



# Utilizarea tehnologiilor digitale pentru eficientizarea proceselor din sistemele de oxigenare a apelor

Domeniul științific de încadrare: Științe inginerești

Raport final

Director proiect: Sl. dr. ing. **Ionela Mihaela CONSTANTIN**

Proiect de cercetare din cadrul Competiției AOSR -TEAMS – III, Ediția 2024-2025

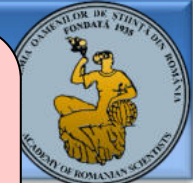
**Obiectivul general al proiectului.** *Analiza unei tehnologii inovatoare de oxigenare a apelor staționare și a producției energiei electrice, amplasată pe platformă controlată de la distanță cu ajutorul tehnologiilor digitale, utilizând energie solară.*

*Echipa de cercetare:*

**Sl. Dr. Ing. IBREAN Elena Beatrice**

**Drd. Ing. URDUZA Dănuț Cristian**

**Drd. Ing. Chiriac Gabriel-Adrian**



**Activitatea A4.** Diseminarea rezultatelor cercetării.  
În cadrul acestei activități, echipa de cercetare a publicat articolele și studiile/ cercetările efectuate și a participat la conferințe de specialitate, în calitate de promotor al tehnologiilor nepoluante utilizate în scopul asigurării independenței energetice și inovării românești.

		2024-2025																			
Activități /Sub-activități		L1	L2	L3	L4	L5	L6	L7	L8	L9	L10	L11	L12	L13	L14	L15	L16	L17	L18	L19	L20
Activitatea A1.	<i>Studiul sistemului de colectoare solare (L1 - L12)</i>	█	█																		
Subactivitatea A1.1.	Analiza orientării sistemului cu colector solar în funcție de zona de amplasare (L1-L7)		█	█	█	█	█	█													
Subactivitatea A1.2.	Studiul necesarului de energie electrică pentru operarea platformei mobile cu generatoare microbule fine (L7-L12).							█	█	█	█	█	█								
Activitatea A2.	<i>Cercetarea soluțiilor constructive ale platformei mobile (L13-L18).</i>													█	█	█	█	█			
Activitatea A3.	<i>Implementarea arhitecturii software a ansamblului propus (L13-L20).</i>													█	█	█	█	█	█	█	█
Activitatea A4.	<i>Diseminarea rezultatelor cercetării (L1-L20).</i>	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█

Livrabilul asociat acestei activități este: **2 articole publicate în reviste de specialitate indexate WOS / SCOPUS, participarea la conferințe internaționale de renume.**



IMPACT FACTOR 3.3

CITESCORE 7.7

Journal Impact Factor: 3.3  
Category Quartile: Q2

**sustainability**

Submit to Sustainability

Review for Sustainability

Share



to support all the people that live on the planet.

Journal Menu

- Sustainability Home
- Aims & Scope
- Editorial Board
- Reviewer Board
- Topical Advisory Panel
- Instructions for Authors
- Special Issues
- Topics
- Sections & Collections
- Article Processing Charge
- Indexing & Archiving
- Editor's Choice Articles
- Most Cited & Viewed
- Journal Statistics
- Journal History
- Journal Awards
- Society Collaborations
- Conferences

Sustainability

Sustainability is an international, peer-reviewed, open-access journal on environmental, economic, and social sustainability of human beings, published semimonthly online by MDPI. The Canadian Urban Transit Research & Innovation Consortium (CUTRIC), International for Research and Innovation in Building and Construction (CIB) and Urban Land Institute are affiliated with Sustainability and their members receive discounts on the article processing charge.

- Open Access** — free for readers, with article processing charges (APC) paid by author institutions.
- High Visibility:** indexed within Scopus, SCIE and SSCI (Web of Science), GEOBASE, GeoRef, Inspec, RePEc, CAPUS / SciFinder, and other databases.
- Journal Rank:** JCR - Q2 (Environmental Studies) / CiteScore - Q1 (Geography, Planning and Development)



Search for Articles:

Title / Keyword / Affiliation / Email Sustainability All Article Types Search Advanced

- Active Journals
- Find a Journal
- Journal Proposal
- Proceedings Series

**sustainability**

Submit to this Journal

Review for this Journal

Propose a Special Issue

Article Menu

- Academic Editor
  - Carlos Vargas-Salgado
- Recommended Articles
- Related Info Link
- More by Authors Links

Open Access Article

### Design and Simulation of NEPTUNE-R: A Solar-Powered Autonomous Hydro-Robot for Aquatic Purification and Oxygenation

by Mihaela Constantin <sup>1,2,\*</sup>, Mihnea Gîrbăciacă <sup>3</sup>, Andrei Mitran <sup>3</sup> and Cătălina Dobre <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Department of Thermotechnics, Engines, Thermal and Refrigeration Equipment, Faculty of Mechanical Engineering and Mechatronics, National University of Science and Technology "POLITEHNICA" of Bucharest, 060042 Bucharest, Romania

<sup>2</sup> Academy of Romanian Scientists, Ilfov 3, 050044 Bucharest, Romania

<sup>3</sup> Department of Computers and Information Technology, Faculty of Engineering in Foreign Languages, National University of Science and Technology "POLITEHNICA" of Bucharest, 060042 Bucharest, Romania

\* Authors to whom correspondence should be addressed.

Sustainability 2025, 17(21), 9711; <https://doi.org/10.3390/su17219711>

Submission received: 3 October 2025 / Revised: 23 October 2025 / Accepted: 29 October 2025 / Published: 31 October 2025

Download Browse Figures Versions Notes

<https://www.mdpi.com/2071-1050/17/21/9711>



applied mechanics

Submit to Applied Mechanics

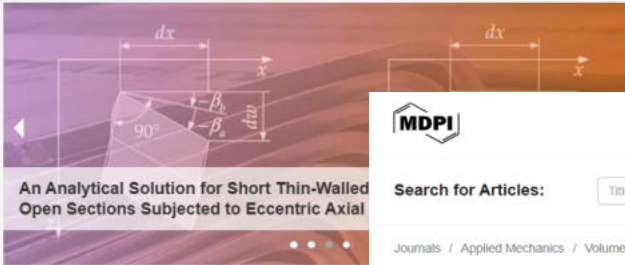
Review for Applied Mechanics



Share

## Journal Menu

- Applied Mechanics Home
- Aims & Scope
- Editorial Board
- Topical Advisory Panel
- Instructions for Authors
- Special Issues
- Topics
- Topical Collections
- Article Processing Charge
- Indexing & Archiving
- Most Cited & Viewed
- Journal Statistics



An Analytical Solution for Short Thin-Walled Open Sections Subjected to Eccentric Axial

## Applied Mechanics

Applied Mechanics is an international, peer-reviewed, open access journal published quarterly online by MDPI. The South African Association of Mechanics (SAAM) is affiliated with Applied Mechanics and its article processing charges.

- Open Access** — free for readers, with article processing charges for authors.
- High Visibility:** indexed within ESCI (Web of Science), Scopus, and Crossref.
- Journal Rank:** CiteScore - Q2 (Engineering (miscellaneous))



Search for Articles:

Title / Keyword

Author / Affiliation / Email

Applied Mechanics

All Article Types

Search

Advanced

Journals / Applied Mechanics / Volume 6 / Issue 4 / 10.3390/applmech6040082



applied mechanics

Submit to this Journal

Review for this Journal

Propose a Special Issue

## Article Menu

Recommended Articles

Related Info Link

More by Authors Links

IMPACT  
FACTOR  
1.5

CITESCORE  
3.5

## E-Mail Alert

Add your e-mail address to receive

Journals

Topics

Information

Author Services

Initiatives

About

Sign In / Sign Up

Submit

Journal Impact Factor: 1.5  
Category Quartile: Q2

IK

Order Article Reprints



This is an early access version, the complete PDF, HTML, and XML versions will be available soon.

Open Access Article

## Comparative Study of Single Cyclone Validation and Predictive Simulation of Multi-Cyclone Configurations

by Mihaela Constantin<sup>1,2</sup>, Cătălina Dobre<sup>1,\*</sup>, Anca Chelmuș<sup>1,\*</sup>, Nicolae Băran<sup>1</sup>, Daniel Tătaru<sup>1</sup>, Cristian Ibrăescu<sup>1</sup>, Daniel Dima<sup>1</sup> and Mugurel Oprea<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Department of Thermotechnics, Engines, Thermal and Refrigeration Equipment, National University of Science and Technology "POLITEHNICA" of Bucharest, 060042 Bucharest, Romania

<sup>2</sup> Academy of Romanian Scientists, Ilfov 3, 050044 Bucharest, Romania

\* Authors to whom correspondence should be addressed.

Appl. Mech. 2025, 6(4), 82; <https://doi.org/10.3390/applmech6040082>

Submission received: 3 October 2025 / Revised: 27 October 2025 / Accepted: 1 November 2025 /

Published: 4 November 2025

<https://www.mdpi.com/2673-3161/6/4/82>



Share



Help



Cite



Discuss in  
ScProfiles

# Thermodynamic Analysis of Oxygenation Methods for Stationary Water: Mathematical Modeling and Experimental Investigation

By Constantin, M (Constantin, Mihaela) [1], [2]; Dobre, C (Dobre, Catalina) [1]; Oprea, M (Oprea, Mugurel) [1]

View Web of Science ResearcherID and ORCID (provided by Clarivate)

Source: THERMO  
Volume: 5 Issue: 3  
DOI: 10.3390/thermo5030028

Article Number: 28

Published: AUG 8 2025

Indexed: 2025-10-02

Document Type: Article

Jump to: Enriched Citations

**Abstract**  
This paper presents a detailed thermodynamic and mathematical modeling study of the oxygenation processes in stationary water bodies, focusing on improving oxygen transfer efficiency, an essential factor in sustaining aquatic ecosystem health. The study employed mathematical models implemented in MATLAB R2024a to simulate the influence of temperature, bubble size, and mass transfer parameters. Key parameters, such as dissolved oxygen concentration, volumetric mass transfer coefficient (k<sub>L</sub>), and water temperature, were evaluated under different operational scenarios. The oxygenation system was powered by solar energy and included rotating fine-bubble generators mounted on a floating platform. Mathematical modeling carried out in MATLAB validated the theoretical models, showing how environmental factors such as temperature and bubble size influence oxygen dissolution. Initial experimental data, including dissolved oxygen levels (C<sub>0</sub> = 3.12 mg/dm<sup>3</sup>), saturation concentrations at various temperatures (C<sub>s</sub> = 8.3 mg/dm<sup>3</sup> at 24 degrees C; C<sub>s</sub> = 7.3 mg/dm<sup>3</sup> at 30 degrees C), and a mass transfer coefficient of k<sub>L</sub> = 0.09 s<sup>-1</sup>, were used to support the model accuracy. The results highlight the potential of digitally controlled energy-efficient aeration technologies for applications in lake restoration, aquaculture, and sustainable water management. This paper introduces a coupled approach to oxygen transfer and temperature evolution validated experimentally, which has rarely been detailed in the literature. The novelty of this study lies in the combined thermodynamic modeling and energy-entropy analysis along with real-time tracking, showing the relevance of energy-optimized, digitally monitored oxygenation platforms powered by solar energy.

**Keywords**  
Author Keywords: thermodynamic methods; dissolved oxygen; bubble generation; mass transfer coefficient; numerical evaluation

Keywords Plus: DISSOLVED-OXYGEN

**Author Information**  
Corresponding Address: Constantin, Mihaela; Dobre, Catalina; Oprea, Mugurel (corresponding author)

<sup>1</sup> Natl Univ Sci & Technol POLITEHN Bucharest, Fac Mech Engrn & Mechatron, Dept Thermotech Engines Thermal & Refrigerat Equi, Bucharest 060042, Romania

Corresponding Address: Constantin, Mihaela (corresponding author)

<sup>2</sup> Acad Romanian Scientists, Ilfov 3, Bucharest 050044, Romania

E-mail Addresses:  
Email: constantin@roma3.com, catalina.dobre@politehnica.ro, mugurel.oprea@politehnica.ro

Journal Impact Factor: 2.3  
Category Quartile: Q2

Search for Articles:

Title / Keyword

Author / Affiliation / Email

Thermo

All Article Types

Search

Advanced

Journals / Thermo



Submit to Thermo

Review for Thermo



Share

## Journal Menu



Journals

Topics

Information

Author Services

Initiatives

About

Search for Articles:

Title / Keyword

Author / Affiliation / Email

Thermo

All Article Types

Search

Advanced

Journals / Thermo / Volume 5 / Issue 3 / 10.3390/thermo5030028



Submit to this Journal

Review for this Journal

Propose a Special Issue

## Article Menu

Academic Editors



Jean Jacquemin



William E. Acree

## Thermo

Thermo is an international, peer-reviewed, open access journal on all aspects of thermal sciences, including key features on thermodynamics, statistical mechanics, kinetic theory and satellite areas, published quarterly online by MDPI.

- **Open Access** — free for readers, with article processing charges (APC) paid by authors or their institutions.
- **High Visibility**: indexed within ESCI (Web of Science), Scopus, EBSCO, and other databases.
- **Journal Rank**: JCR - Q2 (Thermodynamics)

IMPACT FACTOR  
2.3

CITESCORE  
3.9

## E-Mail Alert

Add your e-mail address to receive forthcoming issues of this journal:

Enter Your E-Mail Address...

Subscribe

## News

Sign In / Sign Up

Submit

<https://www.mdpi.com/2673-7264/5/3/28>

IK

Order Article Reprints



Open Access Article

## Thermodynamic Analysis of Oxygenation Methods for Stationary Water: Mathematical Modeling and Experimental Investigation

by Mihaela Constantin <sup>1,2,\*</sup>, Cătălina Dobre <sup>1,\*</sup> and Mugurel Oprea <sup>1,\*</sup>

<sup>1</sup> Department of Thermotechnics, Engines, Thermal and Refrigeration Equipment, Faculty of Mechanical Engineering and Mechatronics, National University of Science and Technology 'POLITEHNICA' of Bucharest, 060042 Bucharest, Romania

<sup>2</sup> Academy of Romanian Scientists, Ilfov 3, 050044 Bucharest, Romania

\* Authors to whom correspondence should be addressed.

Thermo 2025, 5(3), 28, <https://doi.org/10.3390/thermo5030028>

Submission received: 28 November 2024 / Revised: 24 July 2025 / Accepted: 6 August 2025 / Published: 8 August 2025

<https://www.webofscience.com/wos/woscc/full-record/WOS:001579689000001>



# Mathematical Modeling of Oxygen Transfer Using a Bubble Generator at a High Reynolds Number: A Partial Differential Equation Approach for Air-to-Water Transfer

By **Constantin, M (Constantin, Mihaela)** <sup>[1], [2]</sup>; **Dobre, C (Dobre, Catalina)** <sup>[1], [2]</sup>; **Oprea, M (Oprea, Mugurel)** <sup>[1]</sup>

Source **INVENTIONS**  
Volume: 9 Issue: 4  
DOI: 10.3390/inventions9040076

Article Number **76**

Published **AUG 2024**

Indexed **2024-09-15**

Document Type **Article**

Jump to [↓ Enriched Cited References](#)

**Abstract** This paper presents the mathematical modeling of the oxygen transfer process using partial differential equations (PDEs). This process is crucial in various environmental and engineering applications, such as wastewater treatment, aeration systems, and natural water bodies, in order to maintain water quality. The authors solved the typical PDE for describing the change in oxygen concentration over time and present the developed model of the differential equation with the term "source", indicating that the model could be used to optimize oxygen transfer in various environmental and engineering applications, contributing to improved water quality and system efficiency.

**Keywords** **Author Keywords:** differential equation; partial derivatives; oxygen transfer; water oxygenation; bubble generators

**Author Information** Corresponding Address: Constantin, Mihaela; Dobre, Catalina (corresponding author)  
 - Natl Univ Sci & Technol POLITEHN Bucharest, Fac Mech Engrg & Mechatron, Dept Thermotech Engines Thermal & Refrigerat Equip, Bucharest 060042, Romania  
 Corresponding Address: Constantin, Mihaela; Dobre, Catalina (corresponding author)  
 - Acad Romanian Scientists, Ilfov 3, Bucharest 050044, Romania

**Journal Impact Factor: 1.9**  
**Category Quartile: Q2**

Search for Articles:  Title / Keyword  Author / Affiliation / Email  Inventions  All Article Types

Journals / Inventions



**inventions**

[Submit to Inventions](#)

**Inventions**

Inventions is an international, scientific, peer-reviewed, open access journal published bimonthly online by MDPI.

• **Open Access** — free for readers, with article processing charges (APC) paid by authors or their

**IMPACT FACTOR 1.9**  
**CITISCORE 4.9**

**E-Mail Alert**

Add your e-mail address to receive forthcoming issues of this journal:

Enter Your E-Mail Address.

<https://www.mdpi.com/2411-5134/9/4/76>



Article

## Mathematical Modeling of Oxygen Transfer Using a Bubble Generator at a High Reynolds Number: A Partial Differential Equation Approach for Air-to-Water Transfer

**Mihaela Constantin** <sup>1,2,\*</sup>, **Cătălina Dobre** <sup>1,2,\*</sup> and **Mugurel Oprea** <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Department of Thermotechnics, Engines, Thermal and Refrigeration Equipment, Faculty of Mechanical Engineering and Mechatronics, National University of Science and Technology "POLITEHNICA" of Bucharest, 060042 Bucharest, Romania; dragoismugurel.oprea@yahoo.com

<sup>2</sup> Academy of Romanian Scientists, Ilfov 3, 050044 Bucharest, Romania

\* Correspondence: l.mihaelaconstantin@gmail.com (M.C.); catalina.dobre@upb.ro (C.D.)

**Abstract:** This paper presents the mathematical modeling of the oxygen transfer process using partial differential equations (PDEs). This process is crucial in various environmental and engineering applications, such as wastewater treatment, aeration systems, and natural water bodies, in order to maintain water quality. The authors solved the typical PDE for describing the change in oxygen concentration over time and present the developed model of the differential equation with the term "source", indicating that the model could be used to optimize oxygen transfer in various environmental and engineering applications, contributing to improved water quality and system efficiency.

**Keywords:** differential equation; partial derivatives; oxygen transfer; water oxygenation; bubble generators

<https://www.webofscience.com/wos/woscc/full-record/WOS:001305566000001>



## A Review of Available Solutions for Implementation of Small-Medium Combined Heat and Power (CHP) Systems

**By** Dobre, C (Dobre, Catalina) <sup>[1], [2]</sup>; Costin, M (Costin, Mihnea) <sup>[1]</sup>; Constantin, M (Constantin, Mihaela) <sup>[1], [2]</sup>  
*Are you this author?*  
 View Web of Science ResearcherID and ORCID (provided by Clarivate)

**Source** INVENTIONS  
 Volume: 9 Issue: 4  
 DOI: 10.3390/inventions9040082

**Article Number** 82

**Published** AUG 2024

**Indexed** 2024-09-15

**Document Type** Review

Journal Impact Factor: 1.9  
 Category Quartile: Q2

**Abstract** The transition towards a sustainable and renewable energy future is essential to mitigate climate change and reduce greenhouse gas emissions. Small-medium combined heat and power (CHP) systems are increasingly popular for distributed energy generation, as they offer improved energy efficiency and reduced emissions compared to traditional power generation systems. This article reviews recent research articles related to small-medium CHP systems, including their role in renewable energy systems, use of biofuels, steam injection, diagnostics, and carbon capture. Throughout the research, the high potential of coastal regions has been observed and studied as a solid base for the later development of CHP systems. Based on the reviewed literature, the highest potential solutions are proposed to be further investigated as an efficient, economical solution for generating electricity and heat for various small-scale applications.

**Keywords** **Author Keywords:** CHP; energy efficiency; power generation systems; renewable energy systems

**Author Information** Corresponding Address: Dobre, Catalina; Constantin, Mihaela (corresponding author)  
 Natl Univ Sci & Technol Politehn Bucharest, Dept Engrn Thermodynam Engines Thermal & Refrigerat, Splaiul Independentei 313, Bucharest 060042, Romania  
 Corresponding Address: Dobre, Catalina; Constantin, Mihaela (corresponding author)  
 Acad Romanian Scientists, Ilfov 3, Bucharest 050044, Romania

<https://www.webofscience.com/wos/woscc/full-record/WOS:001305546400001>

<https://www.mdpi.com/2411-5134/9/4/82>



Submit to Inventions  
 Review for Inventions

### Inventions

Inventions is an international, scientific, peer-reviewed, open access journal published bimonthly online by MDPI.

- Open Access** — free for readers, with article processing charges (APC) paid by authors or their institutions.

IMPACT FACTOR 1.9  
 CITE SCORE 4.9

### E-Mail Alert

Add your e-mail address to receive forthcoming issues of this journal.  
 Enter Your E-Mail Address:  
 Subscribe



### Review

## A Review of Available Solutions for Implementation of Small-Medium Combined Heat and Power (CHP) Systems

Cătălina Dobre <sup>1,2,\*</sup>, Mihnea Costin <sup>1</sup> and Mihaela Constantin <sup>1,2,\*</sup>

- Department of Engineering Thermodynamics, Engines, Thermal and Refrigeration Equipment, National University of Science and Technology Politehnica Bucharest, Splaiul Independenței 313, 060042 Bucharest, Romania; mihnea.costin3737@gmail.com
  - Academy of Romanian Scientists, Ilfov 3, 050044 Bucharest, Romania
- \* Correspondence: catalina.dobre@upb.ro (C.D.); constantin.mihaela@upb.ro (M.C.); Tel: +40-214029339 (M.C.)

**Abstract:** The transition towards a sustainable and renewable energy future is essential to mitigate climate change and reduce greenhouse gas emissions. Small-medium combined heat and power (CHP) systems are increasingly popular for distributed energy generation, as they offer improved energy efficiency and reduced emissions compared to traditional power generation systems. This article reviews recent research articles related to small-medium CHP systems, including their role in renewable energy systems, use of biofuels, steam injection, diagnostics, and carbon capture. Throughout the research, the high potential of coastal regions has been observed and studied as a solid base for the later development of CHP systems. Based on the reviewed literature, the highest potential solutions are proposed to be further investigated as an efficient, economical solution for generating electricity and heat for various small-scale applications.

**Keywords:** CHP; energy efficiency; power generation systems; renewable energy systems



# PRELIMINARY THERMODYNAMIC ASSESMENT OF A REFRIGERATION SYSTEM WITH A PCM BASED DEFROSTING

By Apostol, V (Apostol, Valentin)<sup>[1]</sup>; Pop, H (Pop, Horatiu)<sup>[1]</sup>; Priseacaru, T (Priseacaru, Tudor)<sup>[1]</sup>; Ionita, C (Ionita, Claudia)<sup>[1]</sup>; Al Douri, J (Al Douri, Jamal)<sup>[1]</sup>; Chiriac, A (Chiriac, Adrian)<sup>[1]</sup>; Pavel, CC (Pavel, Cornel Constantin)<sup>[1]</sup>

Source: INMATEH-AGRICULTURAL ENGINEERING  
Volume: 75 Issue: 1 Page: 515-526  
DOI: 10.35633/inmateh-75-44

Published: JAN-APR 2025  
Indexed: 2025-05-22  
Document Type: Article

Journal Impact Factor: 0.6  
Category Quartile: Q4

Jump to: [Enriched Cited References](#)

**Abstract**  
This article presents a preliminary thermodynamic evaluation of a vapor compression refrigeration system (VCRS) using phase change materials (PCM) for defrosting. The objective of this study was to highlight the potential of heat recovery during the operation of the VCRS and its subsequent use in the defrosting process. The system was analyzed energetically, considering both the cooling and defrosting cycles using PCM-RT 35 HC. Input data are given, and they were experimentally measured on a VCRS installed in a freezing chamber located in the university campus. The analysis includes the following refrigerants: R32, R404A, R134a, R290, R600a, R600, R1234yf, and R1234ze(E). The results indicate that as the defrosting time increases, the refrigerant flow rate required for PCM-based defrosting decreases. Furthermore, it was observed that R600 requires the smallest refrigerant flow rate for the defrosting process, while R404A requires the highest to defrost the same mass of ice. The analysis revealed that R32 is the most suitable refrigerant for PCM-based defrosting, followed by wet or dry refrigerants (R404A, R134a, R290) and, finally, isentropic refrigerants (R600, R600a, R1234yf, R1234ze(E)). Additionally, it is noted that as the condensing temperature increased, the recoverable heat increased for R32, R404A, R134a, and R290, but decreased for isentropic refrigerants such as R600a, R600, R1234yf, and R1234ze(E). This analysis was conducted using a computational model implemented in the Engineering Equation Solver software.

**Keywords**  
Author Keywords: vapor compression refrigeration; phase change material; evaporator; defrosting; thermal energy storage  
Keywords Plus: THERMAL STORAGE; ENERGY STORAGE; PERFORMANCE; COMPRESSOR; BUILDINGS

**Author Information**  
Corresponding Address: Pop, Horatiu; Chiriac, Adrian (corresponding author)  
Natl Univ Sci & Technol POLITEHN Bucharest, Fac Mech Engn & Mechatron, Bucharest, Romania  
Corresponding Address: Chiriac, Adrian (corresponding author)  
Acad Romanian Scientists, Ilfov 3, Bucharest 050044, Romania  
E-mail Addresses:  
horatiu.pop@upb.ro; gabriel.chiriac@upb.ro  
Addresses:  
Natl Univ Sci & Technol POLITEHN Bucharest, Fac Mech Engn & Mechatron, Bucharest, Romania  
Acad Romanian Scientists, Ilfov 3, Bucharest 050044, Romania



## PRELIMINARY THERMODYNAMIC ASSESMENT OF A REFRIGERATION SYSTEM WITH A PCM BASED DEFROSTING

### EVALUAREA TERMODINAMICĂ PRELIMINARĂ A UNUI SISTEM FRIGORIFIC CU DEGIVRARE PE BAZĂ DE PCM

Valentin APOSTOL<sup>1)</sup>, Horatiu POP <sup>\*)</sup>, Tudor PRISEACARU<sup>1)</sup>, Claudia IONITA<sup>1)</sup>, Jamal AL DOURI<sup>1)</sup>  
**Adrian CHIRIAC<sup>\*)1,2)</sup>, Cornel Constantin PAVEL<sup>1)</sup>**

<sup>1)</sup> Faculty of Mechanical Engineering and Mechatronics, National University of Science and Technology POLITEHNICA Bucharest / Romania.

<sup>2)</sup> Academy of Romanian Scientists, Ilfov 3, 050044 Bucharest, Romania

Tel: +40744903488; E-mail: [horatiu.pop@upb.ro](mailto:horatiu.pop@upb.ro); Tel: +40721882659; E-mail: [gabriel.chiriac@upb.ro](mailto:gabriel.chiriac@upb.ro)  
Corresponding authors: Horațiu POP; Adrian CHIRIAC

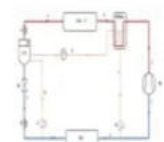
DOI: <https://doi.org/10.35633/inmateh-75-44>

<https://inmateh.eu/volumes/volume-75--no-1--2025/preliminary-thermodynamic-asesment-of-a-refrigeration-system-with-a-pcm-based-defrosting-syste/>



Log in Register Search for articles

Home About us For Authors Archive Announcements Contact



DOWNLOAD ARTICLE
Topic
Renewable energies
Volume

Home > Volumes > Volume 75 No 1 2025 >

## PRELIMINARY THERMODYNAMIC ASSESMENT OF A REFRIGERATION SYSTEM WITH A PCM BASED DEFROSTING

### EVALUAREA TERMODINAMICĂ PRELIMINARĂ A UNUI SISTEM FRIGORIFIC CU DEGIVRARE PE BAZĂ DE PCM

DOI: <https://doi.org/10.35633/inmateh-75-44>

IMPACT FACTOR 0.6  
CITISCORE 1.3

SUBMIT ARTICLE  
Author Guidelines  
Old Site  
Indexed in



Authors

<https://www.webofscience.com/wos/woscc/full-record/WOS:001485401300037>



PAPER · OPEN ACCESS

## Presentation of some constructive solutions for a rotating machine with profiled rotors

Gabriel Fischer-Szava, Alexandru Dobrovicescu, Georgiana Dăescu (Duiculete), Nicolae Băran, Mihaela Constantin, Cătălina Dobre, Rana Adil Abdul-Nabe and Sevastiana Areta Ghioca

Published under licence by IOP Publishing Ltd

[IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Volume 1290, XXIIIrd National Conference on Thermodynamics with International Participation 11/05/2023 - 13/05/2023 Galati, Romania](#)

Citation Gabriel Fischer-Szava et al 2023 *IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng.* **1290** 012006

DOI 10.1088/1757-899X/1290/1/012006

Article PDF

Authors ▲ References ▼

**Mihaela Constantin**

### AFFILIATIONS

University Politehnica of Bucharest, Faculty of Mechanical Engineering and Mechatronics,  
Bucharest, Romania

[Academy of Romanian Scientists, Ilfov 3, 050044, Bucharest, Romania](#)

XXIIIrd National Conference on Thermodynamics with International Participation

IOP Publishing

IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering

1290 (2023) 012006

doi:10.1088/1757-899X/1290/1/012006

## Presentation of some constructive solutions for a rotating machine with profiled rotors

Gabriel Fischer-Szava<sup>1</sup>, Alexandru Dobrovicescu<sup>1</sup>, Georgiana Dăescu (Duiculete)<sup>1</sup>, Nicolae Băran<sup>1</sup>, [Mihaela Constantin<sup>1,2</sup>](#), Cătălina Dobre<sup>1,2</sup>, Rana Adil Abdul-Nabe<sup>1</sup>, Sevastiana Areta Ghioca<sup>1</sup>

<sup>1</sup>University Politehnica of Bucharest, Faculty of Mechanical Engineering and Mechatronics, Bucharest, Romania

<sup>2</sup>Academy of Romanian Scientists, Ilfov 3, 050044, Bucharest, Romania

[i.mihaelaconstantin@gmail.com](mailto:i.mihaelaconstantin@gmail.com)

**Abstract.** The purpose of the paper is to present an original solution for conveying some liquids with the help of a rotating volumetric pump. The pump can be equipped with 1 to 4 specially processed profiled rotors and can transport viscous fluids, pure fluids, or polyphase fluids. It was concluded that the performance of this machine, which can also be used as a fan or low-pressure compressor, is superior to other similar machines.

<https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/1290/1/012006/pdf>

<https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/1290/1/012006>

## The design of a new oxygenation system for water flowing through a tube

Mugurel Oprea<sup>1</sup>, Nicolae Băran<sup>1</sup>, Mihaela Constantin<sup>1,2\*</sup>

<sup>1</sup>Dept. of Thermotechnics, Engines, Thermal and Refrigeration Equipment  
University Politehnica of Bucharest  
Bucharest, Romania  
i.mihaelaconstantin@gmail.com

Ana-Maria Nicolau<sup>1</sup>, Cătălina Dobre<sup>1,2</sup>, Beatrice Ibrean<sup>1</sup>

Dept. of Thermotechnics, Engines, Thermal and Refrigeration Equipment  
<sup>2</sup>Academy of Romanian Scientists, Ilfov 3, 050044,  
Bucharest, Romania  
i.mihaelaconstantin@gmail.com

**Abstract**—Due to climate change, stagnant or flowing waters continue to warm, and the content of dissolved oxygen in water decreases, endangering aquatic ecosystems and anthropogenic activities. To improve the water quality, water oxygenation or water aeration are used. This paper presents a system that aims to increase the concentration of the O<sub>2</sub> dissolved in water flowing through tubes. The assembly of a helix with orifices through which air is introduced with pressure given by a compressor inside a tube is presented.

**Keywords**— *flowing waters, water oxygenation, dissolved oxygen in water*

very quickly, produce gases, have a swampy appearance and in this case, water aeration is a mandatory process.

The use of microbubble generators brings an additional advantage, namely, it produces water bubbling which leads to a magnification in the degree of water turbulence that does not allow the algae development. Aquaculture brought serious negative effects on the aquatic environment due to the need to store large quantities of fish, such as depletion of oxygen content and eutrophication [8-10]. Low oxygen in water can kill fishes and other organisms present in water [11]. Recently, in areas with limited resources, research has

## Analysis of a rotary pump with two sectional impellers

Fischer- Szava Gabriel<sup>1</sup>, Băran Nicolae<sup>1</sup>, Constantin Mihaela<sup>1,2\*</sup>, Nicolau Ana-Maria<sup>1</sup>,

<sup>1</sup>Depart. of Thermotechnics, Engines, Thermal and Refrigeration Equipment  
University Politehnica of Bucharest  
Bucharest, Romania  
[i.mihaelaconstantin@gmail.com](mailto:i.mihaelaconstantin@gmail.com)

Adil Abdul-Nabe Rana<sup>1</sup>, Ghioca Sevastiana Areta<sup>1</sup>, Dăescu (Duiculete) Georgiana<sup>1</sup>

Depart. of Thermotechnics, Engines, Thermal and Refrigeration Equipment  
<sup>2</sup>Academy of Romanian Scientists, Ilfov 3, 050044, Bucharest, Romania  
[i.mihaelaconstantin@gmail.com](mailto:i.mihaelaconstantin@gmail.com)

**Abstract**—The presented study shows aspects related to the fluid flow inside a rotary machine; this type of machine can be utilized as a ventilator, air pump or blower. Relations for computing the driving power of this pump as well as the fluid flow rate of transported are presented. The sealing between the impellers and between the impellers and the machine casing is studied and the advantages of different types of impeller shapes are specified.

**Keywords**—rotary working machine, sectional impellers, volumetric pump

Fang [22] patented a new impeller profile by introducing four circular springs to increase the efficiency of a vacuum pump. By using a single circular spring, the authors of [23] presented a two-lobed impeller with a new geometric design for the airfoil of it. By combining the conjugate epicyclic curve and circular arcs, a new impeller profile was developed [24].

What one can deduct from the analysis of the specialized literature above, is that the efficiency of the pump and the level of sealing are the key points in the design of a pump, which means that the subjects related to the geometric shape

<https://www.ictea.ca/>

### Investigation of Cyclone Separator Configurations for Efficient Two-Phase Medium Separation

M. Constantin<sup>1,2</sup>, A. Chelmuș<sup>1</sup>, N. Băran<sup>1</sup>, D. Taban<sup>1</sup>, B. Iborean<sup>1</sup>, D. Dima<sup>1</sup>, C. Dobre<sup>1\*</sup>, M. Oprea<sup>1</sup>

<sup>1</sup>National University of Science and Technology „POLITEHNICA” of Bucharest, Romania, Depart. of Thermotechnics, Engines, Thermal and Refrigeration Equipment, Bucharest, Romania

<sup>2</sup>Academy of Romanian Scientists, Ilfov 3, 050044, Bucharest, Romania

#### Abstract

This paper presents the analysis of a dry separation system used for two-phase medium separation, consisting of a gas phase (air) and solid particles (polyethylene particles,  $\Phi 5$ ). The system features a centrifugal fan that transports the air, which then passes through a cyclone for particle separation. The air, now free of particles, is recirculated into the atmosphere, while the separated particles are collected for disposal. The pressure drop, measured by a differential manometer, is used to determine the airflow rate through the system. The scope of the research includes Matlab simulations to assess flow behavior, vortex stability, separation efficiency and the particle's trajectory within the cyclone chamber. Additionally, the research investigates the impact of connecting cyclones in series and parallel arrangements, highlighting differences in performance, air throughput, and particle removal efficiency. The findings emphasize the importance of selecting the optimal cyclone configuration and fan arrangement for achieving efficient separation and minimal energy consumption in industrial dust removal applications. The results are applicable in various fields, including air purification and chemical processing industries.

<https://www.ictea.ca/>

## Energetic and exergetic analysis of the cryogenic air liquefaction plant based on the simple Linde-Hampson cycle

D. C. Urduza<sup>1,3</sup>, L. Grosu<sup>2</sup>, G. L. Gaiu<sup>1\*</sup>, A. Serban<sup>1</sup>, A. Dobrovicescu<sup>1</sup>

<sup>1</sup>National University of Science and Technology POLITEHNICA BUCUREȘTI, Bucharest, Romania

<sup>2</sup>Universite Paris Nanterre, Laboratoire Énergétique Mécanique Electromagnétisme (LEME), IUT de Ville d'Avray, France

<sup>3</sup>Academy of Romania Scientists, Ilfov 3, 050044 Bucharest, Romania

\*Correspondence: [george.gaiu@criomecsa.ro](mailto:george.gaiu@criomecsa.ro) (G.L.G.)

### Abstract

The study analyzes the operation of the Linde-Hampson type cryogenic air liquefaction plant with one throttling. To identify the causes of system inefficiency, the exergetic analysis method is used, which succeeds in locating and quantifying the destructive effects of functional processes. The results of the exergy analysis show that the highest exergy consumptions are associated with the throttling process (41.15% of the mechanical power consumption) and the heat transfer at a finite temperature difference in the recuperative heat exchanger (14%). The directions to be followed in the strategy to improve the performance of the installation are thus identified either through functional changes of the specified scheme or through structural changes. Graphs are presented that show the sensitivity of the performance characteristics of the system ( $\gamma$  [kg liquid/kg compressed air],  $w$  [MJ/kg liquid air] and COP) to the change of the decision parameters, and changes are proposed in the structure of the plant scheme in order to optimize its operation.

*Keywords:* Functional optimization, Structural optimization, Exergy Destruction

In both, his 2021 study [1] and 2023 study [5], Yanbin Qiu examined the Linde-Hampson cycle, performing both

Total **11** lucrări cu afilierea

## ACADEMIEI OAMENILOR DE ȘTIINȚĂ DIN ROMÂNIA DESTINATĂ TINERILOR CERCETĂTORI

- **5** articole **Q2** indexate **WOS**
- **1** articol **Q4** indexat **WOS**
- **1** articol indexat **SCOPUS**
- **2** articole indexate **BDI**
- **2** articole prezentate în cadrul unor conferințe internaționale din domeniu

**Vă mulțumesc pentru atenție!**



**Competiția de proiecte de cercetare a Academiei Oamenilor de Știință din România  
destinată tinerilor cercetători „AOSR-TEAMS-II” EDIȚIA 2024-2025 – „Transformarea  
digitală în științe”**

**RAPORT FINAL**

PROIECT: *Utilizarea tehnologiilor digitale pentru eficientizarea proceselor din sistemele de oxigenare a apelor.*

**Obiectivul general al proiectul:** *Analiza unei tehnologii inovatoare de oxigenare a apelor staționare și a producției energiei electrice, amplasată pe platformă controlată de la distanță cu ajutorul tehnologiilor digitale, utilizând energie solară.*

**Obiectivul general** al proiectului este de a sprijini strategiile și programele naționale și europene în domeniu, precum provocarea prioritară a Orizont 2020 „Combaterea schimbărilor climatice, a mediului, a utilizării eficiente a resurselor și a materiilor prime”, prin soluția propusă, pentru a sprijini o economie verde, în armonie cu mediul natural.

- ✓ **Sl. Dr. Ing. Ionela Mihaela CONSTANTIN** - Director proiect
- ✓ **Șl. Dr. Ing. Ibrea Elena Beatrice** – Cercetător postdoctoral
- ✓ **Drd. ing. Urduza Dănuț Cristian** – Student doctorand
- ✓ **Drd. As. ing. Chiriac Gabriel-Adrian** – Student doctorand

**1. Introducere**

**În prima etapă a proiectului** s-a efectuat o cercetare bibliografică din peste 50 de articole din care s-au selecționat titluri ce studiază captatoare solare în vederea implementării în cadrul unor complexe de producere a energiei din resurse regenerabile pentru ape stătătoare. Cea mai importantă componentă a unui sistem de captare și conversie a energiei solare în energie termică este colectorul solar, acesta având rolul de a absorbi radiația solară, de a transforma această radiație în căldură și de a transfera căldura către fluidul ce străbate colectorul solar (de obicei fluidul de transfer de căldură este aer, apă sau ulei).

**2. Colectoarele solare termice**

Colectoarele solare termice sunt schimbătoare de căldură speciale care transformă radiația solară în energie termică.

Există 3 metode de conversie a energiei solare prin sisteme termice, electrice sau hibride.

**Termice**

Energia captată este folosită în principal la încălzirea apei menajere, dar și în aplicații pentru încălzirea locuințelor, piscinelor și a proceselor termice industriale.

## Electrice

### Modulul PV:

Tehnologia fotovoltaică (PV) solară are unul dintre cele mai mari costuri de capital dintre toate sursele de energie regenerabilă, dar are cel mai mic cost operațional datorat necesităților foarte reduse de întreținere și reparații [2.1].

Într-un sistem PV solar, 70% din costurile de capital se datorează modulului PV. Prin urmare, perioada de amortizare a întregului sistem PV solar este determinată, în principal, de producția inițială de energie electrică, degradarea puterii și durata de viață a modulului PV [2.2].

Un modul PV cu celule din siliciu cristalin convertește între 13% și 20% din radiația solară incidentă în energie electrică prin acțiunea fotovoltaică, iar radiația rămasă este transformată în energie termică, datorită radiației infraroșii a spectrului solar și a căldurii generate de acțiunea fotovoltaică [2.3].

Eficiența modulului PV este mai mică decât eficiența celulei PV solare datorită pierderilor ohmice între oricare două serii de celule solare conectate și factorul de împachetare ( $<1$ ) [2.4].

Factorul de absorbție al unei celule fotovoltaice este definit ca fracțiunea de iradianță solară incidentă care este absorbită de celulă. Acest factor de absorbție este unul dintre parametrii principali care determină temperatura celulei în condiții de funcționare. Experimental, factorul de absorbție poate fi determinat din măsurători de reflexie și transmisie. Factorul de absorbție în AM1.5 al unei celule fotovoltaice încapsulate din siliciu cristalin este de 90,5% și poate fi mărit la 93% prin minimizarea pierderilor reflexive [2.5].

Pentru celula PV din siliciu cristalin, absorbția are loc între 0,4  $\mu\text{m}$  și 1,1  $\mu\text{m}$  din domeniul spectral solar. După celula PV din siliciu cristalin, nu mai rămâne aproape nicio energie de iradiere sub 1,1  $\mu\text{m}$  și după o ușoară reflexie în contactul din spate și absorbția în straturile inferioare EVA și Tedlar, radiația transmisivă se află în banda de infraroșu  $\lambda > 1,1 \mu\text{m}$  [2.6,2.7, 2.8-2.12].

O consecință a utilizării materialelor de contact cu partea din spate mai puțin reflectantă este faptul că eficiența electrică a modulului PV scade cu aproximativ 0,3% [5]. Cu toate acestea, contactele metalice cu partea din spate cu o reflectivitate ridicată dau o emisivitate mai scăzută în gama lungimilor de undă mari [2.6].

Celula PV solară este un semiconductor, care se degradează datorită creșterii temperaturii [2.13], datorită dependenței sale de mobilitate, de lungimea de difuzie, de durata de viață a purtătorilor de sarcină minoritară și a curentului de saturație [2.14]. Viteza vântului, temperatura mediului ambiant și radiația solară sunt factorii naturali care influențează temperatura unui modul PV [2.8].

Temperatura unui modul PV standard poate atinge 110  $^{\circ}\text{C}$  în timpul perioadei de vârf a radiației solare, rezultând o pierdere a eficienței electrice de 43% [2.13], dar un absorbitor termic spectral selectiv acoperit poate ajunge până la 220  $^{\circ}\text{C}$  [2.15]. Modulele PV funcționează în mod normal la 50  $^{\circ}\text{C}$  peste temperatura mediului ambiant, conducând la o scădere a eficienței electrice cu mai mult de 25% [2.16], cu o reducere suplimentară dacă sunt instalate în medii cu climă caldă cu temperaturi ambientale ridicate [2.17]. Controlul temperaturii celulelor PV este

foarte important, deoarece tensiunea de mers în gol scade atunci când temperatura crește [2.18]. Eficiența electrică a unui modul PV este determinată de factorul său de împachetare (PF), pierderile ohmice între două celule solare și temperatura sa [2.19]. Trebuie luată în considerare îmbunătățirea capacității sistemului de evacuare a căldurii, pentru a menține o temperatură scăzută a modului PV [2.8].

Analiza distribuției energiei arată că, în cursul zilei, pierderile reflectorizante și transmisive sunt de 26% și, respectiv, 13%, în timp ce pierderile de căldură prin convecție și radiație sunt de 30% și, respectiv, de 24% și, prin urmare, doar 7% din energia solară incidentă este transformată în energie electrică [2.8].

Curentul produs de celulele PV conectate în serie este direct proporțional cu radiația incidentă. Prin urmare, celula PV care primește cea mai puțină iluminare determină puterea de ieșire a modului PV [2.20]. Maturitatea industriei fotovoltaice poate fi confirmată prin capacitatea de a proiecta matrice PV pentru diferite aplicații și site-uri, și apoi de a verifica, cu costuri minime performanțele sale în aer liber cu precizie în domeniu [2.21].

### Hibride

Producerea simultană a energiei electrice și termice din energia solară este, în prezent, principala preocupare a cercetătorilor din întreaga lume.

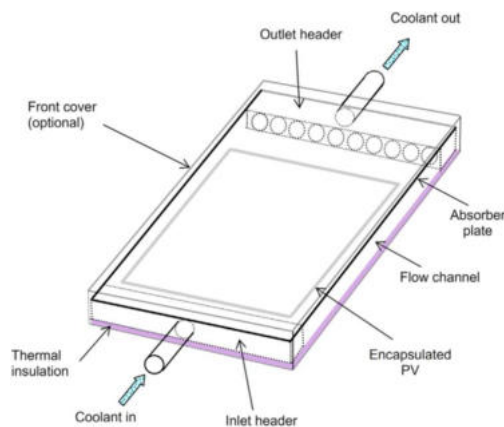
Sistemul solar PV/T combină tehnologia termică solară cu cea solară PV într-o singură unitate cu o eficiență globală mai mare și cu mai puțin spațiu necesar instalării pe acoperiș.

Sistemele PV/T sunt mai eficiente pe unitate de arie decât sistemele termice și PV convenționale. Sistemul PV/T produce anual 1100 kWh energie termică și între 55 și 83 kWh energie electrică pe unitatea de arie.

Inventatorul sistemelor PV/T cu placă plană răcite cu lichid a fost Martin Wolf în 1976, care a analizat performanța unui sistem fotovoltaic termic combinat pentru aplicații rezidențiale.

În țările cu o climă caldă, modulele PV/T sunt utilizate cel mai adesea pentru încălzirea apei menajere.

Conform [2.22], un sistem solar fotovoltaic/termic (PV/T) constă dintr-un panou fotovoltaic, în care căldura generată de panoul fotovoltaic în timpul funcționării este recuperată cu ajutorul unui agent termic (apă sau aer) sau printr-un agent termic de răcire, așa cum se arată în fig. 2.1.



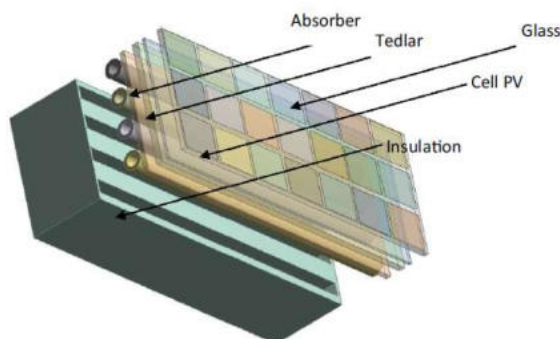
**Fig. 2.1.** Panou solar PVT [2.22]

În lucrările [2.23] și [2.24] se prezintă cele mai recente cercetări asupra tehnologiei PV/T și integrării acesteia cu alte sisteme, în timp ce lucrarea [2.25] prezintă un ghid al sistemelor PV/T solare plane. În lucrarea [2.24] se prezintă o evaluare a impactului asupra mediului a sistemelor de tip PV/T pe baza rezultatelor publicate în literatura de specialitate. Într-un sistem PV/T, energie electrică și termică sunt generate simultan. Prin combinarea unui modul PV și a unui colector termic solar, se poate colecta mai multă radiație solară, iar eficiența globală a sistemului este mai mare. Combinarea celor două tehnologii într-un singur sistem are, de asemenea, avantajul reducerii materialelor și a spațiului necesar.

În lucrarea [2.25] sunt prezentate tehnici și tehnologii pentru exploatarea energiei solare, cunoscându-se faptul că prin conversia fotovoltaică se produce energie electrică, iar colectoarele termice produc energie termică. Cele două sisteme independente și diferite pot fi utilizate cu un design hibrid care permite folosirea ambelor tehnici, termică și electrică, într-un sistem PV/T. Sistemul solar PV/T oferă o opțiune interesantă deoarece absorbția radiației solare este transformată în energie electrică și termică (conversia putându-se face simultan sau separat). În această lucrare este prezentat modelul matematic; sistemul studiat constă dintr-un panou fotovoltaic pentru producerea de energie electrică, cu un sistem termic pentru încălzirea apei. Acesta este constituit dintr-o placă și un tub amplasat sub suprafața acesteia pe care sunt asamblate celulele solare pentru a extrage căldura din modulul fotovoltaic, pentru a răci celulele și pentru a spori eficiența electrică.

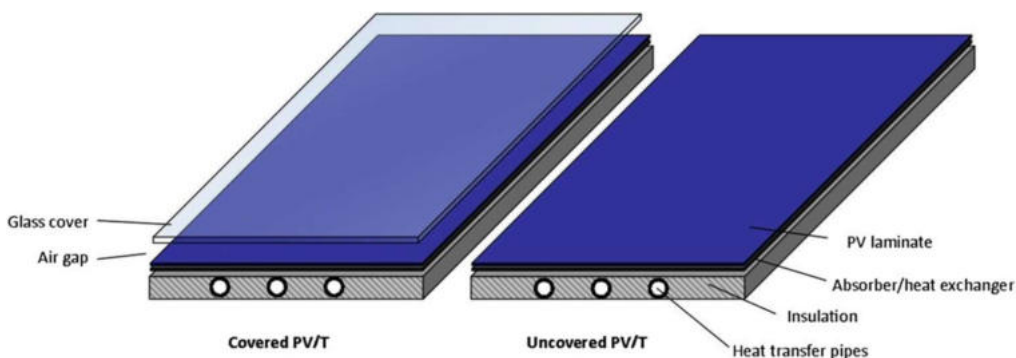
Caracteristica principală a sistemului PV/T este conversia radiației solare în energie electrică și căldură în același timp, în general, în același loc. În sistemele PV/T, celula fotovoltaică este răcită pentru obținerea performanțelor electrice ridicate (randamentul total al energiei pe unitatea de suprafață este mai mare); un metru pătrat de sistem PV/T oferă mai multă energie electrică și termică în comparație cu metru pătrat de modul PV și un metru pătrat de colector solar termic instalate separat. În plus, sistemele PV/T asigură un aspect mai uniform pe acoperișurile clădirilor și un cost mai redus de instalare.

În [2.26] se prezintă un sistem PV/T, format dintr-un modul PV și un sistem de răcire cu placa și tub. Straturile sistemului PV/T, dinspre exterior spre interior sunt (v. fig. 2.2): un capac din sticlă (1), celule PV (2), strat de Tedlar (3), placă absorbantă (4) cu tuburi (5) pentru circulația agentului de răcire (apa) și izolația sistemului complet la partea laterală și la partea inferioară (6).



**Fig. 2.2.** Straturile unui sistem PV/T [2.26]

În [2.27] se prezintă schema constructivă a sistemelor solare PV/T cu placă plană. Diferența dintre un sistem PV/T neacoperit și unul acoperit este că acesta din urmă are în plus o placă de sticlă distanțată față de celulele PV, pentru a diminua pierderile de căldură prin convecție (v. fig. 2.3). Un sistem PV/T acoperit este similar cu un colector solar la care sunt adăugate celule PV. Conform [2.27], majoritatea modulelor PV/T existente în prezent pe piață sunt de tip neacoperit.



**Fig. 2.3.** Schema sistemelor PV/T cu placă plană, acoperite (stânga) și neacoperite (dreapta) [2.27]

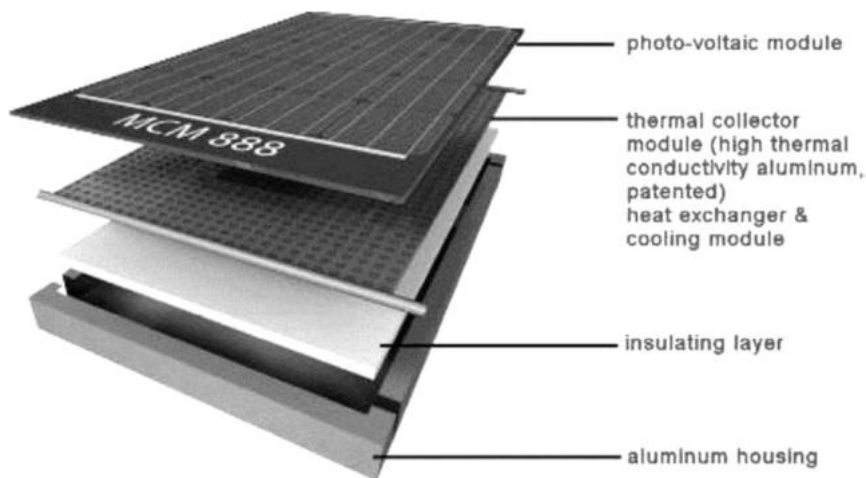
Autorii concluzionează că sistemele solare PV/T acoperite furnizează o putere mărită în comparație cu colectoarele solare termice. Totuși, numărul de sisteme solare PV/T existente pe piață, este, în prezent, destul de redus, lucru care se datorează în parte dificultăților întâmpinate în procurarea materialelor necesare producerii acestor tipuri de module. Sistemul PV/T neacoperit este des utilizat pentru producerea energiei electrice, dar energia termică produsă este puțină și cu temperatură redusă, ceea ce înseamnă că este necesară o sursă auxiliară de energie.

În lucrarea [2.28] sunt trecute în revistă sisteme solare PV/T de tip placă plană. În principiu, colectorul solar PV/T utilizează celulele PV drept absorbitor. Tehnologia PV actuală are un dezavantaj major, și anume, incapacitatea de a absorbi radiație solară din tot spectrul solar. Din această cauză, celulele PV au o eficiență electrică relativ scăzută deoarece o parte importantă a energiei solare incidente este pierdută sub formă de căldură. Sistemele PV/T solare recuperează această căldură măbind astfel eficiența globală electrică și termică. Pentru reducerea temperaturii, cele mai utilizate tehnici de răcire sunt: răcirea cu aer, care este cea mai ieftină și răcirea cu apă, care este mult mai eficientă. Dacă modulul PV nu este răcit, creșterea temperaturii este de  $1,8\text{ }^{\circ}\text{C}$  pentru fiecare  $100\text{ W/m}^2$ , și, prin urmare, celula PV atinge o eficiență de numai 8-9%. Totuși, dacă modulul PV este răcit, atunci temperatura lui crește cu numai  $1,4\text{ }^{\circ}\text{C}$  pentru fiecare  $100\text{ W/m}^2$ , conducând la o creștere a eficienței între 12 și 14%. Dar aceasta crește complexitatea și costul sistemului. Cu toate acestea, perioada de amortizare a investiției și producția anuală de energie electrică pe unitatea de suprafață sunt îmbunătățite substanțial. Pentru o insolație medie de  $749\text{ W/m}^2$  și o temperatură a mediului ambiant de  $8-9\text{ }^{\circ}\text{C}$ , temperatura medie a celulelor PV a fost redusă de la  $52\text{ }^{\circ}\text{C}$  la  $18\text{ }^{\circ}\text{C}$  prin răcire cu apă rece la temperatura de  $10-12\text{ }^{\circ}\text{C}$ . În fig. 2.4 se prezintă un sistem solar PV/T răcit cu apă alături de un colector termic solar disponibil în comerț și un modul fotovoltaic.



**Fig. 2.4.** Un sistem PV/T solar cu placă plană (stânga) alături de un colector solar (centru) și un modul PV cu aceeași suprafață [2.28]

Tehnologia sistemelor PV/T este potrivită pentru aplicații cu temperatură scăzută în intervalul 25-40 °C. Structura unui modul fotovoltaic solar și a unui colector termic solar împreună cu izolația termică și carcasa de aluminiu pentru realizarea unui colector PV/T solar sunt prezentate în fig. 2.5.



**Fig. 2.5.** Părțile componente ale unui modul PV/T [2.28]

#### *Structura sistemelor PVT*

Stratul superior de protecție al sistemelor PV/T este realizat din sticlă texturată și temperată cu transitanță solară ridicată și conținut scăzut de fier care asigură transmiterea a circa 95% din radiația solară atunci când unghiul de incidență este mai mic de 40 °.

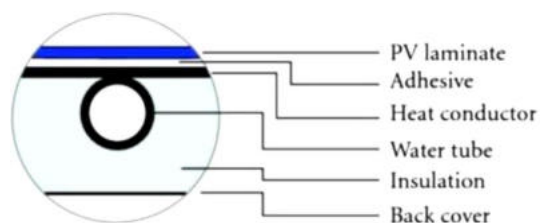
Stratul de celule fotovoltaice este încapsulat între două plăci transparente de etilen vinil acetat (EVA). Cele două straturi de EVA asigură o bună transmitere a radiației solare, are proprietăți dielectrice bune și proprietăți mecanice adecvate pentru preluarea tensiunilor termice

și asigură protecție împotriva umidității și stabilitatea stratului de celule fotovoltaice la temperaturi ridicate.

Sub stratul de celule PV încapsulate în EVA se plasează o placă din poli vinil fluorid (PVF sau Tedlar) pentru protecția mecanică, împotriva umezelii, agenților chimici, precum și pentru izolarea electrică a celulelor și conexiunilor electrice față de mediul înconjurător, ultraviolete și căldură.

Modulul PV este lipit cu un adeziv pe partea din spate de absorbitorul termic pentru a crește transferul de căldură și, prin urmare, a scădea temperatura celulelor fotovoltaice, ceea ce conduce la creșterea atât a eficienței termice, cât și electrice. Adezivul trebuie să aibă proprietăți dielectrice și o conductivitate termică de aproximativ 1,58 W/mK.

Prezența stratului de adeziv între modulul PV și absorbitorul termic asigură transferul căldurii generate în modulul PV către tuburile prin care circulă apă într-o manieră eficientă, așa cum se arată în fig.2.6.



**Fig. 2.6.** Secțiune transversală printr-un sistem PV/T răcit cu apă [2.28]

#### *Construcția sistemelor PV/T*

Performanța sistemelor PV/T depinde de mai mulți factori, cum ar fi: debitul masic, temperatura agentului termic la intrare, numărul straturilor de acoperire din sticlă, conductanța termică dintre fluid și absorbitor, diametrul tubului, distanța dintre tuburi și grosimea aripioarelor. Colectorul absorbitorilor termice utilizate în sistemele PV/T este din cupru. S-a constatat că sistemele PV/T răcite cu apă au performanțe mai bune decât cele răcite cu aer, iar sistemele acoperite cu circuit închis funcționează mai bine decât sistemele descoperite cu circuit închis.

Cel mai mare câștig energetic este realizat de colectorul simplu acoperit, în timp ce cel mai mare câștig exergetic este realizat de colectorul neacoperit. Într-un sistem solar de încălzire cu apă cu termosifon, cel mai potrivit este colectorul PV/T acoperit pentru a maximiza cantitatea de energie termică sau energie totală generate. Pentru maximizarea exergiei la ieșire, în cazul colectorului PV/T neacoperit este necesară creșterea eficienței celulelor fotovoltaice, a factorului de împachetare, a debitului masic de apă și o viteză mare a vântului.

Colectoarele PV/T neacoperiți produc cu 8% mai multă energie electrică decât un modul fotovoltaic standard, dar numai 41% din energia termică a unui colector cu placă plană standard. Exergia totală a sistemelor PV/T neacoperite este cu 11% mai mare decât cea a modulului fotovoltaic și cu 12,87% mai mare decât cea a unui colector cu placă plană. De asemenea,

energia produsă de colectorul PV/T neacoperit pe unitatea de arie este cu 76% mai mare decât cea produsă prin utilizarea unui modul fotovoltaic și un colector cu placă plană separate.

Acoperirea sistemelor PV/T aproape dublează energia termică utilă de ieșire, dar eficiența electrică scade de la 10% la 9%. Performanța termică anuală a unui sistem PV/T într-o locuință cu consum redus de energie cu fracții solare anuale de 12 și 25% crește cu circa 10% și, respectiv, 6% dacă se utilizează pentru acoperire sticlă cu strat antireflex în locul sticlei obișnuite.

Deoarece eficiența electrică și termică a sistemelor PV/T este scăzută în comparație cu cea a modulelor PV și colectoarelor termice individuale, au fost propuse soluții tehnice care plasează oglinzi difuzive sau reflectante pe laturile adiacente pentru a mări radiația solară ce cade pe sistem, ceea ce conduce la creșterea energiei la ieșire, dar reduce eficiența datorită pierderilor optice în reflectori și sticla de acoperire a modulului PV. Utilizarea oglinzilor compromise uniformitatea iradianței solare pe suprafața celulelor fotovoltaice, reducând performanțele electrice, deficiență care poate fi îndepărtată utilizând reflectori difuzi pentru a crește concentrația. Concentrarea radiației solare utilizând reflectori oglină în formă de V, combinată cu optimizarea răcirii îmbunătățește eficiențele electrice și termice. Analizele efectuate au arătat că generarea de energie electrică și termică poate fi îmbunătățită utilizând lentile Fresnel și oglinzi plane. Testele experimentale au arătat creșteri ale eficienței termice de la 38% la 75% pentru colectoarele PV/T răcite cu aer și de la 55% la 80% pentru colectoarele PV/T răcite cu apă.

#### *Răcirea cu aer*

Colectoarele PV/T răcite cu aer sunt similare cu colectoarele solare cu aer, cu diferența că placa termică absorbitoare neagră este înlocuită cu un modul PV sub care aerul circulă prin canale, iar eficiența termică depinde de adâncimea canalului, traseul curgerii aerului și debitul de curgere. Primul colector termic fotovoltaic pentru aplicații de încălzire cu aer a fost testat în 1973 la Universitatea din Delaware, iar cel mai vechi sistem PV/T răcit cu aer instalat într-o locuință a fost construit de SunWatt în 1987 în SUA. Sistemele PV/T răcite cu aer sunt mai puțin eficiente dacă temperatura aerului ambiant este peste 20 °C și mai puțin eficiente decât sistemele PV/T răcite cu lichid datorită coeficientului de transfer de căldură scăzut al aerului, densității scăzute, capacității termice și conductivității termice scăzute. Pe de altă parte, sistemele PV/T răcite cu aer nu prezintă probleme de scurgere sau de înghețare a fluidului de lucru; prin urmare, modulele fotovoltaice comerciale pot fi utilizate fără nicio modificare, dar sunt necesare canale de aer late și voluminoase. Performanța termică și electrică a unui sistem PV/T răcit cu aer a fost comparată cu cea a unui modul fotovoltaic solar. Prin ventilarea modulului PV cu aer s-a obținut o eficiență electrică cu 10% mai mare, iar sistemele PV/T răcite cu aer cu dublă trecere au avut o eficiență termică mai bună decât cele cu o singură trecere.

#### *Răcirea cu apă*

Sistemele PV/T răcite cu apă sunt mai scumpe decât cele răcite cu aer, datorită costurilor suplimentare pentru etanșare și izolare electrică, cu țevi pentru circulația apei. Debitul apei și

diametrul țevilor se stabilesc astfel încât performanțele electrice și termice să fie optime. Pentru un colector PV/T cu suprafața de 2 m<sup>2</sup>, debitul optim este de 0,03 kg/s. Un colector PV/T acoperit are eficiența exergetică maximă de 13,36% pentru un debit de 0,0014 kg/s, în timp ce unul neacoperit are eficiența exergetică maximă de 11,92 % pentru un debit de 0,0049 kg/s. Creșterea debitului peste 0,008 kg/s are un efect scăzut asupra performanței electrice.

### **Aparate de captare și conversie a energiei solare în energie termică**

Cea mai importantă componentă a unui sistem de captare și conversie a energiei solare în energie termică este colectorul solar, acesta având rolul de a absorbi radiația solară, de a transforma această radiație în căldură și de a transfera căldura către fluidul ce străbate colectorul solar (de obicei fluidul de transfer de căldură este aer, apă sau ulei).

Colectoarele solare termice sunt schimbătoare de căldură speciale care transformă radiația solară în energie termică. Aparatele de captare și conversie a energiei solare în energie termică au fost clasificate în [7][8][9]:

1. Colectoare solare statice (care nu focalizează fluxul de radiație solară pe suprafața colectorului; aceste colectoare solare sunt fixe – nu urmăresc poziția soarelui);
2. Colectoare solare cu focalizare sau concentratoare.

### **3.1. Colectoare solare statice**

Acest tip de colector solar rămâne fix indiferent de poziția soarelui, are o arie comună de interceptare și absorbție a radiației solare, în comparație cu un concentrator, care are o arie concavă de reflexie ce interceptează și focalizează radiația solară pe suprafața de absorbție și își schimbă poziția în funcție de poziția soarelui pe cer [3.1].

Pentru valorificarea optimă a radiației solare colectoarele solare statice trebuie instalate la un anumit unghi de înclinație și orientare, ale căror valori depind de localizarea geografică (latitudine). De obicei, colectoarele solare statice se poziționează la +10°-15° față de latitudine, iar unghiul de incidență trebuie să fie cuprins între 0° – 45° pentru un randament bun [3.4].

În categoria colectoarelor solare statice sunt cuprinse: colectoare solare plane (Flat plate collectors – FPC), colectoare cu tuburi vidate (Evacuated tube collector – ETC) și colectoare parabolice compuse (Compound parabolic collectors – CPC).

#### **3.1.1. Colectoare solare plane**

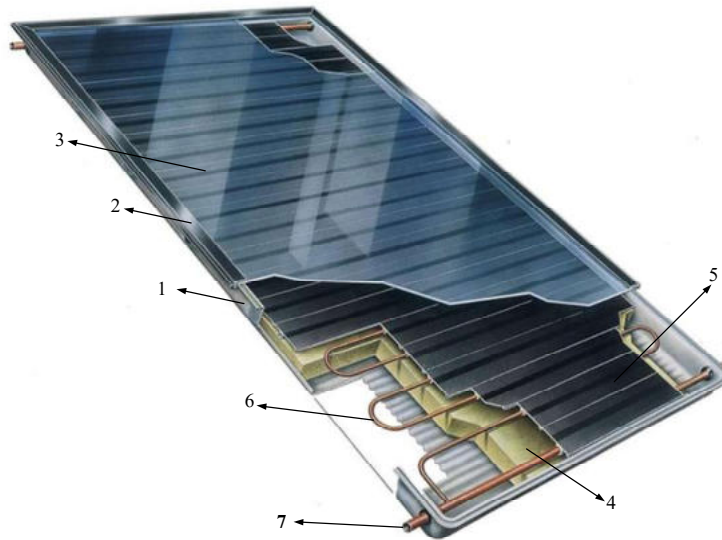
Colectoarele solare plane sunt colectoarele cele mai comune și mai primitive ce se folosesc pentru uz domestic (apa caldă de uz menajer, încălzire spațiu) și industrial [3.3], [3.5].

Acestea sunt folosite pentru aplicații la temperaturi scăzute, temperatura de funcționare a unui colector solar plan este de 50° – 80° C [3.1], [3.5], [3.6].

**Componentele** unui colector solar plan sunt [3.1]:

- Carcasă (1);
- Garnitură impermeabilă (2);
- Înveliș transparent (3);
- Izolație termică (4);

- Placă absorbantă (5);
- Tuburi pentru fluidul de transfer de căldură (6);
- Conductă tur-retur (7).



**Fig. 3.1.** Componentele unui colector solar plan [3.7]

Radiația solară trece prin capacul transparent și este absorbită de placa absorbantă (de culoare închisă). Căldura produsă astfel este transferată către fluidul de transfer de căldură, din tuburile aflate pe suprafața plăcii absorbante sau integrate în aceasta. În spatele și lateral plăcii absorbante se află izolația termică pentru a reduce pierderile de căldură. Capacul transparent este utilizat pentru a reduce pierderile de căldură prin convecție prin păstrarea aerului cald dintre capacul transparent și placa absorbantă. Totodată împiedică pierderea de radiație solară. Tuburile cu lichid de transfer de căldură sunt conectate la ambele capete la conducte tur – retur.

De-a lungul timpului, s-au făcut eforturi pentru îmbunătățirea colectoarelor solare plane din punct de vedere al eficienței termice, al performanței generale și al costurilor de producție și întreținere. Direcțiile de cercetare s-au axat pe folosirea diverselor materiale în construcția colectoarelor solare plane, pe performanța plăcii absorbante, pe folosirea diverselor fluide care favorizează un schimb de căldură mai bun (nanofluide) și pe folosirea materialelor cu schimbare de fază pentru a asigura utilitatea colectorului și pe timpul nopții [3.3], [3.8], [3.9].

Avantajele folosirii materialelor polimerice, în detrimentul celor metalice (cupru, aluminiu), în construcția colectoarelor solare plane este reducerea costului și a greutateii acestuia, [3.3]. Greutatea unui colector solar plan constuit din materiale polimerice poate fi cu 50% mai ușoară decât în cazul unui colector solar tradițional. Un alt avantaj al folosirii materialelor polimerice este rezistența la coroziune și asigurarea unei durate mai mari de viață a colectorului solar plan [3.10].

Compania Mexicană Modulo Star a dezvoltat un colector solar plan cu carcasă realizată din polietilenă, iar învelișul transparent din placa din poliuretan alveolar. Acesta a fost supus

experimentelor și s-a dovedit că are o performanță termică similară colectoarelor solare clasice ajungând la o temperatură de 60°C la o radiație solară de 22 MJ/m<sup>2</sup> pe zi [3.9].

În lucrarea [3.10] a fost construit un colector solar plan cu înveliș realizat din 3 mm placă Lexan (produs realizat din policarbonat) și tuburi pentru fluidul de transfer de căldură realizat tot din Lexan transparent, de 10 mm. Fluidul de transfer de căldură a fost colorat cu cerneală indiană pentru a atrage radiația solară. Prin cercetări experimentale s-a demonstrat că acesta are o performanță termică medie, la nivelul unui colector solar plan tradițional de calitate medie.

Cea mai importantă parte a colectorului solar plan este placa absorbantă, iar pentru îmbunătățirea performanței termice a unui colector, trebuie obținută cea mai mare capacitate de absorție posibilă a radiației solare și o rezistență mare la temperaturi de funcționare mai mari de 450°C [3.11].

Carburile metalice de tranziție și carbonitridele sunt utilizate în mare măsură pentru diferite aplicații industriale datorită proprietăților lor unice cum ar fi duritatea mare, stabilitatea chimică, temperatura de topire ridicată și o rezistență mai bună la oxidare [3.12], [3.13]. În lucrarea [3.11] s-a folosit o combinație de carburi, carbonitride și oxizi de titan, aluminiu și siliciu pentru proiectarea și fabricarea unui înveliș selectiv din punct de vedere spectral, care să reziste la temperaturi foarte ridicate pe termen lung. A fost creată o nanostructură de TiAlC/TiAlCN/TiAlSiCN/TiAlSiCO/TiAlSiO, strat ce a fost depus pe o placă din oțel inoxidabil. Primele trei straturi au rol de absorbant al radiației solare, în timp ce ultimul strat are rol antireflexiv. Placa absorbantă astfel creată are un randament de absorție de 0,961. În urma experimentelor stratul absorbant a avut o stabilitate termică pentru 400 h la o temperatură de până la 325°C, pentru cazul unui colector solar plan.

În stagnare, un colector solar plan poate ajunge la o temperatură de peste 100°C, dar crearea vaporilor duce la deteriorarea colectorului în timp [3.1]. În lucrarea [3.14] autorii au dezvoltat un strat absorbant termocromic cărui, în afara intervalului de temperaturi de funcționare al colectorului, îi crește puterea de emisie ( $\epsilon = 35\%$ ) pentru a elibera temperatura de stagnare, fără a afecta eficiența colectorului solar. Cercetările experimentale realizate pe un prototip ce utilizează acest tip de strat absorbant pe placa absorbantă, au arătat că sub temperatura de comutare eficiența colectorului este aproape identică cu a unui colector solar plan cu placă absorbantă selectivă, iar formările de vapori au fost reduse în proporție de 70-75%. Acest tip de strat absorbant este încă în dezvoltare, temperatura de comutare (65°C), în lucrarea menționată, aflându-se în intervalul de funcționare al colectorului solar.

Marea majoritate a colectoarelor solare plane folosesc, ca fluid de transfer de căldură, apa, ce are o conductivitate termică scăzută. Astfel, au fost introduse nanofluidelor pentru a crește performanța termică a colectoarelor solare plane. Adăugarea de particule de dimensiuni nanometrice, de conductivitate termică ridicată, precum carbonul, oxizi de metale, metale, etc, în fluidul de transfer de căldură duc la creșterea conductivității generale a fluidului de lucru [3.3].

Există câteva considerente ce trebuie avute în vedere pentru folosirea eficientă a nanofluidelor ca fluid de lucru pentru colectoarele solare plane: a) tendința de agregare a nanoparticulelor datorită tensiunii superficiale dintre ele duce la blocaje și reducerea

conductivității termice; b) pentru a diminua tendința nanoparticulelor de agregare se adauga agent tensioactiv, dar datorită fluctuațiilor de temperatură acest agent are tendința de a crea spumă, ce are un efect negativ asupra viscozității și conductivității nanofluidului; c) costul ridicat al nanofluidului datorită procedurii complicat de obținere a nanoparticulelor – ceea ce duce la folosirea unei concentrații mici de nanoparticule, dar cu o conductivitate termică ridicată; d) nanofluidurile au o viscozitate mai mare, astfel trebuie avute în vedere pierderile de presiune și consumul de energie pentru pompare [3.15].

În lucrarea [3.16] au fost analizate mai multe tipuri de nanofluiduri (nanoparticule, fluidul de bază, agent tensioactiv): grafit/apă,  $Al_2O_3/H_2O/Triton\ X-100$ ,  $Cu/H_2O/SDBS$ ,  $Cu/H_2O$ ,  $SiO_2/H_2O$ ,  $SiO_2/EG$  și  $H_2O$ ,  $SiO_2/H_2O$  deionizată, privind performanța termică în comparație cu apa într-un colector solar plan. Conform studiului, în toate cazurile s-au înregistrat creșteri ale eficienței termice, dar în cazul colectorului solar plan cu nanofluidul  $Al_2O_3/H_2O/Triton\ X-100$  s-a constatat cea mai mare creștere a eficienței termice în comparație cu un colector solar plan tradițional, de 28,3%.

O limitare pe care o impune energia solară este indisponibilitatea ei permanentă. Astfel în cazul sistemelor ce folosesc colectoare solare plane, pentru stocarea apei calde, se folosesc rezervoare, ce implică un cost și spațiu ocupat suplimentar. O soluție care promite rezolvarea acestei limitări reprezintă integrarea materialelor cu schimbare de fază (PCM) în construcția colectoarelor solare plane, ce au capacitatea de a stoca și elibera mari cantități de energie.

În lucrarea [3.17] autorii au construit un colector solar plan cu ceară de parafină de 40 mm grosime, integrată într-o structură de spumă de aluminiu. Prin interiorul acestei structuri au fost introduse tuburile pentru fluidul de lucru. Astfel, aceștia au modificat designul tradițional al colectorului solar plan clasic prin detașarea tuburilor cu fluid de transfer de căldură de pe placa absorbantă, dar au observat o distribuție mai uniformă a temperaturii. În lucrarea [3.18] autorii au păstrat designul clasic al colectorului, prin plasarea materialului cu schimbare de fază în două cavități între placa absorbantă și izolația termică a colectorului. Materialul cu schimbare de fază a continuat să furnizeze căldură, uniform, timp de 5 h după apus.

Colectoarele solare plane reprezintă o soluție ieftină pentru obținerea de apă caldă menajeră în cantități mici (pentru o gospodărie), permit îmbunătățiri și au fost intens studiați, dar au o eficiență scăzută în condiții climatice nefavorabile, necaptând radiația solară difuză, prezintă riscul de îngheț și sunt sensibili la condens și umiditate, fapt ce poate duce la scăderea eficienței termice sau la periclitatea integrității sistemului termic.

### **3.1.2. Colectoare cu tuburi vidate**

În anul 2010 mai mult de 50% din numărul total de colectoare solare instalate pe scară largă au fost colectoare solare cu tuburi vidate. Acest lucru se datorează avansului tehnologic care a permis crearea tuburilor vidate printr-un proces mai ieftin, dar și datorită ușurinței de instalare și de mentenanță a tuburilor vidate precum și a performanțelor mari date de aceste colectoare [3.19].

Popularitatea colectoarelor cu tuburi vidate se datorează costului inițial redus, costului de operare redus și perioadei de recuperare a investiției mică. În ultimii ani costul de fabricare al colectoarelor solare cu tuburi vidate a scăzut exponențial, iar durata de viață a unui tub vidat este de 30 de ani [3.20].

Colectoarele solare cu tuburi vidate fac parte din categoria colectoarelor solare statice, alături de colectoarele solare plane, dar în comparație cu acestea, în literatura de specialitate sunt considerate mai performante, din punct de vedere termic, în special în condiții meteorologice nefavorabile [3.1], [3.21], [3.22].

În lucrarea [3.23] autorii susțin că un colector cu tuburi vidate ( $3 \text{ m}^2$ ) produce  $681 \text{ kWh/m}^2$  flux de căldură, pe când un colector solar plan ( $4 \text{ m}^2$ ) produce  $496 \text{ kWh/m}^2$  flux de căldură. Totodată, eficiența anuală pentru colectorul cu tuburi vidate este 60,7%, iar pentru colectorul solar plan este de 46,1%.

Colectoarele solare cu tuburi vidate pot colecta atât radiația directă cât și radiația difuză, iar datorită formei cilindrice pot capta radiația la un unghi de incidență mai mare, în comparație cu colectoarele solare plane. Eficiența netă a unui colector solar cu tuburi vidate este cu 25-40% mai mare, pe metru pătrat, decât un colector solar plan [3.24], [3.25].

Colectoarele cu tuburi vidate pot funcționa la temperaturi mai ridicate decât colectoarele solare plane, temperatura de funcționare fiind între  $50^\circ\text{C}$  –  $200^\circ\text{C}$ , iar mediu vidat minimizează pierderile de căldură [3.1], [3.21]. Învelișul de vid al colectoarelor solare cu tuburi vidate reduce pierderile de conducție și de convecție, prin urmare pot funcționa mai bine în condiții climatice nefavorabile, în comparație cu colectoarele solare plane, a căror performanță devine slabă datorită pierderilor de căldură [3.19].

Tubul vidat este format din două tuburi cilindrice din sticlă borosilică. Tubul acoperit cu strat selectiv, responsabil cu atragerea radiației solare (tubul interior) este introdus în tub de sticlă borosilică de diametru mai mare (tubul exterior). Vidul se formează prin procesul de expulzare a aerului din spațiu format între cele două tuburi. Aceste tuburi de sticlă sunt mult mai fragile decât sticla folosită în cazul colectoarelor solare plane, acestea necesitând o îngrijire suplimentară la manipularea și transportul colectoarelor solare cu tuburi vidate [3.19].

Din punct de vedere al modului de funcționare colectoarele cu tuburi vidate se clasifică în trei categorii [3.19], [3.24]:

- Colectoare cu tuburi vidate cu contact direct al fluidului;
- Colectoare cu tuburi vidate, cu conductă de tip U;
- Colectoare cu tuburi vidate cu schimbător de căldură.

#### *Colectoare cu tuburi vidate cu contact direct al fluidului*

În cazul colectoarelor cu tuburi vidate cu contact direct al fluidului, fluidul de lucru intră din rezervor în tuburile vidate, primește căldura și apoi se reîntoarce în rezervor printr-un mecanism de circulație naturală, datorită densității mai mici a apei calde (convecție naturală, termosifon) [3.26], [3.27]. Avantajele unui astfel de sistem este că producerea de apă caldă se

realizează fără intervenția unui schimbător de căldură. Un dezavantaj al acestui sistem este că apa circulă direct prin tuburile de sticlă, circulație care nu se poate realiza sub presiune, datorită solicitărilor mecanice la care ar fi supus tubul vidat.

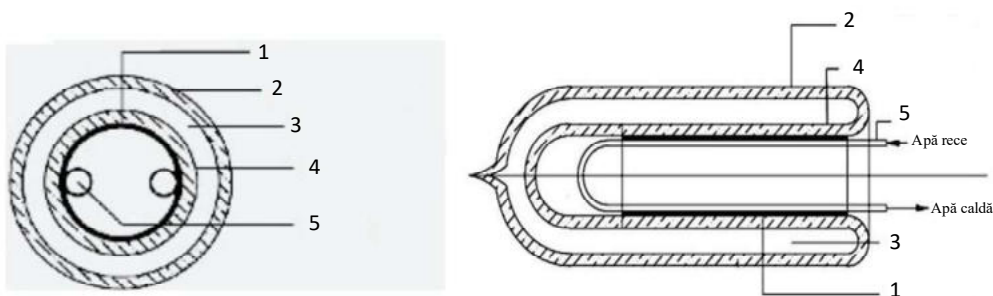
Unele cercetări experimentale [3.26] susțin că acest tip de colector cu tuburi vidate au o eficiență anuală de 50-60%, iar alte cercetări [3.28] susțin că au o eficiență anuală mai redusă în comparație cu colectoarele solare plane.

În lucrarea [3.22] sunt comparate două colectoare solare: colector solar plan și colector cu tuburi vidate cu contact direct al fluidului - pentru două debite, 1 l/min respectiv 2,5 l/min. În urma experiențelor practice autorii susțin că temperatura de ieșire este similară pentru ambele colectoare pentru un debit de 2,5 l/min, dar pentru un debit sub 2,5 l/min este de preferat folosirea colectorului solar cu tuburi vidate deoarece produce o temperatură de ieșire a apei mai mare decât colectorul solar plan.

#### *Colectoare cu tuburi vidate cu conductă de tip U*

Colectoarele cu tuburi vidate cu conductă de tip U sunt formate din tubul vidat în interiorul căruia este introdus un tub din cupru în formă de U, învelit într-un tub de cupru sau aluminiu, ce are rolul plăcii absorbante din cazul colectoarelor solare plane [3.29]. În acest fel, o conductă de cupru acționează pe post de conductă de tur (apă rece), iar cealaltă conductă pe post de conductă de retur (apă caldă). Ca și în cazul colectoarelor solare cu tuburi vidate cu contact direct al fluidului, la baza funcționării colectoarelor solare cu conductă de tip U stă principiul convecției naturale.

Această construcție combină avantajele tuburilor vidate, care asigură pierderi minime de căldură în mediul ambiant (chiar la diferențe mari de temperatură între acesta și apa din tuburi), cu avantajele circulației agentului termic prin elemente metalice. Componentele unui colector solar cu tuburi vidate cu conductă de tip U sunt prezentate în fig.3.2.



**Fig. 3.2.** Componentele unui colector solar cu tuburi vidate cu conductă de tip U [3.30]

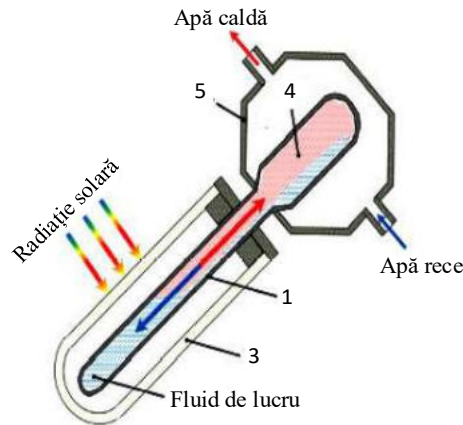
1 – placă absorbantă; 2 – tub de sticlă exterior; 3 – vid; 4 – tub de sticlă interior; 5 – conductă de tip U.

#### *Colectoare cu tuburi vidate cu schimbător de căldură*

Componentele unui colector cu tuburi vidate cu schimbător de căldură sunt [3.1]:

- Tub cu fluid de transfer de căldură (1);
- Placă absorbantă (2);
- Tub vidat (3);
- Condensator (4);
- Colector (5).

Principiul de funcționare al acestui tip de colector se bazează pe schimbarea de fază lichid – gazos din interiorul tubului cu fluid de lucru, pe un ciclu de evaporare - condensare. Tubul cu fluid de transfer de căldură, amplasat pe o placă absorbantă se află în tubul vidat. Radiația solară este atrasă de placa absorbantă, iar energia termică este transferată fluidului de lucru (apă, alcool, metanol, fluid cu punct de fierbere mai mic). Fluidul de lucru se evaporă și ajunge în condensatorul ce sigilează tubul. Colectorul are rol de schimbător de căldură, unde are loc schimbul de căldura între fluidului (apă menajeră) ce străbate colectorul și condensatorul. [3.1], [3.27].

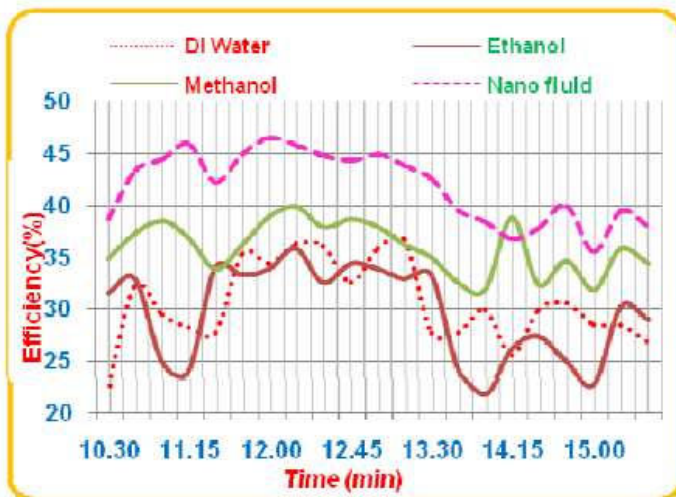


**Fig. 3.3.** Tub vidat cu schimbător de căldură [3.30]

Acest tip de colector solar cu tuburi evacuate este considerat cel mai performant din categoria colectoarelor solare cu tuburi vidate. În lucrarea [3.21] s-au făcut cercetări experimentale pentru a compara două tipuri de colectoare cu tuburi vidate – cu contact direct al fluidului, respectiv cu schimbător de căldură – în lunile noiembrie și ianuarie, în condițiile meteorologice din zona estică a Mediteranei. În urma experiențelor s-a constatat că, în aceleași condiții, colectoarele solare cu tuburi vidate cu schimbător de căldură au o eficiență mai mare cu 15-20% față de cele cu contact direct. În lucrarea [3.31] eficiența unui colector solar cu tuburi vidate cu schimbător de căldură, în urma cercetărilor experimentale, a fost cu 8% mai mare decât în cazul unui colector solar cu tuburi evacuate cu conductă de tip U, dar colectorul solar de tip U a avut performanțe termice mai bune în zilele cu radiație difuză.

Colectoarele solare cu tuburi vidate și schimbător de căldură sunt cele mai cunoscute din categoria colectoarelor solare cu tuburi vidate și s-au efectuat cercetări în ceea ce privește modul de îmbunătățire a performanțelor acestora. Astfel, în lucrarea [3.32] autorii au analizat eficiența

colectoarelor cu tuburi vidate cu schimbător de căldură, pentru patru fluide de lucru – apă, etanol, metanol, nanofluid ( dioxid de titanium și apă distilată). Colectoarele solare cu tuburi vidate au o performanță mai mare când fluidul de lucru este nanofluid. Rezultatele experimentale sunt prezentate în fig.3.4.



**Fig. 3.4.** Eficiența colectorului solar cu tuburi vidate în timp, pentru patru fluide de lucru [3.32]

În lucrarea [3.33] s-a construit un colector cu tuburi vidate cu schimbător de căldură în interior căruia a fost integrat un material de schimbare de fază (ceară de parafină cu 58°C punct de topire). În funcție de intensitatea radiației solare din ziua respectivă autorii au observat o creștere a eficienței colectorului între 33 – 66%.

Colectoarele solare cu tuburi vidate au o eficiență mai mare în comparație cu colectoarele solare plane, dovedită prin cercetări experimentale, produc o temperatură de ieșire a fluidului de lucru mai mare, și sunt recomandați pentru condiții climatice nefavorabile, prin riscul redus de îngheț și prin captarea radiației difuze. Totodată se preconizează scăderea costurilor de fabricare și întreținere ale acestora.

### 3.1.3. Colectoare cu tuburi termice

### 3.2. Colectoare cu concentratoare solare(B.T, A.G.)

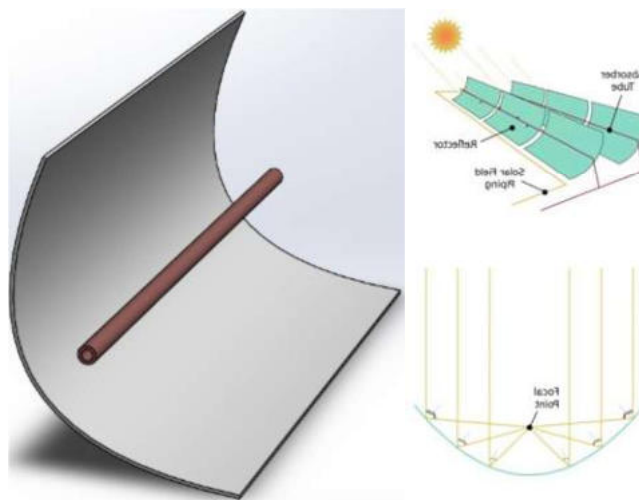
Aceste tipuri de colectoare cu concentrarea radiației solare utilizează oglinzi cu suprafața curbată pentru a concentra radiația asupra unui receptor prin care circulă apa sau aerul care trebuie încălzite. Cele mai folosite colectoare sunt cele de tip Fresnel și parabolice. Cel mai cunoscut tip de concentrator parabolic este jgheabul parabolic. Concentratorul cu jgheab reflector parabolic are o geometrie simplă. Acesta concentrează fluxul de radiație asupra unui tub absorbant. Temperaturile realizate de acest tip de concentrator sunt cuprinse între 65 și 300°C [3.38].

Temperatura agentului de lucru crește odată cu intensitatea radiației solare. Intensitatea radiației solare pe un segment al tubului de curent poate fi mărită prin concentrarea radiației. Dispozitivul cu care poate fi mărită densitatea fluxului solar pe o porțiune limitată este *concentratorul solar* sau sistemul optic. Fenomenele fizice care stau la baza funcționării concentratorului solar sunt reflexia luminii pe suprafețe metalice lucioase (oglinzile care au diferite forme: plane, parabolice, cilindrice, cilindro-parabolice) și refracția luminii la trecerea acesteia prin corpurile transparente (lentile, prisme) [3.39]. Concentratorii solari pot să mărească intensitatea luminii de la 1,5÷2 ori până la de 10000 de ori, în focarul concentratorului. Intensitatea luminii în focar depinde de intensitatea luminii incidente, de aria suprafeței normale la axa sa, de tipul concentratorului și de proprietățile optice ale materialelor din care este confecționat concentratorul.

În continuare, sunt clasificate tipurile de concentratoare existente în literatura de specialitate [3.38].

### 3.2.1. Colectoare cu jgheab reflector parabolic

Există o varietate de tehnologii de concentrare. Printre cele mai cunoscute se numără *jgheabul parabolic*, reflectorul compact Fresnel liniar, vasul Stirling și turnul de energie solară.



**Fig. 3.5.** Concentrator cilindro-parabolic [3.38]

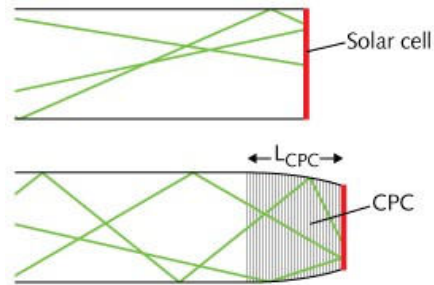
Acest tip de concentrator cu *jgheab parabolic* constă dintr-un reflector parabolic liniar care concentrează lumina pe un receptor care este poziționat de-a lungul liniei focale a reflectorului. Receptorul este plasat în focar, fiind un tub poziționat de-a lungul punctelor focale ale oglinzii parabolice liniare, prin care circulă un fluid de lucru.

Reflectorul este conceput să urmărească soarele în timpul orelor de zi prin urmărirea de-a lungul unei singure axe [3.38]. Receptorul cuprinde: suprafața absorbantă, anvelopele asociate, izolația și alte elemente care-i asigură rezistența mecanică și stabilitatea termică [3.39]. În cazul acestor concentratori solari parabolici (tip jgheab) există diferite tipuri de pierderi energetice, după cum urmează: pierderi termice, pierderi optice și pierderi prin umbră [3.40].

### 3.2.2. Colectoare cu concentrator parabolic compus

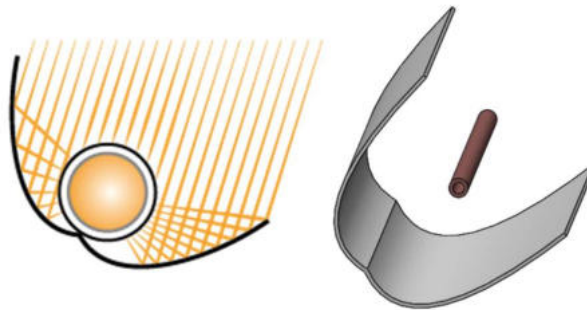
Roland Winston a inventat primul concentrator parabolic compus (CPC) în 1974, o tehnologie revoluționară în domeniul energiei solare. Descoperirea sa este folosită în colectarea energiei solare, comunicarea fără fir și cercetarea biomedicală [3.41].

Concentratorul parabolic compus concentrează eficient luminozitatea energiei de intrare.

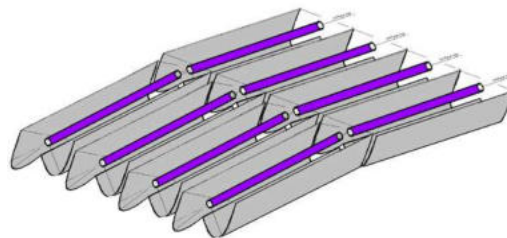


**Fig. 3.6.** Schița concentratorului parabolic compus [3.42]

Acest tip de concentrator parabolic compus are aceleași performanțe ca și concentratorul cu jgheab reflector parabolic, dar acesta nu impune necesitatea urmării traiectoriei soarelui pe parcursul zilei. Temperaturile realizate de concentratorul parabolic compus pot ajunge la  $240^{\circ}\text{C}$  [3.38].



**Fig. 3.7.** Concentrator parabolic compus [3.41]

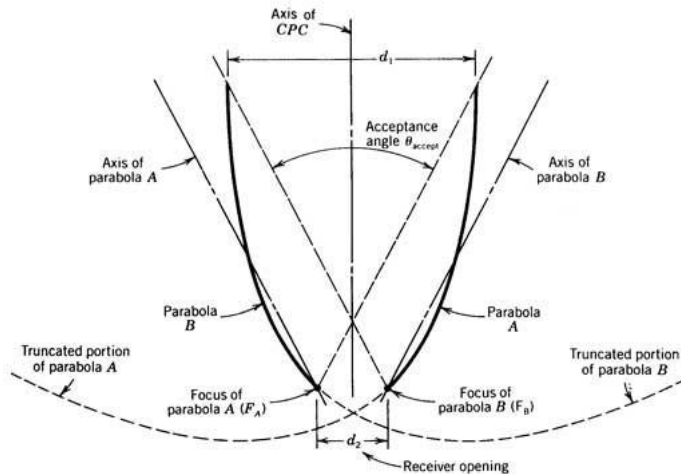


**Fig. 3.8.**[3.43]



**Fig. 3.9.**[3.44]

Forma de bază a concentratului parabolic compus (CPC) este prezentă în fig. 3.10. Acest CPC este alcătuit din două segmente de oglinzi parabolice cu diferite puncte focale. Punctul focal pentru parabola A ( $F_A$ ) se află pe parabola B, în timp ce punctul focal al parabolei B ( $F_B$ ) se află pe parabola A. Cele două suprafețe parabolice sunt simetrice în raport cu reflexia prin axa CPC.



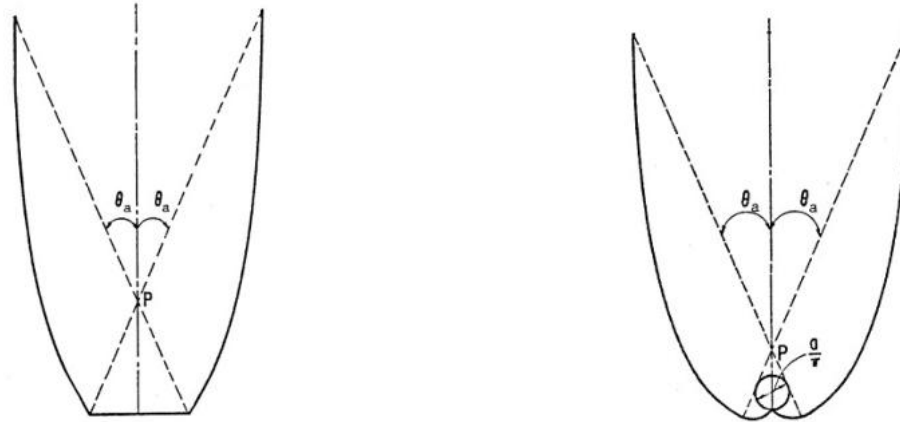
**Fig. 3.10.** Forma de bază a concentratorului parabolic compus (CPC) [3.45]

Concentratorii parabolici compusi sunt utilizați pentru aplicații staționare de uz casnic, cum ar fi furnizarea de apă caldă.

Dacă, în cazul celorlalte tipuri de colectoare solare statice prezentate – colectoare plane și colectoare cu tuburi vidate – suprafața de interceptare a radiației solare și suprafața de absorbție era aceeași, colectoarele parabolice compuse împrumută din funcționalitățile colectoarelor solare cu concentrator. Acest tip de concentrator are două parabole orientate una către cealaltă, ce au rol de a intercepta radiația solară și de a o redirecționa către suprafața de absorbție.

Colectoarele parabolice compuse au capacitatea de a intercepta radiația solară la o gamă relativ largă de unghiuri de incidență, iar datorită reflexiei interne, orice rază care intră în câmpul de interceptare ajunge la suprafața de absorbție aflată în partea inferioară a colectorului solar [3.1].

Temperatura de funcționare a unui colector parabolic compus este cuprinsă între 60°C – 240°C [3.1], iar acesta poate avea mai multe configurații, prezentate în fig.3.11.

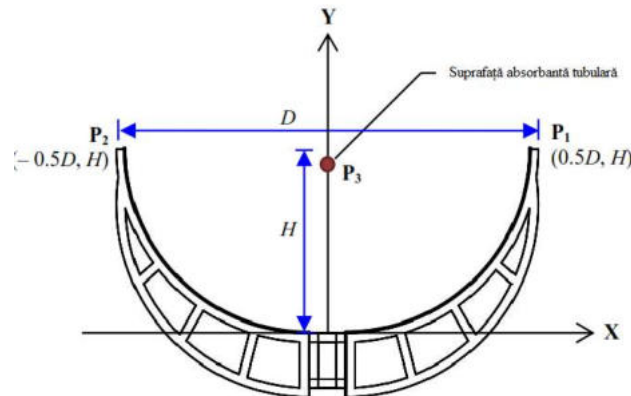


a) Colector parabolic compus cu suprafață absorbantă plană

b) Colector parabolic compus cu suprafață absorbantă tubulară

**Fig. 3.11.** Posibile configurații ale colectorului parabolic compus

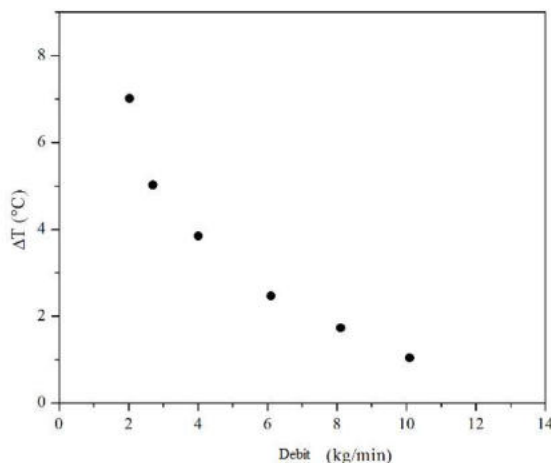
Un alt tip de configurație al colectorului parabolic compus a fost propus în lucrările [3.34] și [3.35]. Autorii au poziționat tubul ce absoarbe radiația solară la o înălțime de 0,46 ori mai mare decât deschiderea formată de parabole. Această configurație permite reducerea înălțimii parabolilor și colectarea unei game mai mare de raze incidente.



**Fig. 3.12.** Configurație modificată a colectorului parabolic compus [3.35]

În lucrarea [3.36] autorii au analizat eficiența unui colector parabolic compus, cu tub, pentru mai multe debite de apă. Din cercetările experimentale, cea mai mare eficiență a

colectorului a fost înregistrată pentru un debit de 2 l/min, de aproximativ 70%, atunci când temperatura de intrare a apei în colector a fost de 42,5°C, iar temperatura mediului ambiental de 35,6 °C. Temperatura de ieșire a apei din colectorul parabolic compus, pentru acest debit, a crescut cu 7°C față de cea inițială. Autorii au demonstrat că eficiența colectorului scade odată cu creșterea debitului (v. fig.3.13).



**Fig. 3.13.** Creșterea diferenței de temperatură a apei la ieșire din colectorul parabolic compus în funcție de debitul de apă [3.36]

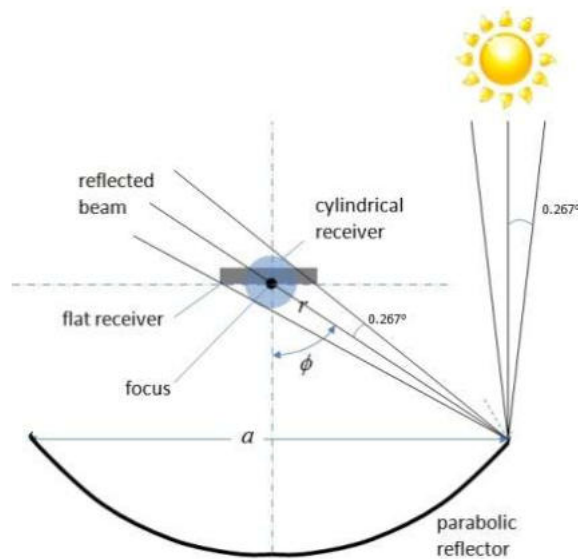
Colectoarele parabolice compuse în combinație cu tuburi vidate sunt folosite atunci când se dorește o temperatură relativ ridicată a fluidului de lucru (peste 100°C). Acestea au aplicabilitate industrială și sunt folosite la generarea de aburi. În lucrarea [3.37] autorii au integrat un colector parabolic compus cu tuburi vidate într-un ciclu organic Rankine pentru a produce electricitate. Alegerea unui colector parabolic compus în detrimentul unui colector solar cu concentrator a fost justificat prin faptul că acestea au un cost mai redus și permit o concentrație moderată de radiație solară. Producerea de energie electrică cu ajutorul colectoarelor parabolice compuse cu tuburi vidate este mai puțin afectată în cazul zilelor noroase, în comparație cu un colector fotovoltaic, datorită proprietăților tuburilor vidate de captare a radiației difuze. Trebuie precizat că energia electrică produsă de sistemul prezentat în lucrarea [3.37] produce mai puțină energie electrică decât un sistem cu colectoare fotovoltaice.

Colectoarele parabolice compuse sunt, în general, folosiți pentru uz industrial (industria alimentară – pasteurizare, industria chimică – sterilizare etc.), deoarece pot funcționa la temperaturi considerate medii (peste 100°C), și mai puțin pentru uz domestic.

### 3.2.3. Colectoare cu reflector cilindric

Concentratorul cu reflector cilindric are o construcție similară concentratoarelor parabolice. Diferența dintre acestea constă în forma reflectorului care, în secțiune, are formă cilindrică. Temperaturile de lucru obținute sunt cuprinse între 65 și 270°C. Avantajul principal al

acestui tip de concentrator este că poate funcționa în regim staționar, eliminând astfel necesitatea sistemului automat de orientare [3.38].



**Fig. 3.14.**Reflecția fasciculului într-un concentrat parabolic de imagine cu deschidere  
a. Suprafața albastră imită poziția unui reflector cilindric la punctul focal. Suprafața gri imită un receptor plat pe planul focal.

Dimensiunea minimă a receptorului pentru a intercepta toată radiația reflectată trebuie să fie adaptată la diametrul fasciculului reflectat în planul focal [3.46].

### 3.2.4. Colectoare cu oglindă parabolică discoidală

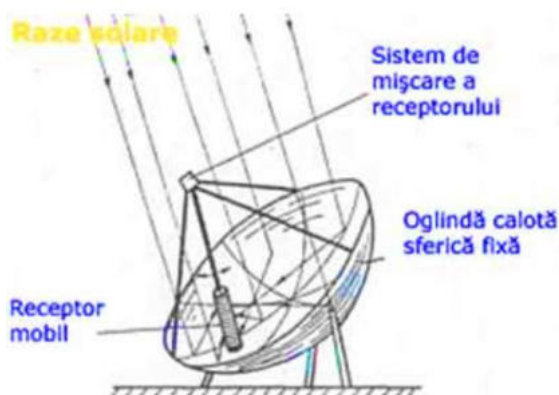
Temperaturile realizate de concentratorul cu oglindă parabolică discoidală pot ajunge până la 1000 °C. Acest tip de concentrator cu oglindă parabolică discoidală concentrează fluxul de radiație solară asupra unui receptor aflat în punctul focal. Acest tip de concentrator se utilizează rar pentru aplicații de producere a apei calde [3.38].



**Fig. 3.15.**Colector cu oglindă parabolică discoidală[3.38]

### 3.2.5. Colectoare cu oglindă sferică

Sunt similare concentratorului cu oglindă parabolică discoidală, dar simplificat. Acesta arată ca o oglindă de forma unei calote sferice fixe cu proprietatea de a reflecta radiația solară (indiferent de poziția soarelui pe cer) către un focar liniar, paralel cu razele soarelui, care trece prin centrul oglinzii. Receptorul de formă cilindrică se poate roti în jurul a două axe, rămânând orientat permanent pe direcția soarelui și plasându-se astfel mereu în focar. Mișcarea receptorului este mai simplă și consumă mai puțină energie mecanică decât mișcarea ansamblului oglindă-receptor [3.47].



**Fig. 3.16.** Concentrator sferic fix cu receptor mobil

Temperaturile realizate de concentratorul cu oglindă sferică sunt cuprinse între 65 și 730 °C [3.38].

## 4. Eficiența colectoarelor solare [4.1-4.13]

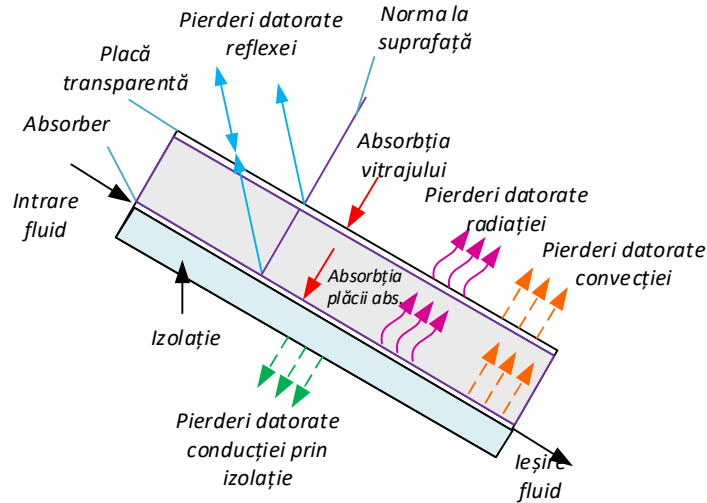
Indiferent de tipul acestora (plane, cilindro-parabolice, cu focalizare), captatoarele solare sunt caracterizate de randamentul acestora.

Randamentul colectoarelor solare exprimă eficiența conversiei radiației solare în energie termică. Acesta este influențat hotărâtor de parametrii fizici și constructivi ai subsansamblelor ce alcătuiesc colectoarele solare.

Obținerea unui randament maxim impune un proces de optimizare a construcției colectoarelor solare. În acest scop este necesară cunoașterea formei analitice a randamentului pentru a identifica influența parametrilor colectoarelor asupra mărimii randamentului, urmată de optimizarea construcției colectoarelor pe baza parametrilor cu influență majoră, pentru obținerea randamentului maxim.

#### 4.1. Randamentul colectoarelor solare termice fără concentratori

În interacțiunea cu colectorul, radiația solară este implicată în procesele descrise în fig. 4.1:



**Fig. 4.1.** Procesele dintr-un colector solar plan

La starea de echilibru, eficiența unui colector solar se evidențiază prin realizarea unui bilanț energetic unde se ține cont de:

- distribuția energiei solare incidente,
- câștigul de energie utilă,
- pierderile termice și pierderile optice.

Radiația solară absorbită de către un colector pe unitatea de suprafață este egală cu diferența dintre radiația solară incidentă și pierderile optice. Pierderea de energie termică a colectorului în mediul ambiant prin conducție, convecție și radiație se determină ca produsul între coeficientul de transfer termic global  $K$  și diferența dintre temperatura medie a plăcii absorbante  $T_p$  și  $T_a$ . La starea de echilibru, producția de energie utilă a unui colector ce are suprafața de schimb de căldură  $A_c$ , este dată de diferența dintre radiația solară absorbită și pierderile termice de căldură:

$$\dot{Q}_u = A_c [q_u - K(T_p - T_a)] \quad (1)$$

unde:

- $\dot{Q}_u$  - fluxul total de căldură, exprimat în [W];
- $A_c$  - suprafața totală de schimb de căldură, exprimată în [m<sup>2</sup>];
- $q_u$  - densitatea fluxului termic, exprimată în [W/m<sup>2</sup>];
- $K$  - coeficient global de schimb de căldură, exprimat în [W/m<sup>2</sup> K];
- $T_a, T_p$  - temperatura mediului ambiant, respectiv temperatura plăcii absorbante, exprimate în [K].

Ecuția (1) se caracterizează prin dificultatea calculului și a măsurării temperaturii medii de absorbție a plăcii, în special din cauza dependenței de datele de proiectare ale colectorului, de radiația solară incidentă, precum și de temperatura fluidului la intrarea în colector.

O măsură a performanțelor colectorului este eficiența acestuia care se definește ca raportul între fluxul termic livrat de către colector  $\dot{Q}_{livrat}$  și fluxul radiației solare incidente pe suprafața colectorului  $\dot{Q}_{disponibil}$ :

$$\eta = \frac{\dot{Q}_{livrat}}{\dot{Q}_{disponibil}} \quad (2)$$

unde:

- $\eta$  - eficiența colectorului termic;
- $\dot{Q}_{livrat}$  - fluxul termic livrat de către colector, exprimat în [W];
- $\dot{Q}_{disponibil}$  - fluxul radiației solare incidente pe suprafața colectorului, exprimat în [W].

Fluxul de căldură livrat de către colector mai poate fi scris și sub forma:

$$\dot{Q}_{livrat} = \dot{m}_e c_e t_e - \dot{m}_i c_i t_i \quad (3)$$

unde:

- $\dot{m}_e$  reprezintă debitul fluidului de lucru la ieșirea din colectorul solar, exprimat în  $kg/s$
- $c_e$  - căldura specifică a fluidului la ieșirea din colectorul solar, exprimată în  $[J/kgK]$
- $t_e$  - temperatura fluidului de lucru la ieșirea din colectorul solar, în K,
- $\dot{m}_i$  - debitul fluidului la intrarea în colectorul solar, exprimat în  $kg/s$ ,
- $c_i$  - căldura specifică a fluidului la intrarea în colectorul solar, exprimată în  $[J/kgK]$ ,
- $t_i$  - temperatura fluidului de lucru la intrarea în colectorul solar, în K.

Dacă debitul fluidului de lucru și căldura specifică sunt constante, atunci:

$$\dot{Q}_{livrat} = \dot{m}_{fluid} c \Delta t \quad (4)$$

unde:

- $\dot{m}_{fluid}$  - debitul fluidului de lucru,
- $c$  - căldura specifică a fluidului la ieșirea din colectorul solar,
- $\Delta t$  - diferența între temperatura de intrare și cea de ieșire a fluidului de lucru în colectorul termic, în K.

Dat fiind faptul că, colectoarele solare au inerție termică, eficiența acestora se poate determina pe diferite perioade de timp:

↳ *Pentru regimuri momentane:* măsurarea mărimilor momentane poate duce la erori mari în determinarea eficienței din cauza acumulărilor (pe perioadele de acumulare, eficiența colectoarelor este foarte scăzută), și dezacumulărilor ce apar în proces (pe perioade de dezacumulare eficiența poate avea valori mai mari decât 1);

↳ *Pentru regimuri staționare:* după o perioadă suficientă de funcționare în regimuri cu parametrii staționari, se poate stabili o valoare credibilă a eficienței colectoarelor;

↳ Pentru valori mediate: mediere valorilor fluxurilor termice ce apar pe o perioadă de timp (o oră sau o zi) duce la valori credibile pentru eficiența colectoarelor, din cauza că perioadele de acumulare și dezacumulare sunt mai scurte decât aceste perioade.

### Eficiența colectoarelor solare termice cu concentratori

Pentru colectoarele cu concentratori, eficiența depinde de poziția relativă dintre unghiul de incidență al razelor solare și normala la planul format de laturile concentratorului parabolic. Pentru aceste tipuri de colectoare, există un unghi transversal de incidență ( $\alpha_T$ ) și un unghi longitudinal de incidență ( $\alpha_L$ ).

Pentru colectoarele cu concentratori parabolici cele două unghiuri de incidență sunt reprezentate în figura 4.2.

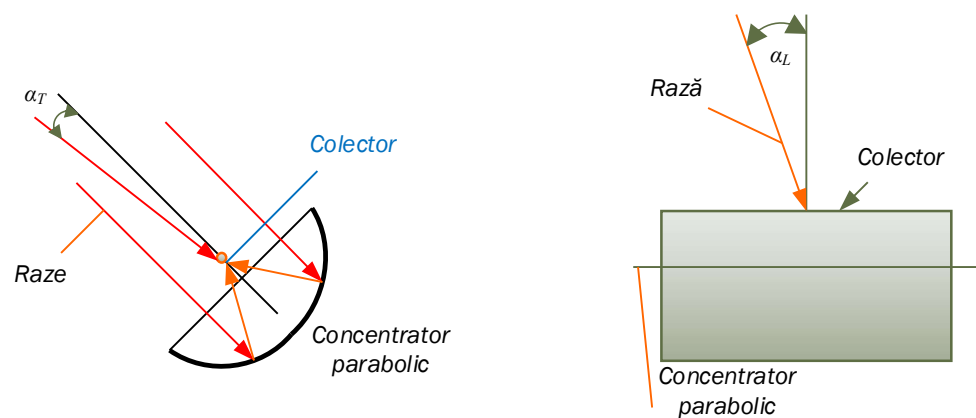


Fig. 4.2. Unghiul transversal de incidență ( $\alpha_T$ ) și unghiul longitudinal de incidență ( $\alpha_L$ )

Întrucât este uzuală echiparea cu sisteme de urmărire a soarelui, pentru colectoarele cu concentratori parabolici, unghiul transversal de incidență este 0. În schimb, unghiul longitudinal de incidență prezintă variație sezonieră și depinde de altitudinea soarelui pe cer.

Pentru colectoare cu concentratori liniari cele două unghiuri de incidență sunt reprezentate în figura 4.3.

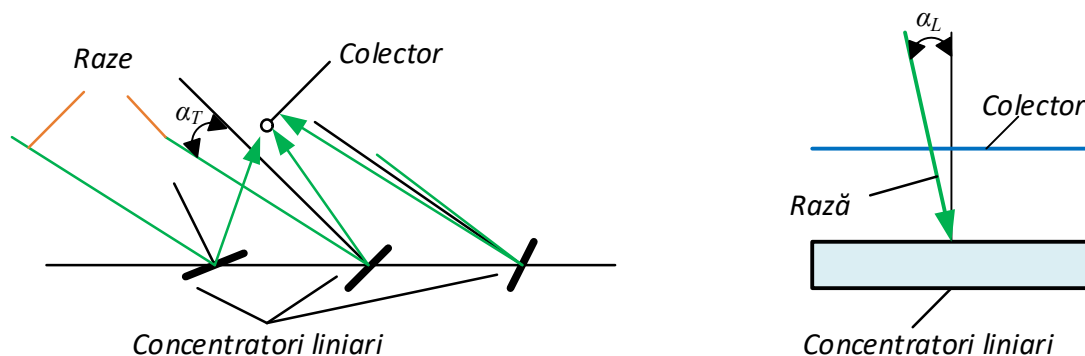


Fig. 4.3. Unghiul transversal de incidență ( $\alpha_T$ ) și unghiul longitudinal de incidență ( $\alpha_L$ ) pentru concentratori liniari

**Pentru calculul eficienței colectoarelor cu concentratori parabolici**, se poate utiliza relația:

$$\eta = k_T k_L \eta_0 - k_I \frac{\Delta t}{G} \quad (5)$$

unde:

-  $\eta_0$  este eficiența optică, ce ține seama de eficiența cu care este absorbită energia radiației solare;

-  $k_T$  este coeficientul de corecție datorat unghiului transversal de incidență ( $\alpha_L$ ); ( $k_T = 1$ );

-  $k_L$  este coeficientul de corecție datorat unghiului longitudinal de incidență ( $\alpha_L$ );

-  $k_I$  este un coeficient de corecție caracteristic pierderilor termice;

-  $\Delta t$  este diferența dintre temperatura medie a agentului termic din colector și temperatura mediului ambiant;

-  $G$  [ $\text{W}/\text{m}^2$ ] este intensitatea radiației solare incidente normală la planul colectorului.

Deoarece pentru colectoarele cu concentratori parabolici, unghiul transversal de incidență este  $0$ , coeficientul de corecție ( $k_T$ ) datorat unghiului transversal de incidență este  $1$ .

Valorile acestor coeficienți de corecție sunt caracteristice tipului de captator parabolic și firmei producătoare.

### **Factori care influențează eficiența colectoarelor solare**

Performanța unei instalații solare termice este produsul unei serii întregi de parametri tehnici, care privesc capacitatea de conversie a radiației solare în energie termică, cât și pe cea de conservare și transfer a acesteia către utilizatorul final.

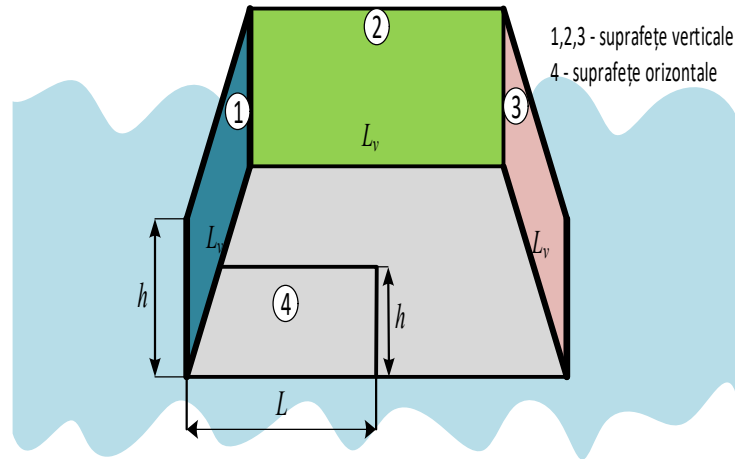
### **Influența factorilor externi**

În funcție de localizarea și condițiile specifice de mediu, componentele colectoarelor solare trebuie să facă față solicitărilor climatice și mecanice. *Temperaturile mai mari de 50 °C, radiația ultravioletă, vântul, depunerile de praf, umiditatea crescută, salinitatea și atmosfera corozivă* pot cauza degradarea rapidă a materialelor și componentelor din care acestea sunt constituite.

**Pentru analiza orientării sistemului cu colector solar în funcție de zona de amplasare**, s-a făcut un studiu privind stabilirea poziționării optime a unui sistem de trei captatori solari plani amplasați în plan vertical plecând de la constrângerile impuse într-o aplicație de sistem complex de producere a energiei regenerabile în ape stătătoare (Rezultatele studiului recomandă în primă fază ca soluție constructivă orientarea platformei cu panoul colector central către direcția sudului geografic, astfel încât fluxul de căldură primit prin radiație solară să aibă valori maxime. Această analiză este primul pas în vederea stabilirii soluției optime de montare a colectoarelor solare aferente aplicației din cadrul proiectului complex de producere a energiei regenerabile în ape curgătoare CERHES/AC [15][16].

Scopul acestui sistem este producerea energiei electrice pe baza efectului cumulat al mai multor surse de energie regenerabilă în speță energia hidroenergetică, energia eoliană și energia solară.

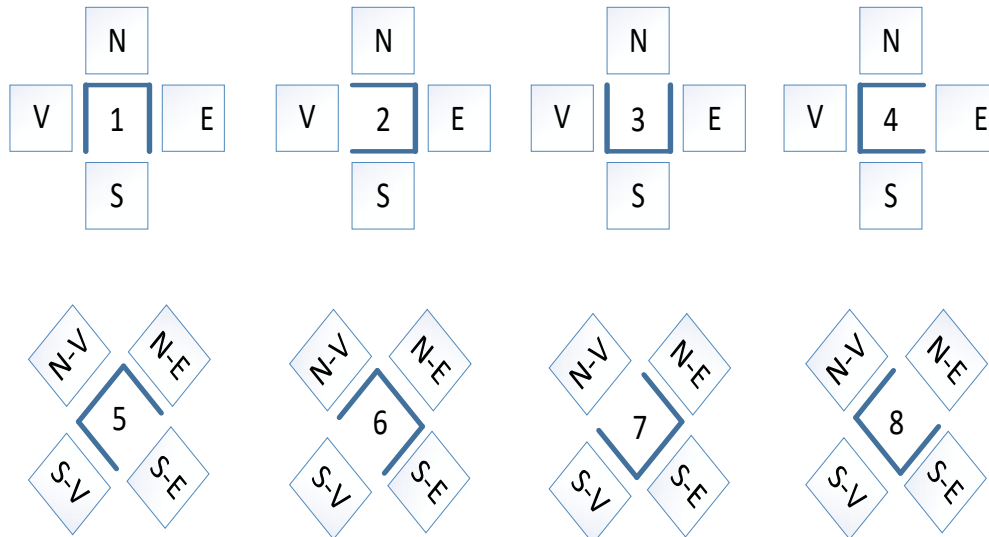
Din punct de vedere constructiv, sistemul complex dispune de două tipuri de suprafețe favorabile pe care se pot monta colectoarele solare.



**Fig. 4.4.** Modul de amplasare al colectoarelor solare în plan vertical

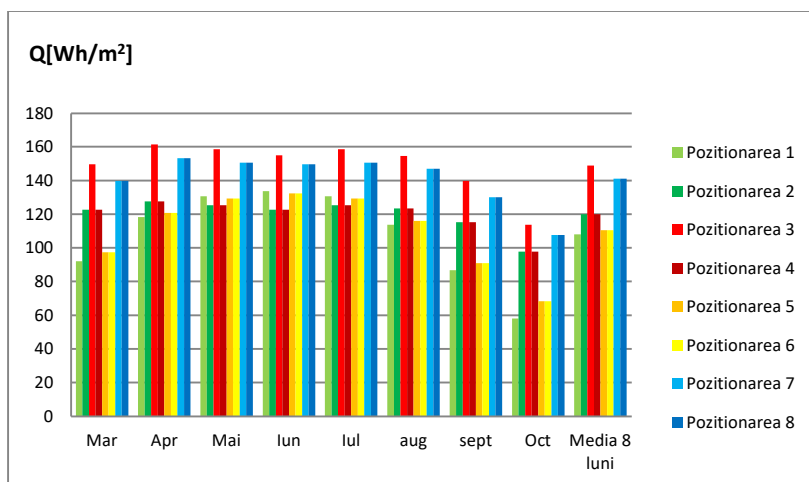
Principalii factori ce influențează valoarea intensității radiației solare sunt: regiunea geografică, altitudinea, temperatura și umiditatea aerului, gradul de poluare al atmosferei, numărul mediu de ore însorite pe parcursul unei zile, poziționarea Soarelui în funcție de luna calendaristică, dar și de înclinația panourilor de captare, materialele folosite în construcție, fluidele de lucru etc.

Pentru a alege soluția optimă de poziționare a colectoarelor verticale dispuse pe cele trei suprafețe laterale disponibile s-a studiat influența fluxului de căldură în funcție de poziția față de punctele cardinale ca în figura 6.



**Fig. 4.5.** Poziționarea colectoarelor verticale în funcție de punctele cardinale

Fluxurile termice totale ale radiației solare pe cele trei panouri dispuse în plan vertical pentru cele opt poziționări sunt reprezentate grafic în figura 4.6.



**Fig. 4.6.** Fluxul termic total al radiației solare pe cele trei panouri dispuse în plan vertical raportat la 24 de ore în funcție de poziționarea panourilor față de punctele cardinale și luna calendaristică

În partea dreaptă a graficului se pot interpreta valorile fluxurilor termice totale ca media aritmetică a celor 8 luni pentru care au fost prelucrate datele statistice. Dintre aceste valori se observă că poziționarea nr. 3 devine cea mai bună opțiune în cazul montării panourilor colectoare în plan vertical.

**În a doua etapă** a proiectului sunt investigate soluțiile constructive privind o platformă mobilă care să cuprindă generatoarele de microbule și sistemul de colectoare solare. S-a avut în vedere solicitarea compusă la care este supus ansamblul și a rafalelor de vânt prin analiza încărcării. Se va ține cont de mai multe aspecte, printre care: greutatea optimă a platformei mobile, materialele din care poate fi construită astfel încât viteza de deplasare a ei să fie suficient de mică pentru a evita coalescența bulelor de aer pentru un transfer maxim de oxigen din bulă în apă. Această activitate vizează analiza și dezvoltarea unei platforme mobile echipată cu generatoare de microbule și panouri solare. Obiectivul este de a asigura o funcționare optimă sub diferite condiții de mediu, inclusiv rafale de vânt, și de a optimiza greutatea platformei pentru a maximiza transferul de oxigen în apă.

### **Cerințe și Solicitări**

#### **Solicități compuse:**

- Greutatea platformei și a echipamentelor montate.
- Analiza impactului rafalelor de vânt asupra stabilității platformei.

#### **Aspecte esențiale:**

- Calcularea unei greutăți care să permită stabilitatea și eficiența funcțională.
- Materialele care să ofere durabilitate și ușurință, asigurând totodată rezistență la coroziune.
- Stabilirea unei viteze de deplasare care să minimizeze coalescența bulelor de aer pentru un transfer maxim de oxigen.

## **Design-ul Platformei**

### ***Structura de bază:***

•Utilizarea aliajelor de aluminiu sau a materialelor compozite pentru o greutate redusă și rezistență la coroziune.

•O platformă de 2m x 1m cu o înălțime de 0.5m pentru stabilitate și eficiență.

### ***Generatoarele de microbule:***

•Generatoare amplasate simetric pentru a asigura o distribuție uniformă a bulelor.

• Utilizarea unor motoare electrice eficiente energetic pentru generarea microbulelor.

### ***Sistemul de colectoare solare:***

•Panouri solare amplasate pe partea superioară a platformei pentru captarea maximă a energiei solare.

## **Analiza Încărcării**

### ***Încărcarea din greutate:***

•Calcularea distribuției masei pentru a asigura echilibrarea platformei.

•Asigurarea unui centru de greutate jos pentru stabilitate.

### ***Încărcarea din rafale de vânt:***

•Optimizarea designului pentru a reduce rezistența la vânt și a preveni răsturnarea.

## **Greutatea și Materialele Platformei**

### ***Greutatea optimă:***

•Sumarea greutății structurii, echipamentelor și panourilor solare.

•Utilizarea tehnicilor de optimizare pentru a minimiza greutatea fără a compromite integritatea structurală.

### ***Materiale de construcție:***

•Aliaje de aluminiu: Ușoare și rezistente la coroziune.

•Materiale compozite: Ușoare, durabile și rezistente la intemperii.

## **Viteza de Deplasare**

• Determinarea vitezei optime de deplasare pentru a maximiza transferul de oxigen și a minimiza coalescența.

•Implementarea unui sistem de control al vitezei bazat pe feedback-ul concentrației de oxigen.

***Sistem de propulsie:*** Motoare electrice. Utilizarea GPS pentru deplasare precisă și cartografiere.

Pentru a calcula distribuția masei și a asigura echilibrarea platformei mobile cu generatoare de microbule și panouri solare, am considerat acești pași:

## **1. Identificarea Componentelor și a Maselor Lor**

- **Structura de bază (platforma)**
  - Material: aluminiu/compozit
  - Masă: 50 kg
- **Panouri solare**
  - Număr: 4-8 panouri

- Masă totală: 20 kg
  - **Generatoare de microbule**
    - Număr: 4 generatoare
- Masă totală: 10 kg
- **Motoare electrice**
    - Număr: 4 motoare
    - Masă totală: 16 kg
  - **Baterii de stocare**
    - Număr: 4 baterii
    - Masă totală: 40 kg
  - **Sistem de control și navigație (GPS, senzori)**
    - Masă totală: 5 kg
  - **Compresor de aer**
    - Masă: 15 kg

Folosind coordonatele fiecărui component, calculăm centrul de masă al platformei. Dacă centrul de masă nu este aproape de punctul central al platformei, se pot ajusta pozițiile componentelor pentru a obține o distribuție uniformă a masei și a echilibra platforma.

## 2. Distribuția Componentelor pe Platformă

Schimbarea poziției componentelor pe platformă pentru a asigura echilibrarea optimă:

- **Structura de bază:** Distribuită uniform.
- **Panouri solare:** Amplasate pe partea superioară, distribuite uniform pentru a nu afecta centrul de greutate.
- **Generatoare de microbule:** Amplasate simetric pe lateralele platformei.
- **Motoare electrice:** Amplasate în partea centrală, echidistant de margini.
- **Baterii de stocare:** Amplasate uniform pe platformă pentru echilibru.
- **Sistem de control și navigație:** Amplasat în partea centrală.
- **Compresor de aer:** Amplasat central pentru a menține echilibrul.

Un design conceptual al platformei mobile echipata cu generatoare de microbule și colectoare solare:

Conceptual Design of Mobile Platform with Microbubble Generators and Solar Collectors

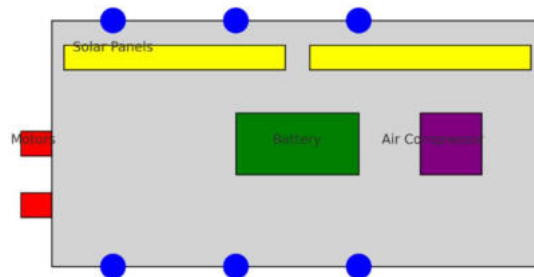


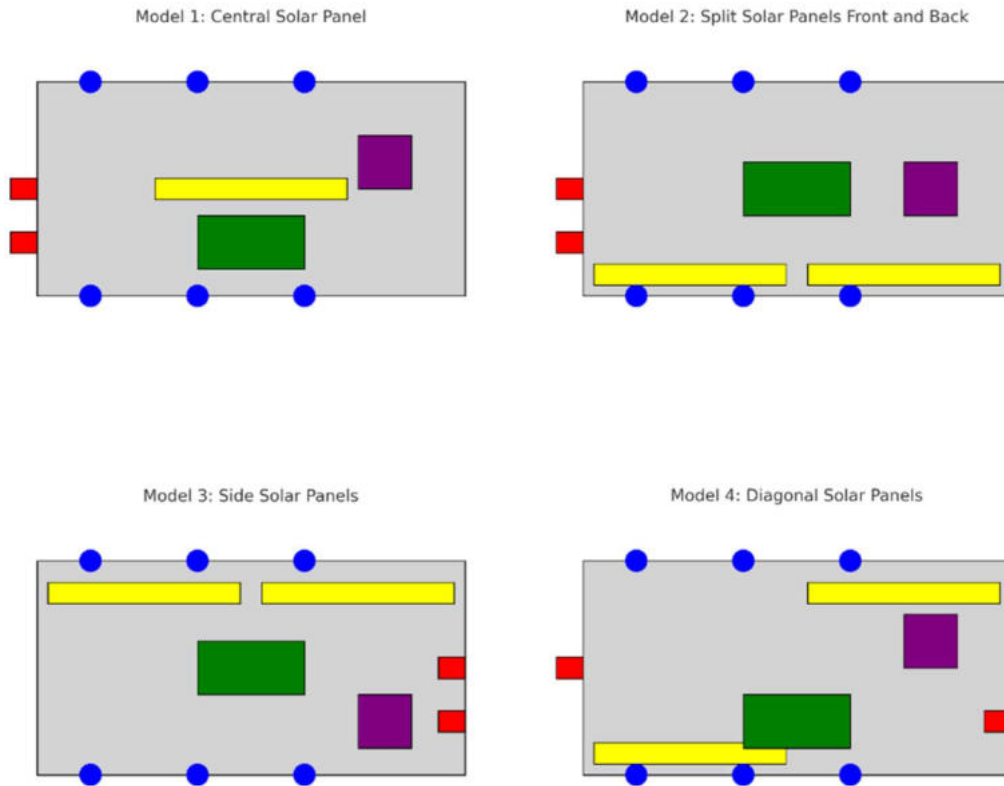
Fig. 4.7. Model conceptual al platformei mobile

- Platformă de bază: dreptunghi gri deschis.
- Panouri solare: dreptunghiuri galbene poziționate deasupra.
- Generatoare de microbule: cercuri albastre de-a lungul părților laterale și de jos.
- Motoare: dreptunghiuri roșii în spate.
- Stocare baterie: dreptunghi verde situat central.
- Compresor de aer: dreptunghi violet lângă margine.

Această schemă oferă un aspect vizual al componentelor principale ale platformei mobile.

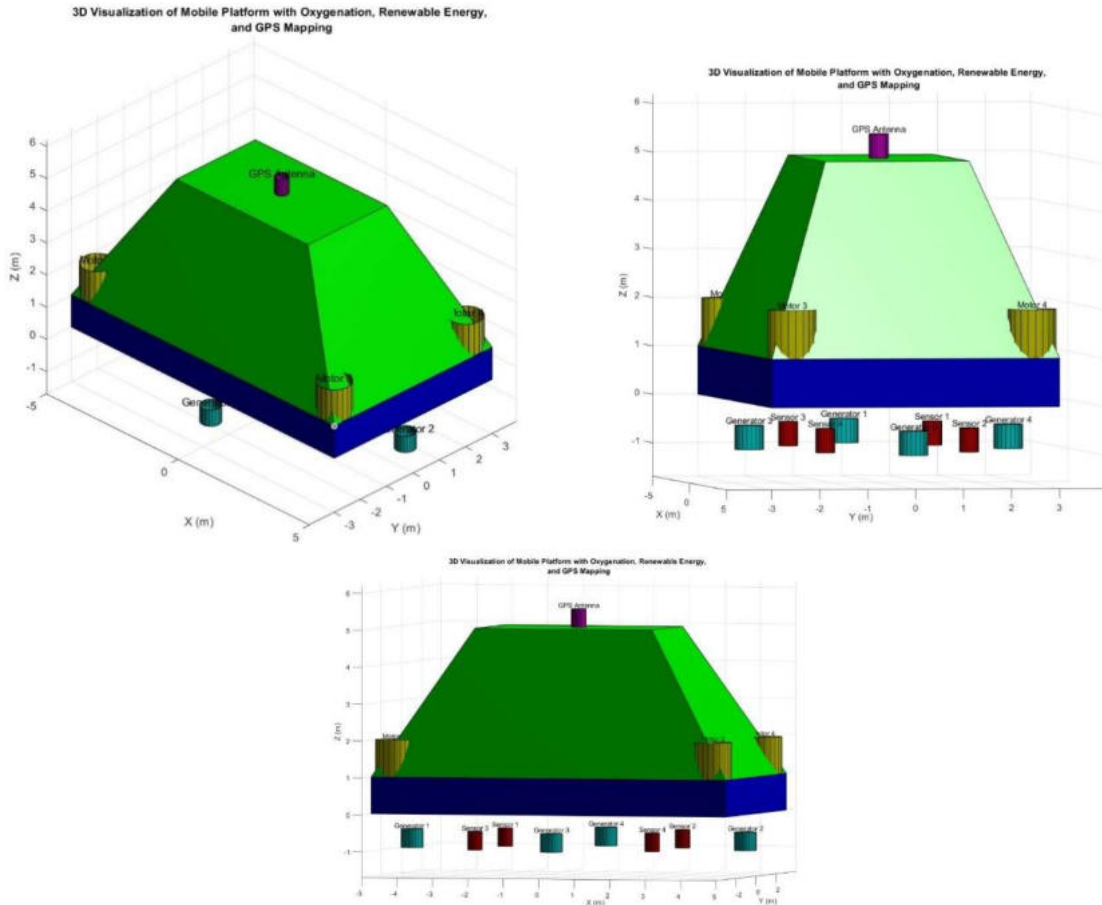
Alte patru modele diferite pentru aranjarea componentelor pe platforma mobilă:

1. Model 1: Panou solar poziționat central.
2. Modelul 2: Panouri solare împărțite față și spate
3. Modelul 3: Panouri solare laterale
4. Modelul 4: Panouri solare diagonale
5. Aceste layout-uri oferă diferite configurații pentru optimizarea distribuției și echilibrului componentelor pe platformă.



**Fig. 4.8.** Modele pentru aranjarea componentelor pe platforma mobilă

Au fost create programe în Matlab pentru vizualizare în 3D a soluției de oxigenare cu generatoare de microbule fine, alimentarea platformei mobile din surse regenerabile de energie precum și de implementarea unui sistem software pentru cartografierea corpului de apă prin utilizarea coordonatelor GPS care să permită funcționarea autonomă a ansamblului propus.



**Fig. 4.9.** Model 3D al platformei cu panouri solare sub forma unui singur trunchi de piramidă

Scriptul programului vizualizează un model 3D al platformei cu panouri solare sub forma unui singur trunchi de piramida, baterii de stocare a energiei, senzori, motoare, generatoare și o antenă GPS. Se pot face ajustări la dimensiunile și pozițiile componentelor după cum este necesar.

```
%%%%%%%% % Clear workspace and command window
clear; clc; close all;
```

```
% Platform dimensions
platform_length = 10; % Length of the platform
platform_width = 6; % Width of the platform
platform_height = 1; % Height of the platform
```

```
% Solar panel dimensions (single large panel in the form of a truncated pyramid)
pyramid_base_length = platform_length; % Base length of the truncated pyramid
pyramid_base_width = platform_width; % Base width of the truncated pyramid
pyramid_top_length = platform_length / 2; % Top length of the truncated pyramid
pyramid_top_width = platform_width / 2; % Top width of the truncated pyramid
pyramid_height = 4; % Height of the truncated pyramid
```

```
% Battery dimensions
battery_length = 1;
```

```

battery_width = 0.5;
battery_height = 0.5;

% Sensor dimensions
sensor_radius = 0.2;
sensor_height = 0.5;

% Motor dimensions
motor_radius = 0.5;
motor_height = 1;

% Generator dimensions
generator_radius = 0.3;
generator_height = 0.5;

% GPS antenna dimensions
gps_radius = 0.2;
gps_height = 0.5;

% Create figure
figure;
hold on;
axis equal;
xlabel('X (m)');
ylabel('Y (m)');
zlabel('Z (m)');
title('3D Visualization of Mobile Platform with Oxygenation, Renewable Energy, and GPS Mapping');
grid on;
view(3);

% Draw the platform
fill3([-platform_length/2 platform_length/2 platform_length/2 -platform_length/2], ...
      [-platform_width/2 -platform_width/2 platform_width/2 platform_width/2], ...
      [0 0 0 0], 'b');
fill3([-platform_length/2 platform_length/2 platform_length/2 -platform_length/2], ...
      [-platform_width/2 -platform_width/2 platform_width/2 platform_width/2], ...
      [platform_height platform_height platform_height platform_height], 'b');
fill3([-platform_length/2 -platform_length/2 -platform_length/2 -platform_length/2], ...
      [-platform_width/2 -platform_width/2 platform_width/2 platform_width/2], ...
      [0 platform_height platform_height 0], 'b');
fill3([platform_length/2 platform_length/2 platform_length/2 platform_length/2], ...
      [-platform_width/2 -platform_width/2 platform_width/2 platform_width/2], ...
      [0 platform_height platform_height 0], 'b');
fill3([-platform_length/2 platform_length/2 platform_length/2 -platform_length/2], ...
      [-platform_width/2 -platform_width/2 -platform_width/2 -platform_width/2], ...
      [0 0 platform_height platform_height], 'b');
fill3([-platform_length/2 platform_length/2 platform_length/2 -platform_length/2], ...
      [platform_width/2 platform_width/2 platform_width/2 platform_width/2], ...
      [0 0 platform_height platform_height], 'b');

% Draw the truncated pyramid solar panel
% Base vertices
x_base = [-pyramid_base_length/2, pyramid_base_length/2, pyramid_base_length/2, -pyramid_base_length/2];
y_base = [-pyramid_base_width/2, -pyramid_base_width/2, pyramid_base_width/2, pyramid_base_width/2];
z_base = platform_height * ones(1, 4);

% Top vertices
x_top = [-pyramid_top_length/2, pyramid_top_length/2, pyramid_top_length/2, -pyramid_top_length/2];
y_top = [-pyramid_top_width/2, -pyramid_top_width/2, pyramid_top_width/2, pyramid_top_width/2];
z_top = (platform_height + pyramid_height) * ones(1, 4);

% Sides

```

```

for i = 1:4
    next_i = mod(i, 4) + 1;
    fill3([x_base(i), x_base(next_i), x_top(next_i), x_top(i)], ...
        [y_base(i), y_base(next_i), y_top(next_i), y_top(i)], ...
        [z_base(i), z_base(next_i), z_top(next_i), z_top(i)], 'g');
end
% Top face
fill3(x_top, y_top, z_top, 'g');

% Draw the batteries under the truncated pyramid solar panel
battery_positions = [
    -1.5 1.5; 1.5 1.5; -1.5 -1.5; 1.5 -1.5
];
for i = 1:size(battery_positions, 1)
    x_batt = battery_positions(i, 1);
    y_batt = battery_positions(i, 2);
    fill3([x_batt x_batt+battery_length x_batt+battery_length x_batt], ...
        [y_batt y_batt y_batt+battery_width y_batt+battery_width], ...
        [platform_height platform_height platform_height+battery_height platform_height+battery_height], 'k');
    text(x_batt + battery_length/2, y_batt + battery_width/2, platform_height + battery_height + 0.1, ...
        sprintf('Battery %d', i), 'HorizontalAlignment', 'center');
end

% Draw the sensors under the platform but visible
sensor_positions = [
    -platform_length/4 platform_width/4; platform_length/4 platform_width/4;
    -platform_length/4 -platform_width/4; platform_length/4 -platform_width/4
];
for i = 1:size(sensor_positions, 1)
    [X, Y, Z] = cylinder(sensor_radius, 20);
    Z = Z * sensor_height;
    X = X + sensor_positions(i, 1);
    Y = Y + sensor_positions(i, 2);
    surf(X, Y, Z - platform_height, 'FaceColor', 'r');
    text(sensor_positions(i, 1), sensor_positions(i, 2), -platform_height + sensor_height + 0.1, ...
        sprintf('Sensor %d', i), 'HorizontalAlignment', 'center');
end

% Draw the motors on the platform under the solar panel
motor_positions = [
    -platform_length/2 + motor_radius, -platform_width/2 + motor_radius;
    -platform_length/2 + motor_radius, platform_width/2 - motor_radius;
    platform_length/2 - motor_radius, -platform_width/2 + motor_radius;
    platform_length/2 - motor_radius, platform_width/2 - motor_radius
];
for i = 1:size(motor_positions, 1)
    [X, Y, Z] = cylinder(motor_radius, 20);
    Z = Z * motor_height + platform_height;
    X = X + motor_positions(i, 1);
    Y = Y + motor_positions(i, 2);
    surf(X, Y, Z, 'FaceColor', 'y');
    text(motor_positions(i, 1), motor_positions(i, 2), platform_height + motor_height + 0.1, ...
        sprintf('Motor %d', i), 'HorizontalAlignment', 'center');
end

% Draw the generators on the edges under the platform
generator_positions = [
    -platform_length/2 + generator_radius, 0;
    platform_length/2 - generator_radius, 0;
    0, -platform_width/2 + generator_radius;
    0, platform_width/2 - generator_radius
];

```

```

for i = 1:size(generator_positions, 1)
    [X, Y, Z] = cylinder(generator_radius, 20);
    Z = Z * generator_height;
    X = X + generator_positions(i, 1);
    Y = Y + generator_positions(i, 2);
    surf(X, Y, Z - platform_height, 'FaceColor', 'c');
    text(generator_positions(i, 1), generator_positions(i, 2), -platform_height + generator_height + 0.1, ...
        sprintf('Generator %d', i), 'HorizontalAlignment', 'center');
end

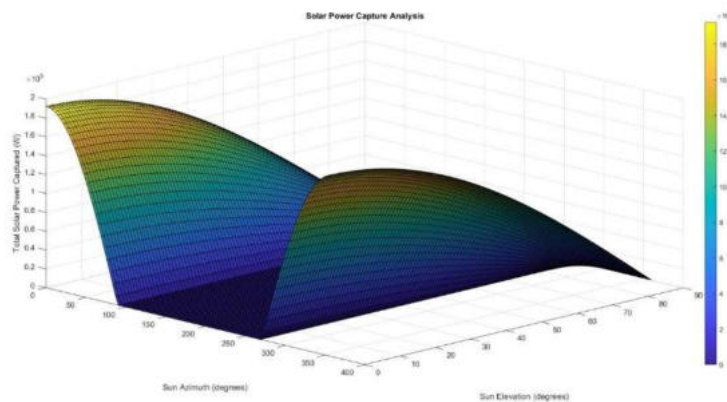
% Draw the GPS antenna on the platform
[X, Y, Z] = cylinder(gps_radius, 20);
Z = Z * gps_height + platform_height + pyramid_height;
X = X;
Y = Y;
surf(X, Y, Z, 'FaceColor', 'm');
text(0, 0, platform_height + pyramid_height + gps_height + 0.1, ...
    'GPS Antenna', 'HorizontalAlignment', 'center');

% Set view angle and lighting
view(45, 30);
camlight;
lighting phong;

hold off;
''''''''

```

Un alt program a fost creat pentru a calcula și vizualiza puterea solară totală captată de colectori pentru diferite poziții ale soarelui, ajutând la analiza orientării optime pentru captarea maximă a energiei solare.



**Fig. 4.10.** Puterea solară totală captată de colectori pentru diferite poziții ale soarelui

Parametrii pot fi ajustați după cum este necesar pentru a se potrivi cu sistemul și locația impusă.

```

'''''''''''''''''''' % Clear workspace and command window
clear; clc; close all;

% Define platform and solar collector parameters
platform_length = 10;
platform_width = 6;
platform_height = 1;
collector_radius = 3;
collector_height = 2;

```

```

num_collectors = 5;

% Define sun position (azimuth and elevation angles)
sun_azimuth = linspace(0, 360, 100); % degrees
sun_elevation = linspace(0, 90, 100); % degrees

% Solar constant (average solar irradiance)
solar_constant = 1361; % W/m^2

% Function to calculate the captured solar power based on orientation
calculate_solar_power = @(az, el, collector_area) solar_constant * collector_area * cosd(el) * max(cosd(az), 0);

% Create figure for 3D visualization
figure;
hold on;
axis equal;
xlabel('X (m)');
ylabel('Y (m)');
zlabel('Z (m)');
title('3D Visualization and Solar Energy Capture Analysis');
grid on;
view(3);

% Draw the platform
fill3([-platform_length/2 platform_length/2 platform_length/2 -platform_length/2], ...
      [-platform_width/2 -platform_width/2 platform_width/2 platform_width/2], ...
      [0 0 0 0], 'b');

% Draw solar collectors
collector_positions = linspace(-platform_length/2 + collector_radius, platform_length/2 - collector_radius, num_collectors);
collector_area = pi * collector_radius^2;

for i = 1:num_collectors
    x_pos = collector_positions(i);
    y_pos = 0;

    % Draw collector
    [X, Y, Z] = cylinder(collector_radius, 20);
    Z = Z * collector_height + platform_height;
    X = X + x_pos;
    Y = Y + y_pos;
    surf(X, Y, Z, 'FaceColor', 'g');
    text(x_pos, y_pos, platform_height + collector_height + 0.1, sprintf('Collector %d', i), 'HorizontalAlignment', 'center');
end

% Simulate and visualize solar energy capture for various sun positions
total_solar_power = zeros(length(sun_azimuth), length(sun_elevation));

for az_idx = 1:length(sun_azimuth)
    for el_idx = 1:length(sun_elevation)
        az = sun_azimuth(az_idx);
        el = sun_elevation(el_idx);

        % Calculate solar power captured by each collector
        for i = 1:num_collectors
            x_pos = collector_positions(i);
            y_pos = 0;

            % Calculate orientation relative to the sun
            solar_power = calculate_solar_power(az, el, collector_area);
            total_solar_power(az_idx, el_idx) = total_solar_power(az_idx, el_idx) + solar_power;
        end
    end
end

```

```

end
end

% Plot total solar power captured as a function of azimuth and elevation
figure;
surf(sun_azimuth, sun_elevation, total_solar_power');
xlabel('Sun Azimuth (degrees)');
ylabel('Sun Elevation (degrees)');
zlabel('Total Solar Power Captured (W)');
title('Solar Power Capture Analysis');
colorbar;

% Set view angle and lighting for the 3D visualization
view(45, 30);
camlight;
lighting phong;

hold off;
,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,

```

Următorul script va crea o vizualizare 3D a platformei cu panouri solare conice, baterii stocate sub panourile solare, senzori sub platformă, motoare montate pe platformă și generatoare pe marginile platformei.

```

,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,, % Platform dimensions
platform_length = 10; % Length of the platform
platform_width = 6; % Width of the platform
platform_height = 1; % Height of the platform

% Conical solar panel dimensions
cone_base_radius = 3; % Radius of the cone base
cone_height = 5; % Height of the cone

% Battery dimensions
battery_length = 1;
battery_width = 0.5;
battery_height = 0.5;

% Sensor dimensions
sensor_radius = 0.2;
sensor_height = 0.5;

% Motor dimensions
motor_radius = 0.5;
motor_height = 1;

% Generator dimensions
generator_radius = 0.3;
generator_height = 0.5;

% Create figure
figure;
hold on;
axis equal;
xlabel('X (m)');
ylabel('Y (m)');
zlabel('Z (m)');
title('3D Visualization of Mobile Platform with Conical Solar Panels, Batteries, Sensors, Motors, and Generators');
grid on;
view(3);

```

```

% Draw the platform
fill3([-platform_length/2 platform_length/2 platform_length/2 -platform_length/2], ...
      [-platform_width/2 -platform_width/2 platform_width/2 platform_width/2], ...
      [0 0 0], 'b');
fill3([-platform_length/2 platform_length/2 platform_length/2 -platform_length/2], ...
      [-platform_width/2 -platform_width/2 platform_width/2 platform_width/2], ...
      [platform_height platform_height platform_height platform_height], 'b');
fill3([-platform_length/2 -platform_length/2 -platform_length/2 -platform_length/2], ...
      [-platform_width/2 -platform_width/2 platform_width/2 platform_width/2], ...
      [0 platform_height platform_height 0], 'b');
fill3([platform_length/2 platform_length/2 platform_length/2 platform_length/2], ...
      [-platform_width/2 -platform_width/2 platform_width/2 platform_width/2], ...
      [0 platform_height platform_height 0], 'b');
fill3([-platform_length/2 platform_length/2 platform_length/2 -platform_length/2], ...
      [-platform_width/2 -platform_width/2 -platform_width/2 -platform_width/2], ...
      [0 0 platform_height platform_height], 'b');
fill3([-platform_length/2 platform_length/2 platform_length/2 -platform_length/2], ...
      [platform_width/2 platform_width/2 platform_width/2 platform_width/2], ...
      [0 0 platform_height platform_height], 'b');

% Define the number of points to create the cone base
n = 50;
theta = linspace(0, 2*pi, n);
x = cone_base_radius * cos(theta);
y = cone_base_radius * sin(theta);
z_base = zeros(size(theta));

% Define the apex of the cone
x_apex = 0;
y_apex = 0;
z_apex = cone_height;

% Draw the conical solar panels
fill3(x, y, z_base + platform_height, 'g'); % Draw the base of the cone
for i = 1:n-1
    fill3([x(i) x(i+1) x_apex], [y(i) y(i+1) y_apex], [z_base(i) z_base(i+1) z_apex] + platform_height, 'g');
end
fill3([x(n) x(1) x_apex], [y(n) y(1) y_apex], [z_base(n) z_base(1) z_apex] + platform_height, 'g');

% Draw the batteries
battery_positions = [
    -2 2; 2 2; -2 -2; 2 -2
];
for i = 1:size(battery_positions, 1)
    x_batt = battery_positions(i, 1);
    y_batt = battery_positions(i, 2);
    fill3([x_batt x_batt+battery_length x_batt+battery_length x_batt], ...
          [y_batt y_batt y_batt+battery_width y_batt+battery_width], ...
          [platform_height platform_height platform_height platform_height] + battery_height, 'k');
end

% Draw the sensors
sensor_positions = [
    0 0
];
for i = 1:size(sensor_positions, 1)
    [X, Y, Z] = cylinder(sensor_radius, 20);
    Z = Z * sensor_height + platform_height;
    X = X + sensor_positions(i, 1);
    Y = Y + sensor_positions(i, 2);
    surf(X, Y, Z, 'FaceColor', 'r');
end

```

```

% Draw the motors
motor_positions = [
    -platform_length/2 + motor_radius, -platform_width/2 + motor_radius;
    -platform_length/2 + motor_radius, platform_width/2 - motor_radius;
    platform_length/2 - motor_radius, -platform_width/2 + motor_radius;
    platform_length/2 - motor_radius, platform_width/2 - motor_radius
];
for i = 1:size(motor_positions, 1)
    [X, Y, Z] = cylinder(motor_radius, 20);
    Z = Z * motor_height + platform_height;
    X = X + motor_positions(i, 1);
    Y = Y + motor_positions(i, 2);
    surf(X, Y, Z, 'FaceColor', 'y');
end

% Draw the generators
generator_positions = [
    -platform_length/2 + generator_radius, 0;
    platform_length/2 - generator_radius, 0;
    0, -platform_width/2 + generator_radius;
    0, platform_width/2 - generator_radius
];
for i = 1:size(generator_positions, 1)
    [X, Y, Z] = cylinder(generator_radius, 20);
    Z = Z * generator_height + platform_height;
    X = X + generator_positions(i, 1);
    Y = Y + generator_positions(i, 2);
    surf(X, Y, Z, 'FaceColor', 'c');
end

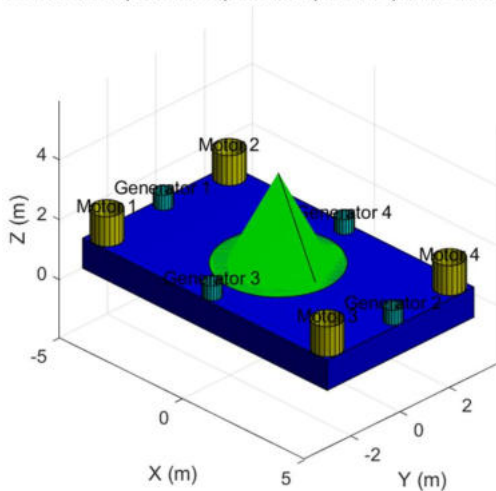
% Set view angle and lighting
view(45, 30);
camlight;
lighting phong;

hold off;

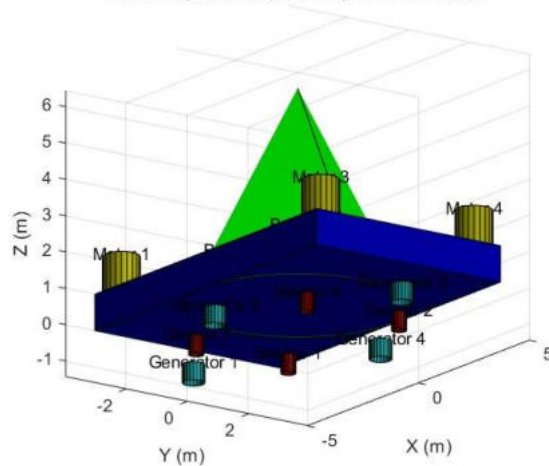
```

Fiecare componentă este etichetată pentru claritate.

**3D Visualization of Mobile Platform with Conical Solar Panels, Batteries, Sensors, Motors, and Generators**



**3D Visualization of Mobile Platform with a Conical Solar Panel, Batteries, Sensors, Motors, and Generators**



**Fig. 4.11.** Vizualizare 3D a platformei cu panouri solare conice

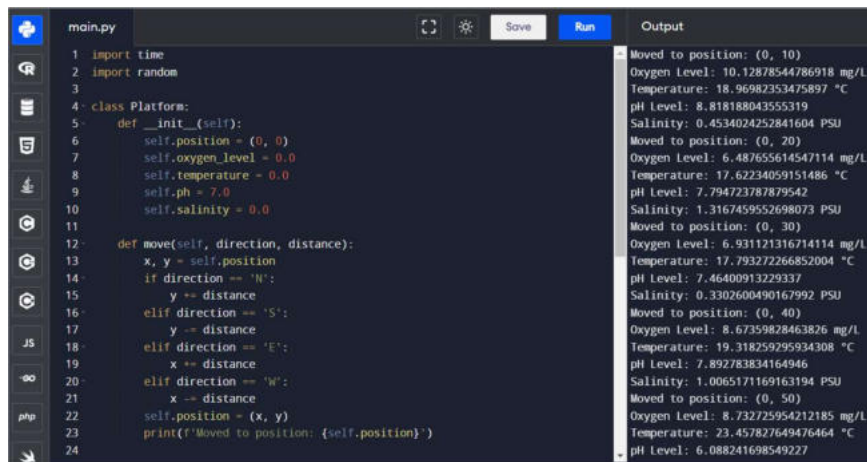
Se ajustează dimensiunile și pozițiile după cum este necesar pentru a se potrivi cerințelor specifice.

**În a treia etapă a proiectului**, pentru a asigura bună oxigenare a întregului acvasistem se dorește ca platforma să fie una mobilă, capabilă să parcurgă întreaga suprafață a corpului de apă și să permită modificarea adâncimii la care se face generarea microbulelor de aer în funcție de distanța dintre suprafața apei și fundul lacului.

Sistemul proiectat astfel va permite de asemenea mutarea într-o altă zonă sau alt pe alt luciul de apă, acolo unde este necesar. Deplasarea se va baza pe acționarea unui număr de motoare electrice dedicate platformelor plutitoare folosind *algoritmi de digitalizare*. Energia folosită va fi obținută prin intermediul sistemului de colectoare solare. Controlul acestora se va baza pe soluții dedicate, conforme cu standardele IP6X, aplicabile la lucrul în medii cu apă dulce. **Controlul generatorului de microbule de aer, acționarea sistemului de oxigenare alături de includerea senzorilor și traductoarelor din sistem se va face de asemenea, prin intermediul unor soluții de control dezvoltate în cadrul acestui proiect.**

*Arhitectura software* este una adaptată principiilor *Industry 4.0* și va permite conectarea, monitorizarea și controlul sistemului de la distanță, **fără intervenția unui operator uman** în cazul majorității operațiunilor realizate.

Un exemplu simplu de cod Python pentru controlul mișcării platformei și colectarea datelor de la senzori.



```
main.py
1 import time
2 import random
3
4 class Platform:
5     def __init__(self):
6         self.position = (0, 0)
7         self.oxygen_level = 0.0
8         self.temperature = 0.0
9         self.ph = 7.0
10        self.salinity = 0.0
11
12    def move(self, direction, distance):
13        x, y = self.position
14        if direction == 'N':
15            y += distance
16        elif direction == 'S':
17            y -= distance
18        elif direction == 'E':
19            x += distance
20        elif direction == 'W':
21            x -= distance
22        self.position = (x, y)
23        print(f'Moved to position: {self.position}')
24
```

Output

```
Moved to position: (0, 10)
Oxygen Level: 10.12878544786918 mg/L
Temperature: 18.96882353475897 °C
pH Level: 8.818188043555319
Salinity: 0.4534024252841604 PSU
Moved to position: (0, 20)
Oxygen Level: 6.487655614547114 mg/L
Temperature: 17.62234059151486 °C
pH Level: 7.794723787879542
Salinity: 1.3167459552698073 PSU
Moved to position: (0, 30)
Oxygen Level: 6.931121316714114 mg/L
Temperature: 17.793272266852004 °C
pH Level: 7.46400913229337
Salinity: 0.3302600490167992 PSU
Moved to position: (0, 40)
Oxygen Level: 8.67359828463826 mg/L
Temperature: 19.318259295934308 °C
pH Level: 7.892783834164946
Salinity: 1.0065171169163194 PSU
Moved to position: (0, 50)
Oxygen Level: 8.732725954212185 mg/L
Temperature: 23.457827649476464 °C
pH Level: 6.088241698549227
```

```

main.py
25 def read_sensors(self):
26     # Simulare reading sensor data
27     self.oxygen_level = random.uniform(5, 12) # mg/L
28     self.temperature = random.uniform(15, 25) # °C
29     self.ph = random.uniform(6, 9)
30     self.salinity = random.uniform(0.1, 1.5) # PSU
31
32 def report_status(self):
33     print(f'Oxygen Level: {self.oxygen_level} mg/L')
34     print(f'Temperature: {self.temperature} °C')
35     print(f'pH Level: {self.ph}')
36     print(f'Salinity: {self.salinity} PSU')
37
38 def operate(self):
39     while True:
40         self.move('N', 10)
41         self.read_sensors()
42         self.report_status()
43         time.sleep(5) # Delay for next operation cycle
44
45 if __name__ == "__main__":
46     platform = Platform()
47     platform.operate()
48
Output
Moved to position: (0, 60)
Oxygen Level: 8.576242016816186 mg/L
Temperature: 17.73956890212573 °C
pH Level: 8.984389230265194
Salinity: 0.10087677409825234 PSU
Moved to position: (0, 70)
Oxygen Level: 6.368516568016885 mg/L
Temperature: 18.214503645165536 °C
pH Level: 8.498956301847276
Salinity: 0.24888489467852462 PSU
Moved to position: (0, 80)
Oxygen Level: 5.632343964986061 mg/L
Temperature: 18.5473782802947 °C
pH Level: 8.020242784339501
Salinity: 1.1493151763528386 PSU
Moved to position: (0, 90)
Oxygen Level: 6.384439676793026 mg/L
Temperature: 20.928170750219767 °C
pH Level: 8.1150653327209
Salinity: 0.5239886164680791 PSU
Moved to position: (0, 100)
Oxygen Level: 5.6450689521191375 mg/L
Temperature: 18.40408691305623 °C
pH Level: 6.673580079220615

```

## Explicație

### 1. Definirea Clasei Platform:

- Clasa Platform reprezintă platforma mobilă.
- Inițializarea include poziția platformei și valorile inițiale pentru senzori.

### 2. Metoda move:

- Simulează mișcarea platformei într-o direcție specificată (N, S, E, W) cu o anumită distanță.

### 3. Metoda read\_sensors:

- Simulează citirea datelor de la senzori folosind valori random.

### 4. Metoda report\_status:

- Raportează starea curentă a senzorilor.

### 5. Metoda operate:

- Un ciclu infinit care mută platforma, citește datele senzorilor și raportează starea, cu o pauză de 5 secunde între cicluri.

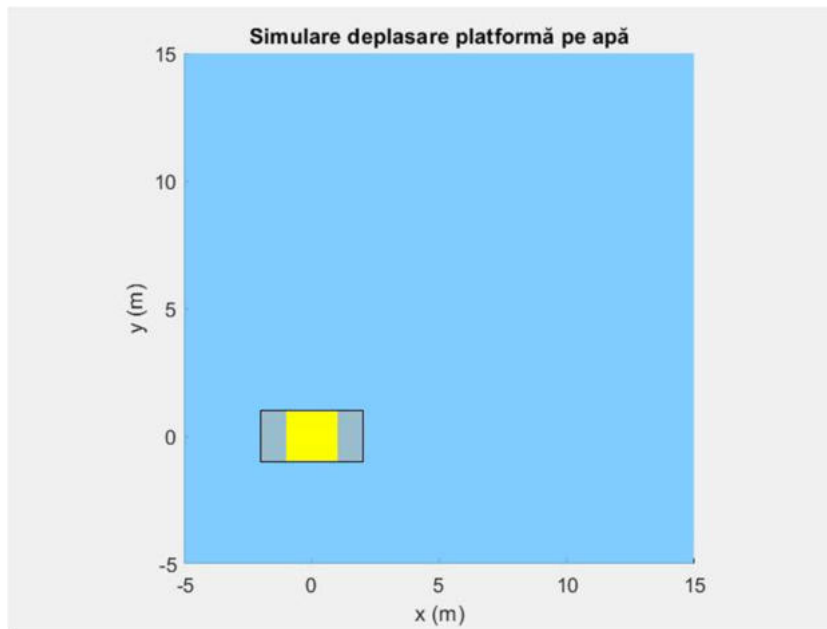
Acesta este un exemplu simplificat și poate fi extins pentru a include funcționalități suplimentare, cum ar fi navigarea bazată pe GPS, stocarea și analiza datelor, și controlul în timp real al platformei printr-o interfață de utilizator.

```

MATLAB R2022b - academicuse
HOME PLOTS APPS EDITOR PUBLISH VIEW
New Open Save Print Go To Find Refactor Analyze Run Run and Advance Run Step Stop
Run and Advance Run to End Run to End
FILE NAVIGATE CODE ANALYZE SECTION RUN
Current Folder: C:\Users\imih\OneDrive\Documents\MATLAB
Editor: C:\MATLAB\toolbox\robot\2024\2024-CASITGAT\run\actuizaport\3zap\turn\deplasare\new\film1.m
1 % Parametrii initiali
2 water_color = [0.5, 0.8, 1]; % Culoarea apei
3 platform_color = [1, 0.5, 0]; % Culoarea platformei
4 platform_size = [4, 2]; % Dimensiuni platformă (lungime, lățime)
5 num_frames = 200; % Număr total de cadre
6 time_step = 0.1; % Pasul de timp între cadre
7
8 % Traectoria platformei (exemplu circular)
9 radius = 10; % Raza traectoriei
10 theta = linspace(0, 2*pi, num_frames); % Unghiurile de-a lungul traectoriei
11 x_traj = radius * cos(theta); % Coordonatele x ale traectoriei
12 y_traj = radius * sin(theta); % Coordonatele y ale traectoriei
13
14 % Pregătirea figurii
15 figure;
16 hold on;
17 axis equal;
18 xlim([-15, 15]);
19 ylim([-15, 15]);
20 xlabel('x (m)');
21 ylabel('y (m)');
22 title('Simulare deplasare platformă pe apă');
Command Window
>> film1
Simularea a fost salvată în fișierul "platform_motion_simulation.avi".
fe >>

```

Fig. 4.12. Cod simulare deplasare platformă



**Fig. 4.13. Simulare deplasare platformă**

În cadrul prezentării raportului intermediar 3 al proiectului a fost prezentat un fișier video care arata deplasarea platformei pe baza programului de mai sus.

**Următorul pas în realizarea proiectului** a fost de proiectare, design și simulări, plus verificarea diferitelor tipuri de generatoare de microbule de aer.

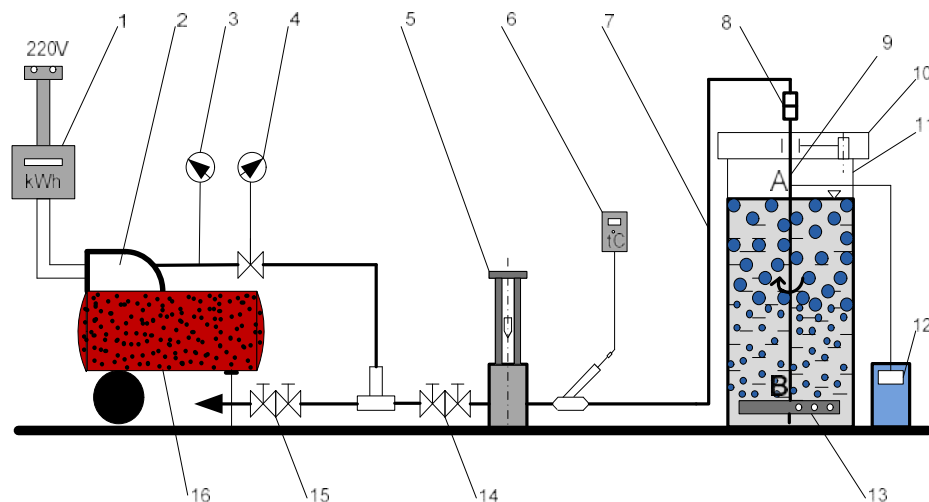
Soluțiile constructive ale generatoarelor de bule fine și materialele din care acestea sunt obținute sunt multiple și intens studiate.

Elementul cel mai important al generatoarelor de bule fine îl reprezintă elementul de dispersie a aerului în apă, care poate fi construit având diferite forme (circulare, dreptunghiulare, tubulare, sferice, etc.) și executate din materiale (sticlă, mase plastice, cauciuc, materiale cu memoria formei, etc.) ce îndeplinesc anumite criterii de funcționare.

În lucrările științifice publicate de directorul de proiect alături de colegi sunt studiate noi tipuri de echipamente de oxigenare a apelor denumite “generatoare de bule fine” (G.B.F.).

Cel mai eficient generator de bule fine de aer a fost determinat pe cale experimentală. Scopul cercetărilor experimentale a fost de a demonstra că instalațiile de oxigenare cu generatoare de bule fine în mișcare de rotație sunt mai performante decât cele clasice cu generatoare de bule fine, fixe.

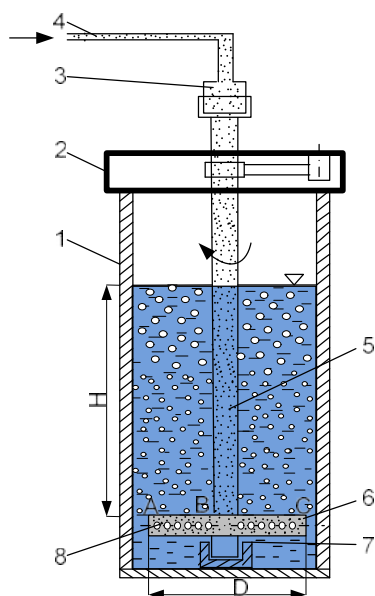
A fost utilizat un stand de încercări a generatorului de bule fine aflat în mișcare de rotație din cadrul Departamentului Termotehnică. Motoare, Echipamente Termice și Frigorifice din Facultatea de Inginerie Mecanică și Mecatronică a



**Fig.4.13.**Schema generală a instalației experimentale

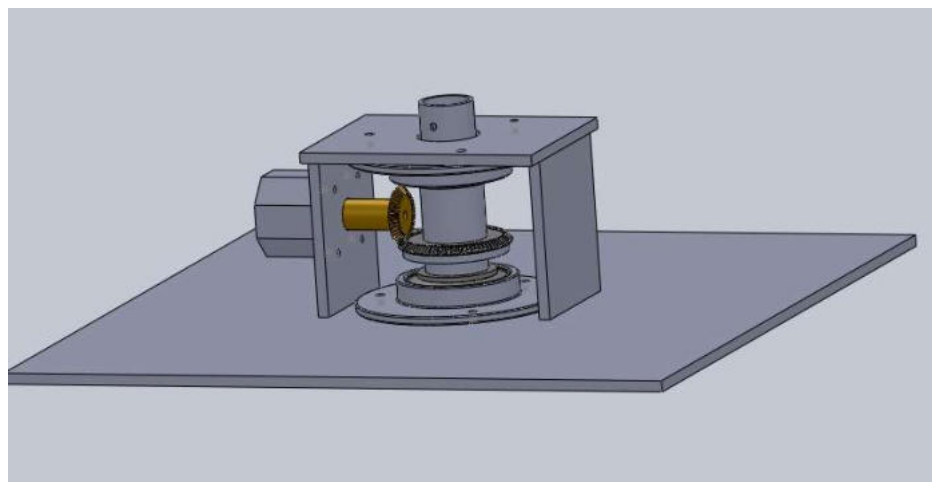
1-contor de energie electrică; 2-compresor; 3-manometru; 4-reductor de presiune; 5-rotametr; 6-termometru digital; 7-conductă cu aer comprimat; 8-etanșare mobilă; 9- tijă de acționare a G.B.F.; 10-platformă cu mecanismul de acționare a tijeii G.B.F.; 11-rezervor cu apă; 12-manometru cu indicație digitală; 13-cutie cu orificii; 14-robinete de reglare a debitului de aer către G.B.F.; 15-robinete pentru golirea aerului suplimentar; 16-rezervor cu aer comprimat.

În fig. 4.14 este prezentată schița generatorului de bule fine imersat în apă.



**Fig. 4.14.** Schița G.B.F. imersat în apă

1-rezervor cu apă; 2-platformă pentru mecanismul de acționare a tijeii G.B.F. 3-etanșare mobilă; 4-conductă de aer comprimat; 5-tija G.B.F.; 6-element constructiv al G.B.F.; 7-lagăr axial; 8-orificii cu diametrul de 0,5mm



**Fig. 4.15.** Platformă pentru mecanismul de acționare a tijei G.B.F

Acest tip de G.B.F. este prevăzut cu o etanșare mobilă (3) (*fig. 4.16*) care permite antrenarea în mișcare de rotație a plăcii cu orificii.



**Fig. 4.16.** Etanșarea mobilă

Etanșarea mobilă (3) (*fig. 4.15*) este alcătuită din două părți:

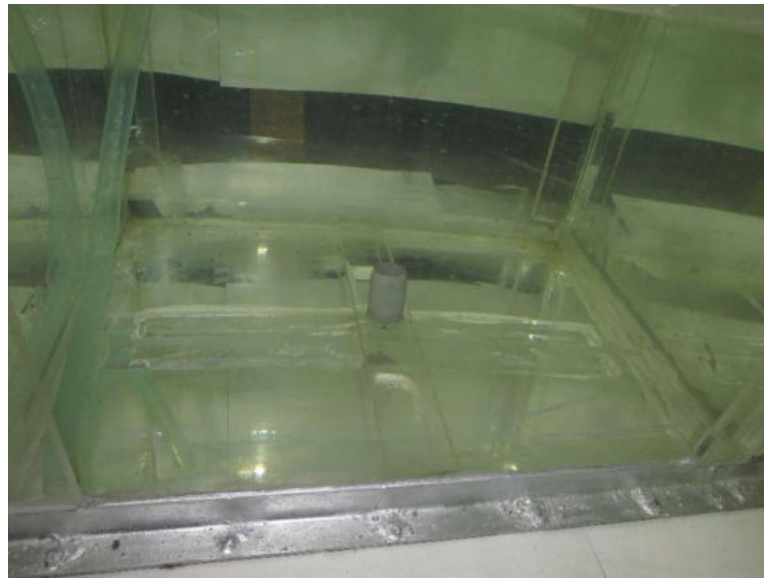
-o parte fixă, solidară cu conducta (3) și o parte mobilă solidară cu tija (4) și placa cu orificii (6) (*fig. 4.14*). Tija (4) și placa (6) sunt antrenate într-o mișcare de rotație de un motor electric amplasat în interiorul platformei (2).

Etanșarea mobilă (3) permite ca tija (4) să execute o mișcare de rotație; partea superioară a etanșării mobile (3) este fixată rigid de conducta (3), iar partea inferioară este mobilă, solidară cu tija (4) și placa cu orificii (6).

Prin interiorul tijei 5 (fig.4.14) se introduce aer comprimat.

În timpul mișcării de rotație, aerul iese în sens contrar mișcării de rotație prin orificiile din zona *AB* respectiv *BC* (fig.4.14).

Fixarea tijei 5 se face la baza rezervorului cu ajutorul unui lagăr axial (fig. 4.17).



**Fig. 4.17.** Lagăr axial

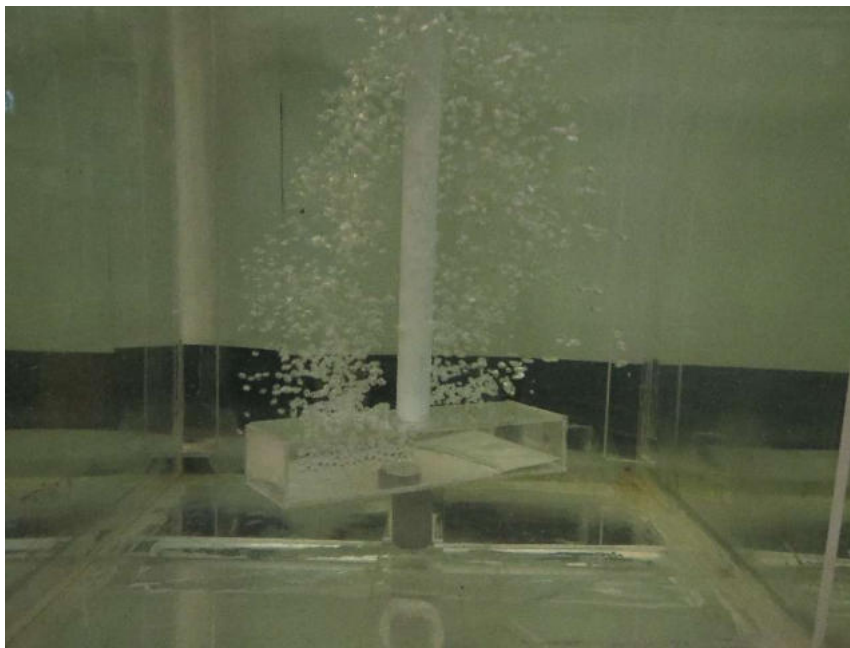
În fig. 4.18 se poate observa standul de încercări a G.B.F. aflat în mișcare de rotație.



**Fig. 4.18.** Instalația de oxigenare a apelor cu G.B.F. aflat în mișcare de rotație

În imagine se observă rezervorul de apă din plexiglas și panoul cu aparatele de măsură.

Pentru efectuarea măsurătorilor se procedează astfel: se umple bazinul cu apă până la înălțimea  $h=0.5\text{ m}$ , se pornește instalația și se oxigenează apa din bazin prin rotirea *G.B.F.* (*fig.8.16*); se introduce sonda în apă pentru măsurarea concentrației de oxigen dizolvat urmând aceeași pași ca la *G.B.F. fix*.



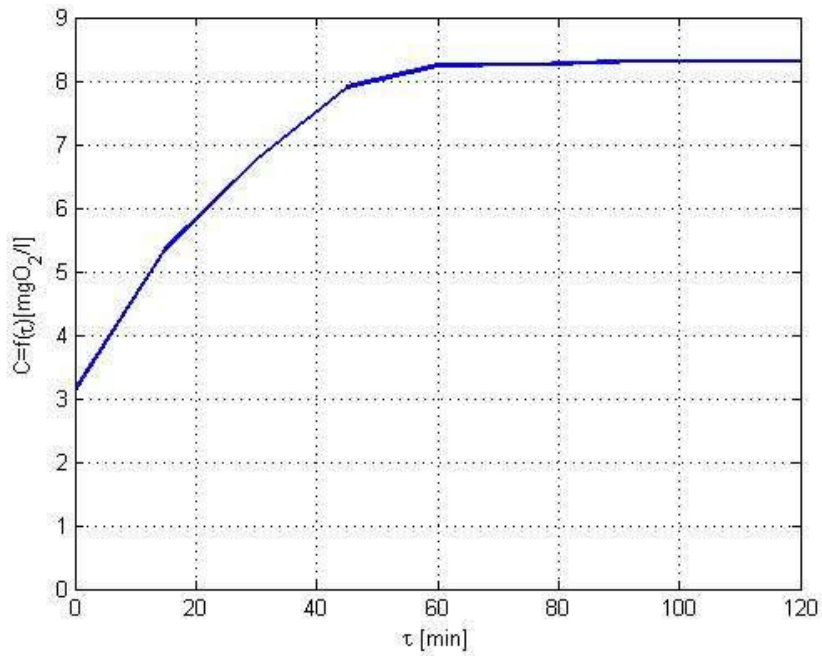
**Fig. 4.19.** G.B.F. aflat în mișcare de rotație introdus în bazin

În urma cercetărilor experimentale au rezultat datele din *tabelul 1*

**Tabelul 1. Valorile mărimilor măsurate**

1	2	3	4	5	6	7	8
	$\tau[\text{min}]$	$C[\text{mg/l}]$	$p[\text{mbar}]$	$p[\text{mmH}_2\text{O}]$	$\dot{V} [\text{l/h}]$	$\Delta p[\text{mmH}_2\text{O}]$	$H[\text{mmH}_2\text{O}]$
1	15	5,35	57,20	583,44	600	20,44	500
2	15	6,75	57,20	583,44	600	20,44	500
3	15	7,90	57,20	583,44	600	20,44	500
4	15	8,24	57,20	583,44	600	20,44	500
5	15	8,25	57,20	583,44	600	20,44	500
6	15	8,30	57,20	583,44	600	20,44	500
7	15	8,30	57,20	583,44	600	20,44	500
8	15	8,30	57,20	583,44	600	20,44	500
Total	120	-	-	-	4800	-	-

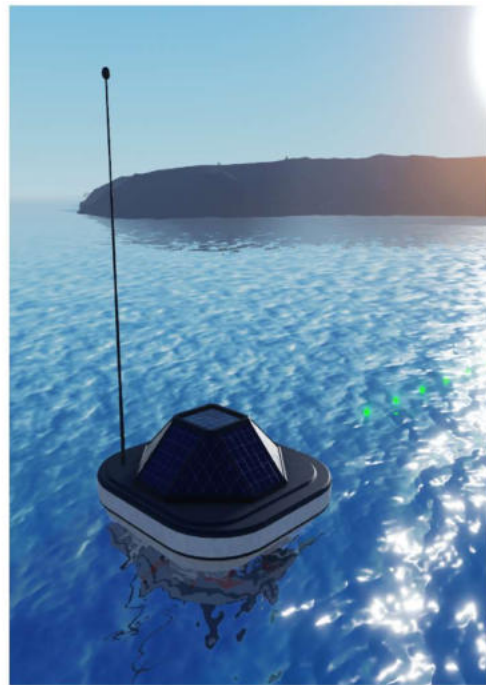
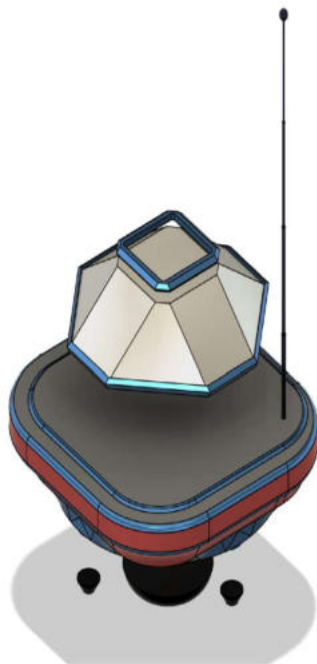
Creșterea concentrației de oxigen dizolvat în apa de la rețea se observă în *fig. 4.20*.



**Fig.4.20.** Variația concentrației de O<sub>2</sub> dizolvat în apă în funcție de timp

Pentru G.B.F. aflat în mișcare de rotație, timpul de oxigenare a apei, se reduce de două ori comparativ cu G.B.F fix.

**Următorul pas** descrie metodologia de proiectare a unui robot autonom pentru oxigenarea apei.

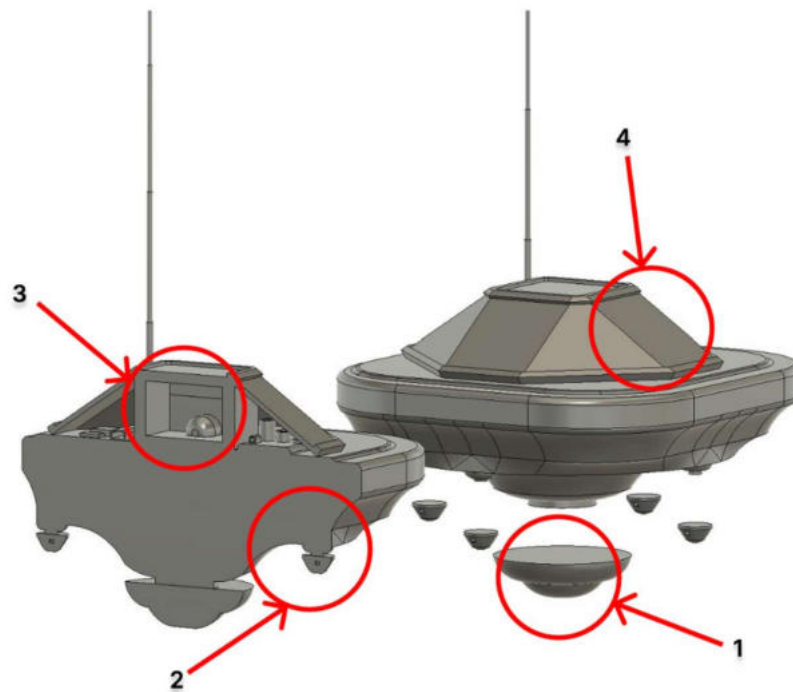


Pentru simularea traiectoriei la suprafața apei s-a utilizat MATLAB, în timp ce simulările vizuale au fost create în Lua pentru a oferi o reprezentare intuitivă a traiectoriei. Pentru modelarea 3D a componentelor robotului s-a utilizat Fusion 360. Traiectoriile au fost generate folosind metode precum spirala arhimedească și Boustrophedon, care au permis acoperirea eficientă a lacului, inclusiv evitarea obstacolelor.

### **Modelare 3D – NEPTUNE-R**

Următoarele aspecte au fost luate în considerare la dezvoltarea modelului NEPTUNE-R:

- Simplitate și accesibilitate: Designul a fost conceput pentru a fi ușor de construit cu resurse minime și pentru a permite intervenții rapide pentru îmbunătățiri viitoare sau modificări funcționale.
- Stabilitate pe apă: Modelul a fost proiectat pentru a preveni răsturnarea în timpul funcționării la suprafața apei.
- Energie verde: A fost prevăzut un sistem de panouri solare pentru alimentare autonomă cu energie.
- Spațiu dedicat echipamentelor: Designul include spațiu pentru aparatura tehnică necesară.



### **Componentele de bază ale robotului NEPTUNE-R**

1. Generator de microbule pentru oxigenarea apei – responsabil de îmbunătățirea nivelului de oxigen dizolvat în apă, contribuind la purificarea mediului acvatic.
2. Motoare de propulsie – asigură mișcarea robotului pe suprafața apei.
3. Compartiment tehnic – spațiu pentru amplasarea componentelor electronice și mecanice esențiale.
4. Panouri solare – utilizate pentru alimentarea robotului.

## MATLAB

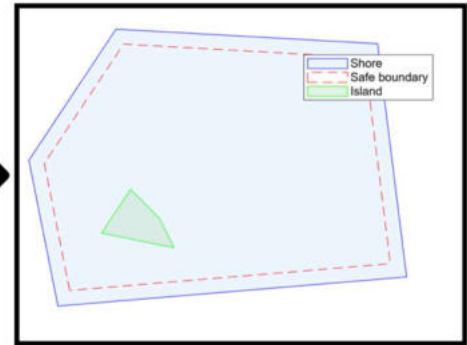
Metode de lucru:

- Aplicarea metodei Euler la legile fizicii.
- Simularea traiectoriei pe suprafața apei folosind spirala Arhimeidiană și Boustrophedon.
- Integrarea mecanismelor pentru evitarea țărmurilor, insulelor și a altor obstacole în cadrul simulării.

Pentru a defini lacul, am folosit polyshape, în care au fost introduse coordonatele care delimitează țărmurile.

```
% 1 Lake & island boundary
lake_xy = [ ...
    0 0;
    1.2 0.1;
    1.1 0.9;
    0.2 0.95;
    -0.1 0.5
];
lake = polyshape(lake_xy);
safe_margin = 0.05; % "safe" buffer from shore
safelake = polybuffer(lake, -safe_margin);

island_xy = [ ...
    0.15 0.25;
    0.25 0.4;
    0.35 0.3;
    0.4 0.2
];
island = polyshape(island_xy);
```

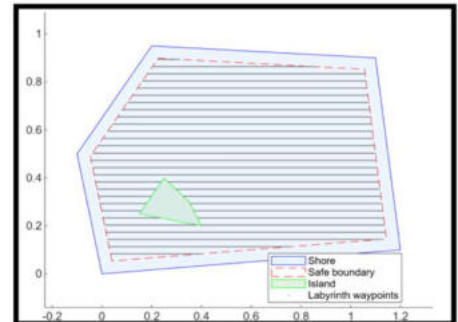


Pathfinder-ul a fost construit pe baza metodei Boustrophedon. Această abordare permite o acoperire completă și optimizată a zonei de interes, evitând simultan obstacolele.

```
% 1.1 carve island out of safelake
freeSpace = subtract(safelake, island);

% 1.2 get x/y limits correctly
[xlim, ylim] = boundingbox(freeSpace);
xmin = xlim(1); xmax = xlim(2);
ymin = ylim(1); ymax = ylim(2);
dy = 0.02; % vertical spacing between passes
nx = 300; % resolution along each scan-line

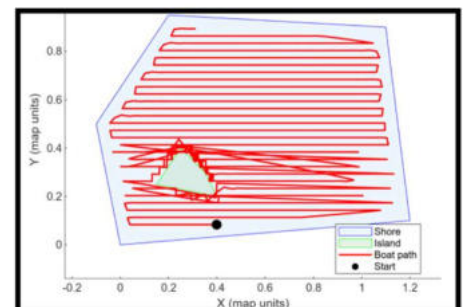
% 1.3 build the back-and-forth runs
path = [];
dir = 1; % 1 = left-right, -1 = right-left
sgrid = linspace(xmin, xmax, nx);
for y = ymin : dy : ymax
    xi = sgrid;
    yi = y + ones(size(xi));
    IN = isinterior(freeSpace, xi, yi);
    runs = bwlabel(IN); % contiguous in-water segments
    for r = 1:max(runs)
        ldx = runs==r;
        pts = [xi(ldx)'; yi(ldx)'];
        if dir==0
            pts = flipud(pts);
        end
        path = [path; pts];
    end
    dir = -dir; % reverse sweep on next row
end
```



```
% Euler integration
a = (v_des - vel)/dt; % a = (targetVelocity - currentVelocity) / dt
vel = vel + a*dt; % v_{t+dt} = v_t + a_t * dt -- velocity update
pos = pos + vel*dt; % p_{t+dt} = p_t + v_t * dt -- position update
history(end+1,:) = pos;
```

```
% conditional oxygenation using % sat
pct = DO_field_pct(pos(1), pos(2));
if pct < DO_thr_pct % if position o2 lvl < thr
    fprintf('%5.1f s] DO=%1.1f%% < %d%% -> oxygenate at (%.2f,%.2f)\n', ...
        k*dt, pct, DO_thr_pct, pos(1), pos(2));
end
```

```
% check 4 shore collision
if ~isinterior(lake, pos(1), pos(2))
    warning('Boat ran aground at step %d!', k);
    break;
end
```



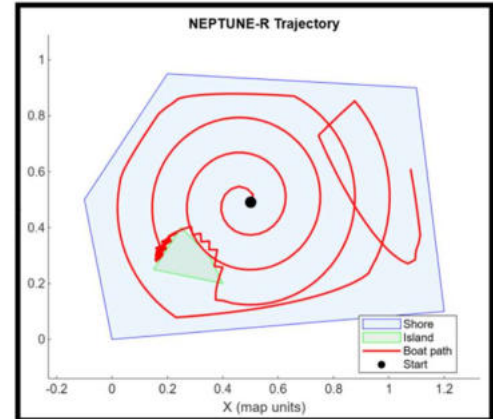
O alternativă pentru determinarea traiectoriei de deplasare a robotului este utilizarea spiralei Arhimeidiană.

```

%% 3 Generate archimedean spiral waypoints
a = 0.02; % spiral params
b = 0.02;
theta = linspace(0,20*pi,5000);
r = a + b.*theta;
cx = mean(lake_xy(:,1));
cy = mean(lake_xy(:,2));
xx = cx + r.*cos(theta);
yy = cy + r.*sin(theta);
IN = isinterior(safeLake, xx, yy);
path_spiral = [xx(IN)', yy(IN)'];

plot(path_spiral(:,1), path_spiral(:,2), ...
      '.', 'MarkerSize',4, 'Color',[.5 .5 .5]);
legend('Shore','Safe boundary', ...
      'Island','Spiral waypoints','Location','best');

```



Această metodă constă în generarea unei traiectorii continue sub formă de spirală cu un pas constant, pornind de la un punct central și extinzându-se progresiv spre exterior. Această abordare realizează o acoperire uniformă a unei suprafețe circulare și este deosebit de eficientă pentru lacurile cu o formă aproximativ circulară.

```

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%% Numerical methods extra path calculator
% - Archimedean spiral coverage on a lake with obstacles
% - Shore avoidance
% - Island avoidance via local 90deg turns
% - Oxygenation based on % saturation

clearvars;
close all;
clc;

%% 1 Lake & island boundary
lake_xy = [...
    0 0;
    1.2 0.1;
    1.1 0.9;
    0.2 0.95;
    -0.1 0.5
];
lake = polyshape(lake_xy);
safe_margin = 0.05; % "safe" buffer from shore
safeLake = polybuffer(lake, -safe_margin);

island_xy = [ ...
    0.15 0.25;
    0.25 0.4;
    0.35 0.3;
    0.4 0.2
];
island = polyshape(island_xy);

%% 2 Plot Lake, Safe Boundary & Island
figure; hold on; axis equal
plot(lake, 'FaceColor',[.8 .9 1],'EdgeColor','b');
plot(safeLake, 'FaceColor','none','EdgeColor','r','LineStyle','--');
plot(island, 'FaceColor',[.7 .85 .7],'EdgeColor','g');
title('NEPTUNE-R safe boundary & Island');
legend('Shore','Safe boundary','Island','Location','best');

```

```

%% 3 Generate archimedean spiral waypoints
a = 0.02; % spiral params
b = 0.02;
theta = linspace(0,20*pi,5000);
r = a + b.*theta;
cx = mean(lake_xy(:,1));
cy = mean(lake_xy(:,2));
xx = cx + r.*cos(theta);
yy = cy + r.*sin(theta);
IN = isinterior(safeLake, xx, yy);
path_spiral = [xx(IN)', yy(IN)'];

plot(path_spiral(:,1), path_spiral(:,2), ...
    'l', 'MarkerSize',4, 'Color',[.5 .5]);
legend('Shore','Safe boundary', ...
    'Island','Spiral waypoints','Location','best');

%% 4 Simulation parameters & initialization
% scale = 1:100
dt = 0.1; % time step (s)
Vmax = 0.3; % max speed (m/s)

% mock DO field in mg/L (base + spatial variation)
DO_field_raw = @(x,y) 7 + 1.5*sin(2*pi*x).*cos(2*pi*y);

% convert to % saturation (assume saturation ~9 mg/L)
DO_sat = 9.0; % mg/L saturation
DO_field = @(x,y) 100 * DO_field_raw(x,y) / DO_sat;
DO_thr_pct = 80; % threshold 80%

%init state
pos = path_spiral(1,:);
vel = [0,0];
history = pos;

%% 5 Main loop - waypoint with island avoidance
for k = 2:size(path_spiral,1)
    tgt = path_spiral(k,:);
    d = tgt - pos;
    if norm(d) < 0.02
        continue; % close enough to waypoint
    end
    v_des = (d/norm(d)) * Vmax;

    % Island avoidance: if next step enters island, rotate 90 deg
    cand = pos + v_des*dt;
    if isinterior(island, cand(1), cand(2))
        v1 = [-v_des(2), v_des(1)];
        if ~isinterior(island, pos+v1*dt)
            v_des = (v1/norm(v1)) * Vmax; %+90deg
        else
            v2 = [v_des(2), -v_des(1)];
            if ~isinterior(island, pos+v2*dt)
                v_des = (v2/norm(v2)) * Vmax; %-90deg
            end
        end
    end
end

% Euler integration
a = (v_des - vel)/dt; % a = (targetVelocity - currentVelocity) / dt
vel = vel + a*dt; % v_{t+dt} = v_t + a_t * dt -- velocity update
pos = pos + vel*dt; % p_{t+dt} = p_t + v_t * dt -- position update

```

```

history(end+1,:) = pos;

% Conditional oxygenation based on % sat
pct = DO_field(pos(1), pos(2));
if pct < DO_thr_pct %will oxygenate if < thr
    fprintf(['%5.1f s] DO=%0.1f%% < %d%% --> oxygenate at (%.2f,%.2f)\n', ...
        k*dt, pct, DO_thr_pct, pos(1), pos(2)];
end

% check 4 shore collision
if ~isinterior(lake, pos(1), pos(2))
    warning('Boat ran aground at step %d!', k);
    break;
end
end

%% 6 Plot the boat s actual route
figure; hold on; axis equal
plot(lake, 'FaceColor',[.8 .9 1],'EdgeColor','b');
plot(island, 'FaceColor',[.7 .85 .7],'EdgeColor','g');
plot(history(:,1), history(:,2), '-r', 'LineWidth',1.5);
scatter(history(1,1), history(1,2), 80, 'ko', 'filled');
xlabel('X (map units)'); ylabel('Y (map units)');
title('NEPTUNE-R Trajectory');
legend('Shore','Island','Boat path','Start','Location','best');

%% NEPTUNE-R true trajectory
% This simulation contains realistic rover trajectory
% calculation on a lake using:
% - Euler's method for solving equations
% - Shore avoidance via safeLake buffer
% - Island avoidance via local 90deg turns
% - Conditional oxygenation based on % saturation

clearvars;
close all;
clc;

%% 1 Define Lake Boundaries
lake_xy = [...
    0 0;
    1.2 0.1;
    1.1 0.9;
    0.2 0.95;
    -0.1 0.5
];
lake = polyshape(lake_xy);
safe_margin = 0.05; % "safe" buffer from shore
safeLake = polybuffer(lake, -safe_margin);

island_xy = [ ...
    0.15 0.25;
    0.25 0.4;
    0.35 0.3;
    0.4 0.2
];
island = polyshape(island_xy);

%% 2 Plot Lake, Safe Boundary & Island
figure; hold on; axis equal
plot(lake, 'FaceColor',[.8 .9 1],'EdgeColor','b');

```

```

plot(safeLake, 'FaceColor','none','EdgeColor','r','LineStyle','--');
plot(island, 'FaceColor',[.7 .85 .7],'EdgeColor','g');
title('NEPTUNE-R safe boundary & Island');
legend('Shore','Safe boundary','Island','Location','best');

%% 3 Boustrophedon coverage path S
% 3.1 carve island out of safeLake
freeSpace = subtract(safeLake, island);

% 3.2 get x/y limits correctly
[xlim, ylim] = boundingbox(freeSpace);
xmin = xlim(1); xmax = xlim(2);
ymin = ylim(1); ymax = ylim(2);
dy = 0.03; % vertical spacing between passes
nx = 300; % resolution along each scan-line

% 3.3 build the back-and-forth runs
path = [];
dir = 1; % 1 = left->right, -1 = right->left
xgrid = linspace(xmin, xmax, nx);
for y = ymin : dy : ymax
    xi = xgrid;
    yi = y * ones(size(xi));

    IN = isinterior(freeSpace, xi, yi);
    runs = bwlabel(IN); % contiguous in-water segments

    for r = 1:max(runs)
        idx = runs==r;
        pts = [xi(idx)', yi(idx)'];
        if dir<0
            pts = flipud(pts);
        end
        path = [path; pts];
    end

    dir = -dir; % reverse sweep on next row
end

% 3.4 quick plot to verify
figure; hold on; axis equal
plot(lake, 'FaceColor',[.8 .9 1],'EdgeColor','b');
plot(safeLake, 'FaceColor','none','EdgeColor','r','LineStyle','--');
plot(island, 'FaceColor',[.7 .85 .7],'EdgeColor','g');
plot(path(:,1), path(:,2), 'l','MarkerSize',3,'Color',[.5 .5 .5]);
legend('Shore','Safe boundary','Island','Labyrinth waypoints','Location','best');

%% 4 Simulation Parameters & Initialization
% scale = 1:100
dt = 0.1; % s
Vmax = 0.3; % m/s

% Oxygenation parameters
% raw DO in mg/L
do_raw_field = @(x,y) 7 + 1.5*sin(2*pi*x).*cos(2*pi*y);
% convert to % sat (assume 9 mg/L = 100%)
DO_sat_ref = 9.0; % mg/L at reference
DO_field_pct = @(x,y) 100 * do_raw_field(x,y) / DO_sat_ref;
DO_thr_pct = 80; % trigger oxygenation below 80%

% initial state
pos = path(1,:);

```

```

vel = [0,0];
history = pos;

%% 5 Main Loop + island avoidance
for k = 2:size(path,1)
    tgt = path(k,:);
    d = tgt - pos;
    if norm(d) < 0.02
        continue; % next waypoint
    end
    v_des = (d/norm(d)) * Vmax;

    % island avoidance: if next step lands inside island, rotate 90degS
    cand = pos + v_des*dt;
    if isinterior(island, cand(1), cand(2))
        v1 = [-v_des(2), v_des(1)];
        if ~isinterior(island, pos+v1*dt)
            v_des = (v1/norm(v1))*Vmax;
        else
            v2 = [v_des(2), -v_des(1)];
            if ~isinterior(island, pos+v2*dt)
                v_des = (v2/norm(v2))*Vmax;
            end
        end
    end

    % Euler integration
    a = (v_des - vel)/dt; % a = (targetVelocity - currentVelocity) / dt
    vel = vel + a*dt; % v_{t+dt} = v_t + a_t * dt -- velocity update
    pos = pos + vel*dt; % p_{t+dt} = p_t + v_t * dt -- position update
    history(end+1,:) = pos;

    % conditional oxygenation using % sat
    pct = DO_field_pct(pos(1), pos(2));
    if pct < DO_thr_pct % if position o2 lvl < thr
        fprintf('%5.1f s] DO=%0.1f%% < %d%% -> oxygenate at (%0.2f,%0.2f)\n', ...
            k*dt, pct, DO_thr_pct, pos(1), pos(2));
    end

    % shore collision check
    if ~isinterior(lake, pos(1), pos(2))
        warning('Boat ran aground at step %d!', k);
        break;
    end
end

%% 6 Plot the Boat's Route
figure; hold on; axis equal
plot(lake, 'FaceColor',[.8 .9 1],'EdgeColor','b');
plot(island, 'FaceColor',[.7 .85 .7],'EdgeColor','g');
plot(history(:,1), history(:,2), '-r','LineWidth',1.5);
scatter(history(1,1), history(1,2), 80,'ko','filled');% start
xlabel('X (map units)'); ylabel('Y (map units)');
title('Lake w NEPTUNE-R');
legend('Shore','Island','Boat path','Start','Location','best');

```

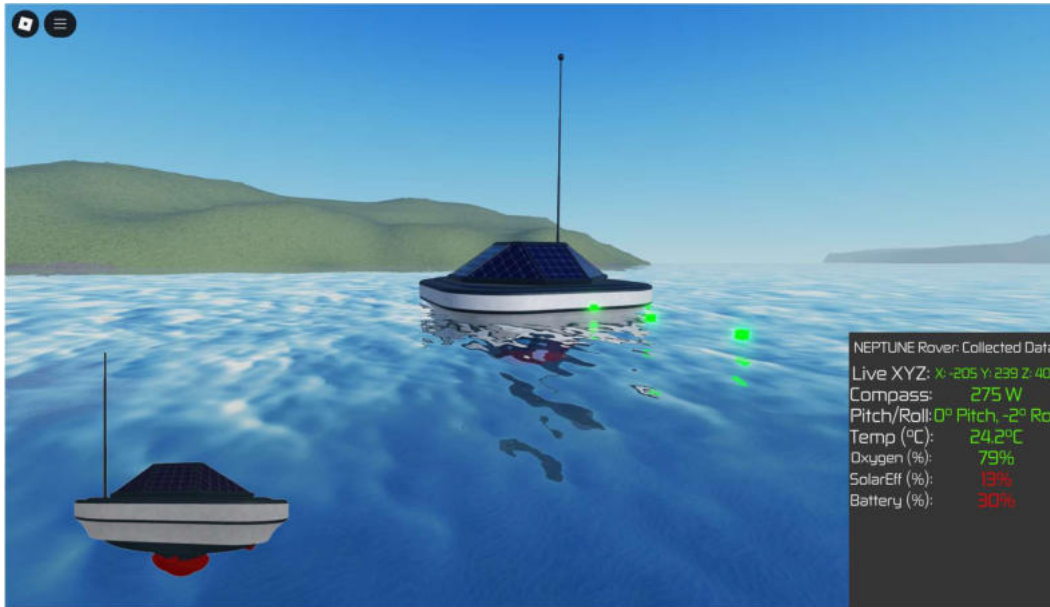
Principalul avantaj al acestei traiectorii constă în mișcarea sa lină, cu un număr minim de opriri și schimbări de direcție, ceea ce contribuie atât la creșterea eficienței procesului de oxigenare, cât și la reducerea consumului de energie al robotului.

## Lua

Pentru a simula comportamentul robotului într-un mediu vizual și fizic realist, am folosit Roblox Studio și Lua. Mișcarea robotului a fost modelată folosind Euler, aplicat legilor fizice fundamentale, fără a utiliza metode artificiale precum teleportarea sau interpolarea poziției.

Roverul este propulsat prin aplicarea unei forțe calculate din diferența dintre viteza dorită și cea curentă, permițând o mișcare continuă, realistă, cu inerție, frecare și adaptabilitate la teren. Traectoria urmărită este de tip Boustrophedon, compusă din linii paralele alternante și curbe de conectare, generate procedural, punct cu punct, în funcție de configurația terenului (apă, obstacole).

Această metodă de simulare permite testarea realistă a strategiei de acoperire a suprafeței și evaluarea performanței robotului într-un mediu virtual interactiv.



Pentru a vedea simularea în acțiune, puteți vizita:

<https://www.roblox.com/games/96788025568419/NEPTUNE-Rover-Simulation>

## Modelare 3D în Fusion 360

S-a folosit Fusion 360 pentru a transforma Roverul de la concept într-un model gata de prototip. Pe baza schițelor de referință s-a definit mai întâi anvelopa generală și cerințele cheie. Pornind de la primitive simple, s-a folosit Extrude fie pentru a adăuga material, fie pentru a tăia în prototip.



Pe parcursul procesului, importanță maximă a fost dată modului în care corpul ar interacționa cu mediul său (distanțe la linia de plutire, stabilitatea generală și flotabilitatea), astfel încât Roverul să rămână simplu, construibil și capabil să rămână pe linia de plutire.

Principalele constatări pot fi rezumate după cum urmează: traiectoriile spirale Boustrophedon și Arhimediană asigură o acoperire completă a suprafeței apei, adaptându-se la diverse geometrii ale lacurilor; integrarea forțelor bazată pe Euler în Roblox Studio a oferit o aproximare realistă a interacțiunilor hidrodinamice, confirmând stabilitatea și manevrabilitatea Roverului; designul modular al robotului permite integrarea flexibilă a panourilor fotovoltaice, a sistemelor de propulsie și a unităților de oxigenare bazate pe microbule, asigurând atât sustenabilitatea, cât și scalabilitatea. Aceste rezultate sunt rezultatul unui proces iterativ extins de proiectare, simulare și optimizare.

Rezultatele acestor studii s-au materializat prin publicarea a **11** lucrări cu afilierea **ACADEMIEI OAMENILOR DE ȘTIINȚĂ DIN ROMÂNIA**

- **5 articole Q2** indexate **WOS**
- **1 articol Q4** indexat **WOS**
- **1 articol** indexat **SCOPUS**
- **2 articole** indexate **BDI**
- **2 articole** prezentate în cadrul unor **conferințe internaționale** din domeniu.

Lucrările viitoare se vor concentra pe validarea experimentală a prototipului, inițial în medii de laborator controlate, urmată de teste pilot în lacuri naturale. Cercetări suplimentare vor explora integrarea senzorilor de oxigen dizolvat în timp real, a platformelor de monitorizare bazate pe IoT și a sistemelor de stocare a energiei în baterii pentru a extinde autonomia operațională. Abordând aceste aspecte, NEPTUNE-R are potențialul de a deveni un instrument versatil în combaterea eutrofizării și îmbunătățirea calității apei, atât în contexte urbane, cât și rurale.

Acest studiu se limitează la simulări numerice efectuate în condiții idealizate, fără a lua în considerare turbulențe sau degradarea materialelor. Dezvoltarea prototipului și campania extinsă de simulare reprezintă o bază solidă, dar validarea experimentală pe un prototip fizic și o evaluare tehnico-economică vor fi necesare pentru a confirma fezabilitatea practică și scalabilitatea sistemului NEPTUNE-R.

### **Bibliografie**

[2.1] Sharma Atul, A comprehensive study of solar power in India and World, *Renewable Sustainable Energy Rev.*, 2011, 15, pp. 1767–76.

[2.2] Parida Bhubaneswari, Iniyani S., Goic Ranko, A review of solar photovoltaic technologies, *Renewable Sustainable Energy Rev.*, 2011, 15, pp. 1625–36.

[2.3] Armstrong A., Hurley W.G., A thermal model for photovoltaic panels under varying atmospheric conditions, *Appl. Therm. Eng.*, 2010, 30, pp. 1488–95.

[2.4] Joshi A.S., Tiwari A., Tiwari G.N., Dincer I., Reddy B.V., Performance evaluation of a hybrid photovoltaic thermal (PV/T)(glass-to-glass) system, *Int. J. Therm. Sci.*, 2009, 48, pp. 154–64.

[2.5] Santbergen R., van Zolingen R.J.C., The absorption factor of crystalline silicon PV cells: a numerical and experimental study, *Sol. Energy Mater. Sol. Cells*, 2008, 92, pp. 432–444.

[2.6] Sandnes Bjornar, Rekstad John, A photovoltaic/thermal(PV/T) collector with a polymer absorber plate. Experimental study and analytical model, *Sol. Energy*, 2002, 72(1), pp. 63–73.

[2.7] Anderson T.N., Duke M., Carson J.K., Designing photovoltaic/thermal collectors for building integration, *Sol. Energy, Res. Technol. Appl.*, 2008, pp. 403–26.

[2.8] Lu Z.H., Yao Q., Energy Analysis of silicon solar cell modules based on an optical model for arbitrary layers, *Sol. Energy*, 2007, 81(5), pp. 636–647.

[2.9] Jarrett Carriere, Stephen Harrison, A2-dimensional heat transfer analysis of a sheet-and-tube flat plate PV/ thermal collector,

<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.667.1177&rep=rep1&type=pdf>.

[2.10] Zondag H.A., Flat-plate PV–thermal collectors and systems: a review, *Renewable Sustainable Energy Rev.*, 2008, 12(4), pp. 891–959.

[2.11] Dupeyrat Patrick, Menezo Christophe, Wirth Harry, Rommel Matthias, Improvement of PV module optical properties for PV–thermal hybrid collector application, *Sol. Energy Mater. Sol. Cells*, 2011, 95(8), pp. 2028–2036.

- [2.12] Dupeyrat Patrick, Menezo Christophe, Rommel Matthias, Henning Hans-Martin, Efficient single glazed flat plate photovoltaic–thermal hybrid collector for domestic hot water system, *Sol. Energy*, 2011, 85(7), pp. 1457–1468.
- [2.13] Volther – hybrid PVT solar collectors, *Newformenergy*;01–03.
- [2.14] Bergene Trond, Martin Lovvik Ole, Model calculations on a flat-plate solar heat collector with integrated solar cells, *Sol. Energy*, 1995, 55(6), pp. 453–62.
- [2.15] PascalAffolter, WolfgangEisermann, HubertFechner, MatthiasRommel, Anton Schaap, Henrik Sorensen, et al., Roadmap/A European guide for the development and market introduction of PV–thermal technology, contract no. 502775(SES6).
- [2.16] John Hollick, PV–thermal systems-capturing the untapped energy, *Conservable Engineering Inc.*, <http://solarwall.com/media/images-articles/ASESPaper-PVThermalSystems-theUntappedEnergy175A3.pdf>.
- [2.17] Bradley J. Fontenault, Ernesto Gutierrez-Miravete, Modeling a combined photovoltaic–thermal solar panel, In: Excerpt from the proceedings of the 2012 COMSOL conference in Boston, 2012.
- [2.18] Ye Zhangbo, Li Qifen, Qunzhi Zhu, Pan Weiguo, The cooling technology of solar cells under concentrated system, *IEEE—IPERC*, 2009, pp. 2193–2197.
- [2.19] Tiwari G.N., Mishra R.K., Solanki S.C., Photovoltaic modules and their applications: a review on thermal modelling, *Appl. Energy*, 2011, 88 (7), pp. 2287–2304.
- [2.20] Bahy Abdel Mesih, Daniel Chemisana, Joan Ignasi Rosell, Optical quality assessment of a photovoltaic thermal concentrator device, In: *Second international workshop on concentrating photovoltaic power plants: optical design and grid connection*, Germany, 2009.
- [2.21] Tina G.M., Abate R., Experimental verification of thermal behavior of photovoltaic modules, *IEEE*, 2008, pp. 579–584.
- [2.22] Anish Modi, Fabian Bühler, Jesper Graa Andreasen, Fredrik Haglind, A review of solar energy-based heat and power generations systems, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 67, 2017, pp. 1047–1064.
- [2.23] Elbreki AM, Alghoul MA, Al-Shamani AN, Ammar AA, Yegani B, Aboghrara A.M. et al., The role of climatic-design-operational parameters on combined PV/T collector performance: a critical review, *Renew. Sustain. Energy Rev.*, 2016, 57, pp. 602–647.
- [2.24] Clara Good, Environmental impact assessments of hybrid photovoltaic–thermal (PV/T) systems – A review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 55, 2016, pp. 234–239.
- [2.25] Michael J.J., Iniyan S., Goic R., Flat plate solar photovoltaic-thermal (PV/T) systems: a reference guide, *Renew. Sustain. Energy Rev.*, 2015, 51, pp. 62–88.
- [2.26] A. Khelifa, K. Touafek, H. Ben Moussa, I. Tabet, Modeling and detailed study of hybrid photovoltaic thermal (PV/T) solar collector, *Solar Energy*, 135, 2016, pp. 169–176.
- [2.27] Clara Good, Inger Andresen, Anne Grete Hestnes, Solar energy for net zero energy buildings – A comparison between solar thermal, PV and photovoltaic thermal (PV/T) systems, *Solar Energy*, 122, 2015, pp. 986–996.

[2.28] Jee Joe Michael , Iniyan S., Ranko Goic, Flat plate solar photovoltaic–thermal (PV/T) systems: A reference guide, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 51, 2015, pp. 62–88.

[3.1] Soteris A. Kalogirou, Solar thermal collectors and applications, *Progress in Energy and Combustion Science*, 30, 2004, pp. 231–295.

[3.2] Siddharth Suman, Mohd. Kaleem Khan, Manabendra Pathak, Performance enhancement of solar collectors—A review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 49, 2015, pp. 192–210.

[3.3] Krishna Murari Pandey, Rajesh Chaurasiya, A review on analysis and development of solar flat plate collector, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 67, 2017, pp. 641–650.

[3.4] Kamal Anounea, Mohsine Bouyaa, Abdellatif Ben Abdellahb , Abdelali Astito, Optimizing and Controlling the Productivity of a Flat Plate Collector by Using an Electronic System, 3rd International Conference on Energy and Environment Research, ICEER 2016, 7-11 September 2016, Barcelona, Spain, *Energy Procedia*, 107, 2017, pp. 180 – 187.

[3.5] Mohammed Mumtaz A. Khan, Nasiru I. Ibrahim, I.M. Mahbubul, Hafiz Muhammad. Ali, R. Saidur, Fahad A. Al-Sulaiman, Evaluation of solar collector designs with integrated latent heat thermal energy storage: A review, *Solar Energy* ,166, 2018, pp. 334–350.

[3.6] David James Wojcicki, The application of the Typical Day Concept in flat plate solar collector models, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 49, 2015, pp. 968–974.

[3.7] \*\*\*\* <http://www.ecoenergievest.ro/produs/panou-solar-plan-fk-206-me-2a-si/>.

[3.8] Mohammed Mumtaz A. Khan, Nasiru I. Ibrahim, I.M. Mahbubul, Hafiz Muhammad. Ali, R. Saidur, Fahad A. Al-Sulaiman, Evaluation of solar collector designs with integrated latent heat thermal energy storage: A review, *Solar Energy*, 166,2018, pp. 334–350.

[3.9] J.L de la Peña, Roberto Aguilar, Polymer solar collectors. A better alternative to heat water in mexican homes, *Energy Procedia*, 57,2014, pp. 2205– 2210.

[3.10] G. Martinopoulos, D. Missirlis, G. Tsilingiridis, K. Yakinthos, N. Kyriakis, CFD modeling of a polymer solar collector, *Renewable Energy*, 35, 2010, pag. 1499–1508.

[3.11] J. Jyothi, Harsh Chaliyawala, G. Srinivas, H.S. Nagaraja, Harish C. Barshilia, Design and fabrication of spectrally selective TiAlC/TiAlCN/TiAlSiCN/TiAlSiCO/TiAlSiO tandem absorber for high-temperature solar thermal power applications, *Solar Energy Materials & Solar Cells*, 140, 2015, pp. 209–216.

[3.12] Louis E. Toth, *Transition Metal Carbides and Nitrides*, Academic Press, New York, 1971

[3.13] T. Ya. Kosolapova, *Carbides: Properties, Production and Applications*, Plenum Press, New York, 1971.

[3.14] Sebastian Föste, Alexandra Pazidis, Rolf Reineke-Koch, Bernd Hafner, David Mercs, Christine Delord, Flat plate collectors with thermochromic absorber coatings to reduce loads during stagnation, SHC 2015, International Conference on Solar Heating and Cooling for Buildings and Industry, *Energy Procedia*, 91, 2016, pp. 42 – 48.

- [3.15] Wail Sami Sarsam, S.N. Kazi, A. Badarudin, A review of studies on using nanofluids in flat-plate solar collectors, *Solar Energy*, 122, 2015, pp. 1245–1265.
- [3.16] Daniela Miloştean, Mihaela Flori, An Overview On The Flat-Plate Solar Collectors And Their Thermal Efficiency, *Annals of Faculty Engineering Hunedoara– International Journal of Engineering Tome*, XV, 2017 – Fascicule 4 [November], pp. 123 – 128.
- [3.17] Chen, Z., Gu, M., Peng, D., Heat transfer performance analysis of a solar flat-plate collector with an integrated metal foam porous structure filled with paraffin, *Applied Thermal Engineering*, Volume 30, Issues 14–15, October 2010, pp. 1967-1973.
- [3.18] Bouadila, S., Fteïti, M., Mehdi, M., Guizani, A., Farhat, A., Enhancement of latent heat storage in a rectangular cavity: Solar water heater case study. *Energy Convers. Manage*, 78, 2014, pp. 904–912.
- [3.19] K. Chopra, V.V. Tyagi, A.K. Pandey, Ahmet Sari, Global advancement on experimental and thermal analysis of evacuated tube collector with and without heat pipe systems and possible applications, *Applied Energy*, 228, 2018, pp. 351–389.
- [3.20] Tang R, Yang Y, Gao W. Comparative studies on thermal performance of water in glass evacuated tube solar water heaters with different collector tilt-angles. *Solar Energy*, 85, 2011, pp. 1381–1390.
- [3.21] Michel Hayek, Johnny Assaf, William Lteif, Experimental Investigation of the Performance of Evacuated Tube Solar Collectors under Eastern Mediterranean Climatic Conditions, *Energy Procedia*, 6, 2011, pp. 618–626.
- [3.22] J.J. Ramírez-Minguela, J.A. Alfaro-Ayala, V.H. Rangel-Hernández, A.R. Uribe-Ramírez, J.M. Mendoza-Miranda, V. Pérez-García, J.M. Belman-Flores, Comparison of the thermo-hydraulic performance and the entropy generation rate for two types of low temperature solar collectors using CFD, *Solar Energy*, Volume 166, 15 May 2018, pp. 123-137.
- [3.23] L.M. Ayompe, A. Duffy, M. Mc Keever, M. Conlonc, S.J. McCormack, Comparative field performance study of flat plate and heat pipe evacuated tube collectors (ETCs) for domestic water heating systems in a temperate climate, *Energy*, Volume 36, Issue 5, May 2011, pp. 3370-3378.
- [3.24] M.A. Sabiha, R. Saidur, Saad Mekhilef, Omid Mahian, Progress and latest developments of evacuated tube solar collectors, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 51, 2015, pp. 1038–1054.
- [3.25] Tahmineh Sokhansefat, Alibakhsh Kasaeian, Kiana Rahmani, Ameneh Haji Heidari, Faezeh Aghakhani, Omid Mahian, Thermo economic and environmental analysis of solar flat plate and evacuated tube collectors in cold climatic conditions, *Renewable Energy*, 115, 2018, pp. 501-508.
- [3.26] Michel Hayek, Johnny Assaf, William Lteif, Experimental Investigation of the Performance of Evacuated Tube Solar Collectors under Eastern Mediterranean Climatic Conditions, *Energy Procedia*, 6, 2011, pp. 618–626.
- [3.27] S. Siva Kumar, K. Mohan Kumar, S.R. Sanjeev Kumar, Design of Evacuated Tube Solar Collector with Heat Pipe, *Materials Today: Proceedings*, 4, 2017, pp. 12641–12646.

[3.28] I. Budihardjo, G.L. Morrison, Performance of water-in-glass evacuated tube solar water heaters, *Solar Energy*, Volume 83, Issue 1, January 2009, pp. 49-56.

[3.29] B. Kiran Naik, A.Varshney, P. Muthukumar, C. Somayaji, Modelling and Performance Analysis of U Type Evacuated Tube Solar Collector Using Different Working Fluids, 5th International Conference on Advances in Energy Research, ICAER 2015, 15-17 December 2015, Mumbai, India, *Energy Procedia*, 90,2016, pp. 227 – 237.

[3.30] Ahmed Kadhim Hussein, Dong Lib, Lioua Kolsic, Sanatana Katad, Brundaban Sahoo, A Review of Nano Fluid Role to Improve the Performance of the Heat pipe Solar Collectors, International Conference on Recent Advancement in Air Conditioning and Refrigeration, RAAR 2016, 10-12 November 2016, Bhubaneswar, India, *Energy Procedia*, 109, 2017, pp. 417 – 424.

[3.31] Yijie Tong, Honghyun Cho, Comparative Study on the Thermal Performance of Evacuated Solar Collectors with U-Tubes and Heat Pipes, *International Journal of Air-Conditioning and Refrigeration*, Vol. 23, No. 03, 1550019, 2015.

[3.32] Saravanan M., Karunakaran N., Experimental Analysis of Heat Pipe with V-Trough Solar Collector, *International Journal of Research in Advent Technology (E-ISSN: 2321-9637)*, Special Issue National Conference “IAEISDISE 2014”, 12-13 September 2014.

[3.33] Piotr Felinski, Robert Sekret, Effect of PCM application inside an evacuated tube collector on the Thermal performance of domestic hot water system, *Energy and Buildings*, 152, 2017, pp. 558–567.

[3.34] A.S. Jadhav, A.S. Gudekar, R.G. Patil, D.M. Kale, S.V. Panse, J.B. Joshi, Performance analysis of a novel and cost-effective CPC system, *Energy. Convers. Managem.*, 66, 2013, pp 56-65.

[3.35] Chia-Wei Kuo, Pei-Shan Yen, Wen-Chey Chang, Keh-Chin Chang, The design and optical analysis of compound parabolic collector, 37th National Conference on Theoretical and Applied Mechanics (37th NCTAM 2013) & The 1st International Conference on Mechanics (1st ICM), *Procedia Engineering*, 79, 2014, pp. 258 – 262.

[3.36] I. Santos-González, M. Sandoval-Reyes, O. García-Valladares, N. Ortega, V.H. Gómez, Design and Evaluation of a Compound Parabolic Concentrator for Heat Generation of Thermal Processes, 2013 ISES Solar World Congress, *Energy Procedia*, 57, 2014, pp. 2956 – 2965.

[3.37] M. Antonelli, A. Baccioli, M. Francesconi, R. Lensi, L. Martorano, Analysis of a low concentration solar plant with compound parabolic collectors and a rotary expander for electricity generation, 68th Conference of the Italian Thermal Machines Engineering Association, ATI 2013, *Energy Procedia*, 45, 2014, pp. 170 – 179.

[3.38] Edmond MAICAN, „Sisteme de energii regenerabile”, Editura PRINTECH BUCUREȘTI, 2015.

[3.39] <http://www.scrigroup.com/casa-masina/instalatii/CONVERSIA-TERMICA-A-ENERGIEI-S94777.php>

- [3.40] [http://www.physics.pub.ro/Lucrari\\_Licenta\\_Ing.Fiz\\_FSA\\_2014/Oana-Andreea\\_LAZAR.pdf](http://www.physics.pub.ro/Lucrari_Licenta_Ing.Fiz_FSA_2014/Oana-Andreea_LAZAR.pdf)
- [3.41] <https://www.gosuneurope.com/blogs/news/inside-the-gosun-cooking-technology>
- [3.42] <https://www.laserfocusworld.com/articles/print/volume-48/issue-08/newsbreaks/luminescent-solar-concentrator-gets-more-efficient-with-addition-of-cpc.html>
- [3.43] <http://www.fossilfreedom.com/increase-output.html>
- [3.44] <https://www.e-education.psu.edu/eme812/node/7>
- [3.45] [http://www.powerfromthesun.net/Book/chapter09/chapter09.html#9.2%20%20%20%20Compound%20Parabolic%20Concentrators%20\(CPC\)](http://www.powerfromthesun.net/Book/chapter09/chapter09.html#9.2%20%20%20%20Compound%20Parabolic%20Concentrators%20(CPC))
- [3.46] <https://www.e-education.psu.edu/eme812/node/557>
- [3.47] V. Dragan, V. Burchiu, Energiile regenerabile si utilizarea acestora, Editura Ceres, 355 pag., 2015.
- [4.1] <http://www.spf.ch/spf.php?lang=en&fam=1&tab=1>
- [4.2] <http://www.termo.utcluj.ro/regenerabile/>
- [4.3] [www.viessmann.com](http://www.viessmann.com)
- [4.4] <http://www.soltigua.com>
- [4.5] Raluca – Septimia LATEȘ, “Optimisation of the solar collectors’ design for implementation in the built environment in Romania”, Phd Thesis, Universitatea Transilvania din Brașov, 2010.
- [4.6] KOHL, M. s.a. Performance and Durability Assessment, Optical Materials for Solar Thermal Systems, Elsevier, UK, 2004.
- [4.7] SR EN 12975-2 Instalatii termice solare și componente ale acestora. Captatoare solare, Partea 2: Metode de încercare, 2006.
- [4.8] Sistem informatic support pentru proiectarea, implementarea și controlul fermelor energetice hibride- E-FARM Contract 22134/01.10.2008.
- [4.9] <http://www.ganz.ro/>
- [4.10] Volker Quaschnig, Technology Fundamentals - Solar Thermal Water Heating. Renewable Energy World, Vol 7, 2004, No 2, pp. 95-99.
- [4.11] Soteris A. Kalogirou, Solar thermal collectors and applications, Progress in Energy and Combustion Science, 30, 2004, pp. 231–295.
- [4.12] Michel Hayek, Johnny Assaf, William Lteif, Experimental Investigation of the Performance of Evacuated Tube Solar Collectors under Eastern Mediterranean Climatic Conditions, Energy Procedia, 6, 2011, pp. 618–626.
- [4.13] J.J. Ramírez-Minguela, J.A. Alfaro-Ayala, V.H. Rangel-Hernández, A.R. Uribe-Ramírez, J.M. Mendoza-Miranda, V. Pérez-García, J.M. Belman-Flores, Comparison of the thermo-hydraulic performance and the entropy generation rate for two types of low temperature solar collectors using CFD, Solar Energy Volume 166, 15 May 2018, pp. 123-137.