activities carried out so far, we questioned the companies that, being benevolent, demonstrated the possible technological innovations in the field to the participants of the activities. Respectively, the representatives of the 6 companies involved highly appreciated the activities carried out. If we refer to what they noticed, the representatives of the companies emphasized the good format of the events, the attitude of the organizers, the quality of the presentations of digital solutions, technologies and techniques for digitized agriculture, but also the interest of new generations towards new technologies in agriculture. In terms of possible improvements they would like to see at future events, many of the speakers noted the desire for such events to have lists of attendees willing to see how a technology or technique works in the field, with a stronger stake on the practical side. Several of the respondents mentioned that they would like to see more agricultural producers at such events. In addition, the vast majority agree to participate in other similar activities. Moreover, we note that the given project has a direct impact on the digital agricultural ecosystem created in the Northern Region. We note the establishment of collaborative relationships between the companies involved with technical vocational education institutions in the realization of direct projects that boost the interest of the young generation in both the agricultural and digital technologies fields.

### 5. Future activities

In the future, other forums, master classes and study visits will be held that will stimulate the interest of the young generation, of budding specialists in the field of agriculture, for the process of innovation and digitization of agriculture. The use of the multispectral drone within the National Centre of Research and Seeds Production Selectia sector, represents a major step in optimizing the quality of research and accelerating the data collection and analysis process, contributing at the same time to increasing the accuracy and observational details (Fig. 1). This advanced technology allows the monitoring of the state of agricultural crops in different phases of growth and development through the normalized vegetation index NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), an essential tool in the assessment of plant health [2].



**Fig. 1 Multispectral drone usage directions at NCRSP**

The information obtained through NDVI will allow us to evaluate the reaction of plants to various technologies and agricultural systems, ensuring their adaptation to the pedoclimatic conditions specific to our area.

These data are essential for adjusting agricultural practices to maximize yields in the context of climate change and seasonal variability. We also plan to develop research directions in integrated plant protection. The multispectral drone will be used for early identification of the degree of weeding, monitoring the dynamics of pest populations and rapid diagnosis of diseases. Through spectral analysis, we will be able to determine the areas affected by biotic stress, which will allow precise and effective interventions in phytosanitary management [3].

Plant breeding is a long-term process, it takes about 8-12 years to create a high-performing wheat variety. The use of multispectral drone would allow the rapid selection of the best plants based on observable phenotypic characteristics such as height, resistance to falling, adaptability to abiotic stress, etc. Thus, promising phenotypes could be identified more efficiently, speeding up the process of selection and genetic improvement [4].

In field trials, the multispectral drone provides a detailed picture of plant evolution, allowing monitoring of key aspects such as leaf development, water stress and water use efficiency. The resulting images can be analysed to assess plant vigour and identify nutrient deficiencies through detailed analysis of the spectrum reflected by leaves and other plant parts. This information is valuable for optimizing fertilizer application and adjusting cultivation methods according to the specific needs of each type of crop [5]. A no less important aspect in agricultural research is the management and conservation of soil resources, which can also be achieved with the help of UAVs. Thus, operations such as land mapping and identification of areas at risk of soil degradation can be easily carried out. The multispectral drone is an innovative and indispensable tool for NCRSP research, bringing more precision and efficiency to crop management and monitoring, as well as to the plant breeding process, thus supporting modern agriculture in a sustainable and adaptive way.

## 6. Conclusions

All written above confirms that the approach brings a new breath to the way of doing agriculture and learning agricultural science in the northern part of the country. By carrying out this project, we contribute to the development of the agricultural sector, both by training high-level specialists and by identifying innovative digital technologies for the formation of the high-value agricultural field. We like to believe that these young college students, who are now familiar with innovative technologies in agriculture thanks to our project, will be, in the near or a little more distant future, those farmers who will use them actively in their daily activities and, why not, those who will be able to develop even newer, more efficient technologies, which today seem impossible to us, and the researchers who today receive new opportunities to do science, including with our contribution, will put their shoulders to these achievements.

### Bibliographical sources:

1. DENT, D., BOINCEAN, B. Regenerative agriculture: What's missing? What do we still Needle to do you know? In *Regenerative Agriculture*, 2021, pp. 1-12. Springer. Available at: <https://doi.org/101007/-978-3-030-72224-1>.
2. VÉLEZ, S., MARTÍNEZ-PEÑA, R., CASTRILLO, D. *Beyond Vegetation: A Review Unveiling Additional Insights into Agriculture and Forestry through the Application of Vegetation Indices*. *J*, 6(3), 2023, pp. 421-436. Available at: <https://doi.org/10.3390/j6030028>.
3. MAHLEIN, A.K., KUSKA, M., BEHMANN, J. *Past and Future of Plant Stress Detection: An Overview From Remote Sensing to Positron Emission Tomography*. *Frontiers in Plant Science*, 10, 21, 2019. Available at: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpls.2019.00021/full>.
4. CHIVASA, W., MUTANGA, O., BIRADAR, C. *UAV-Based Multispectral Phenotyping for Disease Resistance to Accelerate Crop Improvement under Changing Climate Conditions*. *Remote Sensing*, 12(15), 2445, 2020. Available at: <https://doi.org/10.3390/rs12152445>.

**Acknowledgment.** The work was carried out within the project "Edu - Tech - Agro - North - Agricultural Technological Education for the North" funded by the United States Agency for International Development through the Competitiveness and Rural Resilience Project in Moldova and is implemented by ACETI, in collaboration with development partners.

## SEMNIIFICAȚIA DEZVOLTĂRII SUSTENABILE A PROIECTELOR INOVATIVE DE AFACERI

### THE SIGNIFICANCE OF SUSTAINABLE DEVELOPMENT OF INNOVATIVE BUSINESS PROJECTS

**Marian JALENCU**,  
Universitatea de Stat din Moldova

ORCID ID: 0000-0001-7690-7432,  
e-mail: [marian.jalencu@usm.md](mailto:marian.jalencu@usm.md)

*Abstract: The sustainable development of innovative business projects plays a key role in ensuring a balance between economic growth and environmental protection. This article explores the long-term impact of integrating sustainable practices into business innovation strategies, analyzing the associated benefits and challenges. The study emphasizes the importance of sustainability as a competitive factor, highlighting how it can lead to improved organizational reputation and the creation of a strategic advantage. The research methodology includes the analysis of case studies from various economic sectors and the assessment of environmental and economic performance indicators. The conclusions emphasize the need to adapt business models to meet sustainability requirements, thus contributing to a greener and more sustainable economy.*

*Keywords: sustainability, innovative ideas, innovative projects, innovative business*

**Introducere.** Dezvoltarea sustenabilă afacerilor, precum și a celor inovative, a devenit o prioritate globală în contextul accelerării schimbărilor climatice și al presiunilor asupra tuturor resurselor organizaționale, cum ar fi, în special – cele economico-financiare, umane și naturale. În acest cadru, proiectele inovative de afaceri au un potențial semnificativ de a contribui la o economie durabilă, prin integrarea unor *practici ecologice și sociale responsabile*. În acest context, este primordial în condițiile actuale de a explora importanța adoptării *principiilor de sustenabilitate* în cadrul *proiectelor inovative* și de a analiza impactul acesteia asupra performanței și competitivității organizațiilor. Un eficient proiect inovativ de afaceri trebuie să fie, în primul rând sustenabil, adică să se axeze pe utilizarea eficientă a resurselor organizaționale și promovarea unor practici etice în lanțul de aprovizionare. De asemenea, este necesar de a lua în considerație provocările întâmpinate de afaceri în adoptarea acestor practici, inclusiv constrângerile financiare și barierele de reglementare.

O afacere modernă inovativă trebuie să se bazeze pe trei piloni importanți ai sustenabilității – pilonul *economic, social și de mediu*. Fiecare dintre aceștea trebuie identificați, dezvoltați și argumentați în cadrul planurilor de afaceri inovative, iar ulterior implementați eficient în cadrul afacerii.

**Proiectele inovative de afaceri.** *Proiectele inovative* reprezintă proiectele care includ activități ce au ca scop aplicarea rezultatelor obținute de pe urma cercetării și/sau experienței practice, care sunt orientate spre utilizarea în activitatea practică și/sau comercializarea pe piață a materialelor, produselor sau dispozitivelor, procedeele, sistemelor și serviciilor noi sau ameliorate substanțial [5].

Anume activitatea de inovare și de transfer tehnologic facilitează transformarea rezultatelor cercetărilor științifice, ale elaborărilor practice și/sau ale altor realizări tehnicoștiințifice finalizate (precum și ale cercetărilor științifice și elaborărilor ce țin de acestea) în cunoștințe științifice noi, în produse, servicii, procese, noi sau perfecționate, care corespund necesităților practice și cerințelor pieței și care sunt supuse procesului de transfer tehnologic și de comercializare [2].

*Algoritm*ul propus de către noi în realizarea procesului de inovare și transfer tehnologic este următorul:

I. Rezultatul științific / produsul inovativ a proiectului de transfer tehnologic



- II. Valoarea de piață a produsului / serviciului inovativ
- III. Clienții potențiali a produsului / serviciului inovativ
- IV. Dezvoltarea pieței produsului / serviciului inovativ
- V. *Dezvoltarea strategică și sustenabilitatea produsului / serviciului inovativ*
- VI. Eficiența economică a proiectului de transfer tehnologic
- VII. Managementul riscurilor proiectului de transfer tehnologic [1].

*Proiectele inovative de afaceri* reprezintă inițiative orientate spre dezvoltarea de produse, servicii, procese sau modele de afaceri noi, care aduc valoare adăugată și se diferențiază prin elemente de noutate și creativitate. Ele urmăresc nu doar îmbunătățirea performanței financiare, ci și abordarea unor nevoi nesatisfăcute ale pieței sau rezolvarea unor probleme economice, sociale sau de mediu. Aceste proiecte se bazează pe tehnologii noi, procese îmbunătățite sau abordări inovative, menite să sporească eficiența, să reducă riscurile și să creeze avantaje competitive sustenabile. De asemenea, ele implică un grad ridicat de incertitudine și asumarea de riscuri, întrucât adesea implică investiții semnificative și necesită resurse complexe, precum capital uman calificat și tehnologii de ultimă generație.

În contextul dezvoltării sustenabile, proiectele inovative de afaceri se concentrează tot mai mult pe impactul economic, social și ecologic, încercând să genereze atât profit, cât și o contribuție pozitivă la nivelul comunității și mediului înconjurător (fig. 1).



**Fig. 1. Pilonii sustenabilității afacerii inovative**

*Sustenabilitatea economică* reprezintă un sistem operational / de fabricație care satisface nivelurile actuale de consum, fără a compromite, însă, nevoile viitoare.

*Sustenabilitatea socială* reprezintă procesele, structurile, sistemele și relațiile care susțin în mod active capacitatea generațiilor actuale și viitoare de a crea comunități sănătoase și viabile, echitabile, diverse, conectate și democratice și care oferă o bună calitate a vieții.

*Sustenabilitatea mediului* reprezintă un sistem durabil din punct de vedere ecologic, capabil să mențină o bază stabilă de resurse, evitând exploatarea exagerată a sistemelor de resurse regenerabile sau a funcțiilor de absorbție a mediului și epuizarea resurselor neregenerabile numai în măsura în care se fac investiții în substitute adecvate. Aceasta include menținerea biodiversității, a stabilității atmosferice și a altor funcții ecosistemice care nu sunt clasificate în mod obișnuit drept resurse economice.

*Abordarea dezvoltării sustenabile a proiectelor de afaceri inovative* este conceptualizată, tratată sistemic, implementată și testată de către noi în cadrul proiectului Erasmus+ Skills4Future – “Developing and improving the STEAM skills of students and teachers for curriculum innovation

*and sustainable development of higher education institutions and local businesses”*, care se derulează la Universitatea de Stat din Moldova în perioada anilor 2023-2025.

*Abordarea sustenabilă în cadrul proiectelor inovative de afaceri* are la bază o tratare exhaustivă / complexă și comprehensivă, bazată pe valențele *științelor naturii* - biologie, fizică, chimie, geografie fizică etc., valorificate prin intermediul *ingineriei și tehnologiei de fabricație* – a industriei 4.0, TIC (Tehnologii Informaționale de Comunicare) etc., demonstrate și ordonate prin resursele teoretice și metodologice generale și speciale ale *matematicii și ale informaticii*, trecute printr-o abordare *creativă și inovativă*.

Și aceasta fiindcă, astăzi, societatea modernă se confruntă cu provocări economice și sociale severe. Inovația poate facilita accelerarea redresării economice și poate determina creșterea durabilă și ecologică. Inovația permite unei țări să descopere oportunități care există sau care probabil vor apărea în timp, să se concentreze pe procesele și practicile de afaceri existente care îmbunătățesc eficiența, să găsească clienți potențiali, să minimizeze risipa și să crească profiturile.

În cadrul cercetărilor efectuate în proiectul Erasmus+ Skills4Future au fost identificate principalele subiecte / domenii de sustenabilitate ancorate în economia locală, grupate atât pe probleme economice, cât și sociale și de mediu. Respectivetele subiecte / domenii de sustenabilitate au fost identificate în urma realizării a trei Workshop-uri tematice pe domeniile STEAM și provocările Economice, Sociale și de Mediu cu care se confruntă economia locală. Scopul Workshop-urilor a constat în transferul de cunoștințe și schimbul de bune practici pentru a adapta mai bine curricula de licență în Business și administrare la nevoile economiei locale și pentru a proiecta soluții inovatoare pentru problemele provocatoare ale dezvoltării durabile / sustenabile.

În cadrul Workshop-urilor au fost abordate următoarele subiecte, relevante pentru comunitatea / afacerile locale: formarea și dezvoltarea competențelor angajaților; locuri de muncă decente și standarde de viață îmbunătățite; investiții durabile în forță de muncă calificată și inovare; securitatea la locul de muncă și egalitatea de șanse etc. La lucrările Workshop-urilor au participat cercetători în domeniul economiei și managementului, precum și reprezentanți ai mediului de afaceri - stakeholderii mediului de afaceri inovativ.

La finele discuțiilor au fost identificate / formulate principalele subiecte / domenii de sustenabilitate economice, sociale și de mediu, actuale pentru mediul antreprenorial autohton.

*Pe filiera economică au fost identificate și concepute următoarele probleme semnificative:*

1. Schimbarea comportamentului clienților în perioade de criză (COVID-19, situație de conflict militar etc).
2. Utilizarea inteligenței artificiale în managementul producției.
3. Adaptarea redusă a antreprenorilor / managerilor la schimbare și managementul situațiilor de criză.
4. Utilizarea tehnologiilor IT în managementul întreprinderilor / organizațiilor.
5. Motivație insuficientă pentru schimbarea tehnologiei.
6. Reducerea abilităților de lucru în echipă și de teambuilding ale factorilor de decizie manageriali.
7. Abilități insuficiente de comunicare, gândire critică/logică și orientare către creativitate / inovare.
8. Managementul timpului, voință și inteligență emoțională.
9. Realizarea competitivității companiei prin dezvoltarea inovației produselor, digitalizarea afacerii și calitatea produselor.
10. Insuficiența educației financiare, a managementului riscului și a investițiilor financiare.

*Pe filiera socială au fost determinate și formulate următoarele probleme cheie:*

1. Necesitatea asigurării mentenanței resurselor umane ale firmei.
2. Crearea condițiilor favorabile dezvoltării și susținerii creativității umane și inovației.
3. Instituționalizarea unui sistem managerial inovator în cadrul organizațiilor locale / ecosistem inovator.
4. Asigurarea egalității de șanse la angajare în vederea atingerii performanței manageriale.

5. Organizarea ergonomică a locurilor de muncă în companiile autohtone.
6. Rezolvarea problemelor de securitate a muncii în firmele din Republica Moldova.
7. Motivarea și remunerarea decentă a muncii angajaților locali.
8. Formarea și dezvoltarea personalului pentru a crea competențele cerute de piața muncii.
9. Dezvoltarea formării continue pe toată durata vieții angajaților.
10. Responsabilitatea socială a companiei față de societate și angajați.

*Cele mai semnificative problemele de mediu identificate de către noi pentru mediul antreprenorial autohton sunt:*

1. Abordarea ecologică utilizată pentru crearea ecosistemului produsului.
2. Provocările de mediu ale începerii unei mici afaceri.
3. Impactul factorilor de mediu asupra deciziilor de management ale întreprinderilor mici de domeniul serviciilor.
4. Necesitatea instruirii / pregătirii ecologice a personalului din firmele de servicii din Republica Moldova.
5. Impactul Obiectivelor de Dezvoltare Durabilă privind sectorul de mediu asupra perspectivelor strategice ale întreprinderilor mici și mijlocii.
6. Utilizarea sistemelor de management de mediu ISO 14000 în managementul companiei
7. Dezvoltarea modelelor de management sustenabil al producției.
8. Trecerea de la modelul clasic al ciclului de producție la modelul economiei circulare
9. Dezvoltarea de produse inovatoare în vederea sustenabilității afacerii.
10. Utilizarea eficientă a resurselor naturale în managementul afacerii firmei [4].

Menționăm că respectivele subiecte / problem identificate de către noi, pot servi drept *puncte de reper / surse pentru generarea de idei inovative sustenabile.*

Unele dintre aceste surse a ideilor de afaceri inovative sustenabile se află în cadrul firmelor, sau în cadrul unei industrii sau într-un sector de servicii. Acestea, sunt vizibile mai întâi lucrătorilor acelu sector industrial sau de servicii. Acestea sunt, în esență, *simptome.*

**Concluzie:** Pentru ca proiectele inovative să fie orientate către o dezvoltare sustenabilă, este esențială implementarea unor strategii și practici care să asigure un *echilibru între performanța economică și impactul asupra mediului și societății.*

Printre acțiunile necesare de întreprins în acest context putem identifica următoarele:

*Integrarea sustenabilității în strategia de afaceri.* Dezvoltarea unei viziuni pe termen lung care să includă obiective clare de sustenabilitate, astfel încât fiecare proiect inovativ să contribuie la reducerea impactului ecologic și la crearea unui avantaj competitiv durabil.

*Optimizarea utilizării resurselor.* Adoptarea unor tehnologii și procese eficiente care să minimizeze consumul de resurse naturale și să reducă deșeurile. Acest lucru poate implica reciclarea, utilizarea surselor de energie regenerabilă și îmbunătățirea eficienței energetice.

*Evaluarea impactului social și de mediu.* Realizarea unor analize de impact pentru a înțelege cum proiectul afectează mediul și comunitatea. Aceste evaluări pot ghida ajustările necesare pentru a minimiza efectele negative și a maximiza beneficiile sociale.

*Inovarea în designul de produs și ambalaj.* Crearea de produse cu un ciclu de viață lung, ușor de reparat, reciclat sau refolosit. Ambalajele sustenabile și materialele biodegradabile pot reduce semnificativ amprenta ecologică.

*Colaborarea cu parteneri responsabili.* Selectarea furnizorilor și partenerilor care împărtășesc valorile sustenabilității. În acest fel, lanțul de aprovizionare devine mai ecologic și mai etic, contribuind la atingerea obiectivelor de sustenabilitate.

*Promovarea culturii sustenabile în organizație.* Implicarea angajaților în inițiative de sustenabilitate și educarea lor cu privire la bunele practici ecologice și sociale. O cultură organizațională aliniată cu principiile sustenabilității va susține mai bine implementarea acestora în toate proiectele inovative.

*Adoptarea unui model circular de afaceri.* Proiectele inovative sustenabile pot valorifica modelul economiei circulare, prin care produsele sunt proiectate pentru a fi reutilizate, reciclate sau upgrdate, reducând astfel amprenta ecologică.

Aceste acțiuni contribuie la reducerea riscurilor asociate cu degradarea mediului și la crearea de valoare durabilă, oferind afacerilor inovative posibilitatea de a avea un impact pozitiv pe termen lung.

**Referințe:**

1. JALENCU, M., RUGINĂ-MATRAN, V., BALMUȘ-ANDONE, M. *Management inovațional și transfer tehnologic, Ghidul antreprenorului inovativ*, Chișinău, CEP USM, 2015. – 211 p.
2. KLOFSTENA, M., FAYOLLE, A., Guerrero, M., Mian, S., Urbano, D., Wright, M. *The entrepreneurial university as driver for economic growth and social change - key strategic challenges*, 2016.
3. PALADI, F., BULIMAGA, T., JALENCU, M., GORCEAG, L., SPÎNU, L., SAVVA, M., CREȚU, R., ȚURCANU, C., MANOLESCU, I. *Ghidul cercetătorului*, Universitatea de Stat din Moldova, Institutul de Cercetare și Inovare, Proiectul bilateral RO-MD “Instrumente manageriale și informaționale pentru stimularea cercetării în universități”, Chișinău: CEP USM, 2018.  
[http://usm.md/wp-content/uploads/Ghidul-Cercetatorului\\_2019.pdf](http://usm.md/wp-content/uploads/Ghidul-Cercetatorului_2019.pdf)
4. MS3. “*Benchmark Report on best practices of STEAM skills development in Higher Education*”, developed by P5.USM within the Erasmus+ Project “Developing and improving the STEAM skills of students and teachers for curriculum innovation and sustainable development of higher education institutions and local businesses”, Chișinău, USM, 2023.
5. <https://anced.gov.md/ro/content/concursul-proiectelor-de-inovare-%C8%99i-transfer-tehnologic-pentru-anul-2022-0 - Concursul proiectelor de inovare și transfer tehnologic pentru anul 2022>
6. <https://www.oda.md/ro/> - Organizația pentru Dezvoltarea Antreprenoriatului

**UTILIZAREA TEHNOLOGIILOR AVANSATE ÎN FENOTIPAREA PLANTELOR ȘI  
STUDIUL UNOR PROCESE METABOLICE LA SOIURILE AUTOHTONE DE SOIA  
(*Glycine max* (L.) Merrill.)**

**THE USE OF ADVANCED TECHNOLOGIES IN PLANT PHENOTYPING AND STUDY OF  
SOME METABOLIC PROCESSES IN NATIVE SOYBEAN VARIETIES  
(*Glycine max* (L.) Merrill.)**

**Ana BÎRSAN<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Universitatea de Stat din Moldova

ORCID: 0000-0003-1696-080X

email: [ana.birsan@usm.md](mailto:ana.birsan@usm.md)

**Veaceslav SPRINCEAN<sup>1</sup>**

ORCID: 0000-0001-6719-7387

email: [veaceslav.sprincean@usm.md](mailto:veaceslav.sprincean@usm.md)

**Mariana SAVVA<sup>1</sup>**

ORCID: 0000-0003-0618-5360

email: [marianna.savva@usm.md](mailto:marianna.savva@usm.md)

**Ion GANEA<sup>2</sup>**

<sup>2</sup>Universitatea Tehnică a Moldovei

ORCID: 0000-0002-9346-2575

**Costel GUȚU<sup>3</sup>**

<sup>3</sup>Centrul Național de Cercetare și Producere a  
Semințelor

ORCID: 0009-0005-2606-6002

**Maria IACUBUȚĂ<sup>3</sup>**

**Florentin PALADI<sup>1</sup>**

ORCID: 0000-0001-8099-9413

email: [florentin.paladi@usm.md](mailto:florentin.paladi@usm.md)

*Summary: Modern agriculture calls for the identification of efficient tools in plant phenotyping and the study of metabolic processes. CO<sub>2</sub> sensors have been shown to be effective in the study of the gaseous metabolism of plants, subjected to abiotic stress, at various stages of growth and development, being easier to use compared to classical chemical methods and providing more accurate data. The use of CO<sub>2</sub> sensors allowed the establishment of differences in the respiratory activity of rhizobacteria from the nodules of soybean varieties with different resistance to abiotic stress. Multispectral sensors provide data of real help in the phenotyping of agricultural crops, in establishing the physiological state of plants at different stages of development, but also in identifying field problems, demonstrating opportunities for their use in monitoring agricultural fields and improving the quality of agro-ecosystem services. Phenotyping with the help of hyper/multispectral imaging allows obtaining valuable, high precision scientific results with reference to plant health.*

*Key words: soybean, sensors, gaseous metabolism, plant phenotyping.*

## Introducere

În agricultura modernă de precizie, dispozitive inteligente și semi-inteligente au fost utilizate pe scară largă pentru a monitoriza procesele de creștere și dezvoltare a plantelor, interacțiunea acestora cu mediul înconjurător, oferind informații cheie pentru optimizarea mediului de creștere a culturilor și combaterea stresului biotic și abiotic [1, 2, 6]. Dispozitive portabile fixează anumiți parametri ai culturilor agricole care permit evaluarea stării lor fiziologice și necesitățile plantelor crescute în diverse condiții de cultivare. Bunăoară, senzorii plasați pe diferite părți ale plantelor sau în mediul apropiat acestora extrag informații fiziologice, biofizice sau biochimice în timp real, într-un mod non-invaziv sau minim invaziv pentru a realiza monitorizarea la fața locului a stării de sănătate a culturilor [6, 7, 8].

Actualitatea cercetării derivă din necesitatea interconectării noilor cunoștințe din domeniul fiziologiei plantelor, ca baza științifică a agriculturii, cu tehnologiile avansate, din necesitatea selectării criteriilor de aplicare a acestora pentru a eficientiza creșterea și dezvoltarea plantelor și pentru a asigura obținerea producției agricole durabile. Scopul prezentei lucrări a constat în identificarea instrumentelor eficiente pentru fenotiparea și studiul proceselor metabolice la unele soiuri de soia, supuse stresului abiotic, la diverse etape de creștere și dezvoltare.

## Material și metode

În studiu au fost incluse două soiuri autohtone de soia: Aura și Deia, create de către *Institutul de Cercetări pentru Culturile de Câmp „Selecția”*. Cercetările s-au efectuat în condiții de laborator și pe terenurile agricole ale *Centrului Național de Cercetare și Producere a Semințelor*, din or. Bălți (în lunile iunie - iulie), anul 2024. În calitate de martor pentru cercetările efectuate a servit soiul Aura, selectat pentru cultură în baza caracteristicilor de plasticitate, productivitate și alte caracteristici tehnologice și solicitat în cultură de producătorii de soia din Moldova. Fenotiparea plantelor în condiții de câmp s-a realizat cu ajutorul camerei multi-spectrale *Areal Mapping Camera MOPIR Survey 3*, care este disponibilă în 2 lentile și 6 opțiuni de filtru. Cuantificarea emisiei de CO<sub>2</sub> s-a efectuat cu ajutorul tehnologiilor *PASCO*. Achiziția, prelucrarea, analiza și interpretarea datelor experimentale au fost realizate cu ajutorul soft-ului *SPARKvue PWA*. Rata de eșantionare a fost aleasă de 1 Hz pentru diferite soiuri investigate în procesul de respirație cu afișarea grafică a datelor pentru o durată de 10 min.

## Rezultate și discuții

Din punct de vedere climatic, condițiile anului 2024, în faza de înflorire deplină a soiei, au fost foarte severe (tab. 1). Este cunoscut că regimul termic ridicat și cel hidric foarte scăzut, în mod deosebit în perioada când plantele încep să-și formeze organele generative, influențează negativ asupra formării producției de boabe.

*Tabelul 1 Condițiile climatice stabilite în faza înfloririi depline la cultura soiei (2024, Bălți)*

Factorii climatici	Luna, decada			Abaterile ±, față de multianuală pe luni și decade		
	Iunie III decadă	Iulie I decadă	Iulie II decadă	Iunie III decadă	Iulie I decadă	Iulie II decadă
Temperatura medie a aerului C <sup>0</sup>	23,8	23,8	28,4	+3,8	+3,4	+7,8
Multianuala	20,0	20,4	21,1			
Depunerile atmosferice, mm	2,0	17,2	6,0	-19,0	-2,8	-14,0
Multianuala	21,0	20,0	20,0			

În cadrul cercetărilor noastre, spre deosebire de datele furnizate de stațiile hidro-meteo, datele obținute cu ajutorul senzorilor de temperatură pe câmpul experimental, au demonstrat că la adâncimea de 5-10 cm în stratul superior al solului se atestă temperaturi de 41,9<sup>0</sup>C (foto.1), iar temperaturile aerului depășesc 43,4<sup>0</sup>C, la sfârșitul lunii iulie (Foto 2).



**Foto 1. Monitorizarea temperaturii solului cu ajutorul senzorului wireless PS-3201 cu sondă din oțel inoxidabil**



**Foto 2. Aspectul câmpului experimental în condiții de stres termic**

Temperaturile supraoptimale în zona rizosferei plantelor, combinate cu nivelul redus de apă, au creat condiții nefavorabile pentru derularea proceselor metabolice din plante. Acestea s-au resimțit și la nivelul sistemului simbiotic plante-nodozități. Astfel, spre deosebire de alți ani, plantele au format nodozități de dimensiuni mai mici. S-a observat că soiul Aura dezvoltă nodozități atât pe rădăcina principală, cât și pe cea laterală, iar soiul Deia - în special, pe rădăcina principală.



**Foto 3. Nodozități formate pe rădăcina principală, soiul Deia**

Pentru determinarea activității respiratorii în nodozitățile soiurilor de soia cu diversă rezistență la stresul termic, s-a analizat dinamica producerii de dioxid de carbon de către rizobacteriile din nodozitățile detașate de la rădăcini, activitatea nodozităților detașate reflectând activitatea normală a acestora. De asemenea, la această etapă, în condiții de câmp și de laborator, a fost determinat și nivelul emisiei de dioxid de carbon a frunzelor etajului superior al plantelor de soia (frunza V), expuse ziua în condiții de câmp la temperaturi de peste 40<sup>0</sup>C (Tab. 2). Datele tabelului 2 arată că, la etapa de finalizare a înfloritului, nodozitățile soiului Deia au avut o activitate respiratorie de circa 2 ori mai mare comparativ cu soiul Aura, menținând valori superioare a nivelului de dioxid de carbon și în condiții de deshidratare (peste 30 ore, la temperatura de 32<sup>0</sup>C).

*Tabelul 2 Dinamica emisiei CO<sub>2</sub> de către nodozitățile rădăcinilor și frunzele etajului superior al plantelor unor soiuri de soia la etapa de înflorire deplină*

Soi	Cantitatea de CO <sub>2</sub> (ppm) /g masă proaspătă					Masa proaspătă (g) a		
	Nodozitățile rădăcinilor					Frunze	50 de nodozități	frunzei a V
	10 min	20 min	1 ore	6 ore	30 ore	10 min	Inițială	Inițială
<b>Aura</b>	183	410	195	193	125	1411	1,2	1,2
<b>Deia</b>	373	974	433	340	226	286	1,3	1,7

Prin urmare, se poate presupune că procesele de fixare a azotului la plantele soiului Deia decurg mai activ, nodozitățile acestui soi continuând să-și mențină catabolismul mai intens și în condiții de deshidratare severă. La nivelul etajului superior, frunzele soiului Aura au produs o cantitate mai mare de CO<sub>2</sub> (Tab. 2), dând dovadă de activitate respiratorie mai înaltă. Deoarece fenotipurile plantelor joacă un rol important în rezistența plantelor și având în vedere că creșterea și dezvoltarea plantelor și răspunsurile acestora la stimuli externi sunt foarte subtile, pentru a înțelege mai bine procesele ce stau la baza creșterii și dezvoltării acestora și mecanismele de interacțiune cu mediul înconjurător, este necesară monitorizarea pe termen lung a fenotipurilor culturilor [6]. Imagistica optică este o metodă de monitorizare care utilizează senzori optici pentru a observa și analiza fenotipurile culturilor [3]. Unii cercetători au combinat imagistica cu fluorescența clorofilei și tehnologia imagistică multi-spectrală pentru a distinge particularitățile răspunsului la stres al culturilor (secetă, carența de nutrienți, patogeni), prin monitorizarea informațiilor fiziologice ale plantelor [3, 6]. Actualmente, diferiți parametri fiziologici și morfologici sunt achiziționați de diverși senzori, cum ar fi camere RGB, Lidar și camere multi- și hiperspectrale, pentru a servi drept suport decizional în managementul plantelor în timp real și a construi scenarii de viitor [4, 5]. Din aceste considerente, în scopul fenotipării plantelor și creării unei baze de date, camera multispectrală Survey 3 a fost utilizată pentru captarea imaginilor de reflectanță a luminii pe parcelele experimentale (foto 4, 5). Prelucrarea ulterioară a imaginilor cu softuri specializate va oferi amelioratorilor oportunități de evidențiere a particularităților genotipurilor în baza caracteristicilor spectrelor de reflectanță și identificarea caracteristicilor relevante pentru crearea de soiuri rezistente.



**Foto 4. Plante sănătoase**



**Foto 5. Plante afectate de temperaturi înalte și deficit hidric**



Specificăm că senzorii camerei multispectrale MAPIR pot fi atașați la drone și aceasta le permite agricultorilor să efectueze diverse activități agricole și să gestioneze eficient culturile, solul, fertilizarea, irigarea etc.

### **Concluzii**

Tehnologiile avansate alături de metodele și procedeele tradiționale de colectare a datelor prin observație și analiză directă pe teren, sunt de un real ajutor, în special, pentru rezolvarea problemelor ce țin de monitorizarea plantelor și a terenurilor agricole pe întreaga perioadă de vegetație.

Senzorii multispectrali s-au arătat a fi eficienți în fenotiparea unor culturi agricole, în stabilirea stării fiziologice a plantelor la diferite faze de dezvoltare, dar și în identificarea unor probleme ale câmpului, demonstrând oportunități de utilizare a acestora în monitorizarea câmpurilor agricole și îmbunătățirea calității serviciilor agroecosistemice.

Fenotiparea cu ajutorul imagisticii hiper/multispectrale permite obținerea unor rezultate științifice valoroase, de precizie înaltă cu referire la sănătatea plantelor.

### **Bibliografie:**

1. DOBRESU, A., SCORZA, L. C. T., TSAFTARIS, S. A., MCCORMICK, A. J. A “Do-It-Yourself” phenotyping system: measuring growth and morphology throughout the diel cycle in rosette shaped plants. *Plant Methods* 13, 95, 2017. doi: 10.1186/s13007-017-0247-6
2. JOSÉ A. PADILLA-MEDINA, LUIS M. CONTRERAS-MEDINA, MIGUEL U. GAVILÁN, IISUS R. MILLAN-ALMARAZ, JUAN E. ALVARO Sensors in Precision Agriculture for the Monitoring of Plant Development and Improvement of Food Production //HindawiJournal of SensorsVolume 2019, Article ID 7138720, 2 pages<https://doi.org/10.1155/2019/7138720>
3. LI, Z., GUO, R., LI, M., CHEN, Y., LI, G. A review of computer vision technologies for plant phenotyping. *Comput. Electron. Agric.* 176, 105672, 2020. 10.1016/j.compag.2020.105672
4. LU, B. DAO, P.D.LIU, J., HE, Y., SHANG, J. Recent Advances of Hyperspectral Imaging Technology and Applications in Agriculture. *Remote Sens.* 2020, 12, 2659. <https://doi.org/10.3390/rs12162659>.
5. RIVERA, G., PORRAS, R., FLORENCIA, R., SÁNCHEZ-SOLÍS, J. P. LiDAR applications in precision agriculture for cultivating crops: a review of recent advances. *Comput. Electron. Agric.* 207, 107737, 2023. 10.1016/j.compag.2023.107737.
6. YAN, B., ZHANG, F., WANG, M., ZHANG, Y., SANLING FU. Flexible wearable sensors for crop monitoring: a review //Front. Plant Sci.2024Sec. Sustainable and Intelligent Phytoprotection. Volume 15, 2024. <https://doi.org/10.3389/fpls.2024.1406074>
7. YIN, H., CAO, Y., MARELLI, B., ZENG, X., MASON, A. J., CAO, C. Soil sensors and plant wearables for smart and precision agriculture. *Adv. Mater.* 33, 2007764, 2021. doi: 10.1002/adma.202007764
8. ZHAO, F., HE, J., LI, X., BAI, Y., YING, Y., PING, J. Smart plant-wearable biosensor for in-situ pesticide analysis //Biosensors and Bioelectronics. Volume 170, 15 December 2020, 112636.

**MICRO AND NANOCOMPOSITES OF GALLIUM OXIDES AND CHALCOGENS AS RADIATION RECEIVERS AND GAS SENSORS**

**MICRO ȘI NANOCOMPOZITE DE OXIZI ȘI CALCOGENI A GALIULUI CA RECEPTORI DE RADIAȚIE ȘI SENZORI DE GAZE**

**Veaceslav SPRINCEAN**  
Universitatea de Stat din Moldova

ORCID ID: 0000-0001-6719-7387  
e-mail: [veaceslav.sprincean@usm.md](mailto:veaceslav.sprincean@usm.md)

**Mihail CARAMAN**  
Universitatea de Stat din Moldova

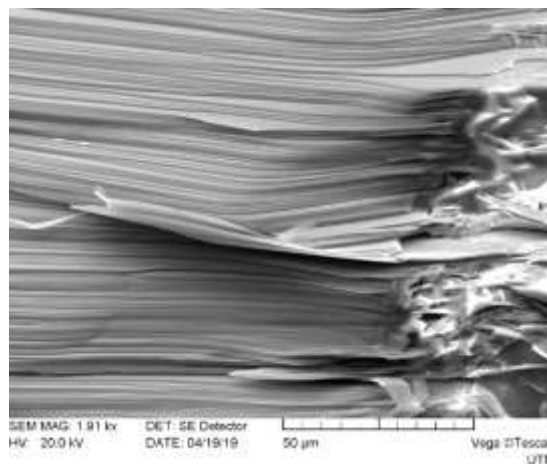
ORCID ID: 0000-0001-8225-8600  
e-mail: [mihailcaraman@yahoo.com](mailto:mihailcaraman@yahoo.com)

**Abstract:** By thermal treatment (TT) in water vapor atmosphere at 750 °C and 900 °C of  $\beta$ -GaS and  $\epsilon$ -GaSe single-crystalline wafers,  $Ga_2S_3/Ga_2Se_3$  - GaS/GaSe and  $\beta$ - $Ga_2O_3$  - GaSe/GaSe layers formed by nanowires and nanopangles photosensitive in the far Ultra-Violet (UVC) region were obtained. The electrical conductivity of  $\beta$ - $Ga_2O_3$  layer on GaS/GaSe substrate increases under the influence of water vapor. The link between the relative humidity of water vapor in the atmosphere and the electrical conductivity of the  $\beta$ - $Ga_2O_3$  layer was established.

**Keywords:** nanowires, nanopangles.  $\beta$ - $Ga_2O_3$ , GaS, GaSe,  $Ga_2S_3$ ,  $Ga_2Se_3$ .

**Introducere**

Compușii galiului cu sulful și seleniu (GaS și GaSe) sunt materiale cu proprietăți caracteristice semiconductorilor cu conductibilitate electrică prin electroni și goluri respectiv [1, 2]. Cristalitele de GaS și GaSe sunt formate din împachetări planare de atomi S/Se și Ga de tipul S/Se – Ga – Ga – S/Se cu legături iono-covalente în interiorul pachetului și legături polarizaționale slabe (legături Van-der-Waals) între împachetări.



**Figura 1** Imaginea SEM a secțiunii transversale a plăcii de GaS

(c). În cristale planele atomare S/Se megieșe sunt aranjate astfel încât se formează fisuri cu lățimea de ~0,3 nm în care ușor difuzează atomi și molecule [3]. Acest proces este stimulat și de faptul că legăturile de valență la suprafața împachetărilor stratificate sunt închise prin ce este mică probabilitatea ca atomii difuzați să genereze noi proprietăți fizico-chimice în particular a cristalelor GaS și GaSe [4]. Studiile recente au demonstrat că atât GaS cât și GaSe sunt materiale cu perspectivă aplicativă în senzori de gaze, fotoreceptori pentru domeniul vizibil și efectivi fotocatalizatori pentru disocierea apei, producere de H<sub>2</sub> și degradarea compușilor organici toxici [5, 6]. După cum sa demonstrat prin măsurători a diagramelor XRD și a spectrelor Raman tratamentul termic (TT) în flux de argon a plăcilor cristaline de GaS și GaSe la temperaturi care nu depășesc 700 °C au loc transformări de fază GaS-Ga<sub>2</sub>Se<sub>3</sub> [7] și GaSe-Ga<sub>2</sub>Se<sub>3</sub> [8]. La temperaturi 820 ÷ 900 °C în atmosferă cu oxigen sau vapori de apă are loc emisia componentei volatile (S/Se) și formarea politipului β-Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub> este un compus chimic polimorf (α, β, γ, δ, ε și κ). Proprietăți fizice (optice, electrice) stabile într-un interval larg de temperaturi sunt caracteristice pentru faza β-Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Politipul α-Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub> trece în β-Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub> la temperaturi mai mari de 700 °C [9-11]. β-Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub> este un semiconductor de tip n cu lărgime a benzii interzise cuprinse în intervalul de energii 4,6÷4,9 eV este transparent optic în regiunea vizibilă și infraroșu apropiat și este un bun conductor de electricitate [12, 13]. Straturile subțiri formate din nanoformațiuni (nanofire, nanolame ș.a.) de β-Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub> posedă conductibilitate electrică scăzută [14, 15].

#### **Materiale și metodica experimentului**

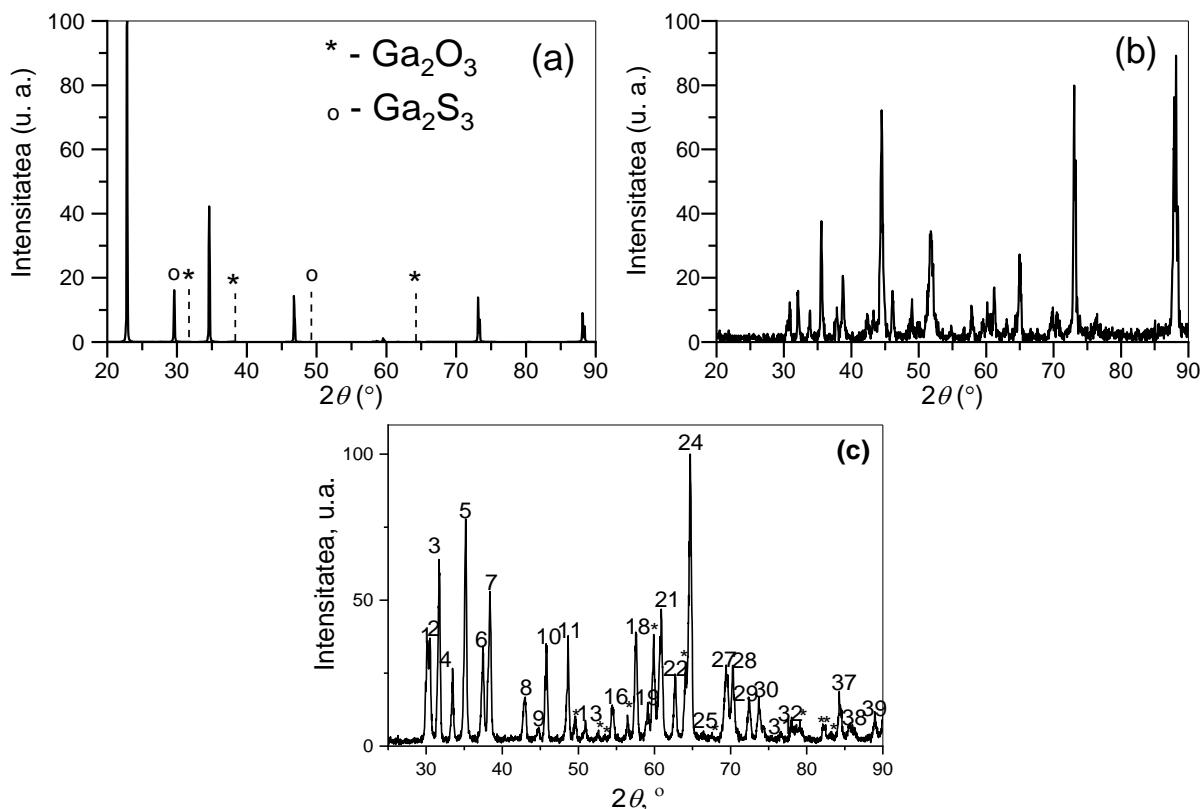
Compușii GaS și GaSe au fost sintetizați din elemente chimice Ga(5N), S(5N) și Se (6N) luate în cantități stoichiometrice în fiole din cuarț într-un cuptor la temperatura 1200 °C. Monocristalele GaS și GaSe cu masa ~20 g au fost obținute prin metoda Bridgman într-un cuptor cu două sectoare termice cu temperatura 1100 °C și 850 °C respectiv. Prin trecerea topiturii prin gradientul de temperaturi de ~100 °C/cm au fost obținute monocristale perfecte cu diametrul ~12 mm și lungimea ~25 mm. Din monocristale masive prin despicare au fost obținute plăci plan paralele cu grosimea 200÷400 μm. Structurile β-Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-GaS și β-Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-GaSe au fost obținute prin TT în aer cu vapori de apă la temperatura 800÷900 °C. Mostrele experimentale de receptori de radiație ultravioletă (UV) și de senzori de umiditate au fost fabricate pe baza straturilor micro și nanostructurale din β-Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub> obținute prin TT în atmosferă normală la temperaturi din intervalul de la 750 °C până la 900 °C a plăcilor monocristaline de GaS și GaSe cu grosimi 150÷250 μm.

Structura și compoziția straturilor obținute la temperatura 900 °C au fost studiate prin difracție a razelor X cu lungimea de undă λ<sub>CuKα</sub>=1,54060 Å la instalația de tipul Seifert 3000 TT și pe baza spectrelor micro-Raman la excitare cu lungimea de undă λ=532 nm înregistrate la instalația WITec Alpha 300 RA (Ulm, Germany). Morfologia suprafeței straturilor micro și nanostructurate de β-Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub> obținute prin TT a plăcilor de GaS/GaSe a fost analizate pe baza imaginilor înregistrate cu ajutorul microscopului cu scanare a fascicolului de electroni SEM Zeiss Ultra Plus. Proprietățile optice în regiunea marginii benzii de absorbție optică a straturilor de β-Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub> au fost studiate la temperatura camerei folosind spectrele de reflexie difuză. Caracteristicile spectrale a fotorăspunsului straturilor de β-Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub> au fost înregistrate la o instalație spectrofotometrică pe baza monocromatorului MDR-2 la excitare cu radiația emisă de lampa cu arc electric în Xe cu puterea de 1000 W. Intensitatea fotocurentului a fost înregistrată cu electrometru V7-30. De asemenea și răspunsul senzorilor la umiditate a fost înregistrat cu electrometrul V7-30. În calitate de electrozi pe suprafața straturilor din β-Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub> cu aria 15 mm<sup>2</sup> au fost depuse două benzi de In la distanță ~3 mm și.

#### **Rezultate experimentale și interpretări**

În Figura 2 sunt prezentate diagramele XRD a materialului obținut prin TT la temperaturile 750 °C și 900 °C timp de 6 ore în atmosfera plăcilor monocristaline β-GaS. După cum se vede din această prezentare liniile intense de la unghiurile 2θ: 22,94°; 33,64°; 46,85°; 73,82° conform cardului Card PDF 740-277 corespund difracției razelor X cu λ<sub>CuKα</sub>=1,54060 Å de la ansamblurile de plane cristalografice a

crystalitelor de GaS cu rețea cristalină hexagonală. Totodată în această diagramă se evidențiază o linie intensă la  $2\theta$ :  $20,66^\circ$  și alte două linii de intensitate mică la  $2\theta$  egal cu  $49,40^\circ$  și  $63,93^\circ$  care conform cardului PDF 760752 corespund cristalelor  $\text{Ga}_2\text{S}_3$  cu rețea cristalină monoclinică. În diagrama XRD a eșantionului obținut la temperatura  $900^\circ\text{C}$  (Figura 2b) lipsesc reflexiile de la rețeaua hexagonală a cristalelor GaS fapt care indică despre oxidare completă a eșantionului.

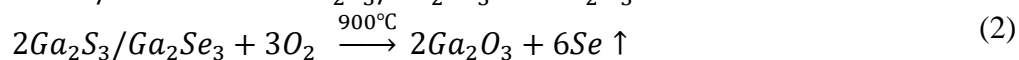
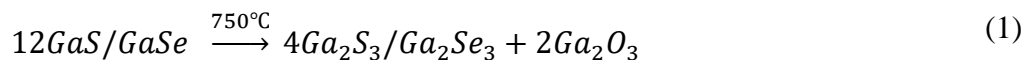


**Figura 2** Diagrama XRD a materialului obținut prin TT în atmosferă a plăcilor monocristaline de GaS timp de 6 ore la temperatura  $750^\circ\text{C}$  (a) și  $900^\circ\text{C}$  (b), și a compusului  $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$  obținut prin TT în atmosferă la temperatura  $900^\circ\text{C}$  timp de 6 ore a cristalelor  $\epsilon\text{-GaSe}$  (c)

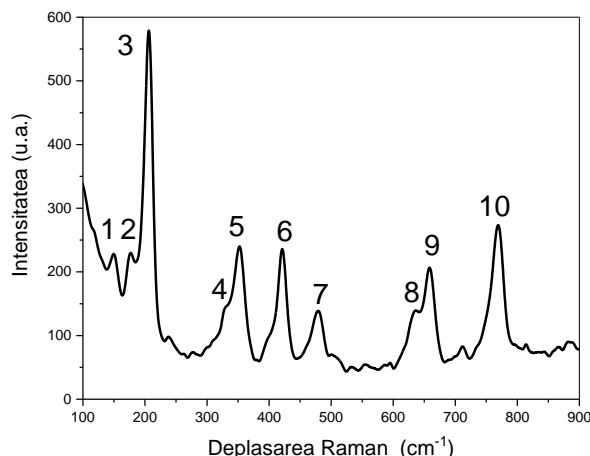
Liniile XRD intense la unghiurile  $2\theta$  egal cu  $35,15^\circ$ ;  $44,73^\circ$ ;  $52,48^\circ$ ;  $72,40^\circ$  și  $82,61^\circ$  conform cardului PDF 741-776 corespund reflexelor de la planele atomare cu indicii Miller (1 1 1); (1 0 -6); (2 1 5); (4 1 -1); (2 2 4) a rețelei monoclinice  $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$  cu parametrii  $a=5,800\text{ \AA}$ ;  $b=3,040\text{ \AA}$ ;  $c=12,230\text{ \AA}$  și  $\beta=103,70^\circ$ . Totodată în această diagramă XRD se evidențiază un șir de linii cu intensitate mică la unghiurile  $2\theta$  egal cu  $29,70^\circ$ ;  $31,71^\circ$ ;  $43,30^\circ$ ;  $76,20^\circ$ , care conform cardului PDF 760-752 se identifică ca reflexe de la ansamblurile de plane cu indicii (0 0 2); (-3 1 2); (1 3 0) a rețelei monoclinice  $\text{Ga}_2\text{S}_3$  cu parametrii  $a=11,14\text{ \AA}$ ;  $b=6,411\text{ \AA}$ ;  $c=7,038\text{ \AA}$  și  $\beta=121,22^\circ$ . Putem conchide că eșantionul format la temperatura  $750^\circ\text{C}$  este compus din cristalite de GaS cu o cantitate mică de  $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ , pe când materialul obținut la temperatura  $900^\circ\text{C}$  este compus din cristalite de  $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$  cu o mică cantitate de cristalite de  $\text{Ga}_2\text{S}_3$ .

Diagrama XRD a materialului obținut prin TT la  $900^\circ\text{C}$  în atmosferă normală timp de 6 ore a monocristalelor  $\epsilon\text{-GaSe}$  este prezentată în Figura 2 c.

În intervalul unghiurilor  $2\theta$  de la  $10^\circ$  la  $90^\circ$  se evidențiază 22 linii care conform cardului PDF 43-1012 se identifică ca reflexie a razelor X cu lungimea de undă  $\lambda_{\text{CuK}\alpha}=1,54060\text{ \AA}$  de la ansamblurile de plane atomare din rețeaua monoclinică  $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ . Pe baza analizei diagramelor XRD putem admite că transformarea compușilor  $\beta\text{-GaS}$  și  $\epsilon\text{-GaSe}$  la temperaturi sub punctul de topire în  $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$  poate fi descrisă prin reacția:



Compoziția chimică și structurală a stratului de la suprafața produsului obținut prin TT în atmosferă la temperatura 900 °C timp de 6 ore a plăcilor monocristaline de GaS și GaSe a fost studiată prin intermediul spectroscopiei Raman.

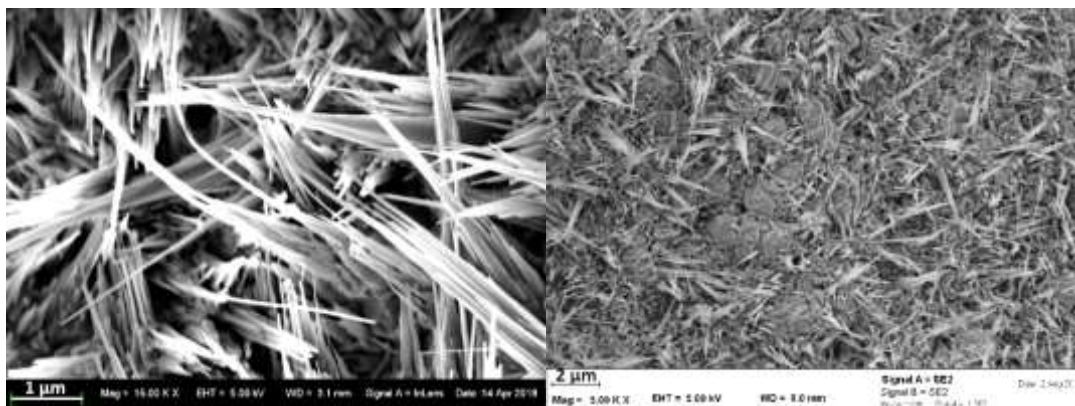


**Figura 3** Spectrul micro-Raman a stratului de  $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$  obținut prin TT în aer la temperatura 900 °C timp de 6 ore a plăcilor monocristaline de  $\beta\text{-GaS}$

În Figura 3 este prezentat spectrul micro-Raman a stratului de material format prin TT în aer la temperatura 900 °C timp de 6 ore a plăcilor monocristaline de  $\beta\text{-GaS}$ . În intervalul numerelor de undă de la 100  $\text{cm}^{-1}$  până la 900  $\text{cm}^{-1}$  bine se evidențiază cinci picuri intense cu maxime centrate la numerele de undă 200  $\text{cm}^{-1}$ ; 349  $\text{cm}^{-1}$ ; 415  $\text{cm}^{-1}$ ; 655  $\text{cm}^{-1}$ ; 762  $\text{cm}^{-1}$  și cinci picuri cu intensitate mică cu maxime bine pronunțate la numerele de undă 146  $\text{cm}^{-1}$ ; 173  $\text{cm}^{-1}$ ; 322  $\text{cm}^{-1}$ ; 473  $\text{cm}^{-1}$  și 629  $\text{cm}^{-1}$ . După cum sa menționat mai sus liniile de difracție a razelor X cu  $\lambda_{\text{CuK}\alpha}=1,54060 \text{ \AA}$  au fost identificate ca reflexie de la rețeaua monoclinică a cristalitelor  $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ . Rețeaua cristalină  $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$  aparține la grupa spațială C2/m. Acestei grupe spațiale îi corespund 15 moduri de simetrie active Raman și 12 moduri active în infraroșu. Spectrele Raman a cristalelor  $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$  au fost bine studiate în lucrările [16, 17]. Din compararea spectrelor Raman din Figura 3 cu rezultatele experimentale prezentate în această lucrare putem conchide că picurile Raman din Figura 3 corespund modurilor simetrice de vibrație a rețelei monoclinice  $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ .

Ținând seama că cristalele  $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$  sunt transparente pentru radiația cu lungimea de undă 532 nm putem conchide că stratul de material format prin TT în aer la temperatura 900 °C este compus din cristalite de  $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ .

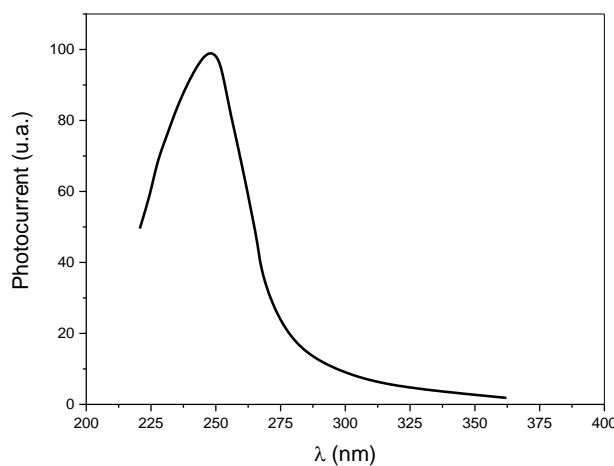
Prin TT în aer la temperatura 900 °C timp de 6 ore suprafața plăcilor de  $\beta\text{-GaS}$  și  $\epsilon\text{-GaSe}$  se acoperă cu un strat de material de culoare albă care intens difuzează lumina incidentă. Imaginele SEM a suprafeței stratului de  $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$  format pe suprafața plăcilor de GaS și GaSe sunt prezentate în Figura 4 a și b respectiv.



**Figura 4** Imaginea SEM a stratului de  $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$  format pe suprafața cristalelor  $\beta\text{-GaS}$  (a) și  $\epsilon\text{-GaSe}$  (b)

După cum se vede din aceste imagini straturile de  $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$  sunt formate din ansambluri de micro și nanofire/nanopanglici cu lungimi care variază de la unități până la  $\sim 10\ \mu\text{m}$  orientate haotic. Ne cătând la faptul că straturile de nanofire - nanolame au fost identice și că plăcile de  $\beta\text{-GaS}$  și  $\epsilon\text{-GaSe}$  au structura lamelată dar se deosebesc prin tipul purtătorilor de sarcină majoritari ( $n\text{-GaS}$  și  $p\text{-GaSe}$ ) se vede că nanoformațiunile formate pe placa GaS sunt mai dezvoltate și posedă dimensiuni medii de  $\sim 2$  ori mai mari față de acestea de pe suprafața plăcilor de GaSe. Conform modelelor propuse în lucrarea [18] procesul de formare a nanofirelor are loc prin condensarea vaporilor de  $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$  obținuți prin sublimare termică a compusului  $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ .

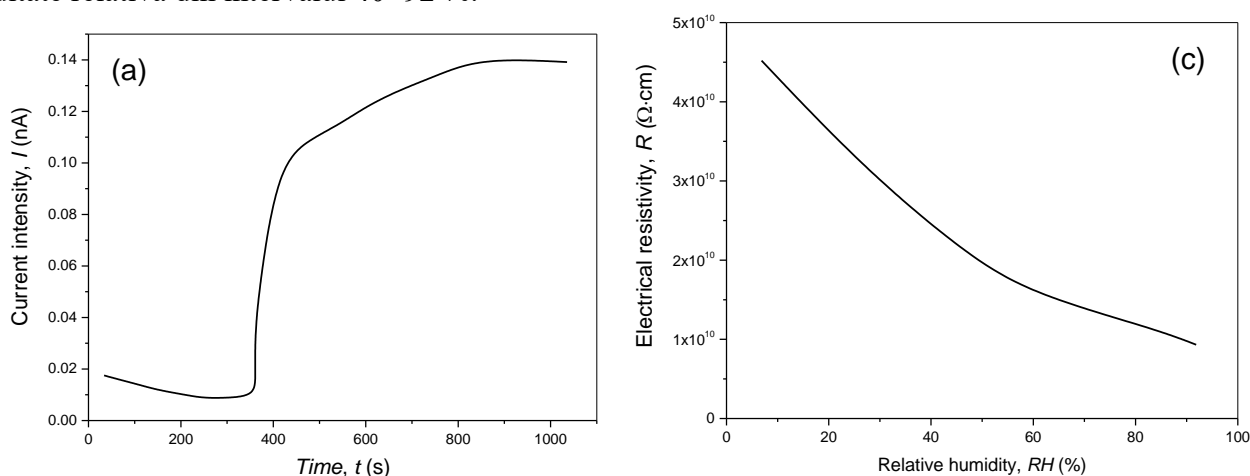
Receptorul de radiație UVC caracteristicile fotoelectrice a căruia au fost studiate în lucrare a fost confecționat dintr-o placă de  $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$  cu grosimea  $0,25\ \text{mm}$  cu aria suprafeței  $5 \times 8\ \text{mm}^2$ . Pe una din suprafețe au fost depuse două fâșii de In la distanța de  $\sim 5\ \text{mm}$  una de alta, după care eșantionul a fost supus TT la temperatura  $250\ ^\circ\text{C}$  timp de 30 minute. Intensitatea curentului la întuneric la tensiunea aplicată pe electrozi de  $30\ \text{V}$  a fost de  $2,4 \cdot 10^{-10}\ \text{A}$ . La iradierea suprafeței receptorului cu radiație UVC cu maxim de intensitate centrat la lungimea de undă  $254\ \text{nm}$  și densitatea  $\sim 0,20\ \mu\text{W}/\text{cm}^2$  intensitatea curentului crește timp de  $480\ \text{s}$  până la  $\sim 130\ \text{nA}$ , ceia ce corespunde fotorăspunsului de  $\sim 26\ \text{mA}/\text{W}$  la un raport  $I_{ph}/I_d \approx 540$ . Acest raport pentru fotoreceptor UVC pe bază de straturi subțiri de  $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$  obținute prin diferite procedee tehnologice variază de la  $\sim 10$  [19] până la  $\sim 10^3$  [20]. Dependența spectrală a fotocurentului acestui fotodetector este prezentată în Figura 5.



**Figura 5** Dependența spectrală a fotocurentului receptorului pe bază de  $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$  nanostructurat

După cum se vede din această prezentare maximul de fotosensibilitate este de lungimea de undă  $\sim 250$  nm. Micșorarea fotocurentului la lungimea de undă  $\lambda > 250$  nm este determinată de amplificarea procesului de recombinare a purtătorilor de sarcină de neechilibru prin intermediul stărilor de suprafață în micro și nanofirele de  $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ , pe când micșorarea fotocurentului la lungimi de undă mai mari de 250 nm este determinată de micșorarea coeficientului de absorbție în regiunea marginii benzii fundamentale. În intervalul lungimilor de undă  $250 \div 275$  nm fotocurentul se micșorează de  $\sim 9$  ori.

Conductibilitatea electrică a straturilor din nanofire/nanolame de  $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$  obținute prin TT în aer la temperatura  $900^\circ\text{C}$  timp de 6 ore a plăcilor de n-GaS este influențată de prezența vaporilor de apă și ale unor compuși organici volatili (acetone, toluen, benzol). Senzorul pentru detectarea acestor vapori a fost confecționat dintr-o placă din nanofire de  $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$  cu aria suprafeței de  $\sim 30\text{ mm}^2$  pe suprafața laterală a cărei a fost depuse prin evaporare în vid, două panglici de In care au servit ca electrozi la măsurători a conductibilității electrice. Senzorul de umiditate a fost testat în intervalul de temperaturi  $0 \div 48^\circ\text{C}$  și umiditate relativă din intervalul  $40 \div 92\%$ .



**Figura 6** Dependența intensității curentului prin stratul de  $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$  la aplicarea tensiunii de 20 V, în funcție de timpul expunerii în atmosferă cu umiditatea relativă de 38% (a). Variația rezistenței senzorului la marginea umidității relative de la  $\sim 10\%$  până la 90% (b)

În Figura 6 a este prezentată variația curentului prin stratul de  $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$  în funcție de timp la tensiunea aplicată de 20 V și umiditatea relativă (UR) de 38%. După cum se vede din această prezentare curentul de saturație ( $I_{st}$ ) de  $\sim 0,13$  nA după 450 s. După cum se vede din Figura 6 b la variația umidității relative de la 10% până la 90% rezistența specifică a eșantionului se micșorează de  $\sim 5$  ori. Pentru comparație, rezistența senzorului pe baza unui nanofir de  $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$  la umiditate de 80% în aer și temperatura de  $25^\circ\text{C}$  se micșorează timp de 8 min de  $\sim 10$  ori de la  $1,1 \cdot 10^{11} \Omega$  până la  $\sim 10^{10} \Omega$  [21].

### Concluzii

Straturi omogene de ansambluri de micro și nanofire/nanopanglici de  $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$  au fost obținute prin TT în aer la temperatura  $900^\circ\text{C}$  timp de 6 ore a plăcilor nanocristaline de GaS și GaSe. Suprafața plăcilor monocristaline de GaS și GaSe TT la temperatura  $750^\circ\text{C}$  în aer se acoperă cu un strat difuz din cristalite de GaS/GaSe și nanocristalite de  $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ . Receptorul de radiație UVC a fost confecționat dintr-o placă din nanofire/nanopanglici de  $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$  obținută prin TT în aer a plăcii monocristaline de GaS la temperatura  $900^\circ\text{C}$  timp de 6 ore. În calitate de electrozi sau folosit straturi subțiri de In. Banda de fotosensibilitate a receptorului acoperă intervalul de lungimi de undă de la 220 nm până la 290 nm. Sa stabilit că conductibilitatea electrică a straturilor din ansambluri de nanofire/nanolame de  $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$  se schimbă sub influența vaporilor de apă.

Pe baza straturilor din naofire de  $\beta$ -Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub> sa confecționat un senzor rezistiv de vapori de apă pentru umiditate relativă din intervalul 38÷90 %. Procesul de măsurare a curentului prin eșantion depinde de durata expunerii la vapori și atinge saturație timp de ~8 min.

#### Referințe:

1. SPRINCEAN, V., et al. Influence of the air humidity on the electrical conductivity of the  $\beta$ -Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-GaS structure: air humidity sensor. In: Applied Physics A, 2022, vol. 128, no. 4, p. 1-7.
2. SPRINCEAN, V., et al. Photodetector Based on  $\beta$ -Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Nanowires on Ga<sub>x</sub>Se<sub>1-x</sub> Solid Solution Substrate. in International Conference on Nanotechnologies and Biomedical Engineering. 2023. Springer.
3. BROJERDI, G, et al. Interface between a III–VI intercalation compound and a solid electrolyte: XPS and RHEED study. In: Applied surface science, 1998, vol. 126, no. 3-4, p. 273-280.
4. ZERROUKI, M., et al. Thermal stability of a partly Fe-intercalated GaSe film. In: Applied surface science, 2001, vol. 181, no. 1-2, p. 160-165.
5. KOUSER, S., et al. 2D-GaS as a Photocatalyst for Water Splitting to Produce H<sub>2</sub>. In: Small, 2015, vol. 11, no. 36, p. 4723-4730.
6. D'OLIMPIO, G., et al. Enhanced electrocatalytic activity in GaSe and InSe nanosheets: the role of surface oxides. In: Advanced Functional Materials, 2020, vol. 30, no. 43, p. 2005466.
7. FILIPPO E., et al. Phase and morphological transformations of GaS single crystal surface by thermal treatment. In: Applied Surface Science, 2012, vol. 261, no. p. 454-457.
8. BEECHEM, Thomas E., et al. Oxidation of ultrathin GaSe. In: Applied physics letters, 2015, vol. 107, no. 17, p. 173103.
9. ZINKEVICH, M., ALDINGER, F. Thermodynamic assessment of the gallium-oxygen system. In: Journal of the American Ceramic Society, 2004, vol. 87, no. 4, p. 683-691.
10. CORA, I., et al. The real structure of  $\epsilon$ -Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub> and its relation to  $\kappa$ -phase. In: CrystEngComm, 2017, vol. 19, no. 11, p. 1509-1516.
11. ÅHMAN, J., SVENSSON, G., ALBERTSSON, J. A reinvestigation of  $\beta$ -gallium oxide. In: Acta Crystallographica Section C: Crystal Structure Communications, 1996, vol. 52, no. 6, p. 1336-1338.
12. UEDA, N., et al. Synthesis and control of conductivity of ultraviolet transmitting  $\beta$ -Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub> single crystals. In: Applied physics letters, 1997, vol. 70, no. 26, p. 3561-3563.
13. GALAZKA, Z., et al. On the bulk  $\beta$ -Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub> single crystals grown by the Czochralski method. In: Journal of Crystal Growth, 2014, vol. 404, no. p. 184-191.
14. BALDINI, M., et al. Semiconducting Sn-doped  $\beta$ -Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub> homoepitaxial layers grown by metal organic vapour-phase epitaxy. In: Journal of Materials Science, 2016, vol. 51, no. p. 3650-3656.
15. SUI, Y., et al. A flexible and transparent  $\beta$ -Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub> solar-blind ultraviolet photodetector on mica. In: Journal of Physics D: Applied Physics, 2020, vol. 53, no. 50, p. 504001.
16. DOHY, D, LUCAZEAU, G, REVCOLEVSCHI, A. Raman spectra and valence force field of single-crystalline  $\beta$  Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. In: Journal of Solid State Chemistry, 1982, vol. 45, no. 2, p. 180-192.
17. CUSCÓ, R., et al. Lattice dynamics of a mist-chemical vapor deposition-grown corundum-like Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub> single crystal. In: Journal of Applied Physics, 2015, vol. 117, no. 18, p. 185706.
18. FILIPPO, E., et al. Synthesis of  $\beta$ -Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub> microstructures with efficient photocatalytic activity by annealing of GaSe single crystal. In: Applied Surface Science, 2015, vol. 338, no. p. 69-74.
19. GHOSE, S., et al. Growth and characterization of  $\beta$ -Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub> thin films by molecular beam epitaxy for deep-UV photodetectors. In: Journal of Applied Physics, 2017, vol. 122, no. 9, p.
20. LIN, R, et al. High-performance graphene/ $\beta$ -Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub> heterojunction deep-ultraviolet photodetector with hot-electron excited carrier multiplication. In: ACS applied materials & interfaces, 2018, vol. 10, no. 26, pp. 22419-22426.



21. Domènech-Gil, G., et al. Room temperature humidity sensor based on single  $\beta$ -Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nanowires. In: Proceedings. 2019. MDPI.

**Finanțare:** Această cercetare a fost finanțată de Ministerul Educației și Cercetării al Republicii Moldova în cadrul subprogramului nr. 011210, „Metode fizice avansate și tehnologii bazate pe UAV pentru monitorizare complexă, evaluare și modelare”.

## UTILIZAREA DRONELOR ÎN PROCESELE EDUCATIONALE

### THE USE OF DRONES IN EDUCATIONAL PROCESSES

**Marianna SAVVA,**  
Moldova State University

ORCID: 0000-0003-0618-5360  
e-mail: savva.mariana90@gmail.com

*Abstract. The development of information and communication technologies is gradually replacing traditional teaching in a training context. Widely used, these technologies make teaching and learning successful and interesting for both trainees and trainers. Given the rapid evolution of new technologies, the use of drones in education has a very high impact, especially in science, technology, engineering and mathematics (STEAM). The integration of ICT in teaching and learning processes requires trainers to acquire a certain level of different skills to cope with all the challenges associated with their integration in educational processes. Drones called flying robots, including unmanned aerial vehicles (UAV) that can travel thousands of kilometers, or fly in confined spaces, have very recently expanded in educational environments, attracting significant attention due to their potential to support learning, and are considered as an alternative educational strategy for innovating learning environments and contexts.*

*Key words: drones; flying drones; unmanned aerial vehicles; education; trainable; STEAM.*

According to the European Commission, by 2050, the drone industry could create around 1500000 jobs in the European Union, spread among manufacturers, operators and other actors providing drone-enabling technologies such as flight control, sensors and energy. For the providers of educational activities and continuing vocational training the use of drones in activities allows to ensure a qualitative education process. Integrating UAVs into vocational training allows organizations to diversify their educational offer and adhere to modern educational trends. By including innovative courses that use cutting-edge technologies, the relevance of training in the face of changes in the labor market is ensured.

As regards the selection of appropriate learning models, we note that there is a tendency to use motivational models, as well as individualized and active learning, collaboration and communication.

In educational processes it is necessary to be specific in the choice of drone to produce the required results. Depending on the environment of use, the nature of the task and the age of the learners, an appropriate selection is necessary to improve learning outcomes [1, 2, 3].

Selecting the type of drone refers to choosing the appropriate model according to the environment that would be used and the task being performed. In educational activities the trainer has to take into account the specificity of the drone, as not every type of drone is suitable for every educational activity. In terms of usability, drones are divided into the following categories:

- Unmanned Aerial Vehicle (UAV).
- Unmanned Surface Vehicle (USV).
- Unmanned Underwater Vehicle (UUV).
- Unmanned Ground Vehicle (UGV).
- High altitude pseudo satellites (HAPS) [4].

Depending on the number of engines and their power, drones can be classified into tricopters, quadcopters, hexacopters, octocopters, etc.

✓ The tricopter is a helicopter-like drone, which has three rotors and servo-driven propulsion units1;

✓ Quadcopter is a flying machine that has four rotors/propellers. A quadcopter is stabilized using

different technologies, but the main stabilizers are gyroscopes;

- ✓ Hexacopters are remote-controlled flying devices that have six rotors/propellers. The hexacopter is a type of technologically advanced drone characterized by good maneuverability;

- ✓ Octocopters have eight engines and propellers. These drones have high traveling speed, high safety and stability and can fly at extreme heights, even in adverse weather conditions.

Regardless of the type of drone, their most important characteristics are generally the following: maximum operating distance; flight/travel time; flight/travel speed; connectivity; navigation system used; type and number of sensors; on-board GPS system; operating frequency; weight.

Other drone performance characteristics are as follows:

- ✓ availability to mount devices of different types, sizes and weights (cameras, video cameras, infrared cameras, radars, etc.);

- ✓ the ability to return independently to the take-off point (come-home option);

- ✓ the ability to remain in a given position (position hold);

- ✓ the ability to remain at a fixed altitude (elevation hold);

- ✓ small size - they are easy to maneuver and can pass through tight spaces;

- ✓ methods of data transmission: via radio waves, via the Internet, data coming on PCs, tablets or smartphones;

- ✓ operating range at which the battery can be charged from photovoltaic panels;

- ✓ shock resistance, so it can operate regardless of weather conditions.

Safety refers to all the factors that should be prepared and analyzed before, and during the use of drones to eliminate injury or destruction of property. Finally, the knowledge of both the trainer and the trainees is fundamental to ensure knowledge transfer and the safety of the whole process.

The need for social relationships or the development of self-esteem plays an important role in motivating the trainee to engage emotionally and intellectually in an educational process. According to Maslow's theory, the need for learning and participation in educational programs stems from different factors, such as meeting the need for security (finding a job), developing social relationships and strengthening self-image or the need for self-actualization.

Drones have significant potential in education, with the ability to transform how learners learn and how activities are delivered. From exploring the environment to developing technical and creative skills, drones can enrich the educational experience in many ways. If used correctly, drones can become a valuable teaching tool, stimulating active learning, developing the technical and creative skills of formables and contributing to a deeper understanding of the world around them.

The use of drones in educational processes is an innovative and exciting approach that can transform the way learners learn and interact with different concepts. Drone technology can add a practical and interactive element to theoretical learning, facilitating a wide range of educational activities. The humanistic approach in education is based on a number of fundamental premises and values that guide educational activity. Here are some of the key premises of the humanist approach in education:

- 1) Respect for the individual: the humanist approach emphasizes respect for the uniqueness and dignity of each formative. Each individual is considered to have an individual potential for development and learning, and the role of education is to facilitate this development in a respectful and empathetic way.

- 2) Formative-centered learning: Instead of focusing solely on teaching content, the humanistic approach puts the learner at the center of the educational process. It recognizes that learning is more effective when it is personalized to take into account the needs, interests and learning pace of each subject.

3) **Experiential learning:** The humanistic approach promotes learning based on experience and active involvement. Learners learn best when they are involved in hands-on activities that allow them to explore, experiment and understand topics in a concrete way.

4) **Belief in human potential:** The humanistic approach believes that people have the capacity to develop their potential and achieve their goals. It encourages learners to take responsibility for their own learning and development.

5) **Emotion and affectivity:** The humanistic approach recognizes the importance of emotions and affectivity in the learning process. Learners are seen as complex human beings and their emotional and social aspects are taken into account in the educational process.

6) **Fostering positive relationships:** The humanistic approach promotes positive relationships between trainers and trainees. These relationships are based on trust, empathy and open communication, creating an environment where trainees feel safe to express their ideas and develop their potential.

7) **Authentic assessment:** Within the humanistic approach, assessment focuses not only on knowledge and grades, but also on the overall development of the trainees, the progress of each individual. Evaluation focuses on the estimation of competences and skills, on the development of each individual [5].

This humanistic approach of using drones in educational processes demonstrates the innovative character of these processes. In the following we list some ways in which drones can be integrated into educational processes [4]:

#### **Geography and environmental studies**

✚ **Mapping and topographic maps:** trainees can use drones to create detailed maps of a specific geographical area or region. This can help in understanding topography, geological scales and processes, climate change and its effects on the environment.

✚ **Monitoring the environment:** Drones are used to collect data about natural environments (forests, rivers, mountains) and can provide a concrete example of how technology can be used to protect and monitor the environment; to monitor natural habitats as well as to track animal migration or observe weather phenomena. Through drones they can learn about pollution, for example by monitoring forests, rivers or urban areas using drones equipped with cameras to analyze the impact of human activities on the environment. Drones can help collect data for research on biodiversity, sustainable agriculture and conservation of natural resources.

#### **Natural sciences and physics**

✚ **Aerodynamics studies:** Drones are excellent examples of the use of physics principles such as aerodynamics, levitation forces and object motion. It is possible to analyze how the different components of the drone interact to allow it to fly.

✚ **Applied physics experiments:** pupils can learn about the laws of motion, kinetic energy and carry out experiments to measure the drone's speed, altitude or flight time;

✚ **Using drones can help students understand complex engineering, programming and robotics concepts.** In a technology course, students can learn how to build and program drones, gaining useful STEM (Science, Technology, Engineering and Math) skills.

#### **Math**

✚ **Calculating distance and angles:** Using drones, students can learn to apply mathematical formulas to calculate the distance traveled by drones or to measure angles and altitudes during flights.

✚ **Data Simulations:** Data collected by the drones, such as GPS coordinates and other information, can be used to create graphs and analyze statistics, giving students a hands-on approach to mathematical theory, calculating distances, speeds, and altitude.

#### **Technology and Engineering**

✚ Building and Design Projects: Trainees can learn how to design and build drones, engineering and technology studies. This process can include learning about electrical circuits, programming, sensors and mechanical components.

✚ Programming and Automation: Drones are controlled by software, which means that students can learn programming and how to create algorithms to make drones perform automated tasks or follow predefined paths.

### **Arts Education**

✚ Visual and cinematic projects: Drones can be used for filming, aerial photography or in film productions, offering a new perspective on visual art. The trainers can learn filming techniques and create their own visual projects. Drones can be used to explore new frontiers of visual art, enabling the creation of films, aerial photography or organize video art performances using drones. This enables creative thinking, combining technology with artistic expression.

✚ Creative interactivity: Drones can be used to create interactive art installations or explore ways to express visual ideas from the air.

### **History and Archaeology**

✚ Exploring historical sites: Drones can be used to study and document inaccessible or dangerous historical or archaeological sites, and students can learn about archaeological research processes through aerial imagery.

✚ Virtual reconstruction: Data collected by drones can be used to create 3D reconstructions of historical monuments or artifacts.

### **Physical and Sports Education**

✚ Athlete training: Drones can be used to analyze athletes' movements and help improve technique by capturing images from different angles.

✚ Events and competitions: Students can organize drone competitions, which not only develop their technical skills, but also foster team spirit and healthy competition.

✚ Drones can be used to analyze sports technique and track performance in different sports: For example, in physical education, drones can film football or basketball games, and students can analyze movements and tactics using the footage. This kind of visual feedback can help improve sports performance.

### **Security and Ethics**

✚ Discussing the ethics of technology: The use of drones in education can provide opportunities to discuss the impact of technology on privacy and the legal regulations related to drone flights, such as flight permits or restrictions in certain areas.

### **Educational simulations and games**

Drones can be used to create simulations or interactive educational games

✚ Participate in drone competitions or races involving route planning and flight scheduling, developing problem-solving and decision-making skills.

✚ Drones can also be used to create interactive scenarios for learning history, science or math concepts.

**Developing leadership and collaboration skills.** Operating drones in teams can foster leadership, collaboration and coordination skills. Learners can work in groups to plan flights, understand strategies and solve technical problems, developing teamwork skills. In addition, they can learn about the ethics and regulations surrounding drone use, such as privacy and flight safety.

### **Benefits of using drones in education:**

- Improved active learning skills: Drones allow students to actively participate in the learning process through experimentation and direct interaction with technology.

- Stimulate creativity: Students can learn through creativity and innovation, developing problem-

solving skills.

- Enrich the learning experience: Drones offer a hands-on learning method, combining theory with application in a real and engaging way.

### **Challenges**

Despite the advantages, implementing drones in education can also face some challenges:

- Costs: purchasing drones and the necessary equipment is expensive.
- Legal regulations: there are legislative regulations on the use of drones, especially in urban areas or near schools, which need to be respected.
- Teacher training: The people using drones need to be properly trained to use drones for educational purposes and to properly manage these types of activities.

In conclusion, integrating drones in education can enrich the learning experience, develop technical skills and stimulate creativity and critical thinking in students. Their use for educational purposes is an important step towards training a new generation of young people who are ready to face the technological challenges of the future.

### **References:**

1. FOKIDES, E., PAPADAKIS, D., KOURTIS-KAZOULLIS, V. To drone or not to drone? Rezultatele unui studiu pilot în cadrul școlii primare. In: *Journal of Computers in Education*, 2017, 4, pp.v339-353.
2. LEE, H.S., LEE, J., KIM, H.C., SHIN, J.E. Efectul feedback-ului de imagine prin drone asupra satisfacției elevilor de școală primară cu privire la Clase de fotbal după școală. *S. Afr. J. Res. Sport Phys. Educ. Recreat.* 2021, 43, 69+.
3. JOHAL, W., GATOS, D., YANTAÇ, A.E., OBAID, M. Imaginarea dronei sociale în educație. *Front. Robot. AI* 2022, 9, 666736.
4. AMZA, C.G., CANTEMIR, D.; CANTEMIR, I.; SALUCCI, G.; SPANU, P., POTERUCHA, P.; TRIANTAFILLOU, M.; ZIGNA, E.; TARANTINO, F. Ghid pentru utilizarea dronelor în Educația și Formarea Profesională. ISBN 978-83-950622-0-9.
5. BOTNARI, V., REPEȘCO, G. Psihopedagogia centrată pe formabil: Suport de curs. Chișinău: CEP UPSC, 2024. 371 p.

**Acknowledgment:** This article is developed in the context of the realization the research subprogramme “Advanced physical methods and UAV-based technologies for complex monitoring, evaluation and modeling” (PHYSTECH), subprogramme code 011210.

## PORTABLE ELECTRONIC NODES FOR A SENSOR NETWORK

**Tatiana MASLOVA**  
 Technical University of Moldova

ORCID: 0000-0002-1173-2368  
 tatiana.maslova@mib.utm.md

**Adrian BÎRNAZ**  
 Technical University of Moldova

ORCID: 0000-0002-2906-7255,  
 adrian.birnaz@ee.utm.md

**Oleg LUPAN**  
 Technical University of Moldova

ORCID: 0000-0002-7913-9712,  
 oleg.lupan@mib.utm.md

*Abstract: To capitalize on the research on metal oxide-based sensors that is being intensively studied by our research team, there is a need to connect these sensors into devices capable of receiving, storing and, if necessary, transmitting measured data. We are also investigating the mechanics of sensor detection using chemistry and applied physics. To achieve this goal, there are some impediments that must be overcome, such as the method of data acquisition, the power consumed by the device, the stability over time with a subsequent correction, the distance to which measured data will be transmitted and others. Another aspect is the size and portability of these devices with built-in sensors. This paper presents some concepts that provide solutions to the problems presented. These devices are important for monitoring environmental parameters with application in agriculture, cellars, production halls. Another possible use is to incorporate them into drones, which will potentially increase their mobility and detection range.*

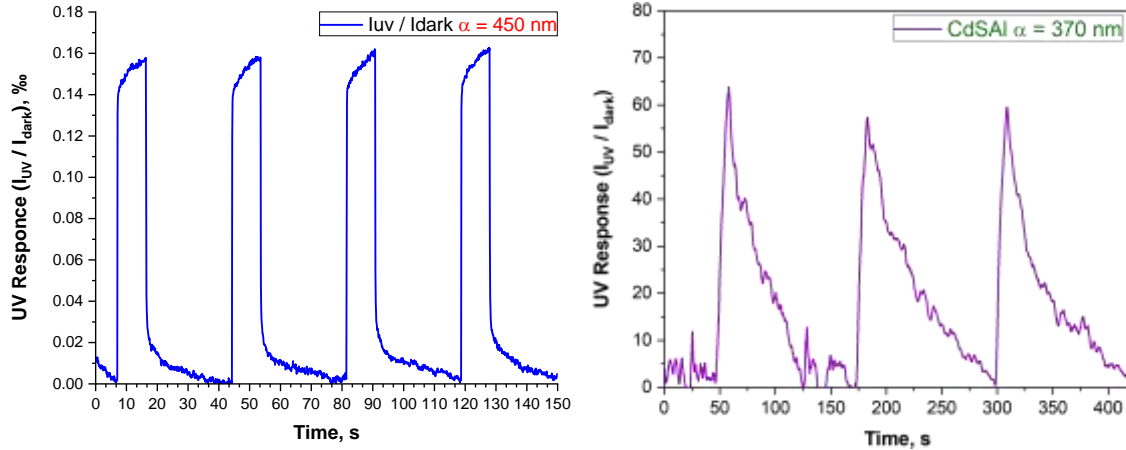
*Keywords: sensor, electronic nodes, embedded systems, sensor network, battery powered.*

### Introduction

Devices that detect explosive gases in hazardous environments prevent accidents and save lives. They are crucial to safety in different domains such as automotive, agriculture, and industry, where explosive gases pose a significant risk. For example, this feature is used extensively in the case of huge batteries in electric vehicles. And as known our department is developing nanostructure-based sensors capable of detecting such gases. Specific examples of gases that our sensors can detect include: nitrogen dioxide (NO<sub>2</sub>), hydrogen (H<sub>2</sub>), hydrogen sulfide (H<sub>2</sub>S), ammonia (NH<sub>3</sub>), volatile organic compounds (VOCs), and others [1].

Earlier, numerous advances have been made in this area under the leadership of Professor Oleg Lupan with the help of our researchers and global collaboration. Dual-mode ZnO:Eu based nanosensors have been created that can detect gases and ultraviolet radiation at the same time [2].

The aim of this research is to develop electronic nodes for applied use of sensors in monitoring the state of different environments by combining these nodes into a wireless network. Several prototypes have already been implemented, such as a self-operating measuring device that has proven its effectiveness when working with sensors. On the Figure 1 you can see the response of several sensors example. Detailed information about this is described in our previous articles [3, 4].



**Figure 1. Response in UV of different material thin film sensor [3, 4]**

The next step is to improve this prototype and create a network of such nodes. And according to the goal of improving the device, the new electronic unit will have significantly smaller dimensions and optimized energy consumption, in addition, it will help in solving some environmental problems.

**Theoretical aspects of nodes**

One sensor node consists of: power source, microcontroller, transceiver, sensor and external memory, as optional feature, it shown on the structure diagram, Figure 2.

Each block of the diagram has its own role:

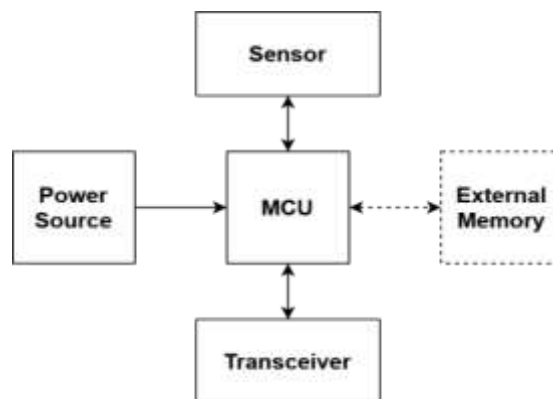
1 Power supply - responsible for providing power to all components of the system. In the case of networks, this is usually a battery or energy harvesting system. Requires optimization so that the system has enough energy resources to operate and at the same time, the resources must be spent economically.

2 Microcontroller - manages the operation of the system, monitoring all peripheral devices. As a rule, it processes data from sensors, performs the necessary calculations and decisions on their transmission to the network, and also manages the energy efficiency of the node.

3 Transceiver - responsible for data exchange (reception and transmission). Sensor networks use various wireless technologies, such as radio modules, Wi-Fi, Zigbee, Bluetooth, LoRa.

4 Sensor - collects information from the environment, such as data on temperature, humidity, illumination, the presence of gases, etc. The signal from the sensor usually requires amplification, filtering or other transformations that depend on both the sensor itself and the measured value.

5 Memory element - additional memory may be required for storing and processing data. In addition, settings, firmware, or results of intermediate data processing on the node can be stored there.



**Figure 2. Node structure diagram [1]**



The sensor network contains many such nodes, the data from which is transmitted to a base station or gateway (central node), then transmitted to a server in the database for further analysis and processing.

### Problems and solutions

Disposable vapes are designed in a very unwise way. They are meant to be used only until they are empty. Then, unlike refillable devices, they are simply thrown away. And it is important to emphasize here that it is not only the plastic case that is sent to the landfill, but also the lithium battery that is inside, despite the fact that this battery is still usable (such battery can be recharged = reused: 300 recharge cycles). The situation is exacerbated by the growing demand for vapes, a trend that sources say will continue to grow as shown in Figure 3 [5].

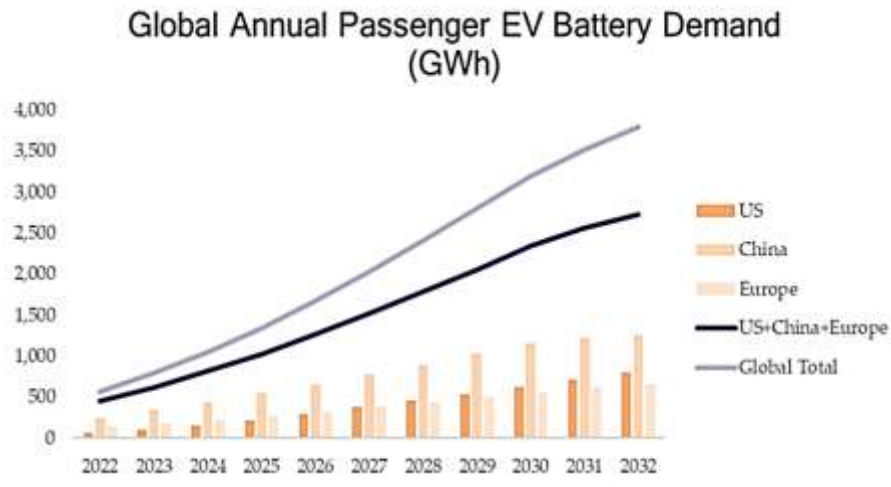


Figure 3. Growing trend and forecast [5]

For example, around five million disposable vapes are thrown away or discarded in the UK every week, which is almost equivalent to eight vapes being thrown away every second [6,7].

The behavior of disposable e-cigarette users is also monitored, of which:

- 68% throw devices in the trash,
- 13% place devices in recycling containers,
- 9% throw devices away on the ground,
- 8% try to recycle their devices through specialized enterprises [8].

Thus, most lithium-ion batteries end up in landfills, where they can leach heavy metals into the soil and groundwater. This poses a serious environmental hazard. Despite the fact, that while lithium mining itself often results in extensive land degradation:

- it requires clearing large areas of vegetation,
- it poisons ecosystems because mining uses hazardous chemicals such as sulfuric acid and sodium hydroxide that can leach into soil and groundwater,
- and it is also a very water-intensive process (for example, producing one ton of lithium can require up to 2 million liters of water) [9].

To return to the UK example, in 2022, over 40 tons of lithium was released from disposable vapes [6,7].

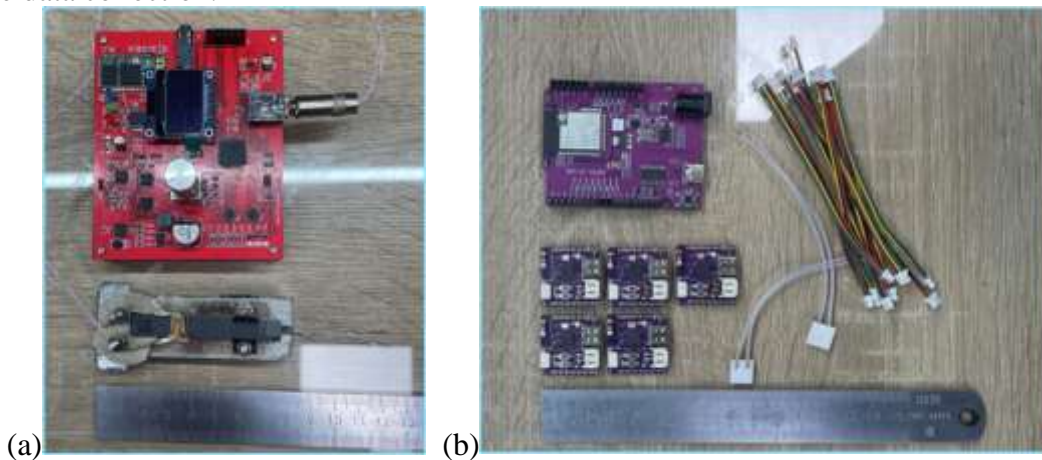
We recycled about 300 batteries from vapes, which will be integrated into electronic nodes (Figure 4).



**Figure 4. Battery recycling**

The new dimensions of our node are significantly reduced (Figure 5). Let's compare the prototype node (Figure 5(a)) and the network node (Figure 5(b)).

As you can see from the Figure 5(b) the central node is the largest, and the peripheral nodes are much smaller, as are the heating elements for operating the sensors. Small dimensions and the use of batteries meet the requirements of portability of the device. The selected electronic modules are energy efficient, as they have low consumption, and in combination with control algorithms aimed at saving energy resources (for example during periods when nodes are not actively sensing or transmitting data, they can go into sleep mode), the batteries fully meet the requirements for the required power for safe and reliable data collection.



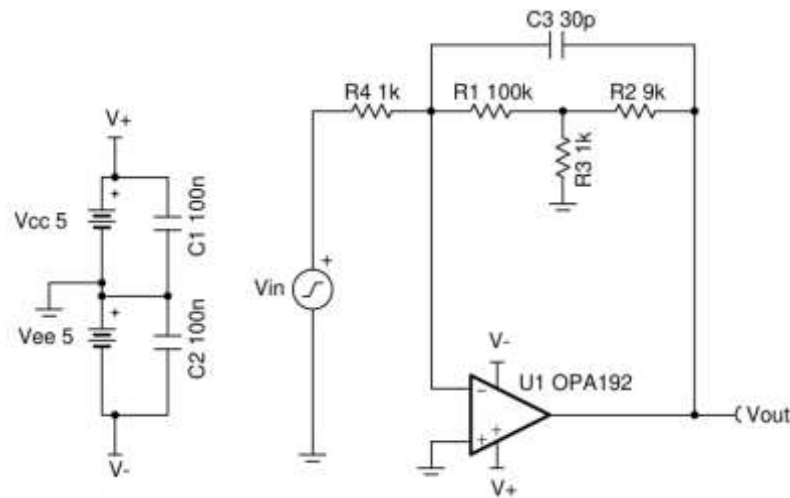
**Figure 5. Dimensions comparison: (a) node-prototype, (b) components for new nodes**

In addition, it is important to select the type of topology used to effectively scale the network, potentially extend its service life, and prevent data loss when some nodes fail or are affected by environmental conditions. A comparison of topologies is presented in the article [1] and according to the analysis, the mesh topology is combined with the use of the MQTT protocol provides network flexibility and reliability. This type of topology allows for adaptation to the appearance of obstacles or increasing distances between nodes. The system analyzes which node is nearby and transmits information to the nearest accessible one at its address [10]. That is, the data flow can pass not only along one predetermined path, as, for example, in a tree or ring topology, but also along any path that can be discovered and built during the data transfer process. The publish/subscribe model used by MQTT facilitates scalability, as

new devices can be easily added to the existing infrastructure without significant changes. In addition, it allows you to implement security through authentication, encryption and access control [11].

When receiving data from sensors, it is also necessary to ensure stability over time with subsequent correction, which is due to the specificity of the sensors. According to the normal concentration, the sensor produces a response, respectively. Over time, the sensor degrades and the response may give an error - in this case, compensation is necessary. Data on the degradation time and error can be stored in memory so that the system can control the process itself thanks to built-in calculation algorithms.

Another disadvantage is the high resistance of the sensors, so some conversion is needed to read the signal. To solve this problem, an operational amplifier circuit with a T-network in the feedback path is suitable, Figure 6. The advantage of choosing such a configuration is a high gain without introducing significant thermal noise (due to the use of low resistance values). Since the circuit can provide high gain, performance and stability, it is recommended to be used for audio processing, sensor signal generation, etc.



**Figure 6. Inverting amplifier with a T-network feedback circuit configuration [12]**

The gain of the circuit is determined by the formula:

$$\text{Gain} = \frac{\frac{R_2 * R_1}{R_3} + R_1 + R_2}{R_4}$$

The desired cutoff frequency is set by selecting the appropriate values of resistors and capacitors (feedback components).

### Conclusions

This article discusses some aspects of implementing nodes for sensor networks. Optimal solutions for implementing an improved version of an already implemented prototype are analyzed, which will have the following main features: portability and small dimensions, low power consumption, wide application, reusable power source, intelligent energy-saving algorithms. Technologies and components for implementing the device design were selected to ensure the reliability of the future sensor network, versatility and possible adaptation to environmental conditions. The portability of the nodes will speed up the network testing process, as well as deployment in various locations. The areas of application of such sensor nodes can be very diverse: agriculture, environmental monitoring, industry, robotics (for example, drones can scan forests in the summer to prevent the spread of fires), automotive, health monitoring, smart home or IoT devices, since they meet such important characteristics as portability, flexibility to changing environmental conditions, efficient energy consumption.

Future plans include possible refinement and testing of nodes in practice in various environmental conditions. It is possible to test the performance of the devices in new areas, for example in collaboration with researchers of the TUMnanoSAT project for testing in space conditions.

#### References:

1. MASLOVA, T. Nodes for sensor network. IC ECCO, 8 October 2024.
2. LUPAN, C., BÎRNAZ, A., BUZDUGAN, A., ZIMOCHE, L., Rainer ADELUNG, R., Oleg LUPAN, O. The reliability to gamma radiation of gas sensors based on nanostructured ZnO: Eu, IC ECCO, 20 October 2022.
3. BÎRNAZ, A., MAGARIU, N., SEREACOV, AL., LUPAN, O. AI-doped CdS used as light detector, IC ECCO, 7 October 2024.
4. BÎRNAZ, A. Utilizarea TiO<sub>2</sub>S/CdS în calitate de senzor pentru detectarea radiației ultraviolete, , The Technical Scientific Conference of Undergraduate, Master, PhD students, 27-29 March 2024.
5. Environmental Impacts of Lithium-Ion Batteries”, [www.instituteforenergyresearch.org](http://www.instituteforenergyresearch.org) Available online: <https://www.instituteforenergyresearch.org/renewable/environmental-impacts-of-lithium-ion-batteries/> (accessed on 5 October 2024).
6. Are disposable vapes bad for the environment?”, [www.greenpeace.org.uk](http://www.greenpeace.org.uk), Available online: <https://www.greenpeace.org.uk/news/are-disposable-vapes-bad-for-theenvironment/#:~:text=In%20the%20UK%20we%20bin,rest%20ends%20up%20in%20landfills.%E2%80%8B> (accessed on 3 October 2024).
7. KMIETOWICZ, Z. Disposable vapes to be banned in England next summer, Publisher BMJ, 24 October 2024.
8. “Most young users put disposable e-cigarettes in trash, creating huge streams of toxic and hazardous waste, as companies fail to take responsibility”, [www.truthinitiative.org](http://www.truthinitiative.org), Available online: <https://truthinitiative.org/research-resources/harmful-effects-tobacco/most-young-users-put-disposable-e-cigarettes-trash> (accessed on 6 October 2024).
9. “World Water Day: The water impacts of lithium extraction”, [europe.wetlands.org](http://europe.wetlands.org), Available online: <https://europe.wetlands.org/blog/world-water-day-the-water-impacts-of-lithium-extraction/> (accessed on 5 October 2024).
10. AMIR, Y., DANILOV, C., MUSUĂLOIU-ELEFTERI, R., RIVERA, N. Authors Info & Claims, The SMesh wireless mesh network, Publisher: ACM Transactions on Computer Systems (TOCS), 30 September 2008.
11. VRETTOS, G., LOGARAS, E., KALLIGEROS, E. Towards Standardization of MQTT-Alert-based Sensor Networks: Protocol Structures Formalization and Low-End Node Security, Publisher: IEEE, 23 August 2018.
12. „Inverting Amplifier With T-Network Feedback Circuit”, [www.ti.com](http://www.ti.com), Available online: <https://www.ti.com/lit/an/sboa292a/sboa292a.pdf?ts=1697459686467> / (accessed on 11 October 2024).

**Acknowledgments:** The study was supported by the by State Program LIFETECH «Innovations in Biomedical Engineering: Advanced Technologies and Applications for Data Acquisition, Processing and Analysis» No. 020404 at Technical University of Moldova.

## DIMENSIUNILE BUNĂSTĂRII FACTORULUI UMAN ÎN CONTEXTUL MEDIULUI DINAMIC AL SOCIETĂȚII

### THE DIMENSIONS OF HUMAN WELL-BEING IN THE CONTEXT OF THE DYNAMIC ENVIRONMENT OF SOCIETY

**Mihaela BALMUȘ-ANDONE**  
Universitatea de Stat din Moldova

ORCID: 0000-0002-5025-3351  
email: mihaela.balmus@usm.md

*Abstract. A major concern for humanity in the contemporary world is the well-being of the population. The concept of "population well-being" encompasses multiple dimensions, including various aspects of human life. Generally, the improvement of individuals' well-being relies on two main sources: the economy, which provides the financial resources necessary for a decent living and the social policies which act as a guarantee for the population to thrive. However, it is known that human development models based solely on economic growth are incomplete or not enough. Thus, the research methodology is based on addressing various perspectives regarding the multidimensionality of well-being. These perspectives are synthesized from various bibliographic sources, as well as methodologies proposed by international organizations focused on this area. The conclusions reflect the complexity of the concept, including its perception (objective or subjective). In the same vein, it is worth highlighting that reduced welfare has significant downsides and extends far beyond than just how the employees feel.*  
*Keywords: human factor, well-being dimensions, dynamic environment factors, costs.*

#### **Introducere**

O problemă care preocupă extrem de mult omenirea în lumea contemporană este cea referitoare la care ar fi ingredientele unei societăți sănătoase, care să ofere cetățenilor oportunități, fericire și o calitate înaltă a vieții. Noțiunea de bunăstare a populației este una care înglobează mai multe dimensiuni, incluzând diversele aspecte ale vieții umane. Astfel, potrivit opiniei profesorului de la Universitatea Lawrence Michael E. Porter, modelele dezvoltării umane care se bazează doar creștere economică sunt incomplete [3]. Autorul subliniază ideea că, națiunile care prosperă oferă drepturi personale, nutriție și îngrijire medicală de bază, precum și sustenabilitatea ecosistemului și acces la educație avansată.

Astfel, bunăstarea factorului uman într-un mediu social dinamic, include aspecte esențiale care determină îmbunătățirea calității vieții indivizilor dar și capacitatea acestora de a se adapta și prospera în condiții în continuă schimbare. Anume identificarea și detalierea conținuturilor respectivelor dimensiuni și constituie subiectul care urmează a fi dezvoltat în studiul prezentat.

#### **Metodologie**

Metodologia cercetării se bazează pe abordarea diverselor puncte de vedere privind multidimensionalitatea bunăstării. Respectivul puncte de vedere sunt sintetizate din diverse surse bibliografice, precum și în baza unor metodologii propuse de organismele internaționale cu preocupări în domenii privind dezvoltarea umană și calitatea vieții. Studiul se bazează pe abordare multidimensională și integrativă, axându-se pe identificarea și analiza principalelor dimensiuni ale bunăstării factorului uman și evidențierea modului în care mediul dinamic o influențează. Semnificativă este și focusarea pe analiza corelațiilor în sensul identificării legăturilor dintre dimensiunile bunăstării cu factorii externi și dezvoltarea sustenabilă, creând un mediu favorabil pentru creșterea economică și stabilitatea socială pe termen lung.

## Rezultate și discuții

Într-o lume în continuă transformare, devine imperios necesar să se răspundă provocărilor complexe ale societății moderne. În aceste condiții, bunăstarea factorului uman a devenit prioritate esențială, abordarea multidimensională a acesteea creând premise favorabile pentru politici și programe eficiente de promovare a bunăstării. Rapotându-ne la semnificația (în etapa modernă) a conceptului de bunăstare, se evidențiază ideea că aceasta presupune „grija statelor față de persoanele expuse riscului de excluziune socială”. În aceeași ordine de idei, conceptul este atribuit și „dreptului omului la un nivel de trai decent” [6]. Astfel, dimensiunile bunăstării cu impact asupra factorului uman se referă la o serie de aspecte importante care, în esență, contribuie la îmbunătățirea calității vieții indivizilor dar și la capacitatea acestora de a se adapta și prospera în condiții în continuă schimbare. Aceste aspecte includ sănătatea, educația, condițiile de mediu etc. Într-un mediu societal dinamic, acestea măsoară progresul în furnizarea de beneficii sociale, determinând mai multe elemente de impact (Figura 1).



**Figura 1. Aspectele de bază ale bunăstării**

*Sursa: Elaborat de autor*

Fiind un concept complex, bunăstarea își are izvorul din două surse de bază și anume, pe de o parte economia, care oferă sursele financiare necesare pentru un trai decent, și, pe de altă parte, politica socială, ca un garant al bunăstării [7]. Complexitatea abordării acestui concept demonstrează faptul, că deși extrem de abordată noțiunea, aceasta totuși nu are o definiție unanim acceptată. Ea se poate referi la conturarea situației vieții oamenilor, reflectată inclusiv prin așa-numitul Indice de progres social, conceptualizat în 2015 de M. Porter în colaborare cu profesorul Sarnoff Scott Stern de la MIT's Sloan School și organizația nonprofit Social Progress Imperative. În virtutea acestuia, s-a propus clasificarea țărilor funcție de dimensiuni multiple ale performanței sociale și de mediu în trei categorii principale: Nevoi umane de bază (hrană, apă, adăpost, siguranță); Bazele bunăstării (educație de bază, informare, sănătate și un mediu durabil) și Oportunitate (libertatea de alegere, libertatea de discriminare și accesul la învățământul superior). Porter consideră indicele „cel mai cuprinzător cadru dezvoltat pentru măsurarea progresului social și primul care măsoară progresul social independent de produsul intern brut (PIB)” [3]. Bunăstarea, dezvoltarea umană și sărăcia au multiple conexiuni existând un puternic consens că acestea au mai multe fațete și, în consecință, necesită instrumente de măsurare care implică mai multe dimensiuni. Necesitatea abordării multidimensionale a bunăstării, privind dincolo de indicatorii monetari, rezidă în motivații conceptuale și motivații empirice. Motivațiile conceptuale își au originea în

justificări filozofice, sociologice, economice și antropologice, pe când motivațiile empirice se manifestă datorită lipsei unei asocieri puternice între indicatorii monetari și dimensiunile relevante ale bunăstării [5]. Tradițional, bunăstarea este abordată prin prisma celor cinci dimensiuni: fizică, psihologică, socială, profesională și economică. Să detaliem puțin fiecare dintre acestea, evidențiind semnificația și modalitatea de manifestare. Astfel:

- *Bunăstarea fizică* se exprimă prin elemente cum ar fi sănătatea, accesul la servicii medicale de calitate, condiții de muncă adecvate, echilibru între muncă și viața personală. Abordarea acestei dimensiuni este justificată în special de schimbările tehnologice și cerințele profesionale în creștere care, de facto, generează stres fizic și mental.

- *Bunăstarea psihologică* presupune starea emoțională, motivația (atât intrinsecă, cât și ce extrinsecă), precum și sentimentul de satisfacție personală și profesională. Factorii care determină necesitatea acestei abordări se referă la faptul că mediul dinamic poate fi o sursă de incertitudine și presiune, dar poate genera și oportunități.

- *Bunăstarea socială* se referă la calitatea relațiilor interpersonale și sentimentul de apartenență la comunitate și la organizație. Justificarea analizei prin prisma aspectului social se exprimă în ideea că mediul caracterizat de diverse echipe, determină conexiuni sociale solide, care contribuie la crearea unui sprijin reciproc.

- *Bunăstarea profesională* înglobează dezvoltarea continuă a competențelor, oportunitățile de avansare în domeniul profesional, recunoașterea valorii muncii. Abordarea respectivei dimensiuni este justificată de faptul că mediul dinamic face ca dezvoltarea competențelor să devină o necesitate pentru menținerea competitivității sub aspectul de profesionist într-un anumit domeniu.

- *Bunăstarea economică* se exprimă prin stabilitate financiară, accesul la resurse financiare suficiente pentru o viață decentă. Necesitatea acordării atenției pentru această latură este determinată de faptul că sprijinul financiar sub forma asigurărilor, pensiilor și altor stimulente economice îmbunătățește siguranța.

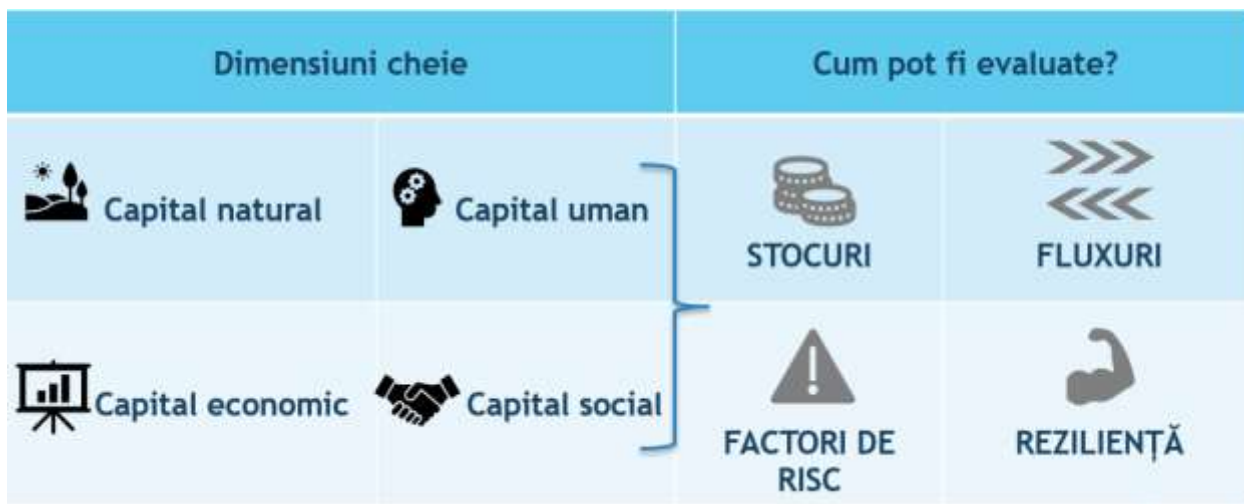
Experiența diverselor societăți denotă faptul, că abordarea tradițională a dimensiunilor bunăstării nu ar fi suficientă pentru a reda întreaga gamă de manifestare a acesteia. Astfel, utilă devine abordarea cu care a venit Organizația pentru Cooperare și Dezvoltare Economică (2004) prin lansarea Proiectului global de măsurare a progresului societăților, obiectivul de bază al acestuia fiind dezvoltarea sistemului de indicatori economici, sociali și de mediu care ar măsura bunăstarea unei societăți [2]. Astfel, OCDE a conceput un cadru de măsurare a naturii multidimensionale a bunăstării cu scopul de a facilita monitorizarea progresului, dar și conceperea politicilor care ar susține condiții de viață mai bune și să ajute la îmbunătățirea rezultatelor viitoare centrate pe oameni [9]. Abordarea identifică dimensiunile cheie ale bunăstării actuale (Figura 2) și resursele care contribuie la bunăstarea viitoare (Figura 3).



Figura 2. Dimensiuni de exprimare a bunăstării curente (OECD)

Sursa: Adaptat de autor după [9]

Evaluarea bunăstării indivizilor, comunităților și societăților necesită analizarea mai multor aspecte care contează pentru viața oamenilor. Această perspectivă holistică este și mai relevantă într-un context de schimbări rapide ale societății. Cadrul de bunăstare al OCDE ia în considerare rezultatele actuale de bunăstare și inegalitățile din acestea pentru a surprinde condițiile materiale care modelează opțiunile economice ale oamenilor, calitatea vieții și relațiile lor.



**Figura 3. Resurse pentru bunăstarea viitoare**

*Sursa: Adaptat de autor după [9]*

Cadrul include, de asemenea, resursele sistemice care sunt necesare pentru a susține bunăstarea în viitor și în limitele planetare și sociale. Cadrul poate sprijini guvernele și alți actori să elaboreze politici care promovează sinergiile între obiectivele economice, sociale și de mediu și care pun un accent semnificativ pe promovarea sănătății mintale la nivel individual și comunitar. Abordarea multidimensională a bunăstării, denotă faptul că aceasta, în esență, este un indicator social, dar care este dependent în mod semnificativ de potențialul economic al țării, precum și de venitul național al acesteia. Astfel, bunăstarea poate fi considerată ca un rezultat determinat de indicatori pe dimensiuni diverse. Cuantificarea bunăstării, de cele mai multe ori, pornește de la analiza ei sub aspect obiectiv versus cel subiectiv. Bunăstarea subiectivă este noțiunea atribuită cazului în care se are în vedere „starea de spirit a oamenilor, care este un barometru al vieții cotidiene, reflectând în plan subiectiv situația persoanelor și variind în funcție de contextul în care acestea trăiesc” [8].

Sub aspect economic, bunăstarea subiectivă se asociază cu starea de fericire, avându-se de fapt, în vedere stările cu încărcătură emoțională pozitivă, cum ar fi bucuria sau succesul. În sensul evaluării acesteea se face trimitere la gradul de satisfacție, care presupune măsura în care nevoile/ așteptările au fost realizate. Spre deosebire de aceasta, dimensiunea obiectivă a bunăstării înglobează în general o serie de aspecte cantitative, privite din exterior cu referire la o serie de elemente statistice de natură economică, socială sau de mediu. Astfel, dacă bunăstarea obiectivă este o dimensiune care permite compararea nivelului bunăstării între țări (pe diferite perioade temporale), atunci bunăstarea subiectivă permite identificarea determinantilor bunăstării [1]. De remarcat este faptul, că bunăstarea redusă contribuie la înregistrarea unor costuri semnificative, acestea fiind mult peste doar cum se simt angajații. Impactul nefast al acesteia se răsfrânge asupra performanței muncii, arderea profesională (burnout-ul) precum și probabilitatea părăsirii organizației.



Organizația pentru Cooperare și Dezvoltare Economică a prezentat un raport pentru anul 2023 care reflectă inclusiv pierderile asociate cu un grad redus al bunăstării (Figura 4).



**Figura 4. Costuri ale bunăstării reduse**

*Sursa: Adaptat de autor după [10]*

Astfel, în vederea construirii unei societăți durabile, este necesar să se adopte o abordare multidimensională și inovatoare în vederea promovării bunăstării factorului uman (Figura 5).

### Concluzii

În final, privind reflecția complexității problemelor referitoare la dimensiunile bunăstării raportate la factorul uman, putem concluziona și evidenția următoarele elemente:

1. Necesitatea abordării holistice prin integrarea dimensiunilor bunăstării astfel încât acestea să fie evidențiate într-un mod echilibrat.
2. Impactul factorilor externi se remarcă prin implicarea tuturor părților interesate prin colaborare: autoritățile publice, angajatorii și comunitatea în general.
3. Este necesară dezvoltarea unor inițiative cu grad înalt de adaptabilitate, care ar putea răspunde necesităților cetățenilor și organizațiilor societății.



**Figura 5. Abordări de implementat în vederea asigurării bunăstării**

*Sursa: Elaborat de autor*

4. Dezvoltarea culturii organizaționale care să promoveze bunăstarea și încurajarea factorului uman pe termen lung, favorizând astfel adaptarea la dinamismul societății contemporane.

#### **REFERINȚE:**

1. BOGUȘ, A. Percepții ale bunăstării prin prisma dreptului la un nivel de trai, Culegere de articole științifice ale Conferinței Științific Internațional ”Competitivitate și Inovare în economia cunoașterii”, Ediția a XXII-a , 25-26 septembrie 2020, Chișinău e-ISBN 978-9975-75-985-4  
[https://irek.ase.md/xmlui/bitstream/handle/1234567890/983/BOGUS-%20Angela\\_Conf%20ASEM\\_-25%20E2%80%93%2026%20septembrie%202020\\_Articole.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://irek.ase.md/xmlui/bitstream/handle/1234567890/983/BOGUS-%20Angela_Conf%20ASEM_-25%20E2%80%93%2026%20septembrie%202020_Articole.pdf?sequence=1&isAllowed=y).
2. FRUNZE, O. Măsurători ai bunăstării și prosperării, în Administrarea Publică, Nr.4 2015  
<https://iap.gov.md/repository/files/original/d966960be002f6c2a1be8917012646240166873d.pdf>
3. LEVIS, L. Putting Social Progress on Par with Prosperity, in Harvard Magazine nov-dec 2015,  
<https://www.harvardmagazine.com/2015/10/putting-social-progress-on-par-with-prosperity>.
4. OEHLER-SINCAI, I.M. În căutarea unui indicator veritabil al bunăstării, 2016  
[https://www.researchgate.net/publication/309785534\\_IN\\_CAUTAREA\\_UNUI\\_INDICATOR\\_VERITABIL\\_AL\\_BUNASTARII](https://www.researchgate.net/publication/309785534_IN_CAUTAREA_UNUI_INDICATOR_VERITABIL_AL_BUNASTARII).
5. SANTOS, M.E., SETH, S. Measurement and analysis of well-being, human development and poverty with multiple dimensions, 2023.  
[https://www.researchgate.net/publication/374551719\\_Measurement\\_and\\_analysis\\_of\\_well-being\\_human\\_development\\_and\\_poverty\\_with\\_multiple\\_dimensions](https://www.researchgate.net/publication/374551719_Measurement_and_analysis_of_well-being_human_development_and_poverty_with_multiple_dimensions).
6. SMOCHINĂ, A., VLĂESCU, G. Bunăstarea și/ sau traiul decent al omului – interogație a trecutului și prezentului, în Studii juridice universitare, Nr.1-2 2019  
[https://ibn.idsi.md/sites/default/files/imag\\_file/79-85\\_8.pdf](https://ibn.idsi.md/sites/default/files/imag_file/79-85_8.pdf).
7. TOMCEAC, A. Bunăstarea populației: evaluarea stării sociale actuale și direcțiile de creștere, în Economie, Finanțe, Politici Sociale, Demografie, Statistică și Econometrie 2018, UDC: 330.59+330.567.28  
[https://ibn.idsi.md/sites/default/files/imag\\_file/68-75\\_1.pdf](https://ibn.idsi.md/sites/default/files/imag_file/68-75_1.pdf).
8. MARIAN, V. Bunăstarea subiectivă în România: factori care influențează satisfacția cu viața și bunăstarea mentală, în Calitate vieții, Nr.3 2019, <https://revistacalitatevietii.ro/journal/article/view/145>
9. A framework for improving current and future well-being <https://www.oecd.org/en/topics/policy-issues/well-being-and-beyond-gdp.html#well-being-framework>.
10. Employee well-being report, 2023, <https://www.oecd.org/wise/Employee-well-being-report-pilot-2023.pdf>.

#### **Recunoștință**

Articolul este elaborat în contextul realizării Proiectului „Consolidarea mecanismelor socio-economice și juridice de asigurare a bunăstării și securității cetățenilor” (CONSEJ 01.05.02).

## TENDINȚE ÎN DIGITALIZAREA ȘI AUTOMATIZAREA PROCESELOR AGRICOLE

### TRENDS IN DIGITALIZATION AND AUTOMATION OF AGRICULTURAL PROCESSES

#### Lirong XIANG

Universitatea de Stat din Carolina de Nord,  
Departamentul de Inginerie Biologică și  
Agricolă, Laboratorul de Automatizare și  
Robotică

#### Roman PALANCIUC

Manager Consolidare Capacități Asociații și  
Digitalizare, Proiectul de Competitivitate și  
Reziliență Rurală USAID Moldova

email: rpalanciuc@chemonics.com

*Abstract. With the global development of smart technologies in agriculture, a paradigm shift undergoes in the methods of agricultural operations. These processes are also relevant in Moldovan agriculture and are rapidly gaining momentum. The importance of data and information in our time is increasing due to advanced information technologies which allow fast and efficient data processing and transmission. In economic science, an increasing popularity is gaining the idea that information or data should be recognized as the fifth factor of production, along with land, labor, capital, and entrepreneurial spirit. With the cutting-edge information technologies, the development of wireless monitoring systems and remote management of agricultural operations become reality. Automations of agricultural processes gain increased demand due to economic, social, and climatic challenges. The adoption of such technologies is already producing effects and begins to impact the productivity and competitiveness of agricultural enterprises in different countries and have potential to become determinant in the future.*

*Keywords: digitalization, agriculture, agricultural processes.*

#### 1. Introducere.

Progresele din industria semiconductorilor, permit în ziua de azi procesarea și transmiterea datelor cu o eficiență, rapiditate și într-un volum impresionant. Acest factor permite ca datele și informația să devină o parte indispensabilă a oricărei activități de business. În știința economică, o popularitate din ce în ce mai mare câștigă ideea că informațiile sau datele ar trebui să fie recunoscute ca al cincilea factor de producție, împreună cu pământul, forța de muncă, capitalul și spiritul antreprenorial.

Agricultura inteligentă este vitală pentru abordarea provocărilor agricole contemporane. Oferă soluții practice pentru a spori productivitatea, sustenabilitatea și reziliența într-un mediu aflat în continuă schimbare. Odată cu dezvoltarea globală a tehnologiilor inteligente în agricultură, are loc și o schimbare de paradigmă în metodele și operațiunile agricole. Acest lucru este relevant și pentru agricultura moldovenească, câștigând rapid un avânt în rândul producătorilor agricoli de la noi. Sistemele de monitorizare și gestionare wireless (fără fir) permit managementul la distanță în operațiunile agricole și devin un lucru tot mai obișnuit pentru producători. Automatizările proceselor agricole capătă inerție în pofida sau datorită provocărilor economice, sociale și climatice. Aceste provocări țin în linii mari de costurile înalte la imputuri și energie, lipsa forței de muncă în agricultură și variabilitatea înaltă a vremii. Acești factori remodelează peisajul agriculturii moderne din întreaga lume, inclusiv și în Moldova. Adoptarea tehnologiilor noi produce impact asupra productivității și competitivității întreprinderilor

agricole, acumulând potențial de a deveni determinante pentru stabilirea în viitor a unor avantaje competitive la nivel de țări. În acest articol, explorăm tehnologiile agricole inteligente deja adoptate la nivel mondial, inclusiv în Moldova, precum și cele care sunt abia emergente, pentru care abia se încearcă afirmarea valorii și utilității în agricultură. În continuare vom prezenta și potențialele beneficii pe care aceste tehnologii le aduc în combaterea provocărilor prezente și de viitor.

## 2. Tehnologii adoptate

Unele din tehnologiile agricole inteligente care s-au dovedit a fi de interes recunoscut în ultimii ani și au pătruns ferm și stabil pe piață sunt:

- Sisteme integrate de gestionare a întreprinderilor și terenurilor agricole (ERP)
- Mașini agricole outopilotate (consolă autopilot)
- Sisteme wireless de gestionare a irigației (LoRaWAN)
- Capcanele digitale
- Drone cu folosirea inteligenței artificiale
- Monitorizarea la distanță a productivității și a sănătății animalelor

### Sisteme integrate de management a întreprinderilor agricole și terenurilor

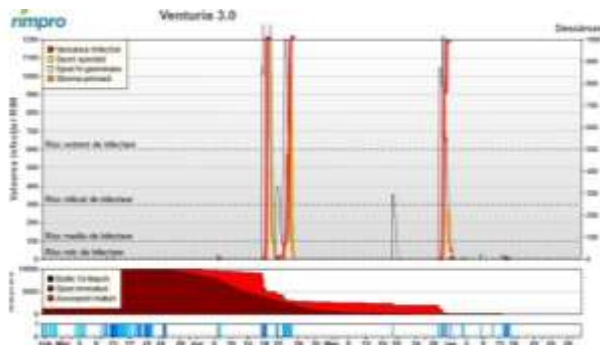
Servicii precum cele oferite de Rimpro și SAS în Moldova permit fermierilor să anticipeze și să ia măsuri preventive împotriva bolilor fungice sau a răspândirii insectelor. Pe baza datelor empirice premergătoare (cel puțin 3 ani), aceste sisteme pot sugera și cauze specifice ale unor probleme existente într-o plantație pentru care este greu de efectuat un diagnostic corect.

Prin utilizarea sistemelor precum SAS și a soluțiilor similare, producătorii își pot îmbunătăți și logistica agricolă, monitoriza eficient consumul de combustibil și mersul lucrărilor în teren, lucru dovedit, care se traduce în reduceri substanțiale a costurilor.

Fermierii moldoveni investesc și în sisteme de pilotare automată, care se aplică preponderent la tractoare pentru a optimiza costurile, viteza și calitatea lucrărilor agricole.

Aplicarea ERP-urilor în agricultură este promițătoare și câștigă un interes tot mai mare. Acestea permit gestionarea integrată, la distanță și în timp real a proceselor din agro-business, cum ar fi recoltarea, depozitarea, sortarea și ambalarea, expedierea, gestionarea resurselor umane prin alocarea de sarcini, gestionarea inventarului (inputuri, consumabile, energie, ambalaj, etc.), supravegherea vânzărilor și alimentarea cu date a sistemului de contabilitate al companiei. Pot fi aduse mai multe exemple, cum ar fi FarmTrace (Africa de Sud), GrowPro (Olanda), Agromanager (Olanda), inclusiv sisteme produse de companii IT din Moldova. Soluțiile respective se integrează cu echipamentele specializate, cum sunt cartelele, cântarele electronice, scanerele, imprimantele de etichete și altele.

Figura 1 – Exemplu de afișare a riscului de ciupercă Rimpro (fermă din Moldova)



Sursa: Aplicația Rimpro



**Figura 2 – Exemple de sisteme de management al fermelor care integrează operațiuni comerciale interne majore**

Surse: [www.farmtrace.co.za](http://www.farmtrace.co.za), [www.growpro.nl](http://www.growpro.nl), [www.agromanager.eu](http://www.agromanager.eu)

### Irigarea inteligentă bazată pe sisteme LoRaWAN

Schimbul de date la distanță pentru controlul nivelului de umiditate al solului și administrarea irigațiilor este asigurat prin tehnologia LoRaWAN. Datele sunt transmise printr-un gateway LoRaWAN către o infrastructură cloud, permițând accesul în timp real prin tablouri de bord. Sistemul informează privind strategiile de irigare, maximizând economiile de apă și asigurând o conectivitate fiabilă.

Senzorii de umiditate a solului se amplasează compact împreună supapele de irigare alimentate individual prin panouri fotovoltaice, inclusiv baterii cu durată lungă de viață (5 ani), permițând o conectivitate fiabilă cu controlerul central. Ca răspuns la nivelul de umiditate venit de la senzori, controlerul trimite semnale de deschidere și închidere a supapelor pentru administrarea sau închiderea apei. Consumul de energie și schimbul de date sunt minime, ceea ce oferă fiabilitate în funcționare și economii în investiții și operare. Costurile se reduc substanțial, în special pentru suprafețele mari, anulând necesitatea în cablare, care este predispusă la deteriorări fie din cauza rozătoarelor sau a lucrărilor care se fac în teren.

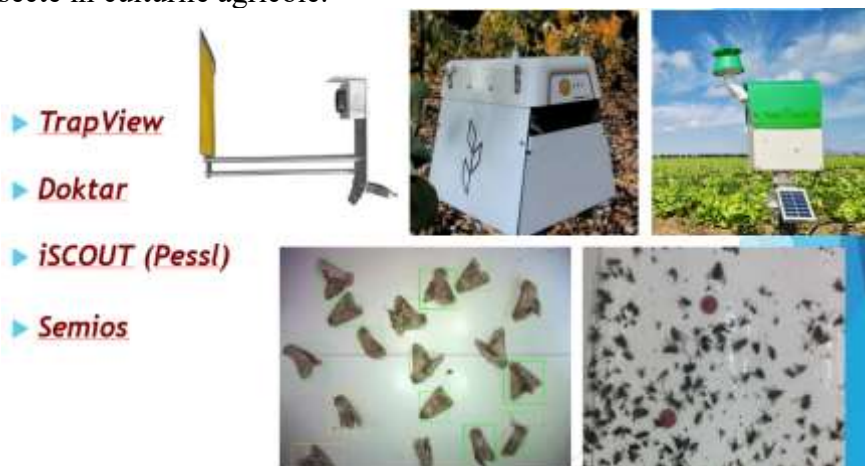


**Figura 3 – Exemple de sisteme LoRa WAN pentru irigații inteligente**

Surse: [www.solem-irrigation.com](http://www.solem-irrigation.com), [www.irriot.com](http://www.irriot.com)

### Controlul digitalizat al insectelor dăunătoare

Producătorii moldoveni optează tot mai des pentru monitorizarea digitalizată a incidenței insectelor în plantațiile lor. Stațiile digitale de urmărire a dăunătorilor captează numărul lor printr-o cameră aplicată și prin procesul de învățare automatizată identifică și analizează incidența anume a tipurilor de insecte care prezintă pericol. Stația IoT transmite recomandările și alertele în timp real printr-un flux neîntrerupt de date. O astfel de stație IoT de urmărire a dăunătorilor reduce impactul economic al daunelor, care pot fi provocate de insecte în culturile agricole.



**Figura 4 – Exemple de sisteme digitale de monitorizare și control al insectelor dăunătoare**

Surse: [www.trapview.com](http://www.trapview.com), [www.doktar.com](http://www.doktar.com), [www.metos.global/en/iscout/](http://www.metos.global/en/iscout/), [www.semios.com](http://www.semios.com)

### Drone pentru managementul livezilor

Aplicațiile cu drone merg dincolo operațiunile de stropire și inspecție a culturilor de câmp. Companii precum Outfield și Solvi oferă soluții care integrează tehnologia dronelor într-un mod care permite utilizarea acestora pentru predicția din precece a randamentului culturii, precum și pentru gestionarea cantității, calității, dimensiunii fructelor și planificarea eficientă a momentului de recoltare. Aceasta oferă și avantajul prognozării mai precise a vânzărilor și dezvoltarea strategiilor de marketing mai adecvate. Tehnologiile disponibile pot cartografia concentrația de inflorescențe pentru o gestionare bună a încărcăturii cu roadă.



**Figura 5 – Tehnologia dronelor**

Surse: [www.outfield.xyz](http://www.outfield.xyz), [www.solvi.ag](http://www.solvi.ag), [www.droneagro.md](http://www.droneagro.md), [foundersguide.com](http://foundersguide.com)

### Monitorizarea și protecția sănătății familiilor de albine

Bolile și intoxicațiile albinelor provoacă daune economice majore apicultorilor. Intoxicația familiilor de albine din Moldova a căpătat o regularitate alarmantă în ultimii ani, provocând pagube care se estimează la 4 milioane de dolari SUA anual. Ca o soluție la această problemă, a fost dezvoltat un sistem informațional numit BeeProtect. Acesta interconectează producătorii agricoli, apicultorii și inspectorii ANSA, astfel încât alertele de stropire ajung din timp la apicultori, atunci când agricultorii le planifică. Astfel, apicultorii pot lua măsuri de protecție înainte de stropirile cu PUFF. În mod similar, apicultorii după înregistrarea în sistem indică locația stupinei, astfel încât agricultorul este informat prompt despre prezența familiilor de albine în vecinătatea câmpurilor sale. Sistemul informațional BeeProtect este interconectat cu serviciile electronice guvernamentale, cum ar fi MConnect, MSign, MPass, MNotify, MLog pentru a facilita validarea utilizatorilor, notifica despre alerte și jurnaliza lucrările. Sistemul este găzduit pe un server foarte securizat MCloud, care este administrat de ANSA și aparține Guvernului Republicii Moldova.

Apicultorii folosesc soluții care permit urmărirea productivității folosind cântare electronice, analizează eficiența polenizării și monitorizează sănătatea albinelor utilizând senzori, care produc alerte și recomandări în baza a zeci de parametri. Aceste soluții integrate permit apicultorilor să prevină și să ia măsuri importante și la timp pentru a contracara problemele grave de dezvoltare și sănătate la albine.



Figura 6 – Sisteme digitalizate care permit monitorizarea și protecția de la distanță a sănătății albinelor

Surse: [web.beeprotect.md](http://web.beeprotect.md), [www.beehero.io](http://www.beehero.io), [www.beehive-monitoring.com](http://www.beehive-monitoring.com)

### 3. Tehnologii emergente

Echipamentele robotizate și vehiculele echipate cu inteligență artificială revoluționează practicile agricole tradiționale, oferind noi soluții pentru gestionarea cu precizie a culturilor și optimizarea resurselor. Dronele autonome de monitorizare a câmpurilor și mașinile de recoltat bazate pe inteligență artificială cresc eficiența, randamentele și ușurează adoptarea practicilor sustenabile și reziliente.

Pe lângă tehnologiile menționate mai sus, aducem și câteva exemple care sunt în "trend", cu potențial semnificativ pentru viitor:

- Mașini agricole autonome (roboți agricoli);
- Sisteme de control a buruienilor prin îndepărtare mecanică, ardere cu laser sau descărcare electrică;
- Mașini robotizate de recoltare și manipulare a plantelor;

- Echipamente de sortare, gradare și ambalare cu inteligență artificială;
- Sisteme de estimare și clasificare a recoltei în timp real;
- "Geamănul digital" pentru plantații agricole.

### Roboți agricoli

Avansarea rapidă a mașinilor agricole autonome aduce posibilități de eficiență sporită, costuri reduse la forța de muncă și precizie sporită în diverse sarcini, inclusiv pregătirea terenului, administrarea de PUFF-uri, gestionarea buruienilor și chiar transportul lăzilor. Aceste tehnologii îi ajută pe fermieri să-și optimizeze deficitul de forță de muncă și să diminueze risipa de resurse, aplicând în același timp și practici mai durabile.

Folosind senzori avansați, tehnologie GPS și algoritmi bazați pe inteligență artificială, tractoarele sau motocultoarele autonome pot monitoriza cu precizie condițiile solului, pot regla adâncimea de lucru și optimiza consumul de combustibil. Sarcinile automatizate, cum ar fi însămânțarea și plantarea, îmbunătățesc eficiența și minimizează erorile umane. Prin combinarea sistemelor GPS, a camerelor și a senzorilor multispectrali, mașinile de pulverizare autonome pot identifica cu o precizie milimetrică zonele ce necesită tratament. Astfel se asigură utilizarea doar a cantităților strict necesare de substanțe chimice. Acest lucru nu numai că reduce costurile de producție, dar minimizează și impactul asupra mediului prin prevenirea supraaplicărilor.

Vehiculele auto ghidate (AGV) pot transporta lăzi cu producția recoltată din câmp spre spațiile de depozitare sau facilitățile de ambalare, minimizând timpul până la pre-răcire, reducând substanțial respirația produsului. Aceasta asigură o calitate înaltă dealungul lanțului frigorific și micșorează pierderile alimentare de-a lungul întregului lanț de aprovizionare. Sistemele autonome permit navigarea printre rânduri sau în depozite folosind inteligența artificială și senzorii, evitând obstacolele și optimizând rutele de transport. O altă capacitate este posibilitatea de a implementa flote de mașini autonome care pot lucra în tandem pentru a îndeplini sarcini complexe. Sistemele de management a flotei de mașini autonome, fiind alimentate de inteligența artificială pot coordona operarea simultană a mai multor mașini, asigurând îndeplinirea sarcinilor la momentul și locația optime.



**Figura 7 – Exemple de roboți agricoli și furnizori**

Surse: [www.agxeed.com](http://www.agxeed.com), [www.gussag.com](http://www.gussag.com), [www.black-shire.com](http://www.black-shire.com)



### Controlul automatizat al buruienilor cu înlăturare mecanică, laser, descărcare electrică

Plivirea este o sarcină crucială în plantații, deoarece buruienile sunt concurenți pentru apă, nutrienți și lumină. Roboții autonomi echipați cu senzori și camere bazate pe inteligență artificială pot identifica și elimina cu precizie buruienile fără a deteriora plantele din preajmă. Prin identificarea buruienilor într-un stadiu incipient, buruienile sunt îndepărtate cu un braț mecanic sau pot fi folosite lasere fără a afecta culturile din jur. Descărcarea electrică este o altă opțiune care se aplică pentru a arde buruienile. Fiecare dintre aceste opțiuni are avantaje proprii pentru cazuri specifice. Precizia rezultată reduce dependența de erbicidele chimice și contribuie la practici agricole durabile.

▶ **Carbon Robotics**

▶ **Odd.Bot**

▶ **Rippa**

▶ **Lasco**



**Figura 8 – Controlul buruienilor bazat pe AI**

Surse: [www.carbonrobotics.com](http://www.carbonrobotics.com), [www.odd.bot](http://www.odd.bot), [www.lightningweeder.com](http://www.lightningweeder.com)

### Recoltarea robotizată și manipularea plantelor

Recoltarea este un alt domeniu în care mașinile autonome posedă un potențial cu impact major. Este cunoscut că recoltarea manuală este intensivă ca forță de muncă și sensibilă ca timp. O provocare suplimentară este legată și de delicatețea cu care se rupe fructului de pe plantă și se așează în containere. Recoltatoarele autonome sunt concepute pentru a adresa aceste probleme. Sunt combinate inteligența artificială, camerele și senzorii pentru evaluarea maturității, evitându-se în același timp deteriorările produsului. Această tehnologie permite recoltarea 24/7, ceea ce este deosebit de important pentru culturile cu ferestre scurte de culegere. Se reduce costurile și dificultățile legate de forța de muncă în sezonul de vârf. Recoltatoarele autonome sunt echipate cu camere de înaltă rezoluție, LIDAR și sisteme de recunoaștere a imaginilor bazate pe inteligență artificială care oferă și posibilitatea detectării nivelului de maturitate. Aceasta permite robotului să facă diferența între produsele coapte și necoapte, asigurând culegerea doar a celor corecte. Algoritmii de învățare automată permit sistemului să-și îmbunătățească acuratețea în timp, pe măsura învățării. Tăierile, la fel, sunt procese foarte importante care, însă prezintă constrângeri legate de forța de muncă, viteza și momentul lucrării versus condiții meteo.

În mod normal, lucrările de tăiere necesită forță de muncă calificată, dar roboții autonomi de tăiere tind să devină o alternativă viabilă. Diferite specii de pomi sau soiuri de struguri au nevoi diferite de tăiere, iar roboții autonomi pot fi antrenați să învețe și să se adapteze. Roboții autonomi de tăiere sunt echipați cu senzori avansați și algoritmi de învățare automată care le permit să identifice părțile copacului care trebuie tăiate. Această versatilitate va permite în viitor să fie utilizați pentru livezi de diverse specii, inclusiv legume și vița de vie.



**Figura 9 – Roboți de recoltare și manipulare a plantelor și exemple de companii**

Surse: *Prezentare WUR la FL 2024, [www.tortugaagtech.com](http://www.tortugaagtech.com), [fieldworkrobotics.com](http://fieldworkrobotics.com), [www.floatingrobotics.com](http://www.floatingrobotics.com)*

### **Sortarea, calibrarea și ambalarea cu folosirea inteligenței artificiale**

Operațiunile post-recoltă sunt revoluționate de sistemele noi de sortare, calibrare și ambalare bazate pe inteligența artificială. Aceste sisteme integrează tehnologii avansate de învățare automată, viziune computerizată, robotică și senzori pentru a asigura că produsele sunt manipulate cu precizie și lasă resturi minime. Pe măsură ce produsele trec prin sistem, prin recunoașterea avansată a imaginii, algoritmi AI analizează forma, dimensiunea, sortând produsele pe bază de diametru, greutate, culoare, defecte exterioare, asigurând consecvența ambalării. Tehnologiile de imagistică multispectrală și hiperspectrală pot analiza fructele și legumele dincolo de lumina vizibilă, identificând compoziția chimică, conținutul de umiditate sau defecte interne, cum ar fi vânătaiele, care sunt invizibile pentru ochiul uman. Această tehnologie ajută la determinarea cu precizie a calității interne a produselor, ceea ce duce la o clasificare mai precisă și la mai puține mărfuri respinse.



**Figura 10 – Sortarea, calibrarea și ambalarea folosind inteligența artificială**

Surse: *Fotografii făcute de autor în la expoziția Fruit Logistica 2024*

## Proгноza randamentului recoltei în timp real

Proгноza observațională a randamentului în horticultură integrează tehnologii avansate precum teledetecția, inteligența artificială și învățarea automată pentru a prezice productivitatea culturilor cu mare precizie. Prin monitorizarea continuă a etapelor de creștere, a condițiilor de mediu și a datelor istorice, aceste sisteme permit fermierilor să ia decizii fundamentate pe bază de date, cu privire la gestionarea culturilor, alocarea resurselor și momentul recoltării. Pe măsură ce aceste tehnologii evoluează, ele promit să îmbunătățească sustenabilitatea și profitabilitatea în horticultură prin furnizarea de predicții precise, generate în timp real, care ajută la optimizarea potențialului de producție și la minimizarea pierderilor. În baza acestei metode este îmbunătățită planificarea producției și ajustarea strategiilor de atingere a nivelurilor necesare de productivitate.



Figura 11 – Proгноza observațională și cartografierea randamentului în timp real

Surse: [www.fruitcast.co.uk](http://www.fruitcast.co.uk), [www.harvesteye.com](http://www.harvesteye.com)

Cartografierea productivității în timp real implică senzori montați pe echipamentele de recoltare care măsoară diverși parametri ca greutatea, volumul, dimensiunea produselor, pe măsură ce decurge recolta. Sistemul este integrat cu GPS pentru a crea hărți digitale ce oferă date precise referitor la zonele cu productivitate mai ridicată sau mai joasă.

### ”Geamănul digital” pentru plantațiile agricole

Gemenii digitali în horticultură implică crearea unei reprezentări virtuale sau a unui "geamăn" de plante fizice, culturi, sere sau livezi. Acest model virtual integrează date de la diverși senzori, înregistrări istorice și parametri de mediu pentru a simula și monitoriza omologul din lumea reală într-un timp real. Tehnologia permite modelarea predictivă și duce la optimizarea și luarea deciziilor îmbunătățite pe bază de scenarii. Principalele beneficii oferite de această abordare sunt:

- monitorizarea cu precizie,
- optimizarea resurselor,
- predicția și planificarea randamentului,
- testarea scenariilor prin simularea diferitor condiții de creștere, strategii sau utilizare a resurselor,
  - automatizarea îmbunătățită prin oferirea posibilității de integrare cu robotica pentru sarcini precum tăierea, polenizarea și recoltarea,
  - oferirea recomandărilor bazate pe date.

Microsoft Azure Digital Twins oferă o platformă cuprinzătoare pentru modelarea activelor din lumea reală, inclusiv sisteme horticole, integrarea dispozitivelor IoT și analize bazate pe inteligența artificială. Platforma AgTwin produsă în parteneriat cu Agronomeye va fi testată în Australia și va oferi o „fundatie digitală” detaliată pentru un sistem digital agricol complet, combinat cu capacități de modelare și suprapuneri dinamice avansate. Siemens și Bosch oferă soluții de gemeni digitali care se pot integra cu senzori pentru sere și medii de aricultură controlată. AeroFarms se specializează la fel pe agricultura verticală și integrează soluțiile de înfrățire digitală pentru a optimiza condițiile de creștere și a monitoriza sănătatea culturilor.

Înfrățirea digitală totuși este și o provocare la moment, deoarece necesită investiții inițiale substanțiale în dispozitive IoT, programe și instruire, integrare fiabilă a datelor parvenite de la senzori cu partea ”hard” și conectivitate la internet - aspecte critice care pot reprezenta o problemă în zonele rurale.

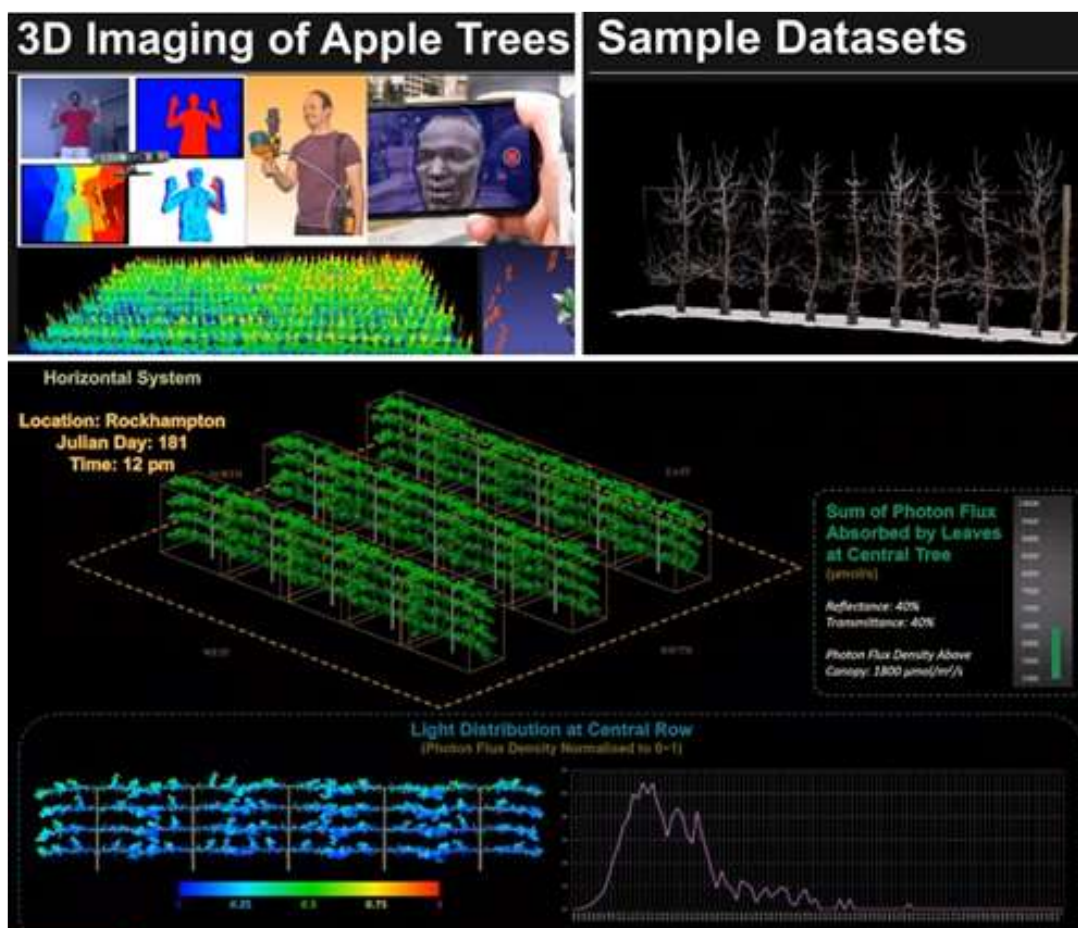


Figura 12 – Cercetarea Cornell AgriTech în înfrățirea digitală bazată pe o livadă de mere  
Sursa: Prezentare Cornell AgriTech

#### 4. Concluzii și recomandări

Prin creșterea productivității, reducerea impactului asupra mediului și reducerea dependenței față de forța de muncă și a anumitor resurse, inovațiile legate de agricultura inteligentă eficientizează procesele agricole, le fac mai durabile și oferă o adaptabilitate mai bună la cerințele actuale și de viitor. Pe măsură ce sectorul agricol va îmbrățișa aceste progrese, vom fi dotați cu soluții mai inteligente și mai pregătiți față de provocările de mâine.

Impactul de termen lung al tehnologiilor digitale și a utilajelor autonome în agricultură poate fi unul profund benefic. Pe măsură ce aceste tehnologii vor continua să evolueze, ele nu numai că vor crește eficiența și sustenabilitatea agriculturii, dar vor contribui și la rezolvarea diverselor probleme cu care se confruntă agricultorii. Tehnologiile vor deveni tot mai accesibile, permițând fermierilor, atât mari, cât și mici, să-și reducă costurile, sporească productivitatea și competitivitatea, și să adopte practici mai durabile și reziliente. În timpul recentelor angajamente ale Dr. Lirong Xiang (Universitatea de Stat din Carolina de Nord) în Moldova, au fost remarcate anumite constrângeri de ordinul infrastructurii slab dezvoltate în zonele rurale pentru acces la tehnologii. În același timp, este prezent un entuziasm puternic pentru inovare și aplicare a inovațiilor. Moldova dispune de oportunitatea de a valorifica soluții scalabile adaptate la nevoile sale din agricultură. În particular, Dr. Lirong Xiang a făcut câteva observații și recomandări cheie cum ar fi:

- **Îmbunătățirea conectivității și infrastructurii:** Este nevoie de a extinde accesul la infrastructura de sprijin pentru inovare în mediul rural. Aceasta este fundamental pentru adoptarea la scară largă a instrumentelor digitale în agricultură. Inițiativele care oferă soluții de conectivitate la prețuri accesibile ar putea permite fermierilor să utilizeze eficient tehnologiile IoT și de teledetecție.

- **Promovarea programelor de educație și formare:** Creșterea alfabetizării agricultorilor în tehnologii și gestionarea datelor este esențială. Parteneriatele guvernamentale, academice cu sectorul agricol privat ar putea contribui la lansarea de programe educaționale, pentru valorificarea beneficiilor agriculturii de precizie și operarea bazată pe date și automatizare.

- **Inovație localizată și soluții eficiente ca cost:** Încurajarea dezvoltării de tehnologii accesibile și soluții localizate este crucială. Moldova ar putea beneficia de sisteme de automatizare modulare, cu costuri reduse, care se aliniază la diverse tipuri de culturi agricole locale și la diverse dimensiuni a companiilor agricole, permițând integrarea treptată a instrumentelor digitale fără a ocoli micii fermieri.

- **Parteneriate publice-private:** Colaborările strategice cu companiile private de tehnologie ar putea ajuta la accelerarea transferului de tehnologie, în special în domenii precum irigarea inteligentă, monitorizarea dezvoltării culturilor și soluțiile de energie regenerabilă în agricultură. Stimulente de stat pentru investițiile în tehnologie în agricultură ar putea dezvolta și mai mult aceste parteneriate.

## 5. Bibliografie

Acest articol a avut ca bază vizita la expoziția internațională Fruit Logistica din februarie 2024 la Berlin și participarea la seriile de conferințe tematice din cadrul evenimentului Farming Forward. Au fost folosite informații din prezentările și materialele informative ale companiilor expozante și din discuțiile cu acestea la standuri. Au fost utilizate atât fotografii, cât și informații oferite de resursele informaționale ale companiilor menționate în acest articol. Fruit Logistica este cel mai însemnat eveniment mondial organizat anual în industria producției horticole proaspete, care a înregistrat peste 66,000 de vizitatori în 2024, reprezentând 145 de țări. Peste 2,770 de expozanți au fost prezenți la Berlin în 2024. La cea de-a 31-a ediție, evenimentul rămâne cel mai important și inovator târg comercial internațional din lume, și loc de întâlnire pentru industria globală a fructelor și legumelor.



**AIRBORNE SOLID PARTICLES POLLUTANTS ANALYSIS BASED ON THE AFM AND TIME-RESOLVED FLUORESCENCE SPECTROSCOPY**

**Arcadi CHIRITA**

Moldova State University

ORCID: 0000-0002-0817-6102

email: [arcadi.chirita@usm.md](mailto:arcadi.chirita@usm.md)

**Veaceslav SPRINCEAN**

Moldova State University

ORCID: 0000-0001-6719-7387

email: [veaceslav.sprincean@usm.md](mailto:veaceslav.sprincean@usm.md)

**Mariana SAVVA**

Moldova State University

ORCID: 0000-0003-0618-5360

email: [marianna.savva@usm.md](mailto:marianna.savva@usm.md)

**Florentin PALADI**

Moldova State University

ORCID: 0000-0001-8099-9413

email: [florentin.paladi@usm.md](mailto:florentin.paladi@usm.md)

*Abstract. The airborne pollutants collection from the atmosphere by using elaborated device was followed by their analyses based on the Optical and AFM microscopy, and Time-Resolved Fluorescence Spectroscopy (TRFS). Obtained results indicate their individual exhibit composite fluorescence lifetimes. The proposed method represents the possibility to study directly the airborne solid microparticles collected on different substrates and the possibility to mstudy air pollution on large using unmanned aerial vehicles (UAVs).*

*Keywords: Airborne pollutants collection, Optical microscopy and AFM microparticles analysis, microparticles fluorescence spectral dependence.*

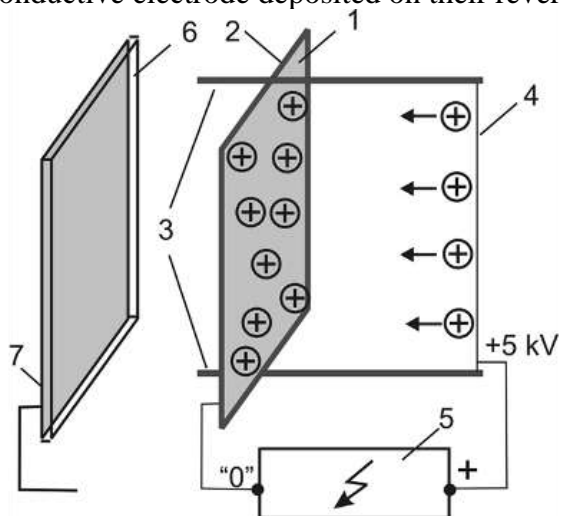
## **1. Introduction**

The method for solid particles of air pollutants collecting of air pollutants with nano- and micrometric dimensions [1] was used in our investigations. The collected particles were investigated using the optical microscopy, AFM analysis, and TRFS methods. Optical microscope images of the collected fuel combustion particles show their different sizes ranging from a few to 10 micrometers. The AFM images indicated the presence of small particles of 80-200 nm and large clusters of 2-4  $\mu\text{m}$ . The optical microscopy images, AFM analysis, and fluorescence spectral data are presented for three different samples: two samples are on the quartz substrates and one sample is on the surface of a silicon single crystal plate. In this paper we study the emissions of solid pollutants into the air from mobile sources in Chisinau city, such as diesel exhaust and other combustion particles.

## **2. Materials and methods**

Advantage of our collection device [1] is that it can be easily attached to the D800 X-8 drone platform and collect a mixture of solid and liquid droplets suspended in the air at different altitudes. Fig. 1 shows the schematic representation of the collection device [1]. A silicon monocrystalline wafer (1) 20x20 mm in size is installed in a dielectric frame (2). A tungsten filament (4), 30  $\mu\text{m}$  in diameter, is mounted on dielectric holders (3) at 10 mm from the surface of the silicon wafer (1). When the high voltage source (5) is turned on, a positive potential of +5 kV is applied to the tungsten filament (4). The "0" electrode of the high voltage source (5) is connected to the reverse side of the silicon wafer (1). Solid particles in the air are positively charged and, under the action of an electrostatic field between the tungsten filament (4) and the silicon wafer (1), are collected on the surface of the silicon monocrystalline

wafer (1). For chemical studies, instead of a silicon monocrystalline wafer, chemically resistant plates (quartz, sapphire) (6) with a conductive electrode deposited on their reverse side (7) can be used.

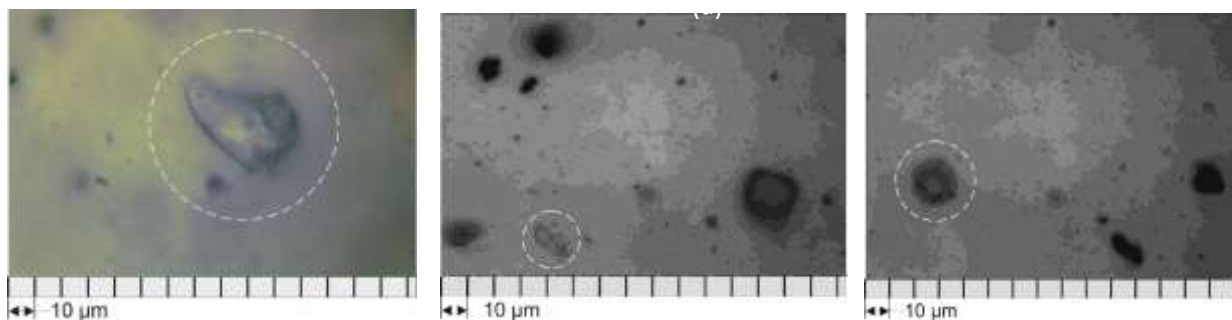


**Fig. 1. Schematic representation of the airborne pollutants collection device**

Solid particles of pollutants are positively charged in the air from a high voltage charger, which is formed by a thin tungsten filament and a high voltage source with the positive potential of +5 kV, and then particles are collected on the surface of silicon monocrystalline wafer under the action of electrostatic interaction.

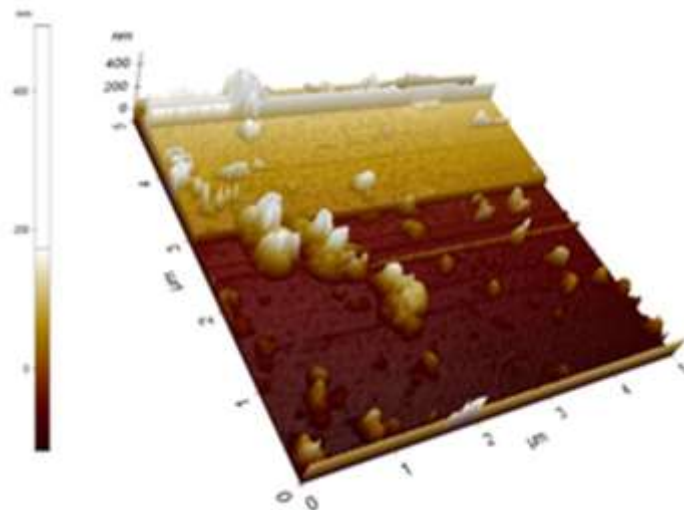
### 3. Results and discussions

Images of the solid microparticles, such as road dust and fuel combustion particles, obtained by optical microscopy are shown in Fig. 2.



**Fig.2. Images of collect microparticles in reflected light from optical microscope with 1200<sup>x</sup> magnification**

As can be seen from Fig.2 the collected particles have different sizes (2-10 micrometers) and spatial distribution on the silica plate. Some of them have a size smaller than spatial resolution of optical microscope. Having the optical images of silica plate surface we can choose the areas for investigation by atomic force microscopy (AFM). Fig.3 shows the AFM images of collected particles.

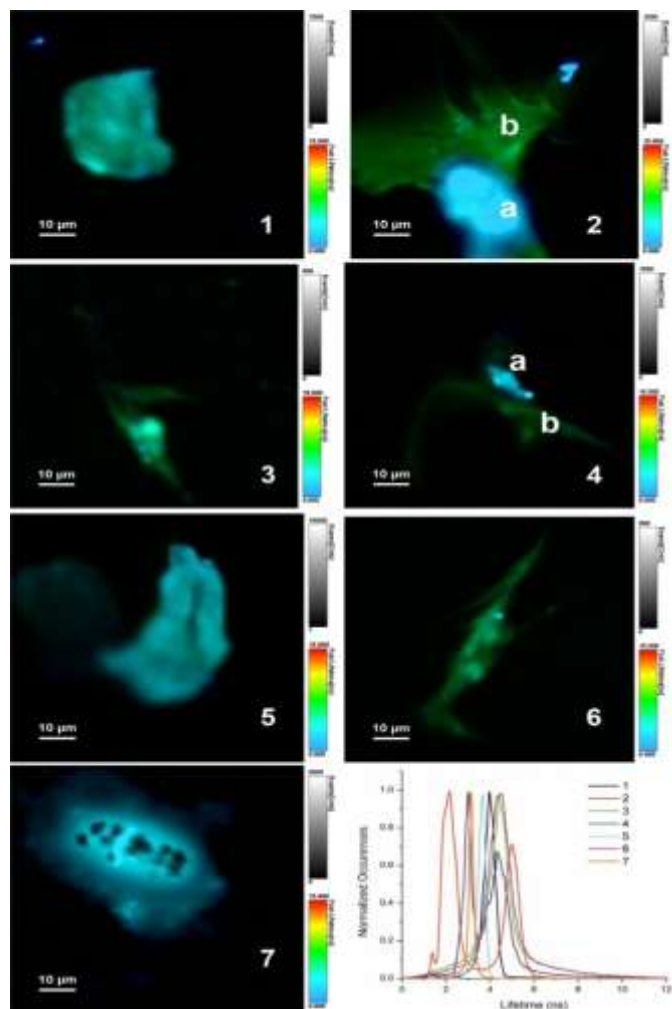


**Fig.3 AFM images of collected particles**

AFM images in Fig. 3 show the presence of small particles with a size of 80-200 nm, and some clusters of particles with a size of 2-4 micrometers. Big particles have up to 0.8 micrometers height. At this stage of research, we assume that the big particles were formed by smaller particles on the silica plate surface during the process of collecting them from the air.

The collected particles with a size bigger than 10 micrometers (Fig.4) were studied using the Time-Resolved Fluorescence Spectroscopy (TRFS). TRFS is a spectroscopy technique used to monitor interactions between molecules in short periods. The studies were carried out on the MicroTime200 installation (PicoQuant) with fluorescence excited by laser radiation of 405 nm.





**Fig.4. The images of particles collected in the atmosphere on a quartz substrate and studied by using the TRFS method**

All investigated particles show fluorescence signal under the 405 nm laser excitation (Fig.4), but the lifetime differs for most particles. At this stage of investigation, the particles can be divided into groups according to the lifetime of their fluorescence, which can be seen in the graphical dependence (in the bottom of Fig.4) of the lifetime. The particles were collected from air close to the city street and some particles can contain not only combustion products of engines, but also some of their mixtures. Also, the particles can be mixed with street dust. However, as it can be seen from Fig. 4, such particles have different lifetime fluorescence, and the TRFS method allows a separate study of the lifetime of each particle.

#### 4. Conclusion

An airborne pollutants collection device allows collection of solid microparticles directly from the air on the surface of a silicon single crystal silica plate, which can be further examined by Optical microscopy, Atomic Force Microscopy, and Time-Resolved Fluorescence Spectroscopy. Optical microscope images of the collected particles show their different sizes ranging from a range of nanometers to micrometers. Atomic force microscopy investigations indicate the presence of small particles of 80-200 nm in size and large clusters of 2-4 μm. All investigated particles have fluorescence signal under the 405 nm laser excitation and TRFS method shows different lifetime for each particle. The purpose of this

work was not a detailed study of the fluorescence life time of each particle, which is the target of further studies. At this stage, was shown that the particles can be divided into groups according to the lifetime of their fluorescence.

**References:**

1. CHIRITA, A., SPRINCEAN, V., PALADI, F. Device and method for collecting solid airborne pollutants. 2023; MD patent no. 1706 on 2023.07.31.

**Acknowledgements.** This research was funded by the Ministry of Education and Research of the Republic of Moldova under subprogram no. 011210, "Advanced Physical Methods and UAV-Based Technologies for Complex Monitoring, Assessment and Modeling".

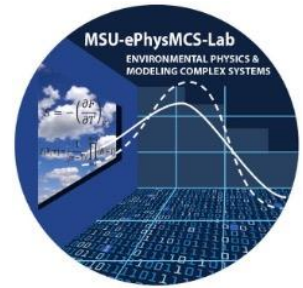
<b>Sensors and measurements for UAV safety</b>	5
Luca DE VITO, University of Sannio, Benevento, Italy	
<b>Определение значений сингулярных интегралов с приложениями в физике и технике</b>	11
Alexandr A. BARSUK, Florentin PALADI, Universitatea de Stat din Moldova	
<b>Parcul digital 3D al monumentelor de arhitectură din Chișinău: inovație și valorificarea patrimoniului cultural</b>	15
Veaceslav SPRINCEAN, Sergiu PASCARI, Marianna SAVVA, Sergiu MATVEEV, Universitatea de Stat din Moldova	
<b>Nanostructurarea electrochimică dirijată a compușilor semiconductori în electrolit prietenos mediului înconjurător</b>	23
Eduard V. MONAICO <sup>1</sup>	
<sup>1</sup> Centrul Național de Studiu și Testare a Materialelor, Universitatea Tehnică a Moldovei	
Elena I. MONAICO <sup>1</sup>	
<sup>1</sup> Centrul Național de Studiu și Testare a Materialelor, Universitatea Tehnică a Moldovei	
Veaceslav V. URSAKI <sup>1,2</sup>	
<sup>1</sup> Centrul Național de Studiu și Testare a Materialelor, Universitatea Tehnică a Moldovei, Academia de Științe a Moldovei	
Ion M. TIGINYANU <sup>1</sup>	
<sup>1</sup> Centrul Național de Studiu și Testare a Materialelor, Universitatea Tehnică a Moldovei	
<b>STEAM approaches to drones in the teaching of exact disciplines</b>	30
Dorin AFANAS, Arina BRIGALDA "Ion Creangă" State Pedagogical University from Chisinau	
<b>Development of a drone-based object tracking system</b>	38
Félicien Thierry LOTIN DIPITA LOBE, Faculty of Sciences, Centre for Molecular Atomic Physics and Quantum Optics, University of Douala, Douala, Cameroon	
Damarice Carole BANGA ZE, Faculty of Sciences, Department of Physics, University of Yaounde, Yaounde, Cameroon	
Richard Fabrice EBONGUE EBONGUE, Faculty of Sciences, Department of Physics, University of Yaoundé, Yaoundé Cameroon	
<b>Celule solare bazate pe filme subțiri CdTe:Mn</b>	44
Victor SUMAN <sup>1</sup> , <sup>1</sup> Technical University of Moldova, Institute of Electronic Engineering and Nanotechnologies "D. Ghitu"	
Tamara POTLOG <sup>2</sup> , <sup>2</sup> Moldova State University	
Vadim MORARI <sup>1</sup> , Lidia GHIMPU <sup>1</sup> ,	

Marius ENACHESCU<sup>3</sup>

<sup>3</sup>Universitatea Politehnica București

<b>Sky-high solutions: best practices in uav technologies for sustainable tourism</b>	51
Veronica BULAT, Moldova State University	
<b>Procedeu de inactivare a agenților patogeni sub acțiunea UVC</b>	55
Ion MUNTEANU <sup>1,2</sup>	
<sup>1</sup> Laboratorul de optică cuantică și procese cinetice, Institutul de Fizică Aplicată, Universitatea de Stat din Moldova	
<sup>2</sup> Catedra de fiziologie a omului și biofizică, Universitatea de Stat de Medicină și Farmacie "Nicolae Testemițeanu"	
<b>Ecological techniques for stimulating plant germination at subatmospheric pressures and carbon nanoclusters</b>	63
Alisa MOȘNEAGA, Petru LOZOVANU Moldova State University	
<b>Particularități ale implementării standardelor de referință în evaluarea conformității calității apei</b>	71
Liliana DMITROGLO, Virginia GURĂU, Ludmila LECA, Universitatea de Stat din Moldova	
<b>Utilizarea abordării steam în cadrul proiectelor de transfer tehnologic</b>	77
Elena FLEACĂ, Universitatea Națională de Știință și Tehnologie POLITEHNICA, București, România Marian JALENCU, Universitatea de Stat din Moldova	
<b>Integration of digital technologies into agricultural education in the northern development region of the Republic of Moldova</b>	83
Ion BODRUG, ACETI & DIH of Moldova, Balti Dorin CEBANU, National Center of Research and Seeds Production & ACETI, Balti Sergiu PASCARI, ACETI & DIH of Moldova, Balti Mircea PETIC, ACETI & DIH of Moldova, Balti	
<b>Semnificația dezvoltării sustenabile a proiectelor inovative de afaceri</b>	88
Marian JALENCU, Universitatea de Stat din Moldova	

<b>Utilizarea tehnologiilor avansate în fenotiparea plantelor și studiul unor procese metabolice la soiurile autohtone de soia (<i>Glycine max</i> (L.) Merrill.)</b>	93
Ana BÎRSAN <sup>1</sup>	
<sup>1</sup> Universitatea de Stat din Moldova	
Veaceslav SPRINCEAN <sup>1</sup> , Mariana SAVVA <sup>1</sup>	
Ion GANEA <sup>2</sup> , <sup>2</sup> Universitatea Tehnică a Moldovei	
Costel GUȚU <sup>3</sup> , <sup>3</sup> Centrul Național de Cercetare și Producere a Semințelor	
Maria IACUBUȚĂ <sup>3</sup>	
Florentin PALADI <sup>1</sup>	
<b>Micro and nanocomposites of gallium oxides and chalcogens as radiation receivers and gas sensors</b>	98
Veaceslav SPRINCEAN, Mihail CARAMAN	
Universitatea de Stat din Moldova	
<b>The use of drones in educational processes</b>	106
Marianna SAVVA, Moldova State University	
<b>Portable electronic nodes for a sensor network</b>	111
Tatiana MASLOVA, Adrian BÎRNAZ, Oleg LUPAN	
Technical University of Moldova	
<b>Dimensiunile bunăstării factorului uman în contextul mediului dinamic al societății</b>	117
Mihaela BALMUȘ-ANDONE, Universitatea de Stat din Moldova	
<b>Tendențe în digitalizarea și automatizarea proceselor agricole</b>	123
Lirong XIANG, Universitatea de Stat din Carolina de Nord	
Roman PALANCIUC, Proiectul de Competitivitate și Reziliență Rurală USAID	
Moldova	
<b>Airborne solid particles pollutants analysis based on the AFM and time-resolved fluorescence spectroscopy</b>	134
Arcadi CHIRITA, Veaceslav SPRINCEAN, Mariana SAVVA Florentin PALADI	



Proceedings of the Scientific and Practical Conference  
**“Advanced Physical Technologies with UVS Application in Monitoring and Modeling of Environmental Factors” (TehFizUVS)**, 5th Edition,  
dedicated to the International Day of Science for Peace and Development

Materialele Conferinței științifico-practice  
**„TEHNOLOGII FIZICE AVANSATE CU APLICAREA UVS ÎN MONITORIZAREA ȘI MODELAREA FACTORILOR DE MEDIU” (TehFizUVS)**, Ediția a V-a,  
dedicată Zilei Internaționale a Științei pentru Pace și Dezvoltare



Proceedings of the Scientific and Practical Conference  
**“Advanced Physical Technologies with UVS Application in Monitoring and Modeling of  
Environmental Factors” (TehFizUVS)**, 5th Edition,  
dedicated to the International Day of Science for Peace and Development

Materialele Conferinței științifico-practice  
**„TEHNOLOGII FIZICE AVANSATE CU APLICAREA UVS ÎN MONITORIZAREA ȘI MODELAREA  
FACTORILOR DE MEDIU” (TehFizUVS)**, Ediția a V-a,  
dedicată Zilei Internaționale a Științei pentru Pace și Dezvoltare

---

Bun de tipar 2024. Formatul Letter 215.9 x 279.4 mm.  
Coli de tipar. Coli editoriale 10,83.  
Editura USM  
Str. Al. Mateevici, 60, Chișinău. MD 2009

Conferința științifico-practică

**„TEHNOLOGII FIZICE AVANSATE CU APLICAREA UVS ÎN  
MONITORIZAREA ȘI MODELAREA FACTORILOR DE MEDIU”,**

Ediția a V-a

Scientific and Practical Conference

**„ADVANCED PHYSICAL TECHNOLOGIES WITH UVS APPLICATION  
IN MONITORING AND MODELING OF ENVIRONMENTAL FACTORS”,**

5<sup>th</sup> edition

**08 noiembrie /**

**TehFizUVS-2024**