CZU: 629.735.45:004.94:37:504 **https://doi.org/10.59295/tehfizuvs25.28**

MODELARE ȘI EDUCAȚIE PENTRU UN MEDIU SUSTENABIL PRIN TEHNOLOGIA UAV

MODELING AND EDUCATION FOR A SUSTAINABLE ENVIRONMENT THROUGH UAV TECHNOLOGY

Anton DANICI[1] e-mail: adanici@gmail.com ORCID ID:0000-0003-2791-7612

[1]Universitatea de Stat din Moldova

Abstract*. Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) have become fundamental elements in building a digital and sustainable future. This article explores both analytical models and software tools used for the design and numerical simulation of UAV systems, highlighting how these technologies can be integrated into educational processes to support sustainable development. By combining skills in mathematical modeling, systems engineering, and automatic control with a responsible approach to resource use, the application of UAVs in education offers the opportunity to cultivate a technology-oriented mindset focused on sustainability, while also promoting analytical, interdisciplinary skills and ecological awareness.*
Keywords: *UAV, analytical modeling, numerical simulation, STEM education, sustainability, green technology.*

Introducere

Vehiculele aeriene fără pilot (UAV – *Unmanned Aerial Vehicles*) s-au consolidat în ultimul deceniu ca tehnologii-cheie în multiple domenii, incluzând cercetarea științifică, monitorizarea mediului, agricultura de precizie, inspecțiile industriale și managementul dezastrelor naturale [1]. Aceste platforme oferă avantaje semnificative, precum colectarea rapidă de date în timp real, flexibilitate operațională și reducerea costurilor față de metodele tradiționale de observare și analiză. În paralel, nevoia tot mai mare de educație orientată spre sustenabilitate și formarea competențelor digitale a determinat integrarea tehnologiilor emergente în curricula școlară și universitară (UNESCO, 2020). Tehnologia UAV se află la intersecția dintre inovație, educație și protecția mediului, reprezentând o punte între teoria academică și aplicațiile practice. Prin utilizarea dronelor în activități educaționale, studenții și elevii pot dobândi competențe tehnice complexe, inclusiv modelare matematică, simulare numerică, control automat și analiză a datelor, concomitent cu dezvoltarea conștientizării ecologice și a responsabilității tehnologice. Această abordare permite crearea unor programe interdisciplinare care integrează ingineria, știința mediului și educația digitală, contribuind la formarea unei gândiri sistemice orientate spre sustenabilitate. Prezentul articol își propune să analizeze relația dintre modelele analitice ale sistemelor UAV, simulările numerice și aplicabilitatea acestora în educație, cu accent pe formarea competențelor pentru un viitor durabil. Printr-o abordare combinată, care include teoria modelării, simularea și aplicarea practică în proiecte educaționale, se urmărește evidențierea modului în care UAV-urile pot deveni instrumente esențiale în pregătirea unei noi generații de specialiști capabili să implementeze tehnologii inovatoare în mod responsabil și sustenabil. În plus, articolul examinează provocările asociate implementării UAV-urilor în educație, precum infrastructura tehnică, reglementările de siguranță și adaptarea curriculumului, oferind recomandări pentru integrarea eficientă a acestor tehnologii în programele de învățare.

Modele analitice și simularea numerică pentru educație și sustenabilitate în UAV

Modelarea analitică reprezintă fundamentul înțelegerii și proiectării sistemelor UAV. Aceasta se bazează pe ecuațiile mișcării unui corp rigid în spațiul tridimensional, care descriu interacțiunile dintre forțele aerodinamice, momentele de rotație și mecanismele de control [2]. Modelul cinematic stabilește relația dintre poziție, orientare și viteză, în timp ce modelul dinamic evidențiază influența forțelor externe, a momentelor aerodinamice și a sistemelor de propulsie asupra comportamentului UAV. Controlul automat, implementat prin algoritmi precum PID, LQR sau MPC, asigură stabilitatea și precizia traiectoriei. Linearizarea ecuațiilor în jurul punctelor de echilibru permite analiza stabilității și proiectarea unor legi de control eficiente, adaptabile la diverse misiuni și condiții de zbor. Simularea numerică completează modelarea analitică, oferind un mediu sigur pentru testarea și optimizarea performanțelor UAV-urilor înainte de implementarea fizică. Platformele software, precum MATLAB/Simulink, Gazebo sau ROS, permit analizarea comportamentului UAV-urilor în scenarii complexe, inclusiv interacțiunea cu medii variabile și gestionarea sarcinilor dinamice. Simulările numerice sprijină evaluarea energiei consumate, a eficienței propulsiei și a impactului ecologic, facilitând astfel proiectarea sistemelor UAV sustenabile. Din perspectiva educațională, integrarea modelelor analitice și a simulărilor numerice în curriculum oferă studenților și elevilor oportunitatea de a dezvolta competențe STEM, gândire critică și abilități de rezolvare a problemelor. Activitățile practice, care combină simulările cu zborul efectiv al dronelor, permit înțelegerea principiilor aerodinamicii, controlului automat și prelucrării datelor. În plus, includerea UAV-urilor în proiecte de monitorizare a mediului, cartografiere a terenurilor sau agricultură de precizie ajută la conștientizarea impactului tehnologiilor asupra mediului și la formarea unei mentalități sustenabile. Astfel, UAV-urile devin instrumente multifuncționale: nu doar pentru proiectarea și testarea sistemelor tehnologice, ci și pentru educație interdisciplinară și promovarea sustenabilității. Modelele analitice și simulările numerice permit predarea interactivă, contribuind la formarea unei noi generații de specialiști capabili să implementeze tehnologii UAV eficiente, sigure și prietenoase cu mediul.

Simularea numerică, instrumentele software și aplicațiile ecologice ale UAV-urilor

Simularea numerică constituie un instrument esențial pentru proiectarea, testarea și optimizarea sistemelor UAV, permițând evaluarea performanțelor înainte de implementarea fizică. Printre cele mai utilizate platforme software se numără:

- **MATLAB/Simulink**, pentru modelarea completă a sistemelor dinamice și implementarea algoritmilor de control [4];
- **Gazebo** și **ROS (Robot Operating System)**, platforme open-source pentru simulare 3D și control în timp real [5];
- **X-Plane** și **FlightGear**, simulatoare de zbor profesionale pentru validarea modelelor aerodinamice;
- **ANSYS Fluent** și **OpenFOAM**, utilizate pentru analiza fluxurilor și optimizarea formelor aerodinamice.

Un exemplu concret de aplicare este simularea unui UAV quadcopter destinat monitorizării calității aerului. Prin integrarea senzorilor virtuali și a algoritmilor de control, se pot analiza traiectorii eficiente energetic și se poate evalua impactul asupra mediului, contribuind astfel la dezvoltarea unor sisteme UAV sustenabile. Din perspectivă educațională și ecologică, UAV-urile pot fi utilizate în proiecte

interdisciplinare care combină tehnologia, știința datelor și protecția mediului. Un model de proiect ecologic ar putea include următoarele etape:

1. **Definirea obiectivelor** – de exemplu, monitorizarea calității aerului, identificarea zonelor cu vegetație degradată sau detectarea poluanților în corpuri de apă.
2. **Modelarea și simularea UAV-ului** – folosind MATLAB/Simulink sau Gazebo pentru a stabili traiectorii eficiente și a integra senzorii virtuali.
3. **Implementarea algoritmilor de control** – PID, LQR sau MPC pentru menținerea stabilității și optimizarea zborului.
4. **Colectarea și analiza datelor** – datele simulate sau reale sunt procesate cu instrumente de analiză (Python, R, GIS) pentru interpretarea impactului ecologic [7].
5. **Evaluarea sustenabilității** – compararea diferitelor strategii de zbor pentru minimizarea consumului energetic și a impactului asupra mediului [8].
6. **Integrarea în educație** – studenții și elevii pot învăța atât conceptele teoretice de aerodinamică și control, cât și aplicarea practică în protecția mediului. Prin combinarea simulării numerice, modelelor analitice și proiectelor ecologice, UAV-urile devin instrumente educaționale puternice. Ele permit dezvoltarea competențelor STEM, gândirii critice și responsabilității ecologice, transformând activitățile practice într-o punte între tehnologie și sustenabilitate [9, 10].

Educație și sustenabilitate prin tehnologia UAV

Vehiculele aeriene fără pilot (UAV) reprezintă tehnologii emergente cu impact major asupra educației orientate spre sustenabilitate. Integrarea UAV-urilor în curricula școlară și universitară sprijină dezvoltarea competențelor STEM (știință, tehnologie, inginerie și matematică) și, simultan, conștientizarea problemelor de mediu [3]. Studiile recente indică faptul că implicarea elevilor și studenților în activități practice cu drone îmbunătățește vizualizarea spațială, gândirea computațională și abilitățile de rezolvare a problemelor, prin combinarea zborului UAV, programării, analizei de date și geometriei aplicate [4]. Revizuirile sistematice arată că învățarea prin UAV este motivantă și implicativă, facilitând înțelegerea aprofundată a conceptelor STEM, cooperarea și dezvoltarea gândirii critice [Ibidem]. Workshop-urile bazate pe UAV au demonstrat că elevii și studenții înțeleg mai bine conținutul teoretic și pot aplica conceptele în contexte practice, existând o corelație semnificativă între utilizarea platformelor tehnologice și învățarea semnificativă [Ibidem]. Din perspectiva sustenabilității, UAV-urile permit implicarea directă a elevilor în activități precum monitorizarea mediului, cartografierea, colectarea datelor asupra ecosistemelor sau agricultura de precizie, transformând dronele în instrumente educaționale și ecologice. Programe precum „Smart and Sustainable Aviation” combină educația UAV cu obiective de dezvoltare durabilă, prin colaborări între mediul academic și industrie în domenii precum logistică, agricultură, silvicultură și securitate [5]. Implementarea UAV-urilor în educație presupune însă provocări, inclusiv formarea cadrelor didactice, asigurarea infrastructurii tehnice, respectarea reglementărilor de siguranță și integrarea activităților în curriculum astfel încât să fie relevante și accesibile tuturor nivelurilor de studiu. Bolick et al. (2022) arată că modulele online despre UAV și teledetecție sporesc familiaritatea studenților cu subiectele, dar accesul la hardware-ul fizic rămâne o barieră [6]. Astfel UAV-urile reprezintă instrumente valoroase pentru educație, facilitând dezvoltarea competențelor STEM, gândirii critice și conștiinței ecologice.

Proiectele educaționale pot include monitorizarea parametrilor de mediu, planificarea zborurilor autonome și analiza datelor colectate prin inteligență artificială, consolidând UAV-urile ca punți între tehnologie, educație și protecția mediului.

Concluzii

Modelarea și simularea numerică a sistemelor UAV constituie instrumente esențiale pentru proiectarea și optimizarea tehnologiilor aeriene moderne, cu un accent clar pe eficiență energetică și sustenabilitate. Prin dezvoltarea de modele matematice riguroase și implementarea simulărilor numerice, se pot analiza și anticipa comportamentele dinamice ale dronelor, permițând optimizarea parametrilor de zbor și reducerea impactului asupra mediului. Integrarea acestor metode în cadrul procesului educațional facilitează achiziția de competențe tehnice avansate, precum controlul automat, modelarea aerodinamică și analiza sistemelor complexe, concomitent cu cultivarea unei conștiințe ecologice și a unei abordări sustenabile în inginerie. Utilizarea dronelor ca resurse didactice permite dezvoltarea de programe interdisciplinare care combină ingineria, știința datelor și educația ecologică, contribuind astfel la formarea unei noi generații de specialiști capabili să dezvolte soluții inovatoare și responsabile din punct de vedere tehnologic și ecologic. Prin aceste abordări, tehnologia UAV nu servește doar cercetării și industriei, ci devine un vector educațional și științific pentru promovarea sustenabilității și a inovării în societatea contemporană.

Referințe:

1. ANDERSON, J.D. *Introduction to flight* (9th ed.). McGraw-Hill Education, 2020.
2. BOUABDALLAH, S. *Design and control of quadrotors with application to autonomous flying* [Doctoral dissertation, École Polytechnique Fédérale de Lausanne]. EPFL Press, 2007.
3. European Commission. *Education for sustainable development goals: Learning objectives.* UNESCO Publishing, 2020.
4. MATHEWS, J., SMITH, R. *Numerical methods using MATLAB* (5th ed.). Prentice Hall, 2021.
5. ROS Documentation. *Robot operating system tutorials.* Retrieved from https://www.ros.org/, 2024.
6. BOLICK, M. M., MIKHAILOVA, E. A., POST, C. J. Teaching innovation in STEM education using an unmanned aerial vehicle (UAV). *Education Sciences*, 12(3), 2022. 224 p. https://doi.org/10.3390/-educsci12030224 (MDPI)
7. SHADIEV, R., YI, S. A systematic review of UAV applications to education. *Interactive Learning Environments*. Advance online publication, 2022. https://doi.org/10.1080/10494820.2022.2028858 (OUCI).
8. YEUNG, R. C. Y., SUN, D., YEUNG, C. H. Integrating drone technology in STEM education: Curriculum, pedagogy and learning outcomes. *Education and Information Technologies*, 30, 2025, pp.14237-14272. https://doi.org/10.1007/s10639-025-13368-0 (SpringerLink).
9. MARZUKI, O. F., TEO, E. Y. L., ABDULLAH, W. N. Z. Z., KHAIRUDDIN, N., INAI, N. H., SAAD, J. M., AZIZ, M. H. A., ASMAWI, N. N. M. Drone STEM education: Revolutionizing learning for the future. *International Journal of Academic Research in Progressive Education and Development*, 14(1), 2025, pp. 1416-1433. https://doi.org/10.6007/IJARPED/v14-i1/24763 (hrmars.com).
10. ABD RAHMAN, M. J. B., HASHIM, H. B. N., ENSIMAU, N. K., ABD MAJID, M. Z. Application of drone technology in learning process strategies. *International Journal of Academic Research in Business and Social Sciences*, 14(8), 2023. https://doi.org/10.6007/IJARBSS/v14-i8/22447 (hrmars.-com).

ACKNOWLEDGMENT

Acest articol este elaborat în cadrul proiectului pentru tineri cercetători pe anii 2025-2026, cifrul 25.80012.0807.25TC ,,Mediu sustenabil prin educația pentru drone''.