

TEHNOLOGII EMERGENTE ȘI PROVOCĂRI ÎN OPERAREA SISTEMELOR AERIENE FĂRĂ PILOT HIBRIDE ÎN ERA METAVERSULUI

Student drd. Florina Ghindescu COSTAȘ

Universitatea din Petroșani

Prof. univ. dr. habil. ing. Roland Iosif MORARU

Universitatea din Petroșani

Lect. univ. dr. ing. Ioana-Raluca ADOCHIEI

Academia Tehnică Militară „Ferdinand I”, București
10.55535/GMR.2024.4.09

With the maturity of UAV technologies and the expansion of the Internet of Things (IoT), unmanned aerial vehicles (UAVs) have become an essential component in multiple industries, representing a crucial tool for addressing current and future challenges. Integrating emerging technologies and advanced training methodologies for unmanned aerial vehicle operators is essential to ensure the efficient and safe use of these technologies. This research investigates critical gaps in understanding the emerging risks associated with human-machine interaction, from the perspective of occupational safety and health (OSH). While automation contributes to simplifying processes, extended reality (XR) facilitates the development of interactive educational resources, and augmented artificial intelligence (AAI) amplifies human cognitive capabilities through the use of advanced artificial intelligence (AI) algorithms. In the context of the industrial metaverse, these technologies offer significant opportunities for optimizing operational efficiency, supporting the training of drone operators in successfully managing the complexities of modern airspace.

Keywords: UAV operator training; industrial metaverse (AI, AAI); emerging technological risks; occupational safety and health (OSH); UAV;

INTRODUCERE

Există o recunoaștere tot mai mare a faptului că mediul profesional se schimbă rapid ca urmare a progreselor tehnologice și a globalizării. Potrivit unui raport al firmei Pricewaterhouse Coopers (PwC), cu sediul principal în Londra, Marea Britanie, inteligența artificială (IA) ar putea contribui cu până la 15,7 trilioane de dolari la creșterea globală a economiei până în 2030 (Rao, 2017, p. 3). În timp ce IA se concentrează pe automatizarea sarcinilor, inteligența artificială augmentată (IAA) își propune să se integreze în experiența umană mai degrabă decât să o înlocuiască în întregime, ea fiind concepută pentru a amplifica abilitățile noastre cognitive și a ne ajuta să atingem un nivel superior de performanță (Kim, 2022, p. 1). În același timp, tehnologiile inteligente de automatizare oferă tot mai multe oportunități, inclusiv pentru managementul resurselor umane, dar și provocări fezabile la nivel tehnologic și etic (Christenko, 2022, p. 6).

Impactul acestor tehnologii se manifestă atât la nivel individual, prin transformarea rolurilor și competențelor necesare, cât și la nivel organizațional, prin necesitatea de a reconfigura procesele de lucru și de a cultiva o cultură organizațională care să favorizeze *colaborarea om-mașină*. Efectele schimbărilor tehnologice asupra oportunităților și provocărilor pentru domeniul securitate și sănătate în muncă (SSM) au însoțit întotdeauna evoluția tehnologică (Rosen, 2022, p. 1). În acest context, un sector al aviației aflat în evoluție rapidă, cu un potențial semnificativ și în Uniunea Europeană, îl reprezintă vehiculele aeriene fără pilot (UAV). În prezent, UAV a fost menționat prin terminologii diferite, cum ar fi dronă, vehicul pilotat de la distanță (RPV), aeronavă pilotată de la distanță (RPA), sistem de aeronave fără pilot (UAS) și sistem de aeronave pilotate de la distanță (RPAS). Acești termeni s-au format în diferite etape de dezvoltare tehnologică sau în diferite scenarii de aplicare, dar nu creează nicio ambiguitate în context (Fan, 2020, p. 199). UAV-urile sunt o clasă de dispozitive care includ drone multirotor, precum și dispozitive cu un singur rotor și aripă fixă, versiuni hibride și potențial sisteme de propulsie alternative, roboți care pot zbura. Deși numărul de drone comerciale a crescut semnificativ, aplicațiile militare continuă să domine piața.

În ceea ce privește autonomia, cercetările prezintă o taxonomie cu 6 niveluri (Eibin, 2021, p. 1) sau 10 niveluri de autonomie pentru UAV-uri (Sequeira, 2023, p. 2). Deși această taxonomie vizează, în principal, contextul militar, ea este aplicabilă

și UAV-urilor care operează în alte scenarii. UAV-urile au adus schimbări majore în modul de lucru și interacțiune cu mediul, deschizând noi oportunități de inovare și creștere economică, oferind supremație față de tehnologiile convenționale (Gaurav, 2018, p. 12).

Domeniile cheie care beneficiază de tehnologia UAV sunt atât militare, civile, cât și comerciale, cum ar fi: agricultura, construcțiile și infrastructura, logistica și transportul, sănătatea, monitorizarea mediului înconjurător, apărarea, cartografierea și topografia, ca și misiunile de cercetare științifică. Diversitatea aplicațiilor UAS necesită o abordare diferențiată pentru pregătirea operatorilor. Fiecare industrie și organizație având cerințe specifice, o certificare unică ar putea fi insuficientă. Prin urmare, sunt necesare cerințe de formare mai nuanțate și adaptate fiecărui caz de utilizare, iar lipsa acestora poate duce la incidente (Williams, 2023, p. 1). Administrația Federală pentru Aviație (FAA) indică o cerere semnificativă de operatori UAV în domeniul militar și maritim, oferind o perspectivă valoroasă asupra provocărilor cu care se confruntă industria din SUA, și subliniază necesitatea standardelor clare pentru siguranța operațiunilor cu drone și formarea operatorilor (Ib.).

Studiile recente în domeniul AI și al sistemelor de aeronave pilotate de la distanță arată că un sistem complet autonom ar putea îmbunătăți semnificativ procesul decizional și eficiența generală a misiunilor (Eibin, ib.). Aceste progrese exponențiale sunt determinate atât de inovațiile algoritmice (învățarea senzomotorilor în simulare), cât și de îmbunătățirile ingineriei sistemelor, care acoperă întregul flux de navigație: percepție, planificare și control (Hanover, 2024, p. 17). În prezent, dronele care oferă un echilibru între autonomie și control uman rămân relevante (Presamil, 2024, p. 1). Până când sistemele complet autonome vor putea gestiona în mod fiabil cantitatea mare de date generate în timpul zborului în timp real, operatorii umani vor continua să fie esențiali pentru siguranța și performanța UAV-urilor.

Pe măsură ce IA devine tot mai robustă, algoritmi de siguranță devin critici pentru operarea UAV-urilor în medii complexe și incerte (Hanover, p. 18). În paralel cu progresul tehnologic, cadrul de reglementare global trebuie să fie modernizat pentru a permite operațiuni complet autonome RPAS (Eibin, p. 2).

Un studiu relativ recent subliniază că operatorii de drone, lucrători ai economiei gig, au fost ignorați în ceea ce privește securitatea și sănătatea în muncă (Rahmani, 2023, p. 57). Studiul investighează interacțiunea om-UAV, dinamica procesului de formare a operatorilor prin adoptarea noilor tehnologii IA și RX și modul în care riscurile SSM sunt afectate de aceste schimbări. Tehnologiile digitale oferă posibilități mai eficiente și flexibile pentru antrenamentele militare, adaptându-se

complexității operațiunilor moderne (Jungck, 2023, p. 1). Descoperirile recente arată că factorii umani, mai degrabă decât defectele tehnologice, sunt cauza majorității accidentelor cu drone, cum ar fi lipsa de conștientizare situațională și decizii eronate (Rahmani, pp. 63-64).

Interfața om-mașină este un risc emergent în SSM, dar reprezintă și o cale pentru îmbunătățirea siguranței, subliniind importanța unui design adecvat pe măsură ce nivelurile de autonomie ale UAV-urilor cresc (Sequeira, 2023, p. 7). În era metaversului, tehnologiile digitale precum IA și RX au un impact semnificativ asupra procesului de formare, oferind experiențe de învățare personalizate. Integrarea acestor tehnologii crește eficiența operațională, dar creează și noi riscuri pentru sănătatea ocupațională. Ca atare, noua paradigmă necesită o abordare holistică, aptă să țină cont atât de complexitatea tehnologică, precum și de impactul asupra sănătății ocupaționale a operatorilor de UAV, într-un cadru de reglementare dinamic și în continuă schimbare. Lipsa datelor empirice privind riscurile asociate îngreunează definirea unor strategii eficiente de atenuare a riscurilor. Identificarea lacunelor în cercetare este esențială pentru dezvoltarea unor politici informate, care să asigure siguranța operatorilor și să reducă riscurile neabordate.

Această lucrare utilizează metodologia PRISMA pentru selectarea și analiza critică a literaturii de specialitate din surse academice și industriale relevante. Sursele prezentate în continuare au fost filtrate în funcție de relevanța lor pentru următoarele domenii: vehicule aeriene fără pilot (UAV), securitate și sănătate în muncă (SSM), și utilizarea tehnologiilor RX în instruirea operatorilor UAV.

ANALIZA TEMATICĂ

Integrare UAV, supraveghere digitală, etică și spațiu

Cercetările realizate în cadrul proiectelor Comisiei Europene, de la îmbunătățirea standardelor de zbor (aw-drones.eu, 2021), coordonarea flotelor de UAV-uri și integrarea acestora în traficul aerian (labyrinth2020.eu), până la dezvoltarea soluțiilor pentru a contracara amenințările, inclusiv neutralizarea unui UAV care operează în zone restricționate (alladin2020.eu) sau explorarea potențialului tehnologiei 5G (5gdrones.eu), au marcat un progres semnificativ în integrarea dronelor. Totuși, aceste inițiative au identificat și amenințările potențiale la adresa siguranței pe care UAV-urile le pot reprezenta. Nu este surprinzător faptul că, în prezent, problemele tehnologice nu mai ocupă centrul preocupărilor de cercetare. În schimb, aspectele legate de organizare, management și impactul acestora asupra performanței și siguranței devin dominante (Sequeira, p. 4).

În plus, în ciuda beneficiilor clare ale utilizării UAV-urilor, proliferarea rapidă a acestora în diverse medii de lucru ridică dileme sociale și etice, în special în ceea ce privește invazia vieții private și riscurile pentru siguranța publică (Rahmani, p. 63). Inițiativele conduse de organizații precum NATO, împreună cu dezbaterile din cadrul forumurilor internaționale, joacă un rol esențial în formarea unui răspuns colectiv la aceste provocări emergente. Aceste inițiative subliniază importanța colaborării pentru securizarea spațiului, mai ales în contextul conflictelor digitale contemporane. Importanța cooperării este evidențiată de eforturile continue de a dezvolta un cadru juridic și etic cuprinzător pentru operațiunile în spațiul digital, asigurând o abordare echilibrată, care să ia în considerare atât interesele militare, cât și pe cele civile (Botezatu, 2024, p. 6).

Un alt aspect important este rolul tot mai crescut al inteligenței artificiale și al inteligenței artificiale augmentate în supravegherea și controlul UAV-urilor. Aceste tehnologii facilitează gestionarea eficientă a riscurilor și contribuie la creșterea eficienței operaționale. IA permite automatizarea proceselor complexe, în timp ce IAA îmbunătățește capacitățile umane prin integrarea analizei automate cu deciziile umane, oferind soluții sigure și eficiente pentru utilizarea UAV-urilor în contexte atât civile, cât și militare.

De asemenea, tehnologiile emergente, precum rețelele 5G și IoT (Internet of Things), joacă un rol crucial în gestionarea traficului aerian și a rețelilor de comunicații. Cu toate acestea, aceste progrese aduc cu sine riscuri suplimentare, inclusiv vulnerabilități cibernetice, care necesită măsuri adecvate de securitate și standardizare.

Pentru a asigura o integrare sigură și eficientă a UAV-urilor în spațiul aerian, este esențial un cadru reglementar integrat, care să echilibreze interesele militare și civile. Reglementările stricte, susținute de un cadru etic solid, vor preveni abuzul de tehnologii de supraveghere și vor contribui la securitatea publică și protecția vieții private.

Dronele au transformat semnificativ modul în care sunt desfășurate războaiele din punct de vedere strategic, oferind avantaje substanțiale în proiecția puterii, eficiență operațională, reducerea riscurilor politice și umanitare, precum și în adaptabilitatea la războaiele asimetrice și cibernetice (Barbu, 2024, pp. 11-13). Utilizarea vehiculelor aeriene fără pilot în misiunile militare nu numai că reduce riscul de pierderi umane, îmbunătățind astfel siguranța operațională în zonele de conflict, dar aduce și economii semnificative în comparație cu utilizarea aeronavelor cu echipaj uman (Fan, p. 204). De asemenea, UAV-urile au capacitatea de a accesa

spații închise și inaccesibile, precum și medii inflamabile sau toxice, fiind astfel esențiale în operațiuni de risc ridicat (Rahmani, p. 53).

Institutul Național pentru Securitate și Sănătate Ocupațională (NIOSH), într-o abordare integrată a siguranței la locul de muncă, cataloghează UAV-urile drept „*roboți de servicii profesionale*”, subliniind rolul acestora în efectuarea sarcinilor periculoase sau repetitive, ceea ce contribuie la reducerea riscului de accidente și incidente la locul de muncă (NIOSH, 2024, p. 1). Prin urmare, aplicarea sistemelor UAV în domeniul militar a devenit din ce în ce mai frecventă și va continua să creeze noi forțe și capacități militare. Încă de la apariția primului UAV în Marea Britanie, în 1917, tehnologia a evoluat de la drone țintă și avioane de recunoaștere fără pilot la sisteme multifuncționale sofisticate, capabile să efectueze o gamă variată de operațiuni militare complexe (Fan, p. 204).

De la începutul anilor '90, UAV-urile de ultimă generație au fost utilizate pe scară largă în conflicte și războaie, fiind capabile să execute o varietate de misiuni, inclusiv recunoaștere, angajare de putere de foc, contramăsuri electronice, suport de comunicații și transport logistic. Caracteristica „*fără pilot*” a acestor sisteme devine, treptat, o componentă esențială în dezvoltarea armamentului modern și în utilizarea lor practică pe câmpul de luptă (Ib.).

Pentru a asigura că forțele militare posedă capacitățile necesare finalizării cu succes a misiunilor și pentru a face față provocărilor viitoare, cercetările militare s-au concentrat de zeci de ani pe eficiența echipelor și a echipamentelor. Armata, alături de comunitatea aviatică, a fost un lider în avansarea cercetărilor legate de dinamica și performanța echipelor, influențând direcția în care s-a dezvoltat „*știința echipei*” (Goodwin, 2018, p. 331).

Evenimente definitorii, cum au fost atacurile teroriste din 2001, au catalizat dezvoltarea capacităților de luptă în medii neconvenționale, dinamice și imprevizibile. Eforturile în acest sens au inclus de la dezvoltarea unor instrumente specifice pentru asamblarea echipelor de sprijin militar la investiții substanțiale în tehnologiile de instruire a echipelor (Ib., p. 328). Aceste progrese tehnologice au creat noi arene pentru competiția militară, cum ar fi spațiul cibernetic, au generat o dependență de superioritatea informațională ca avantaj strategic și au introdus roboți și sisteme software bazate pe inteligență artificială în medii de decizie și combat.

Un exemplu relevant este programul TADMUS (Tactical Decision Making Under Stress), care a investigat sistematic dinamica echipelor de luare a deciziilor sub stres, stimulând atât cercetarea militară, cât și pe cea non-militară (Goodwin, p. 328).

În prezent, utilizarea dronelor în conflictele militare, cum ar fi cel din Ucraina, a redefinit tacticile de război, oferind avantaje critice în supraveghere, atacuri precise, reacție rapidă și integrarea în rețele complexe de informații, reducând, totodată, riscurile și costurile asociate operațiunilor militare tradiționale (Barbu, 2024, p. 10).

În timp ce lumea comercială explorează conceptul de metavers, mediile sintetice utilizate de armatele din întreaga lume permit antrenamente militare complexe într-un mediu controlat. Aceste medii integrate cu tehnologii precum inteligența artificială, realitatea augmentată (RA) și simularea oferă forțelor armate un antrenament realist și eficient. În plus, infrastructura cloud securizată asigură protecția datelor și a informațiilor sensibile, aspect esențial în contextul antrenamentelor militare (Jungck, 2023, p. 1).

La nivel național, derularea unor programe de cercetare vizează dezvoltarea și implementarea unor noi standarde de interoperabilitate și securitate cibernetică. În acest sens, lipsa know-how-ului tehnologic din partea dezvoltatorilor poate avea implicații serioase pentru securitatea cibernetică a acestor sisteme (Vevera, 2018, p. 72). În cazul UAV-urilor, abordarea riscurilor cibernetice a condus la soluții digitale de tipul platformelor care asigură transportul de date critice în medii publice de telecomunicații, stocarea în cloud a datelor critice și accesul segregat la date prin tehnologii Blockchain inalterabile și criptare de nivel militar (DIGITALI, 2023, p. 1).

În concluzie, utilizarea UAV-urilor în operațiuni militare devine din ce în ce mai flexibilă și dinamică, fiind susținută de platforme multidimensionale care operează simultan pe teren, mare, aer și spațiu. Se dezvoltă noi tactici și metode de luptă, precum operarea coordonată a „avioanelor cu pilot și aeronave fără pilot”, dar și „roiuri” de drone, care contribuie la sporirea capacității de luptă a întregului sistem (Fan, 2020, p. 204). Proiectul HADRON, de exemplu, își propune să faciliteze utilizarea UAV-urilor prin scalabilitate și prin încorporarea algoritmilor de inteligență artificială pentru a reduce volumul de muncă al operatorilor, orientându-i către un rol de supraveghere (Casado Fauli, 2024, p. 4).

Cu toate acestea, revoluțiile militare necesită mai mult decât adoptarea pe scară largă a noilor tehnologii. Armatele trebuie să dezvolte noi concepte operaționale, să integreze capabilitățile tehnologice în sisteme militare complexe și să adapteze cultura și structura organizațională la aceste evoluții. O adevărată revoluție în afacerile militare implică atât inovații tehnologice, cât și o componentă doctrinară adaptată noilor realități ale câmpului de luptă (Barbu, 2024, p. 10).

Metaversul în industria 5.0: o abordare centrată pe om

În prezent, metaversul este considerat o tendință inevitabilă în procesul de informatizare socială și virtualizare, putând fi privit ca etapa finală a dezvoltării internetului. Concepte precum realitatea virtuală (RV), realitatea augmentată (RA), realitatea mixtă (RM) și realitatea extinsă (RX) formează împreună cadrul noii ere a interacțiunilor dintre lumea digitală și cea reală (Tang, 2024, p. 2). „A patra revoluție industrială”, începută în 2012, și tranziția acesteia către Industria 5.0 se caracterizează prin transformarea digitală a organizațiilor, bazată pe colaborarea mașină-mașină, conectivitate și facilitatori digitali precum internetul lucrurilor, Big Data, sisteme inteligente, cloud computing, virtualizare, robotică colaborativă și inteligență artificială (Moraru, 2024, p. 192).

Această tranziție aduce însă și riscuri emergente, care constituie o oportunitate pentru cercetarea proactivă în știința securității. Metaversul, prin fuziunea dintre real și virtual, oferă un potențial imens de a revoluționa nu doar industria, ci și sectorul serviciilor, prin crearea unor experiențe personalizate și îmbunătățirea eficienței operaționale. Sinergia perfectă dintre principiile Industriei 5.0, centrate pe om, și capacitatea metaversului de a aduce valoare personalizată reprezintă un fundament solid pentru dezvoltarea tehnologică viitoare (Mourtzis, 2023, p. 1110).

Pandemia de COVID-19 a accelerat migrarea vieții și a muncii către spațiile digitale, consolidând rolul metaversului în restructurarea interacțiunilor profesionale și sociale. Aceste lumi virtuale permit utilizatorilor, reprezentați de avatare (întruchipări digitale personalizate care le oferă acestora o prezență vizuală și interactivă în mediul virtual), să interacționeze între ei, să creeze și să consume conținut într-un mediu captivant, scalabil, sincron și persistent (Weinberger, 2022, p. 1). Integrarea tehnologiilor emergente precum interfețele creier-computer (BCI) în metavers promite să fuzioneze fără probleme experiențele virtuale cu capacitățile cognitive umane, facilitând interacțiuni mult mai complexe și personalizate (Mourtzis, p. 1107).

Prin detectarea și traducerea activității cerebrale în comenzi lizibile de computer, interfețele creier-computer au potențialul de a transforma radical modul în care oamenii interacționează cu tehnologia. Deși se află într-un stadiu incipient de dezvoltare, aceste tehnologii par promițătoare, oferind oportunități nelimitate de aplicare în diverse domenii, inclusiv în sănătate și în educație (Ib.).

Pentru a asigura o dezvoltare durabilă și o adoptare pe scară largă a acestor tehnologii, metaversul trebuie să prioritizeze constante xperiența utilizatorului, să protejeze drepturile fundamentale și să abordeze în mod proactiv provocările etice și de securitate asociate cu aceste medii virtuale (Ib.). O astfel de abordare

va fi esențială în construirea unui ecosistem digital sigur și incluziv, capabil să îmbunătățească interacțiunile umane și să prevină potențialele riscuri legate de protecți adatelor personale și de confidențialitate.

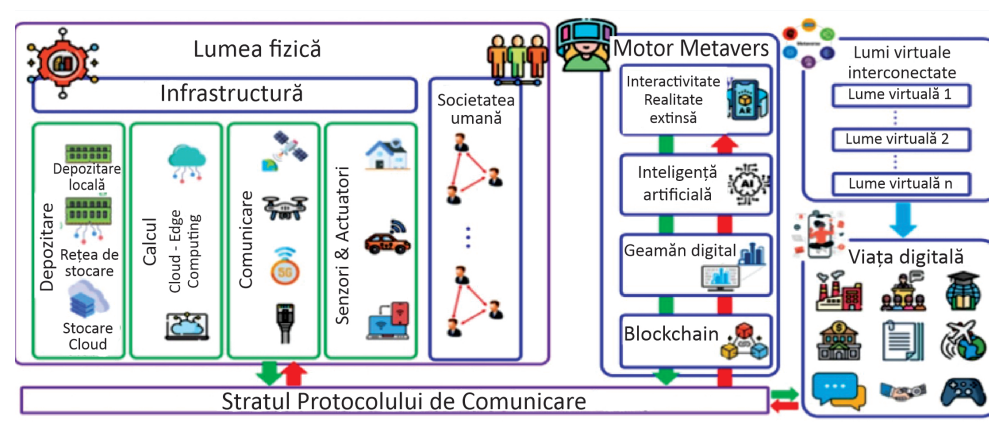


Figura 1: Cadrul tehnic pentru metaversul industrial
(Mourtzis, 2023)

În același timp, metaversul oferă un cadru ideal pentru cercetarea și testarea algoritmilor de inteligență artificială aplicați dronelor, accelerând, astfel, progresul tehnologic și aplicabilitatea acestuia în lumea reală. Proiectele recente, precum Fast Lightweight Autonomy (FLA) al DARPA și Agile Flight al Consiliului European de Cercetare, reflectă cursa accelerată pentru dezvoltarea și integrarea inteligenței artificiale în construcția dronelor complet autonome (Hanover, 2024, p. 17). În ciuda progreselor tehnologice semnificative, rămân provocări considerabile, inclusiv decalajul dintre performanțele dronelor în medii controlate și aplicațiile acestora în mediul real. Probleme precum siguranța operațională, generalizarea sarcinilor și adaptabilitatea la diverse medii de zbor necesită soluții inovatoare și cercetări aprofundate pentru a permite o tranziție fără probleme a dronelor autonome în aplicații comerciale și militare (Ib.).

Deși dronele autonome au demonstrat performanțe care depășesc abilitățile umane în condiții controlate, dezvoltatorii se confruntă cu necesitatea de a găsi soluții de compromis între siguranță și performanță, mai ales în cazul zborurilor agile. În acest context, accelerarea dezvoltării industriei de producție pentru sistemele avansate de UAV-uri va continua să faciliteze inovarea în aplicațiile tehnologice emergente, cum ar fi fabricarea aerospațială, utilizarea extinsă a inteligenței artificiale, rețelele de comunicații și materialele avansate (Fan, p. 204).

Pe măsură ce aceste tehnologii devin tot mai integrate în Industria 5.0, ele nu doar că vor transforma producția și logistica, dar vor deschide noi oportunități pentru inovare în lanțul valoric mediu și înalt, facilitând, astfel, o tranziție spre o producție inteligentă, eficientă și centrată pe om.

Tehnologii disruptive și tendințe emergente în cercetarea UAV

O analiză a tendințelor recente în cercetarea UAV, realizată în perioada 2020-2023, a evidențiat o concentrare semnificativă asupra dezvoltării unor instrumente de inteligență artificială sofisticate, capabile să îmbunătățească performanțele UAV-urilor în diverse domenii, cum ar fi detectarea obiectelor, planificarea optimă a traiectoriilor și execuția autonomă a misiunilor. Printre tehnologiile emergente identificate se numără IoT (4%), învățarea profundă (deep learning/DL, 8%), învățarea automată (machine learning/ML, 4%) și învățarea prin întărire (reinforcement learning/RL, 3%), care deschid noi posibilități pentru dezvoltarea unor sisteme autonome și inteligente (Telli, 2023, p. 5). Aceste tendințe indică un potențial transformativ considerabil al tehnologiilor UAV, cu aplicații în numeroase domenii, dar și cu provocări semnificative legate de complexitatea și securitatea acestor sisteme.

Pe măsură ce UAV-urile devin mai robuste și sunt utilizate pentru o gamă tot mai largă de scopuri, spațiul aerian se aglomerează tot mai mult. În acest context, inteligența artificială joacă un rol crucial în integrarea aeronavelor cu și fără pilot, facilitând partajarea sigură a spațiului aerian între utilizatori și implementarea avansată a serviciilor U-space, conform standardelor europene (EASA, 2024, p. 1). Această integrare este esențială pentru a asigura gestionarea eficientă a traficului aerian într-un mediu din ce în ce mai complex și competitiv.

Cu toate acestea, implementarea noilor tehnologii nu este lipsită de riscuri și provocări. Sistemele de învățare automată ridică probleme legate de complexitatea operațională și de securitatea cibernetică, iar implicațiile etice ale utilizării acestor tehnologii în context militar sau civil necesită o atenție deosebită. Pentru a garanta fiabilitatea și robustețea sistemelor de inteligență artificială în aceste domenii, o abordare hibridă care să combine modele de învățare automată (ML, DL) cu modele logice și bazate pe cunoștințe este recomandată. Acest tip de IA hibridă ar permite exploatarea atât a datelor, cât și a expertizei umane, asigurând o mai bună înțelegere a comportamentului sistemelor și o creștere a nivelului de încredere în deciziile luate de acestea (EASA, 2023, pp. 6-19).

În această direcție, inteligența artificială explicabilă (IAX) a devenit un domeniu esențial al cercetării, vizând nevoia de transparență și de înțelegere în procesele de luare a deciziilor automate. Sistemele IA care utilizează metode de învățare

profundă (DL) se bazează pe rețele neuronale multistrat pentru a rezolva probleme complexe, cum ar fi clasificarea obiectelor sau conducerea autonomă. Rolul explicabilității este de a oferi claritate asupra modului în care IA ajunge la anumite decizii, ceea ce îmbunătățește integrarea acestor tehnologii în sistemele de luptă aeriană, facilitând, astfel, deciziile tactice mai informate și progresul în strategia de luptă (Saldiran, 2024, p. 2).

Explicabilitatea acestor sisteme este esențială pentru a construi încrederea piloților și operatorilor UAV în deciziile luate de dronele autonome sau semiautonom. Această încredere este crucială pentru ca piloții să se poată concentra pe sarcini mai complexe și să ia decizii strategice superioare. Explicabilitatea permite utilizatorilor să construiască modele mentale mai detaliate ale funcționării IA, îmbunătățind, astfel, colaborarea om-IA și facilitând utilizarea dronelor autonome în medii de luptă complexe (Ib., p. 1).

Pe termen lung, se estimează că rețelele neuronale vor înlocui fiecare etapă a fluxului de navigație UAV, similar cu ceea ce s-a observat în viziunea computerizată și procesarea limbajului natural. Acest progres va necesita inovații substanțiale, inclusiv arhitecturi de calcul eficiente, strategii de preinstruire și adaptare rapidă la condiții imprevizibile (Hanover, 2024, p. 18). În acest context, simulatoarele de zbor au devenit un instrument esențial pentru pregătirea piloților de UAV și pentru testarea algoritmilor de control al dronelor autonome.

Astăzi, simulările fotorealiste, precum AirSim, FlightGoggles și Flightmare, reprezintă tehnologii avansate, care au accelerat cercetările în domeniul zborului autonom și care permit testarea unor scenarii complexe într-un mediu sigur și controlat (Ib., p. 13). Simulările bazate pe inteligență artificială utilizează tehnici precum învățarea profundă (DL) și învățarea prin întărire (RL), ceea ce le permite să modeleze cu precizie comportamentul dronelor în situații neprevăzute și diverse. Aceste tehnologii joacă un rol central în dezvoltarea dronelor complet autonome, fiind esențiale pentru optimizarea performanței și a siguranței acestora (Amarasooriya, 2024, p. 127).

În încercarea de a îmbunătăți interfețele de control pentru UAV-uri, s-au explorat tehnologii inovatoare, cum ar fi ecranele tactile, controlul bazat pe gesturi, recunoașterea vocală și realitatea augmentată (RA). Aceste soluții contribuie la îmbunătățirea interacțiunii utilizatorului cu drona și la creșterea conștientizării situației, sporind, astfel, eficiența operațională (Casado Fauli, p. 4).

În același timp, evoluția exponențială a domeniului inteligenței artificiale a dus la dezvoltarea unor programe de cercetare avansate care investighează aplicabilitatea vederii artificiale în controlul dronelor autonome. De exemplu, tehnologiile

de interfață creier-computer (BCI) testează moduri alternative de control al dronelor, permițând operatorilor să controleze UAV-urile prin comenzi generate direct din activitatea cerebrală. Testele recente au demonstrat o acuratețe de 95,5% în controlul unui quadcopter, însă această tehnologie nu a fost încă adoptată pe scară largă (Dumitrescu, 2021, p. 1).

Tehnologiile multidisciplinare vor continua să fie integrate în aplicarea UAV-urilor, iar inovațiile disruptive vor genera noi soluții pentru provocările actuale și viitoare. În cele din urmă, este esențial să se stabilească reguli clare pentru operarea UAV-urilor, inclusiv pentru roirile de drone autonome, pentru a asigura siguranța și securitatea operațională (Telli, p. 33). Aceste aspecte sunt fundamentale pentru o utilizare sigură și responsabilă a dronelor autonome, precum și pentru protejarea utilizatorilor și a spațiului aerian.

Vehicule aeriene fără pilot: implicații pentru securitatea și sănătatea în muncă, riscuri emergente și direcții de interes în cercetare

Introducerea continuă a noilor tehnologii și instrumente de lucru generează noi riscuri pentru sănătatea și siguranța lucrătorilor. Prin urmare, evaluarea riscurilor pentru securitatea și sănătatea în muncă trebuie să fie un proces dinamic și adaptativ, aliniat cu reglementările legislative actuale (EU-OSHA, 2021, p. 1). Studiile prospective realizate de EU-OSHA joacă un rol esențial în anticiparea acestor riscuri și în promovarea unei culturi de prevenire. Astfel, programele de instruire specifice trebuie să fie personalizate în raport cu nivelurile de calificare necesare pentru piloții de drone, variind în funcție de tipul de dronă, nivelul de autonomie și cazurile de utilizare specifice (Casado Fauli, p. 1).

Prioritățile de cercetare sunt dinamice. Confidențialitatea, securitatea și acceptarea au fost, în mod tradițional, principalele preocupări, deși acestea încep să cedeze în fața altor probleme emergente. De asemenea, înțelegerea impactului social al UAV-urilor, în special în ceea ce privește interacțiunile cu oamenii și problemele de reglementare, reprezintă o provocare cheie. Lacunele de cercetare identificate în literatura de specialitate cu privire la UAV-uri sunt legate, în principal, de aspectele organizaționale și de management, precum și de minimizarea riscurilor (Sequeira, pp. 11-13).

Figura 2 rezumă principalele domenii de cercetare relevante pentru UAV-uri și preocupările asociate acestora. Riscurile sunt frecvent identificate ca fiind rănirea piloților sau a publicului, încălcarea confidențialității, generarea de răspundere legală și daune aduse proprietăților, inclusiv UAV-urilor în sine. Aceste riscuri sunt interconectate și trebuie gestionate într-o manieră comprehensivă, luând în

considerare factori multipli, care influențează întreaga structură de management al riscurilor (Sequeira, pp. 11-13).

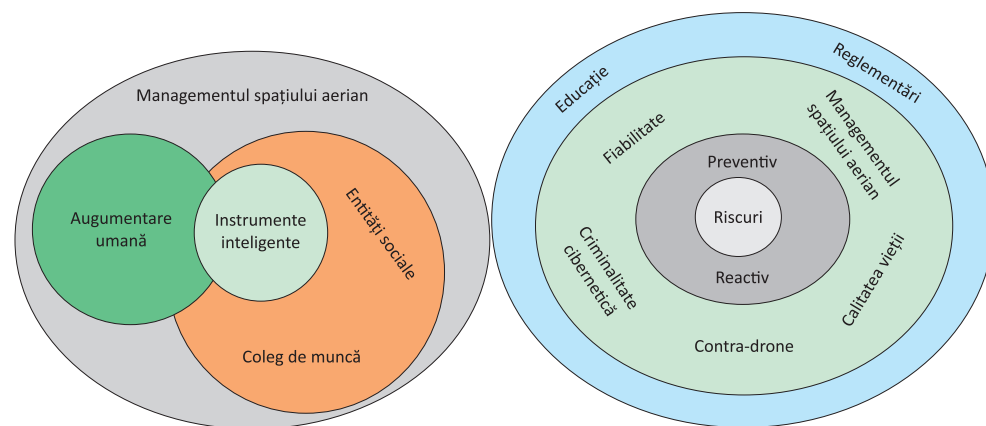


Figura 2: Direcții de cercetare explorate în domeniul UAV

(Sequeira, 2023)

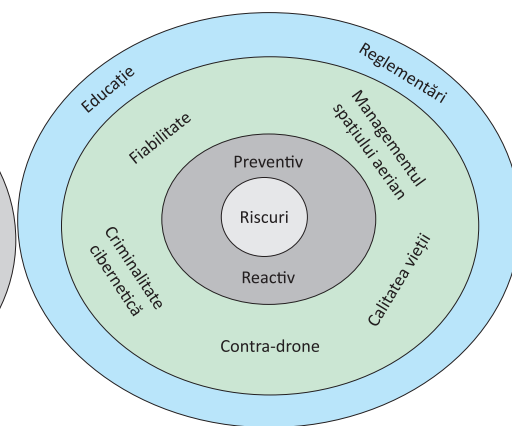


Figura 3: Niveluri de gestionare a riscurilor asociate UAV

În plus, metaversul, un spațiu definit de tehnologii RX (realitate virtuală și realitate extinsă), introduce riscuri noi pentru securitatea și sănătatea lucrătorilor, similare celor întâlnite în mediile virtuale. Printre acestea se numără nevoia de a învăța noi abilități și de a interacționa cu echipamente noi, precum și riscuri psihosociale, cum ar fi stresul generat de izolarea socială și interacțiunile cu și între avatare (Grassini, 2024, p. 1). De asemenea, contaminarea potențială cu agenți patogeni ai echipamentului purtat de utilizatorii de realitate virtuală (HMD-uri) reprezintă un risc biologic, iar riscurile etico-juridice sunt asociate cu caracterul nereglementat al tehnologiei și vulnerabilitățile sale legate de confidențialitate și securitate (EU-OSHA, 2024, pp. 1-3, 7-8).

DIRECȚII VIITOARE DE CERCETARE

Noua paradigmă a formării piloților de vehicule aeriene fără pilot nu reprezintă doar o extindere a practicilor existente în aviație, ci definește o disciplină distinctă, care necesită o înțelegere detaliată a complexităților tehnologice, a cadrelor de reglementare și a impactului procesului de formare asupra sănătății ocupaționale. Simulatoarele avansate (Amarasooriya, p. 127), în combinație cu mediile sintetice și realitatea augmentată, oferă soluții de instruire cu un grad de imersiune și interactivitate fără precedent, pregătind operatorii pentru provocările viitorului spațiu aerian și asigurând excelența operațională (Wiegand, 2023, p. 1).

Deși piloții de UAV adoptă în mod frecvent practici de siguranță, pericolele asociate utilizării sistemelor aeriene fără pilot în timpul instruirii și operațiunilor rămân insuficient documentate în literatură, necesitând cercetări suplimentare (Rahmani, 2023, pp. 63-64). În acest context, considerăm că este necesară o revizuire dinamică a standardelor și procedurilor de siguranță pentru a ține pasul cu noile provocări tehnologice și operaționale.

Studiul curent nu are ca scop oferirea unui plan de acțiune exhaustiv, dar subliniază necesitatea unei abordări bazate pe date concrete și pe reformarea politicilor din domeniul securității și sănătății ocupaționale. Utilizarea metodologiei PRISMA pentru filtrarea literaturii disponibile arată clar necesitatea unei gestionări proactive a riscurilor asociate acestor tehnologii în continuă evoluție.

Direcțiile viitoare de cercetare ar trebui să se concentreze pe evaluarea instrumentelor actuale utilizate pentru analiza efectelor mediilor virtuale asupra piloților de UAV, investigarea celor mai bune practici în recrutare și formare, precum și examinarea provocărilor etice legate de utilizarea interfețelor om-UAV și a tehnologiilor inteligente.

Provocările tehnologice aduse de noile interfețe și sistemele autonome trebuie, de asemenea, explorate pentru a asigura o integrare sigură și eficientă a UAV-urilor în diferite domenii de activitate. Cercetările viitoare vor trebui să abordeze în mod special riscurile pentru sănătatea și securitatea ocupațională în acest context de dezvoltare rapidă a tehnologiilor disruptive.

CONCLUZII

Contribuția originală acestei cercetări constă în realizarea unei sinteze critice a literaturii existente, identificând punctele slabe și necesitatea dezvoltării unor instrumente de evaluare a riscurilor integrate în platformele UAV, precum și a unor modele educaționale bazate pe simulări de realitate augmentată și virtuală. Aceste modele pot fi utilizate pentru formarea piloților într-un mod sigur și eficient.

Lucrarea de față identifică lacune semnificative în literatura de specialitate, în special în ceea ce privește siguranța și sănătatea ocupațională a piloților de vehicule aeriene fără pilot. Analiza evidențiază lipsa unor studii empirice privind riscurile emergente asociate operării UAV-urilor și subliniază importanța integrării tehnologiilor emergente în procesul de instruire pentru a atenua aceste riscuri. Această abordare oferă o bază solidă pentru formularea unor politici și recomandări menite să îmbunătățească siguranța ocupațională și să contribuie la crearea unui cadru de reglementare robust.

Pe măsură ce tehnologia de instruire în aviație evoluează, formarea piloților de UAV-uri întâmpină un set unic de provocări, în special în ceea ce privește aspectele de reglementare, progresele tehnologice și managementul riscurilor operaționale. Ritmul rapid al inovației depășește deseori dezvoltarea protocoalelor standardizate de formare. În plus, percepția publicului asupra utilizării sistemelor aeriene fără pilot și responsabilitatea socială a operatorilor joacă un rol esențial în stabilirea unui cadru etic pentru aceste tehnologii.

Transformarea digitală nu ar trebui analizată doar prin prisma creșterii eficienței productive, ci și din perspectiva noilor roluri profesionale și a necesității de învățare continuă. Tehnologiile emergente, precum IoT, Big Data, cloud computing, sisteme aeriene fără pilot și metavers, redefinesc interactivitatea dintre factorul uman și tehnologie în medii caracterizate de volatilitate, incertitudine, complexitate și ambiguitate (VUCA). Încorporarea digitalizării deschide noi oportunități de inovare și optimizare, oferind soluții pentru prevenirea riscurilor ocupaționale și îmbunătățirea siguranței și sănătății în medii complexe.

BIBLIOGRAFIE:

1. Achimowicz, J.Z. (2024). *Autonomic Drones with Quantum Computing Artificial Intelligence?* DOI: 10.13140/RG.2.2.12642.71364, accesat la 22 august 2024.
2. Amarasooriya, S. (2024). *Mathematical and Machine Learning Based Methods for UAV Simulation: A Systematic Literature Review*, <https://doi.org/10.5281/zenodo.1108448>, accesat la 5 august 2024.
3. Badea, L. (2023). *Tehnici avansate de Inteligență Artificială în știință și domenii aplicative*, <https://ici.ro/ro/proiecte-in-derulare/program-nucleu-future-tech-2023-2026/>, accesat la 20 august 2024.
4. Barbu, F.M. (2024), <https://gmr.mapn.ro/webroot/fileslib/upload/files/arhiva%20GMR/2024/2/BARBU.pdf>, accesat la 6 august 2024.
5. Botezatu, U.E. (2024). *Cyber Orbits: The Digital Revolution of Space* (Security National Security in the Digital and Information Age, Sally Burt editor, on-line), <https://www.intechopen.com/online-first/1175598>, p. 6, DOI: 10.5772/intechopen.1005235, accesat la 1 octombrie 2024.
6. Casado Fauli, A.M (2024). *HADRON: Human-friendly Control and Artificial Intelligence for Military Drone Operations*, <https://arxiv.org/html/2408.07063v1>, accesat la 21 august 2024.
7. Christenko, A. (2022). *European Agency for Safety and Health at Work. Artificial intelligence for worker management: risks and opportunities*, https://osha.europa.eu/sites/default/files/documents/ai-worker-management_en.pdf, accesat la 5 august 2024.
8. DIGITALI (2023), <https://digitalio.ro/2023/10/30/oves-enterprise-lanseaza-o-platforma-de-secu-ritate-pentru-retele-de-drone-si-avioane-bazata-pe-blockchain-si-ai/>, accesat la 5 august 2024.
9. Dumitrescu, C. (2021). *Using Brain-Computer Interface to Control a Virtual Drone Using Non-Invasive Motor Imagery and Machine Learning*, accesat la 21 august 2024.
10. EASA (2023). *Artificial Intelligence Roadmap 2.0 Human-centric approach to AI in aviation*, European Union Aviation Safety Agency, <https://www.easa.europa.eu/en/document-library/general-publications/easa-artificial-intelligence-roadmap-0#:~:text=The%20EASA%20Artificial%20Intelligence%20Roadmap,deliverables%20and%20anticipated%20rulemaking%20activities>, accesat la 22 august 2024.
11. EASA (2024). *Artificial Intelligence and Aviation*, europa.eu, accesat la 7 august 2024.
12. EU OSHA (2021-2027). *Cadrul strategic al UE privind sănătatea și siguranța la locul de muncă*, <https://osha.europa.eu/ro/safety-and-health-legislation/eu-strategic-framework-health-and-safety-work-2021-2027>, accesat la 21 august 2024.
13. Eibin, M. (2021). *Survey of RPAS Autonomous Control Systems Using Artificial Intelligence*, IEEE Access.
14. Fan, B. (martie 2020). *Review on the Technological Development and Application of UAV Systems*. În *Chinese Journal of Electronics*, vol. 29, nr. 2.
15. Gaurav, S. (2018). *Unmanned aerial vehicle classification, applications and challenges: A review*. Preprints v1, <https://doi.org/10.20944/preprints201811.0601>, accesat la 22 august 2024.
16. Goodwin, G.F. (2018). *The Science of Teams in the Military: Contributions from over 60 Years of Research* (In the public domain), vol. 73, nr. 4, pp. 322-333. American Psychological Association, <http://dx.doi.org/10.1037/amp000025>, accesat la 5 august 2024.
17. Grassini, S. (2024). *Worker exposure to virtual and augmented reality and metaverse technologies: how much do we know?*, EU OSHA, https://osha.europa.eu/sites/default/files/documents/worker-exposure-virtual-reality_discussion_paper_EN.pdf, accesat la 4 august 2024.
18. Hanover, D. (2024). *Autonomous Drone Racing: A Survey*, IEEE, <https://ardupilot.org/>, <https://px4.io/>, accesat la 22 iulie 2024.
19. Jungck, P. (2023), <https://www.baesystems.com/en-us/feature/the-future-of-military-training-synthetic-environments-and-the-military-metaverse>, accesat la 11 august 2024.
20. Kim, J. (2022). *Bridging Human Intelligence and Artificial Intelligence. Augmented Intelligence: Enhancing Human Decision Making*, pp. 151-170. Springer.
21. Moraru, R.I. (2024). *Challenges and opportunities in occupational health and safety digitalization*, în *Digital Transformation*, Seria: Intelligent Systems Reference Library, Booksubttitle: Technology, Tools, and Studies, pp. 189-213, editori Lucian-Ionel Cioca,

- Larisa Ivașcu, Florin Gheorghe Filip, Doina Banciu; SPRINGER Publishing House, eBook ISBN: 978-3-031-55952-5; ISSN: 1868-4394, Hardcover ISBN: 978-3-031-55951-8, <https://doi.org/10.1007/978-3-031-55952-5>, accesat la 22 august 2024.
22. Mourtzis, D. (2023). *The Metaverse in Industry 5.0: A Human-Centric Approach towards Personalized Value Creation*, <https://doi.org/10.3390/encyclopedia3030080>, accesat la 2 august 2024.
 23. NIOSH (2024). *Robotics in the Workplace: An Overview*, <https://www.cdc.gov/niosh/robotics/about/>, accesat la 22 august 2024.
 24. Rahmani, H. (2023). *Working under the Shadow of Drones: Investigating Occupational Safety Hazards among Commercial Drone Pilots*, DOI:10.1080/24725838.2023.2251009, accesat la 22 august 2024.
 25. Rao, A.S. (2017). *Sizing the prize – What’s the real value of AI for your business and how can you capitalise?*, <https://www.pwc.com/gx/en/issues/analytics/assets/pwc-ai-analysis-sizing-the-prize-report.pdf>, accesat la 5 august 2024.
 26. Rosen, P.H. (2022). *Artificial intelligence, advanced robotics and the automation of tasks at work: taxonomy, policies and strategies in Europe*, https://osha.europa.eu/sites/default/files/AI-based-systems_EN.pdf, accesat la 22 iunie 2024.
 27. Saldiran, E. (2024). *Towards Global Explainability of Artificial Intelligence Agent Tactics in Close Air Combat*, <https://doi.org/10.3390/aerospace11060415>, accesat la 22 august 2024.
 28. Sequeira, J.S. (2023). *Unmanned aerial vehicles: implications for occupational safety and health*, https://osha.europa.eu/sites/default/files/Unnamed-aerial-vehicles-and-OSH_en.pdf, EU-OSHA, accesat la 22 august 2024.
 29. Tang, Y. (2024). *The application of metaverse in occupational health*, doi: 10.3389/fpubh.2024.1396878, accesat la 5 august 2024.
 30. Telli, K. (2023). *A Comprehensive Review of Recent Research Trends on Unmanned Aerial Vehicles (UAVs)*, <https://doi.org/10.3390/systems11080400>, accesat la 22 august 2024.
 31. Vevera, A.V. (2018). *Factorul uman vs. securitatea cibernetică/Human resource vs. cybersecurity*, doi: 10.13140/RG.2.2.28728.62722, accesat la 22 august 2024.
 32. Vevera, A.V. (2023). *Sisteme de comunicație reziliente și interoperabile bazate pe tehnologii distribuite și identitate digitală auto-suverană (RoDID)*, <https://ici.ro/ro/proiecte-in-derulare/program-nucleu-future-tech-2023-2026/>, accesat la 5 august 2024.
 33. Weinberger, M. (2022). *What is Metaverse? A Definition Based on Qualitative Meta-Synthesis*, <https://doi.org/10.3390/fi14110310>, accesat la 22 august 2024.
 34. Wiegand R. (2023), <https://www.baesystems.com/en/project-odyssey-to-form-backbone-of-new-military-training-collaboration>, accesat la 27 august 2024.
 35. Williams, K.W. (2023). *Air Carrier Operations Survey: Training Requirements*, pp. 6. 24, 25; FFA, DOT/FAA/AM-23/09, Aviation Safety, Office of Aerospace Medicine, Washington, D.C. 20591, https://www.faa.gov/data_research/research/med_humanfacs/oamtechreports/media/UAS%20Air%20Carrier%20Operations%20Survey-Training%20Requirements_0_0.pdf, accesat la 4 august 2024.