Sistem software bazat pe tehnici de învățare automată, analiza și fuziunea datelor de teledetecție pentru asistarea deciziilor în prognoza vremii

Raport științific și tehnic 2025

- REZUMAT -

COD PROIECT: PN-IV-P7-7.1-PED-2024-0121

CONTRACT: 13PED/2025

2025

REZUMATUL ETAPEI

Conform Organizației Meteorologice Mondiale multe dezastre naturale care provoacă pagube și pierderi de vieți se datorează vremii și, în special, vremii severe. Cea mai mare parte a proceselor de luare a deciziilor în meteorologie se bazează într-o mare măsură, cel puțin la nivel național, pe experiența meteorologilor din domeniul operativ, dar datorită caracterului haotic al atmosferei, analiza eficientă a unui volum mare de date de către meteorologi este o sarcină dificilă pentru aceștia. Proiectul WinDMiL urmărește să contribuie la îmbunătățirea proceselor decizionale în meteorologie, la nivel național, printr-o durată mai scurtă de luare a deciziilor și precizie crescută a acestora, precum și să furnizeze un prototip funcțional al unui sistem software pentru analiza datelor meteorologice și asistarea proceselor decizionale în meteorologie. Beneficiarul direct al WinDMiL este Administrația Națională de Meteorologie din România. WinDMiL va integra metode de extragere a cunoștințelor din date de reanaliză și teledetecție, pentru o analiză rapidă și precisă a acestora și o componentă pentru vizualizarea rezultatelor, care să faciliteze luarea deciziilor meteorologice.

Obiectivul principal al proiectului este de a îmbunătăți procesul decizional în meteorologie prin utilizarea tehnicilor de învățare automată și de descoperire a cunoștințelor în date (reanaliză, teledetecție), cu un accent specific pe combinarea datelor de reanaliză cu date radar și imagini satelit. Scopul este acela de a oferi meteorologilor informații relevante din situații similare din trecut și asistarea acestora în luarea deciziilor (de exemplu, predicția zonelor afectate de fenomene meteorologice severe, prognoza precipitațiilor și a grindinei, prognoza cantitativă a precipitațiilor pe termen scurt) și în efectuarea analizelor climatologice. Sistemul software WinDMiL vizat în cadrul proiectului va asista meteorologii operaționali în sarcinile lor zilnice, oferindu-le vizualizări relevante ale rezultatelor tehnicilor de extragere a cunoștințelor din date.

Rezultatele estimate ale proiectului sunt: (1) rapoarte științifice și tehnice care conțin metodele originale de extragere a cunoștințelor din date și învățare automată dezvoltate în vederea analizării datelor meteorologice; (2) publicații științifice pentru diseminarea rezultatelor științifice obținute; (3) module software (incluse în sistemul WinDMiL) care implementează modelele de învățare automată dezvoltate pentru analiza datelor.

În prezentul raport vom prezenta rezultatele obținute în urma cercetărilor efectuate în cadrul proiectului în scopul îndeplinirii obiectivelor științifice și tehnice propuse în planul de realizare a proiectului pe anul 2025. Vom indica stadiul curent al implementării proiectului, modul în care au fost îndeplinite activitățile asumate în planul de lucru precum și modalitatea în care au fost diseminate rezultate obținute în cadrul etapei 2025. Pentru a sumariza, rezultatele obținute în cadrul proiectului în anul 2025 sunt:

- Proiectarea și arhitectura sistemului WinDMiL.
- Modul software de achiziție și stocare a datelor.
- Pagina web a proiectului (https://www.cs.ubbcluj.ro/windmil/).
- 4 articole științifice publicate și 1 articol în curs de recenzare la o revistă indexată Web of Science (WoS), cuartila Q2: 1 publicație în revistă indexată WoS, cuartila Q4; 1 publicație acceptată spre publicare într-o revistă Scopus, indexată WoS - CPCI; 1 publicație în volumul unei conferințe internaționale indexate WoS (clasificată B conform CORE); 1 publicație acceptată spre publicare în volumul unei conferințe internaționale indexate WoS (clasificată B conform CORE).

Considerăm că obiectivele proiectului aferente anului 2025 au fost atinse, lucru dovedit de prezentul raport de cercetare. Obiectivele planificate pentru anul 2025, cât și activitățile aferente acestora au fost realizate în totalitate, și desfășurate conform cu planul de realizare al proiectului. De asemenea, criteriul minim de performanță prevăzut pe anul 2025 în ceea ce privește diseminarea rezultatelor (cel puțin 1 publicație în jurnal/conferință) a fost îndeplinit.

1. INTRODUCERE

1.1 PROIECTUL WINDMIL

Proiectul WinDMiL urmărește să contribuie la îmbunătățirea proceselor decizionale în meteorologie, precum și să furnizeze un prototip funcțional al unui sistem software pentru analiza datelor meteorologice și asistarea proceselor decizionale în meteorologie. Beneficiarul direct al WinDMiL este Administrația Națională de Meteorologie (ANM) din România. WinDMiL va integra metode de extragere a cunoștințelor din date de teledetecție și reanaliză, pentru o analiză rapidă și precisă a acestora, metode de învățare automata pentru prognoza vremii și o componentă pentru vizualizarea rezultatelor, ușor de interpretat pentru meteorologi, care urmărește să faciliteze luarea deciziilor meteorologice.

1.2 OBIECTIVE ȘTIINȚIFICE ȘI TEHNICE

Obiectivul principal al proiectului este de a îmbunătăți procesul decizional în meteorologie prin utilizarea tehnicilor de învățare automată și de descoperire a cunoștințelor în date meteorologice (teledetecție, reanaliză), cu un accent specific pe combinarea datelor de reanaliză cu date radar și imagini satelitare. Scopul este acela de a oferi meteorologilor informații relevante din situații similare din trecut și asistarea acestora în luarea deciziilor (de exemplu, predicția zonelor afectate de fenomene meteorologice severe, prognoza precipitațiilor și a grindinei, prognoza cantitativă a precipitațiilor pe termen scurt) și în efectuarea analizelor climatologice. Sistemul software WinDMiL vizat în cadrul proiectului va asista meteorologii operaționali în sarcinile lor zilnice, oferindu-le vizualizări relevante ale rezultatelor tehnicilor de DM. Acest proiect este aplicativ și interdisciplinar, având două obiective științifice și tehnice principale:

O1. Dezvoltarea și validarea științifică a noilor tehnici de DM special concepute pentru analiza datelor de reanaliză și de teledetecție, cu un accent specific pe fuzionarea datelor radar și satelit. În urma rezultatelor noastre științifice anterioare în analiza datelor meteorologice bazate pe învățare nesupervizată, precum și în prognoza vremii bazată pe învățare profundă (eng. *deep learning* – DL), metode precum *k-nearest neighbor* (kNN), învățarea bazată pe cazuri (eng. *case-based reasoning* – CBR), sisteme cu autosupervizare (eng. *autoencoders* – AEs) și arhitecturi de encoder-decoder recurente profunde, special adaptate pentru date de teledetecție, vor fi vizate ca modele DL pentru componentele de DM ale sistemului software.

O2. Dezvoltarea și evaluarea de către utilizatori a sistemului WinDMiL pentru DM descriptiv și predictiv și pentru vizualizarea grafică a rezultatelor exploatării datelor. Acest obiectiv va fi realizat folosind metodele dezvoltate ca parte a O1 și se estimează să sprijine luarea deciziilor meteorologice.

O3. Contribuții la dezvoltarea cunoștințelor științifice prin diseminarea rezultatelor obținute în publicații științifice și pe site-ul web al proiectului.

2 DISEMINARE

2.1 SITE-UL WEB AL PROIECTULUI

Site-ul web al proiectului este dedicat prezentării proiectului, echipei de cercetare și a rezultatelor obținute, putând fi accesate două versiuni: una în limba engleză (https://www.cs.ubbcluj.ro/windmil/) și una în limba română (https://www.cs.ubbcluj.ro/windmil/ro/). În ceea ce privește structura site-ului, acesta este împărțit după cum urmează: o pagină de prezentare a proiectului (**About**/**Despre**), o descriere succintă a planului de lucru (**Project Plan**/**Planul Proiectului**), o pagină de prezentare a echipei de cercetare (**Project Team**/**Echipa**), o pagină pe care urmează să fie încărcate rezultatele principale ale proiectului (**Project Results**/**Rezultatele**

Proiectului) și o secțiune dedicată diseminării rezultatelor științifice și tehnice obținute (**Dissemination/Diseminare**), împărțită la rândul ei în pagini care conțin lista de publicații din cadrul proiectului (**Publications/Publicații**), rapoartele științifice și tehnice anuale (**Annual Reports/Rapoarte Anuale**) și prezentările din cadrul conferințelor (**Presentations/Prezentări**). De asemenea, pe site sunt incluse detaliile de contact pentru coordonatorul proiectului (pagina **Contact**). Pe prima pagină a site-ului (**About/Despre** – Figura 1) se regăsește o scurtă descriere a proiectului și o prezentare a obiectivelor definite în cadrul acestuia. Pagina **Project Plan/Planul Proiectului** detaliază planul de lucru al proiectului, fiind precizate activitățile din cadrul fiecăruia din cele patru pachete de lucru în care este împărțit planul. Prezentarea echipei de cercetare se regăsește pe pagina **Project Team/Echipa**, unde este inclusă o scurtă biografie academică pentru fiecare membru al echipei și link-ul către profilul său Google Scholar.

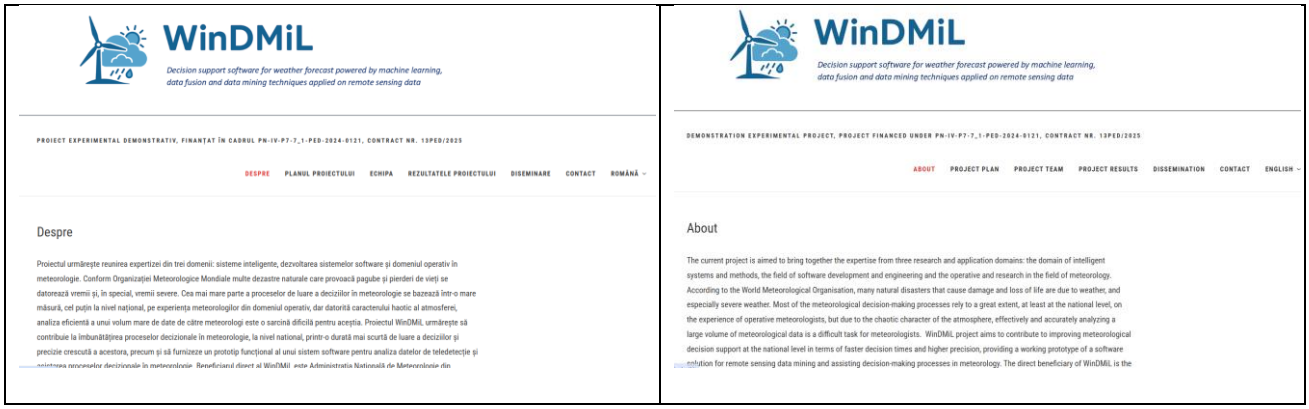


Figura 1 - Prima pagină a site-ului proiectului, versiunea în limba română (stânga) și engleză (dreapta)

Secțiunea dedicată diseminării cuprinde: (1) o listă a publicațiilor din cadrul proiectului și a publicațiilor conexe, permanent actualizată cu cele mai recente publicații (pagina **Publications/Publicații**), (2) o pagină în care vor fi introduse rezumatele rapoartelor științifice și tehnice anuale (**Annual Reports/Rapoarte Anuale**) și (3) materiale utilizate pentru prezentările din cadrul conferințelor (documente și clipuri video - pagina **Presentations/Prezentări**).

2.2 PUBLICAȚII ȘTIINȚIFICE ȘI PREZENTĂRI

Tabelul 1 și Tabelul 2 prezintă lista publicațiilor științifice, respectiv lista prezentărilor realizate în cadrul Etapei 1 a proiectului WinDMiL.

[L1]	Orășan Paul-Dumitru, Albu Alexandra-Ioana, Czibula Gabriela, *Diff-SySC: An approach using diffusion models for semi-supervised image classification*, International Conference on Agents and Artificial Intelligence (ICAART 2025) 2025, pp. 132-139 (B-ranked according to CORE classification, indexed WoS)
[L2]	Eugen Mihuleț, Gabriela Czibula, Ștefan Alexandrescu, Ana-Maria Mardaloescu, Alexandra-Ioana Albu, Mariana-Ioana Maier, *Using deep learning for enhancing the performance of ground-based cloud images classification*, Studies in Informatics and Control, 34(1) 123-134, March 2025 (WoS journal, Q4)
[L3]	Orășan Paul-Dumitru, Czibula Gabriela, Albu Alexandra-Ioana, *Using diffusion models for enhancing the performance of semi-supervised image classifiers*, Lecture notes in Artificial Intelligence, 2025, in press (WoS - Clarivate Analytics, Conference Proceedings Citation Index)
[L4]	Sîrbu Alexandru-Gabriel, Gabriela Czibula, *Code-ASG: An approach for extracting code embeddings from Abstract Syntax Graphs*, 31th International Conference on Cooperative Information Systems, CoopIS 2025, in press (B-ranked according to CORE classification, indexed WoS)
[L5]	Gabriela Czibula, Ștefan Alexandrescu, Alexandra-Ioana Albu, Eugen Mihuleț, *An in-depth study on using vision transformer-based models for classification of cloud images*, IEEE Access, 2025, submitted (WoS journal, Q2)

Tabel 1 - Lista publicațiilor științifice realizate în cadrul Etapei 1 a proiectului

Eugen Mihuleț, *Weather-data driven models for regional energy forecasting: integrating photovoltaic production, consumption patterns, and climate change projections*, 5th Workshop on Applied Deep Learning, WeADL 2025, June 6, 2025 [link]
Raluca Ștefan, *The Accumulation of MTG LI Level 2 Products, 5th Workshop on Applied Deep Learning*, WeADL 2025, June 6, 2025 [link]
Claudiu Adam, *Adapting COALITON-4 Nowcasting ML model to the NMA's operational context*, WeADL 2025, June 6, 2025 [link]
Alexandrescu Ștefan, *A study on using generative deep learning architectures for classification of ground-based cloud images*, 5th Workshop on Applied Deep Learning, WeADL 2025, June 6, 2025 [link]
Sîrbu Alexandru-Gabriel, *Code-ASG: An approach for extracting code embeddings from Abstract Syntax Graphs*, 31th International Conference on Cooperative Information Systems, CoopIS 2025 [link]

Tabel 2 - Prezentările susținute în cadrul Etapei 1 a proiectului

3 CONCLUZII

În prezentul raport au fost prezentate rezultatele originale obținute în urma cercetărilor efectuate în cadrul proiectului în scopul îndeplinirii obiectivelor științifice și tehnice propuse în planul de realizare pe anul 2025 (Etapa 1). Pentru fiecare partener (UBB și ANM), am indicat modul în care au fost îndeplinite activitățile asumate în planul de realizare a proiectului. Sintetizăm rezultatele obținute în cadrul proiectului pe anul 2025 ca fiind următoarele: (1) proiectarea și arhitectura sistemului WinDMiL; (2) modul software de achiziție și stocare a datelor de teledecție; (3) pagina web a proiectului (https://www.cs.ubbcluj.ro/windmil/); (4) articole științifice prin care s-au diseminat rezultatele originale obținute în cadrul Etapei 1 de implementare a proiectului.

Diseminarea rezultatelor obținute în cadrul proiectului în anul 2025 a fost realizată prin publicarea a 4 articole științifice: 1 publicație în revistă cotată ISI (Web of Science, WoS), cuartila Q4; 1 pblicație acceptată spre publicare într-o revistă Scopus, indexată WoS - CPCI; 1 publicație în volumul unei conferințe internaționale indexate WoS (clasificată B conform CORE); 1 publicație acceptată spre publicare în volumul unei conferințe internaționale indexate WoS (clasificată B conform CORE). În plus, 1 articol este în curs de recenzare la o revistă indexată WoS, cuartila Q2.

Ca urmare, criteriul minim de performanță prevăzut (cel puțin 1 publicație în jurnal/conferință) a fost îndeplinit. De asemenea, obiectivele planificate pentru anul 2025 și activitățile aferente acestora au fost realizate în totalitate și desfășurate conform cu planul de realizare al proiectului.