



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

Iulia Diana Arion
USAMV Cluj-Napoca

**Monitorizarea inteligentă a ecosistemelor forestiere
folosind tehnologii IoT: O abordare inovatoare pentru
combaterea schimbărilor climatice și protejarea
biodiversității**

Domeniul: 9. Ecologie, Mediu, Schimbări climatice

Raport etapa II (Iulie–Decembrie 2025)

**Titlul proiectului: Monitorizarea inteligentă a ecosistemelor
forestiere folosind tehnologii IoT: O abordare inovatoare pentru
combaterea schimbărilor climatice și protejarea biodiversității**

Domeniul 9: Ecologie, Mediu, Schimbări climatice

Echipa de implementare:

Șef lucr. Dr. Iulia Diana Arion – director proiect

Doctorand ing. Vlad Isarie

Decembrie 2025



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

Iulia Diana Arion
USAMV Cluj-Napoca

**Monitorizarea inteligentă a ecosistemelor forestiere
folosind tehnologii IoT: O abordare inovatoare pentru
combaterea schimbărilor climatice și protejarea
biodiversității**

Domeniul: 9. Ecologie, Mediu, Schimbări climatice

Ecosistemele forestiere din România se confruntă tot mai des cu provocări generate de schimbările climatice, variabilitatea condițiilor atmosferice și presiunile antropice care modifică dinamica naturală a pădurilor. În acest context, devine necesar un sistem modern de monitorizare continuă, capabil să ofere informații precise și actualizate, pentru a sprijini deciziile de management forestier și pentru a preveni degradarea terenurilor împădurite.

Proiectul AOSR–TEAMS IV, „ Monitorizarea inteligentă a ecosistemelor forestiere folosind tehnologii IoT: O abordare inovatoare pentru combaterea schimbărilor climatice și protejarea biodiversității”, urmărește dezvoltarea unui sistem integrat de monitorizare în timp real a ecosistemelor forestiere prin utilizarea tehnologiilor IoT, a rețelelor de senzori și a infrastructurilor cloud. Acest sistem are ca scop detectarea rapidă a variațiilor de temperatură, umiditate, concentrație de CO₂ și particule în suspensie, parametri importanți pentru evaluarea stării ecosistemului și a riscurilor asociate. Totodată, proiectul vizează monitorizarea continuă a factorilor de stres asupra pădurilor și generarea unei baze științifice solide pentru dezvoltarea unui sistem operativ capabil să sprijine prevenirea și adaptarea la schimbările climatice, oferind instrumente moderne pentru managementul durabil al resurselor forestiere.

Această etapă a avut ca obiectiv principal consolidarea bazei tehnico-științifice a proiectului și pregătirea infrastructurii necesare implementării în teren, în Etapa III. Activitățile au vizat atât componenta științifică (articole, conferințe, vizibilitate), cât și componenta tehnică (selecția echipamentelor, achiziții și configurarea sistemelor).

Obiectivele etapei a II-a

În Etapa a II-a, proiectul a urmărit realizarea unui progres coerent și integrat pe toate componentele sale, atât științifice, cât și tehnice. În cadrul WP1 – Management și Diseminare, activitățile s-au concentrat pe consolidarea managementului proiectului și pe extinderea vizibilității acestuia în mediul academic național și internațional. Au fost realizate acțiuni consistente de diseminare, incluzând trimiterea unui articol ISI spre evaluare în revista Forests (MDPI), acceptarea spre publicare a două articole interdisciplinare în reviste indexate, participarea



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

Iulia Diana Arion
USAMV Cluj-Napoca

**Monitorizarea inteligentă a ecosistemelor forestiere
folosind tehnologii IoT: O abordare inovatoare pentru
combaterea schimbărilor climatice și protejarea
biodiversității**

Domeniul: 9. Ecologie, Mediu, Schimbări climatice

la două conferințe științifice naționale de anvergură și promovarea constantă a progreselor prin canale academice și sociale.

În cadrul WP2 – Soluția tehnică, eforturile s-au concentrat pe finalizarea tuturor elementelor software și hardware necesare funcționării sistemului IoT. Această etapă a inclus achiziția completă a componentelor, configurarea și integrarea acestora, realizarea testelor de laborator, calibrarea senzorilor și crearea taboului de monitorizare care va fi utilizat ulterior în teren. Totodată, a fost definit și testat fluxul de transmitere și vizualizare a datelor prin infrastructura cloud, asigurându-se funcționalitatea prototipului tehnic.

WP3 – Instalare a reprezentat partea pregătitoare pentru implementarea efectivă din Etapa III. Activitățile s-au concentrat pe selectarea locațiilor de amplasare în cadrul gradientului urban–forestier (Cluj – USAMV – Făget), evaluarea condițiilor logistice și de acces, precum și stabilirea strategiei optime de instalare și funcționare a stațiilor de monitorizare. Prin aceste demersuri, Etapa II a reușit să creeze fundația tehnică, științifică și logistică necesară pentru implementarea pe teren a sistemului de monitorizare IoT în etapa următoare.

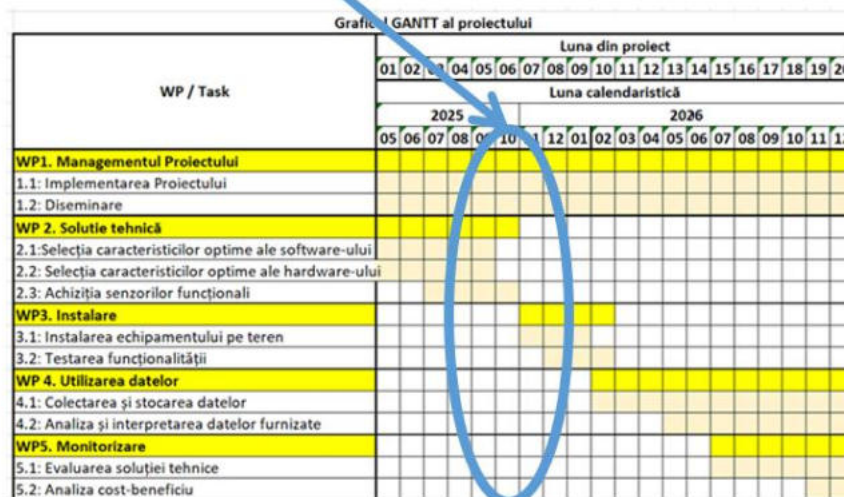


Fig. 1. Graficul Gant al proiectului



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

Iulia Diana Arion
USAMV Cluj-Napoca

**Monitorizarea inteligentă a ecosistemelor forestiere
folosind tehnologii IoT: O abordare inovatoare pentru
combaterea schimbărilor climatice și protejarea
biodiversității**

Domeniul: 9. Ecologie, Mediu, Schimbări climatice

ACTIVITĂȚI REALIZATE ÎN ETAPA II

Activități și rezultate – WP1 MANAGEMENT

Publicații științifice

În cadrul WP1, Etapa II a adus o evoluție semnificativă în activitatea științifică a proiectului, concretizată prin trei contribuții, care reflectă atât consolidarea direcției de cercetare, cât și integrarea proiectului în rețele academice interdisciplinare.

Primul rezultat îl reprezintă articolul ISI trimis la revista *Forests (MDPI)*, intitulat **„Internet of Things (IoT) Based Applications in Smart Forestry: A Conceptual and Technological Analysis”**. Lucrarea constituie un review, bazat pe o selecție riguroasă a literaturii utilizând metodologia PRISMA pentru perioada 2020–2025.

Articolul este în prezent în stadiul *Under Review* (trimis pe 22 noiembrie 2025). Contribuția sa principală constă în definirea cadrului conceptual necesar implementării tehnologiilor IoT în silvicultura inteligentă, identificarea axelor tehnologice emergente și fundamentarea arhitecturii tehnice pe care se bazează propriul proiect IoT dezvoltat în prezent.

Manuscript Information Overview

Manuscript ID: forests-4031145
Status: Under review
Article type: Review
Title: Internet of Things (IoT)-based Applications in Smart Forestry: a Conceptual and Technological Analysis
Journal: Forests
Section: Forest Inventory, Modeling and Remote Sensing
Special Issue: Advances in Remote Sensing for Forest Resource Monitoring and Management

Abstract: In the context of green transition and digital transformation, forestry is becoming a strategic area of application of current modern technologies. The Internet of Things (IoT), artificial intelligence (AI), big data analysis (Big Data) and digital twins define the basic infrastructure of smart forestry (Smart Forestry). By connecting sensors, drones and satellites, IoT allows for continuous monitoring of forest ecosystems, risk anticipation and decision optimization in real time. The purpose of the study is to perform a comprehensive narrative analysis of the relevant scientific literature from the recent period (2020–2025) regarding the application of IoT in forestry, highlighting the conceptual, technological and institutional developments. Based on a selection of PRISMA (29 full-text articles), four major axes are analyzed: (A) forest fire detection and prevention, (B) climate-smart forestry and carbon accounting, (C) forest digitalization through the concepts of Forest 4.0, Forest 5.0 and Digital Twins, (D) sustainability and digital forest policies. The results show that IoT is a catalyst for the sustainable transformation of the forest sector, significantly contributing to carbon accounting, climate risk reduction and prevention and data-driven governance. The paper proposes a complex integrative vision on the transition from Forest 4.0 to Forest 5.0, in line with the objectives of the European Forest Strategy 2030 and the European Green Deal.

Keywords: smart forestry, IoT, Forest 4.0, Forest 5.0, sustainability, forest digitalization

Manuscript File: manuscript.docx
PDF File: manuscript.pdf

Fig. 2. Status articol Forests

Articolul este structurat pe patru axe conceptuale:



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

Iulia Diana Arion
USAMV Cluj-Napoca

**Monitorizarea inteligentă a ecosistemelor forestiere
folosind tehnologii IoT: O abordare inovatoare pentru
combaterea schimbărilor climatice și protejarea
biodiversității**

Domeniul: 9. Ecologie, Mediu, Schimbări climatice

- Axa A – Detecția și prevenirea incendiilor forestiere, prin sisteme IoT integrate cu senzori multiparametrici și algoritmi AI.
- Axa B – Silvicultura inteligentă climatică și contabilitatea carbonului (MRV), cu accent pe senzori microclimatici, LiDAR și modele de flux de carbon.
- Axa C – Digitalizarea pădurilor (Forest 4.0, Forest 5.0, Digital Twins), explorând rolul arhitecturilor cyber-fizice și al inteligenței artificiale.
- Axa D – Sustenabilitate și politici forestiere digitale, care analizează guvernanta bazată pe date, transparența decizională și rolul cadrului normativ digital.

Contribuția principală a articolului constă în formularea unei perspective integrate asupra modului în care IoT catalizează transformarea sectorului forestier, sprijinind contabilitatea carbonului, reducerea riscurilor climatice și fundamentarea deciziilor pe bază de date. Lucrarea propune, de asemenea, un model conceptual care explică tranziția de la Forest 4.0 la Forest 5.0, în concordanță cu Strategia Forestieră Europeană 2030.

Al doilea rezultat este articolul publicat în revista *Foods (MDPI)*, intitulat „**Exploring the Drivers of Food Waste Across EU Member States: A Socio-Economic and Environmental Perspective**” – **ACCEPTAT (Foods, MDPI)**. Deși se încadrează într-un domeniu interdisciplinar, lucrarea are o relevanță directă pentru proiect datorită accentului pus pe guvernanta bazată pe date, pe factorii instituționali și pe infrastructura digitală necesară pentru monitorizarea și analiza comportamentelor. Aceste elemente sunt transferabile în sectorul forestier, unde sistemele IoT necesită structuri similare pentru colectarea, interpretarea și utilizarea datelor în procesul decizional. Rezultatele sale susțin dimensiunea conceptuală a Axei D din articolul Forests, unde se analizează rolul instrumentelor digitale și al datelor deschise în procesele decizionale și în sustenabilitatea ecosistemelor.



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

Iulia Diana Arion
USAMV Cluj-Napoca

**Monitorizarea inteligentă a ecosistemelor forestiere
folosind tehnologii IoT: O abordare inovatoare pentru
combaterea schimbărilor climatice și protejarea
biodiversității**

Domeniul: 9. Ecologie, Mediu, Schimbări climatice

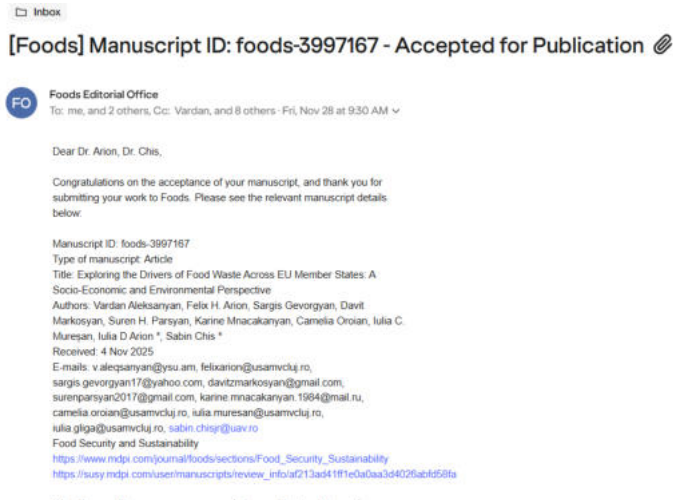


Fig. 3. Status articol Foods

Cel de-al treilea rezultat este articolul trimis la revista *Sustainability (MDPI)*, cu titlul **„Managing Food Waste in the Restaurant Sector: Comparative Insights from Greece and Armenia”**. Acesta se află în etapa finală a procesului editorial, cu decizia editorului în curs după mici revizui. Lucrarea subliniază importanța infrastructurilor digitale și a sistemelor de monitorizare de tip DTIM (Digital Tracking and Inventory Management), analogice cu arhitecturile IoT utilizate în monitorizarea ecosistemelor forestiere. Relevanța pentru proiect constă în demonstrarea modului în care soluțiile digitale integrate pot optimiza procese operaționale, pot reduce riscurile și pot genera informații utile pentru strategii de sustenabilitate, principii transferabile direct în silvicultura inteligentă și în aplicarea IoT la scară forestieră.

Rezultatele se suprapun cu logica Forest 4.0 / Forest 5.0, unde tehnologia IoT este însoțită de instruire, participare și procese colaborative, elemente fundamentale pentru funcționarea sistemelor digitale din păduri. Articolul arată cum digitalizarea poate sprijini decizii responsabile și comportamente sustenabile, un principiu comun cu arhitectura proiectului IoT.



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

Iulia Diana Arion
USAMV Cluj-Napoca

**Monitorizarea inteligentă a ecosistemelor forestiere
folosind tehnologii IoT: O abordare inovatoare pentru
combaterea schimbărilor climatice și protejarea
biodiversității**

Domeniul: 9. Ecologie, Mediu, Schimbări climatice

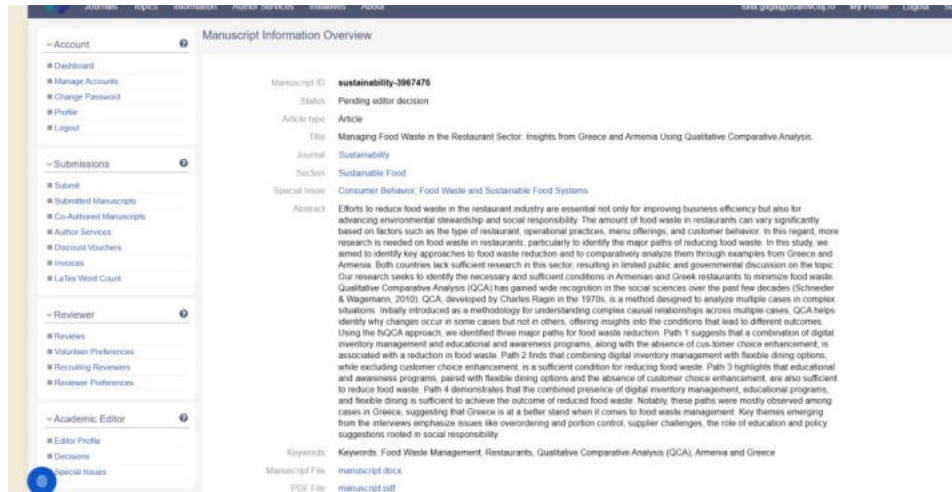


Fig 4. Status articol Sustainability

Cele trei lucrări, analizate împreună, ilustrează o evoluție coerentă: de la componenta tehnică de monitorizare IoT, la guvernarea digitală, politici publice și sustenabilitate. Ele arată capacitatea echipei de a integra analiza datelor, infrastructura digitală și perspectivele socio-economice într-un cadru unitar, în linie cu obiectivele proiectului și cu direcțiile strategice ale Uniunii Europene.

Participări la conferințe și simpozioane

Participarea la Conferința Internațională USAMV Cluj-Napoca

Participarea la a **24-a Conferință Internațională „Life Sciences for Sustainable Development”**, organizată la USAMV Cluj-Napoca în perioada **25–27 septembrie 2025**, în cadrul **Sesiunii 8: Geodezie, Silvicultură și Științe Exacte Aplicate**.

Prezentând lucrarea: **“IoT Applications in Forest Ecosystem Monitoring: A Systematic Literature Review in the Context of Climate Change and Biodiversity Conservation”**.

Această contribuție a avut rolul de a fundamenta științific direcția proiectului și de a prezenta comunității academice analiza conceptuală realizată în Etapa I și consolidată în Etapa II. Lucrarea a oferit o privire amplă asupra modului în care tehnologiile IoT sunt utilizate în



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

Iulia Diana Arion
USAMV Cluj-Napoca

Monitorizarea inteligentă a ecosistemelor forestiere folosind tehnologii IoT: O abordare inovatoare pentru combaterea schimbărilor climatice și protejarea biodiversității

Domeniul: 9. Ecologie, Mediu, Schimbări climatice

cercetările actuale dedicate monitorizării forestiere și a reprezentat baza teoretică pentru definirea arhitecturii tehnice implementate ulterior în teren.

Tot în cadrul aceleiași conferințe, am fost **coautor** la lucrarea „*Public Auctions in the EU Agri-Food and Wild Forest Sector: Analysing Efficiency and Equity*”, prezentată în **Session 4: Economics and Rural Development**. Această contribuție a integrat perspectiva economică și instituțională asupra sectorului forestier și agroalimentar, evidențiind caracterul interdisciplinar al activității mele de cercetare și conexiunile dintre digitalizare, guvernanta și dezvoltare rurală.

Prin aceste două apariții în programul oficial al conferinței, proiectul a beneficiat de o vizibilitate consolidată atât în zona cercetării ecologice și tehnologice, cât și în cea a analizelor economice și a politicilor publice.



Fig.5 Participarea la Conferința Internațională USAMV Cluj-Napoca

Participarea la Simpozionul de Agro-Economie și Antropologie Rurală (SAAR) – Iași, 27–28 noiembrie 2025

În cadrul **Simpozionului de Agro-Economie și Antropologie Rurală (SAAR)**, proiectul a fost reprezentat prin prezentarea tehnică: “**Rețele de senzori inteligenți pentru reziliența pădurilor: soluții IoT pentru detectarea stresului de mediu**”.



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

Iulia Diana Arion
USAMV Cluj-Napoca

**Monitorizarea inteligentă a ecosistemelor forestiere
folosind tehnologii IoT: O abordare inovatoare pentru
combaterea schimbărilor climatice și protejarea
biodiversității**

Domeniul: 9. Ecologie, Mediu, Schimbări climatice

Participarea la SAAR a demonstrat caracterul transdisciplinar al proiectului și potențialul acestuia de a contribui la dialogul național privind digitalizarea și reziliența ecosistemelor.

De asemenea, în cadrul aceluiași eveniment, am fost coautor în lucrarea: **“Guvernanța și performanța licitațiilor publice în sectoarele agroalimentare și forestiere din UE: o analiză critică a eficienței și echității”**, ceea ce subliniază componenta interdisciplinară și orientarea spre politici publice a activității dvs. de cercetare.

Prezentările susținute au contribuit la creșterea vizibilității la nivel național și au confirmat direcția tehnică și științifică a proiectului în fața specialiștilor din domeniu. Totodată, aceste activități au favorizat crearea și întărirea unor conexiuni profesionale relevante, facilitând colaborări interdisciplinare cu potențial de extindere în etapele următoare ale proiectului. Prin introducerea conceptului de monitorizare IoT în dialogul dintre specialiștii din silvicultură, agro-economie și științe aplicate, proiectul a contribuit la familiarizarea comunității cu instrumentele digitale moderne și la alinierea rezultatelor preliminare cu direcțiile europene în materie de digitalizare, reziliență și sustenabilitate forestieră.

Vizibilitate publică și social media

Vizibilitatea proiectului a fost consolidată în Etapa II printr-o serie de apariții în mediul online și în spațiul academic. Au fost realizate trei postări tematice pe platformele de social media, fiecare având rolul de a comunica progresul proiectului către comunitatea universitară și publicul larg interesat de digitalizarea mediului și de aplicarea tehnologiilor IoT în silvicultură. Aceste materiale au inclus prezentarea conceptelor de monitorizare inteligentă, anunțarea participării la conferințe și diseminarea primelor rezultate științifice. Totodată, au fost promovate public conferințele naționale la care s-a participat, accentuând importanța cercetării în domeniul ecosistemelor forestiere și rolul proiectului în dezvoltarea unor soluții tehnologice inovatoare. Prin aceste inițiative, proiectul și-a consolidat prezența în mediul digital și a facilitat crearea unui cadru de comunicare transparent și accesibil privind evoluția activităților desfășurate.



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

Iulia Diana Arion
USAMV Cluj-Napoca

**Monitorizarea inteligentă a ecosistemelor forestiere
folosind tehnologii IoT: O abordare inovatoare pentru
combaterea schimbărilor climatice și protejarea
biodiversității**

Domeniul: 9. Ecologie, Mediu, Schimbări climatice

Activități și rezultate – WP2 SOLUȚIE TEHNICĂ

Soluția software

Soluția software dezvoltată în Etapa II integrează un tablou de bord configurat în platforma ThingSpeak, conectat la microcontrolerul programat prin Arduino IDE 2.3.6. Această infrastructură permite vizualizarea în timp real a parametrilor monitorizați de stația IoT, precum temperatura aerului, umiditatea relativă, presiunea atmosferică, radiația UV, viteza și direcția vântului, cantitatea de precipitații și concentrația de CO₂, afișată pe un panou dedicat unde valorile preliminare se situează în jurul a ~470 ppm. Sistemul a fost conceput astfel încât să funcționeze autonom în diverse condiții de teren, utilizând module GSM/SIM pentru zonele în care nu există acces la rețele Wi-Fi și conexiune cloud pentru arhivarea, analiza și vizualizarea datelor colectate. Această arhitectură software asigură trasabilitatea informațiilor, permite monitorizarea continuă a funcționării senzorilor și constituie baza pentru dezvoltarea viitoare a unui sistem complet operațional de analiză și avertizare timpurie în ecosistemele forestiere.

```
1 #include <Arduino.h>
2 #include <Wire.h>
3 #include <SPI.h>
4 #include <SD.h>
5 #include <EEPROM.h>
6 #include <RTClib.h>
7 #include <Adafruit_BMP280.h>
8 #include <Adafruit_Sensor.h>
9 #include <Adafruit_GFX.h>
10 #include <Adafruit_NeoPixel.h>
11 #include <Adafruit_NRF24L01.h>
12 #include <Adafruit_NRF24L01+ .h>
13 #include <Adafruit_NRF24L01+ .h>
14 #include <Adafruit_NRF24L01+ .h>
15 #include <Adafruit_NRF24L01+ .h>
16 #include <Adafruit_NRF24L01+ .h>
17 #include <Adafruit_NRF24L01+ .h>
18 #include <Adafruit_NRF24L01+ .h>
19 #include <Adafruit_NRF24L01+ .h>
20 #include <Adafruit_NRF24L01+ .h>
21 #include <Adafruit_NRF24L01+ .h>
22 #include <Adafruit_NRF24L01+ .h>
23 #include <Adafruit_NRF24L01+ .h>
24 #include <Adafruit_NRF24L01+ .h>
25 #include <Adafruit_NRF24L01+ .h>
26 #include <Adafruit_NRF24L01+ .h>
27 #include <Adafruit_NRF24L01+ .h>
28 #include <Adafruit_NRF24L01+ .h>
29 #include <Adafruit_NRF24L01+ .h>
30 #include <Adafruit_NRF24L01+ .h>
31 #include <Adafruit_NRF24L01+ .h>
32 #include <Adafruit_NRF24L01+ .h>
33 #include <Adafruit_NRF24L01+ .h>
34 #include <Adafruit_NRF24L01+ .h>
35 #include <Adafruit_NRF24L01+ .h>
36 #include <Adafruit_NRF24L01+ .h>
37 #include <Adafruit_NRF24L01+ .h>
38 #include <Adafruit_NRF24L01+ .h>
39 #include <Adafruit_NRF24L01+ .h>
40 #include <Adafruit_NRF24L01+ .h>
41 #include <Adafruit_NRF24L01+ .h>
42 #include <Adafruit_NRF24L01+ .h>
43 #include <Adafruit_NRF24L01+ .h>
44 #include <Adafruit_NRF24L01+ .h>
45 #include <Adafruit_NRF24L01+ .h>
46 #include <Adafruit_NRF24L01+ .h>
47 #include <Adafruit_NRF24L01+ .h>
48 #include <Adafruit_NRF24L01+ .h>
49 #include <Adafruit_NRF24L01+ .h>
50 #include <Adafruit_NRF24L01+ .h>
51 #include <Adafruit_NRF24L01+ .h>
52 #include <Adafruit_NRF24L01+ .h>
53 #include <Adafruit_NRF24L01+ .h>
54 #include <Adafruit_NRF24L01+ .h>
55 #include <Adafruit_NRF24L01+ .h>
56 #include <Adafruit_NRF24L01+ .h>
57 #include <Adafruit_NRF24L01+ .h>
58 #include <Adafruit_NRF24L01+ .h>
59 #include <Adafruit_NRF24L01+ .h>
60 #include <Adafruit_NRF24L01+ .h>
61 #include <Adafruit_NRF24L01+ .h>
62 #include <Adafruit_NRF24L01+ .h>
63 #include <Adafruit_NRF24L01+ .h>
64 #include <Adafruit_NRF24L01+ .h>
65 #include <Adafruit_NRF24L01+ .h>
66 #include <Adafruit_NRF24L01+ .h>
67 #include <Adafruit_NRF24L01+ .h>
68 #include <Adafruit_NRF24L01+ .h>
69 #include <Adafruit_NRF24L01+ .h>
70 #include <Adafruit_NRF24L01+ .h>
71 #include <Adafruit_NRF24L01+ .h>
72 #include <Adafruit_NRF24L01+ .h>
73 #include <Adafruit_NRF24L01+ .h>
74 #include <Adafruit_NRF24L01+ .h>
75 #include <Adafruit_NRF24L01+ .h>
76 #include <Adafruit_NRF24L01+ .h>
77 #include <Adafruit_NRF24L01+ .h>
78 #include <Adafruit_NRF24L01+ .h>
79 #include <Adafruit_NRF24L01+ .h>
80 #include <Adafruit_NRF24L01+ .h>
81 #include <Adafruit_NRF24L01+ .h>
82 #include <Adafruit_NRF24L01+ .h>
83 #include <Adafruit_NRF24L01+ .h>
84 #include <Adafruit_NRF24L01+ .h>
85 #include <Adafruit_NRF24L01+ .h>
86 #include <Adafruit_NRF24L01+ .h>
87 #include <Adafruit_NRF24L01+ .h>
88 #include <Adafruit_NRF24L01+ .h>
89 #include <Adafruit_NRF24L01+ .h>
90 #include <Adafruit_NRF24L01+ .h>
91 #include <Adafruit_NRF24L01+ .h>
92 #include <Adafruit_NRF24L01+ .h>
93 #include <Adafruit_NRF24L01+ .h>
94 #include <Adafruit_NRF24L01+ .h>
95 #include <Adafruit_NRF24L01+ .h>
96 #include <Adafruit_NRF24L01+ .h>
97 #include <Adafruit_NRF24L01+ .h>
98 #include <Adafruit_NRF24L01+ .h>
99 #include <Adafruit_NRF24L01+ .h>
100 #include <Adafruit_NRF24L01+ .h>
```

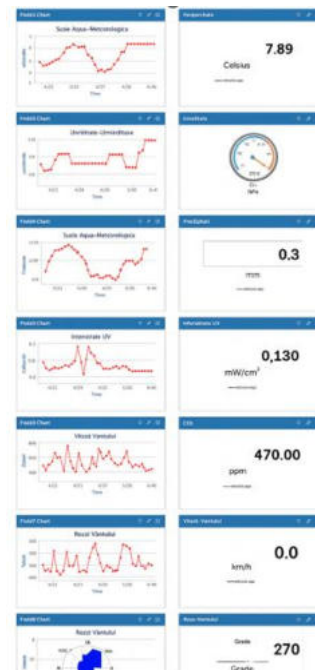


Fig. 6 Tablou de bord configurat în platforma ThingSpeak,



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

Iulia Diana Arion
USAMV Cluj-Napoca

**Monitorizarea inteligentă a ecosistemelor forestiere
folosind tehnologii IoT: O abordare inovatoare pentru
combaterea schimbărilor climatice și protejarea
biodiversității**

Domeniul: 9. Ecologie, Mediu, Schimbări climatice

Soluția hardware

Soluția hardware implementată în Etapa II constă într-o stație IoT multi-parametru destinată monitorizării avansate a microclimatului forestier. Aceasta integrează într-o configurație compactă și robustă o serie de senzori specializați, capabili să măsoare în timp real variabile esențiale precum temperatura și umiditatea aerului, presiunea atmosferică, radiația solară și UV, cantitatea de precipitații, precum și parametri legați de dinamica vântului (viteză și direcție). În plus, stația include senzori pentru monitorizarea calității aerului, precum module CO₂, iar în etapa următoare urmează a fi integrați și senzori pentru particule în suspensie (PM2.5/PM10), în conformitate cu obiectivele proiectului.

Toate componentele sunt montate într-o cutie de protecție cu standard IP66, ceea ce asigură rezistența la umiditate, variații termice și intemperii. Sistemul este alimentat printr-o unitate autonomă și conectat la o placă de dezvoltare compatibilă Arduino, responsabilă de colectarea, procesarea și transmiterea datelor către platforma cloud. În Etapa II, se realizează atât montajul electronic, cât și testele preliminare de funcționare, prin care se verifică stabilitatea transmisiunii și coerența valorilor oferite de senzori. Acest prototip hardware reprezintă infrastructura principală care va fi instalată în teren în Etapa III, constituind baza sistemului operațional de monitorizare IoT propus în cadrul proiectului.



Fig. 7 Stație IoT multi-parametru



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

Iulia Diana Arion
USAMV Cluj-Napoca

**Monitorizarea inteligentă a ecosistemelor forestiere
folosind tehnologii IoT: O abordare inovatoare pentru
combaterea schimbărilor climatice și protejarea
biodiversității**

Domeniul: 9. Ecologie, Mediu, Schimbări climatice

Achiziția echipamentelor

Procesul de achiziție a echipamentelor a fost finalizat integral în cadrul Etapei II, incluzând toate componentele necesare construirii și configurării celor trei noduri IoT planificate. Au fost achiziționate module de senzori atmosferici și microclimatici, unitatea centrală de procesare, componente pentru conectivitate (module GSM/SIM), cutii de protecție pentru utilizare în exterior, accesorii de montaj, cabluri, precum și elemente suplimentare pentru calibrarea și testarea sistemului. Achizițiile au fost realizate online, iar echipamentele au fost recepționate, verificate și pregătite pentru asamblare. Această etapă a permis definirea arhitecturii tehnice complete și asigurarea resurselor necesare instalării infrastructurii IoT în Etapa III.

Strategia de instalare pentru Etapa III

Pentru instalarea în teren care urmează să fie realizată în Etapa III, a fost definită o strategie de implementare bazată pe un gradient urban–forestier, menit să surprindă diferențele microclimatice dintre trei contexte ecologice distincte: mediul urban intens, pădurea urbană/periurbană și o pădure matură situată la marginea orașului. Locațiile selectate sunt: centrul municipiului Cluj-Napoca, zona de pădure-parc din apropierea campusului USAMV și pădurea Făget. Această abordare va permite compararea directă a variațiilor de temperatură, umiditate, CO₂ și alți parametri în funcție de gradul de antropizare, evidențiind rolul pădurilor în atenuarea efectelor insulei de căldură urbane și în îmbunătățirea calității aerului.

În Etapa II au fost evaluate infrastructura existentă, accesibilitatea, posibilitățile de fixare a stațiilor și condițiile de expunere, astfel încât implementarea din etapa viitoare să fie coerentă, sigură și eficientă.



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

Iulia Diana Arion
USAMV Cluj-Napoca

**Monitorizarea inteligentă a ecosistemelor forestiere
folosind tehnologii IoT: O abordare inovatoare pentru
combaterea schimbărilor climatice și protejarea
biodiversității**

Domeniul: 9. Ecologie, Mediu, Schimbări climatice

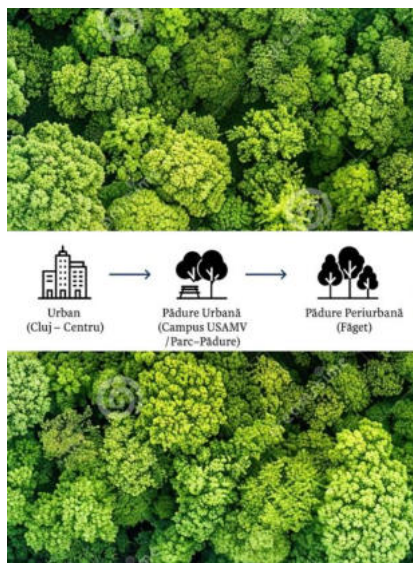


Fig. 8 Amplasarea senzorilor pe gradientul urban–forestier (Cluj – USAMV – Făget)

Concluzii

Etapă a II-a a reprezentat o fază decisivă pentru maturizarea științifică și tehnică a proiectului, axându-se pe dezvoltarea completă a componentelor software și hardware și pe fundamentarea conceptuală a sistemului de monitorizare IoT. În această etapă toate elementele necesare implementării sunt pregătite și validate la nivel teoretic și tehnic pentru Etapa III.

Progresul științific este semnificativ, reflectat prin cele trei articole, a fost finalizat și trimis spre evaluare un articol ISI în revista Forests (MDPI), în timp ce alte două articole interdisciplinare au avansat în procesul editorial: unul a fost acceptat pentru publicare în Foods (MDPI), iar al doilea se află în așteptarea deciziei editorului după recenzia de tip „minor revisions” în revista Sustainability (MDPI). Aceste rezultate demonstrează consistența și maturitatea științifică a proiectului și întăresc caracterul său interdisciplinar.

Participarea la două manifestări științifice importante, care au consolidat recunoașterea proiectului în comunitatea academică națională și internațională. Activitățile de diseminare au crescut vizibilitatea proiectului și au susținut integrarea acestuia în rețele interdisciplinare axate pe digitalizare și sustenabilitate.



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

Iulia Diana Arion
USAMV Cluj-Napoca

**Monitorizarea inteligentă a ecosistemelor forestiere
folosind tehnologii IoT: O abordare inovatoare pentru
combaterea schimbărilor climatice și protejarea
biodiversității**

Domeniul: 9. Ecologie, Mediu, Schimbări climatice

La nivel tehnic, etapa a permis finalizarea prototipului software, configurarea infrastructurii cloud și definirea arhitecturii hardware, precum și achiziția completă a echipamentelor necesare pentru implementarea reală în teren. Aceste realizări creează baza solidă pentru instalarea efectivă în ecosistemul forestier în Etapa III, când va începe colectarea datelor reale, calibrarea în condiții naturale și analiza integrată a indicatorilor de stres climatic și ecologic.

În ansamblu, Etapa II a pregătit proiectul pentru tranziția către faza operațională, asigurând toate condițiile științifice, tehnice și logistice pentru implementarea sistemului de monitorizare inteligentă în teren.

DATA

03.12.2025

SEMNĂTURĂ

Arion Iulia Diana

Isarie Vlad