

Proces sertifikacije autonomnih rešenja za pretpoletni pregled aviona - primer autonomnog drona

DUNJA V. SAVIĆ, Univerzitet u Beogradu,

Saobraćajni fakultet, Beograd

ORCID: 0009-0009-2022-7230

LIDIJA M. TOMIĆ, Direktorat civilnog vazduhoplovstva

Republike Srbije, Beograd

ORCID: 0000-0002-1480-5948

OLJA V. ČOKORILO, Univerzitet u Beogradu,

Saobraćajni fakultet, Beograd

ORCID: 0000-0002-3871-504X

LJUBIŠA S. VASOV, Univerzitet u Beogradu,

Saobraćajni fakultet, Beograd

ORCID: 0000-0001-5711-1471

BRANIMIR B. STOJILJKOVIĆ, Univerzitet u Beogradu,

Saobraćajni Fakultet, Beograd

ORCID: 0000-0002-4354-4070

Stručni rad

UDC: 656.73.017:629.014.9

DOI: 10.5937/tehnika2506641S

Rad se bavi istraživanjem procesa sertifikacije autonomnih dronova za pretpoletni pregled aviona prema evropskom regulatornom okviru. Detaljno su prikazane faze sertifikacije, uz naglašene izazove i predloge za unapređenje procesa, sa posebnim osvrtom na probleme upravljanja u složenom aerodromskom okruženju. Kao glavna preporuka definisana je potreba za boljom saradnjom između regulatornih tela i avioindustrije. Kroz studiju slučaja predstavljena je primena autonomnog drona u pretpoletnom pregledu, kroz sve faze – od planiranja pregleda i provere sistema, do automatskog izvršavanja pregleda i prikupljanja podataka, čime se omogućava kompletan uvid u stanje aviona.

Ključne reči: sistem bespilotnih vazduhoplova UAS, pretpoletni pregled, autonomni dron, vazduhoplov

1. UVOD

Tehnološki napredak u vazduhoplovstvu sve više oblikuju savremeni softverski sistemi i veštačka inteligencija, omogućavajući razvoj autonomnih rešenja u brojnim procesima. Među najznačajnijim inovacijama poslednjih godina su autonomni sistemi, uz korišćenje naprednih algoritama, senzora i tehnologija, odnosno veštačke inteligencije i mašinskog učenja. Ovi sistemi omogućavaju efikasnije reagovanje u realnom vremenu, prilagođavajući svoje ponašanje dinamičkim promenama u okruženju.

Jedan od najperspektivnijih autonomnih sistema u vazduhoplovstvu trenutno je sistem bespilotnih vazdu-

hoplova (eng. Unmanned Aircraft System - UAS), opšte poznat kao dron koji je zapravo centralni deo sistema. Dronovi su u mogućnosti da obavljaju složene zadatke, poput nadzora i inspekcija, nošenja/izbacivanja korisnog tereta (kao na primer u aktivnostima gašenja požara), ali i transporta robe i lica, povećavajući efikasnost operacija, naročito u uslovima gde je pristup otežan.

Sa tehnološkim napretkom povećan je i stepen autonomije dronova. Uz tehnologije kao što su GPS, LIDAR i radari, autonomni dronovi mogu planirati rute, izbegavati prepreke i prilagođavati se preprekama/zahtevima okruženja. Značaj autonomne tehnologije ogleda se u njenom potencijalu da reši aktuelne izazove u vazduhoplovstvu, kao što su redukcija ljudskih grešaka, povećanje bezbednosti i smanjenje troškova operacija. Pretpoletni pregled aviona predstavlja proces koji zahteva visok nivo preciznosti, a uvođenje autonomnih dronova u ovaj proces donosi značajne

Adresa autora: Dunja Savić, Univerzitet u Beogradu,
Saobraćajni fakultet, Beograd, Vojvode Stepe 305

e-mail: dunja.savic.student.23d005@sf.bg.ac.rs

Rad primljen: 18.10.2024.

Rad prihvaćen: 23.10.2025.

prednosti u pogledu efektivnosti i efikasnosti samog pregleda, odnosno bezbednosti letenja uz skraćanje vremena zadržavanja aviona na zemlji.

Cilj rada je definisanje procesa sertifikacije autonomnih dronova za pretpoletni pregled aviona, primenom aktuelne regulative i analizom studije slučaja za operativnu implementaciju.

2. DRON KAO AUTONOMNO REŠENJE ZA PRETPOLETNI PREGLED AVIONA

Pregled strukture i stanja aviona ključan je za bezbednost, produženje radnog veka i pouzdanosti aviona. Redovni pregledi obavljaju se prema instrukcijama proizvođača i procedurama operatera aviona, i vezani su za vremenski definisane provere (poput dnevnih, nedeljnih i godišnjih provera vazduhoplova) ili za operacije aviona što podrazumeva i pretpoletne preglede. Vanredni pregledi obavljaju se po potrebi (nakon određenih događaja poput udara groma, i sl) ili u okviru vanrednih pregleda. Licencirani aviomehaničari i posada aviona obavljaju pretpoletne preglede radi verifikacije bezbednog stanja za let. Ovi pregledi su detaljno opisani i definisani u tehničkoj dokumentaciji, kao što je POH (eng. Pilot Operating Handbook).

Održavanje vazduhoplova obavljaju ovlašćene organizacije (eng. Approved Maintenance Organization - AMO) u skladu sa nacionalnom i međunarodnom regulativom, kao i sa procedurama sistema upravljanja bezbednošću (eng. Safety Management System – SMS) koji definiše procese za identifikaciju hazarda i procenu rizika. Vizuelni pregledi se fokusiraju na identifikaciju nepravilnosti poput pukotina i korozije, koje mogu nastati usled udara ptica, groma ili grada, itd. U ovom kontekstu, slike visoke rezolucije su od ključne važnosti, ali ograničeni pristup može smanjiti efikasnost tradicionalnih metoda pregleda.

Primena bespilotnih vazduhoplova (UAS) postaje značajna u pregledu aviona, naročito u „Aviation 4.0“ hangarima, gde su integrisani sa „Internet of Things (IoT)“ tehnologijama. Dronovi omogućavaju brže i preciznije preglede, uz smanjenu potrebu za specijalizovanom opremom. Ipak, prisutni su tehnički izazovi poput: dizajna, upravljanja, pouzdanosti senzora i algoritama, integracije sa postojećim sistemima i ograničenog trajanja baterije. Dronovi moraju bezbedno funkcionisati u blizini ostale opreme i moraju se zaštititi od „sajber“ napada, a takođe, moraju se lako prilagoditi na iznenadne promene operativnih uslova.

Uprkos izazovima, primena drona u pretpoletnom pregledu aviona ima velike prednosti u efikasnosti i smanjenju troškova. Prvi korak u integraciji ovakvih rešenja u postojeći sistem odnosi se na demonstraciju usaglašenosti sa relevantnim zahtevima vazduho-

plovne industrije. U nastavku je analiziran proces sertifikacije autonomnih dronova prema zahtevima postojećeg regulatornog okvira.

3. CERTIFIKACIJA AUTONOMNIH DRONOVA: PROCESI, IZAZOVI I PREPORUKE ZA UNAPREĐENJE

Sertifikacija autonomnih dronova je ključni proces koji osigurava da svaki dron ispunjava sve tehničke, bezbednosne i operativne standarde pre nego bude odobren za upotrebu. Na nivou Evropske unije, ovaj proces je regulisan pre svega kroz uredbe i tehničke zahteve koji su doneti od strane Evropske komisije i Agencije Evropske unije za bezbednost vazdušnog saobraćaja (eng. European Union Aviation Safety Agency - EASA). Prikaz faza sertifikacije dat je na slici 1.

Aktuelni regulatorni okvir na nivou Evropske unije koji se odnosi na bespilotne vazduhoplove obuhvata nekoliko ključnih uredbi, među kojima su Uredba (EU) 2018/1139 koja postavlja osnovu za regulisanje civilnog vazduhoplovstva, kao i Uredbe (EU) 2019/947 i 2019/945 koje preciziraju tehničke i operativne zahteve za UAS [2, 3, 4, 5, 6].



Slika 1 - Koraci sertifikacije autonomnih dronova prema evropskom regulatornom okviru, izvor: autori

Dodatno, Evropska komisija definisala je regulatorni okvir koji uključuje Uredbe (EU) 2024/1107 i (EU) 2024/1108, kao i Uredbe (EU) 2024/1109 i (EU) 2024/1110) za početne zahteve plovidbenosti za sisteme bespilotnih vazduhoplova koji podležu sertifikaciji, i kontinuiranu plovidbenost bespilotnih vazduhoplova namenjenih da obavljaju operacije u određenoj kategoriji definisanoj prema nivou rizika operacija.

Potrebno je napomenuti i da analiza regulatornog okvira na predmetnu temu prvobitno zahteva razmatranje stepena autonomnosti drona. Svakako, zahtevi u slučaju potpune autonomije moraju biti strožiji. Za potrebe pretpoletnog pregleda aviona dronom, standardna procedura pregleda može biti programirana kao autonoman let, međutim, zbog samog operativnog okruženja koje može podrazumevati prisustvo drugih aviona u okruženju, može se očekivati da softversko rešenje ipak omogućava da operator drona može u svakom momentu da preuzme kontrolu nad dronom i spreči neželjene događaje [1].

Prvi korak u procesu sertifikacije podrazumeva podnošenje prijave nadležnom regulatornom telu, EASA. Proizvođač dostavlja sveobuhvatnu tehničku dokumentaciju koja sadrži informacije o dizajnu, planiranoj nameni drona, inženjerskim analizama i proceni rizika. Ova dokumentacija omogućava EASA da proceni usaglašenost drona sa tehničkim i bezbednosnim zahtevima. Član 55 Uredbe (EU) 2018/1139 definiše osnovne tehničke i operativne standarde koje je potrebno ispuniti [1, 2, 3].

Druga faza sertifikacije uključuje tehničku evaluaciju i procenu rizika operacija drona. Prema članu 17 Uredbe (EU) 2019/945, EASA procenjuje tehničku dokumentaciju i sprovodi testiranja u operativnim uslovima. Cilj procene rizika je identifikacija i analiza potencijalnih hazarda (opasnosti), kao i predlog mitigacionih mera. Ova faza može uključiti testiranje prototipa i simulaciju različitih scenarija kako bi se proverila usaglašenost sa bezbednosnim standardima, a u skladu sa članovima 11 i 12 Uredbe (EU) 2019/947 [2, 3].

Treća faza sertifikacije predstavlja proveru usaglašenosti sa standardima. Proizvođač je u obavezi da dokaže da UAS ispunjava sve tehničke zahteve definisane Uredbom (EU) 2019/945. Ova faza obuhvata izdavanje CE oznake, koja potvrđuje da je dron u skladu sa primenjivim evropskim tehničkim standardima. Prema članu 18 Uredbe (EU) 2019/945, ova faza uključuje proveru performansi drona i izdavanje deklaracije o usaglašenosti [3].

Poslednja faza u procesu sertifikacije podrazumeva izdavanje sertifikata o plovidbenosti ili operativne dozvole, nakon što se potvrdi da je dron

usaglašen sa svim tehničkim i bezbednosnim standardima. U nekim slučajevima, prema Prilogu I Uredbe (EU) 2024/1108, mogu se zahtevati dodatna testiranja u stvarnim operativnim uslovima. Takođe, specifične operacije UAS mogu zahtevati posebna operativna odobrenja u skladu sa članovima 5 i 6 Uredbe (EU) 2019/947 [2, 4].

Iako EASA izdaje sertifikate na nivou EU, ključnu ulogu u sprovođenju relevantnog regulatornog okvira imaju i nacionalne civilne vazduhoplovne vlasti (eng. Civil Aviation Authority – CAA). CAA sprovode nadzor nad operacijama dronova na lokalnom nivou i izdaju nacionalne sertifikate o plovidbenosti, čime obezbeđuju da su operacije u skladu sa važećim regulatornim okvirom [1, 7].

Uredbe Evropske komisije (EU) 2024/1107 i 2024/1108 donose unapređenja u vezi sa plovidbenošću i sertifikacijom UAS. Ove uredbe uvode nova pravila koja se odnose na bezbednost podataka, zaštitu privatnosti i interoperabilnost sistema. Takođe, one donose inovacije u vezi sa sposobnošću dronova da izbegnu prepreke, čime se povećava nivo bezbednosti u operativnom okruženju [3, 4, 5].

Uloga proizvođača i regulatornih tela u procesu sertifikacije autonomnog drona je ključna i potrebno je da bude jasno definisana kroz različite faze procesa, definisane uredbama (EU) 2019/945 i 2019/947. Proizvođači su odgovorni za tehnički razvoj, testiranje i ispunjavanje svih standarda, dok regulatorna tela postavljaju i nadgledaju primenu navedenih standarda, odnosno sprovode procedure sertifikacije. Saradnja proizvođača i regulatornih tela obezbeđuje da dronovi koji dobiju sertifikat budu bezbedni i operativni u skladu sa svim relevantnim propisima. Regulatorna tela takođe vrše revizije, proveru i nadzor u svim fazama procesa sertifikacije. Ključna odgovornost regulatornih tela je da omogući da dronovi koji dobiju sertifikat mogu bezbedno i efikasno da funkcionišu u predviđenom operativnom okruženju [2, 3].

Iako sertifikacija omogućava da autonomni dronovi zadovoljavaju tehničke i bezbednosne standarde, izazovi u operativnoj primeni zahtevaju dodatne preporuke i prilagođavanja kako bi se obezbedila dugoročna efikasnost i pouzdanost ovih sistema. Primena autonomnih dronova u pretpoletnom pregledu donosi značajne prednosti, ali je neophodno uzeti u obzir i brojne izazove.

Aerodromi su dinamična okruženja, što može otežati autonomno upravljanje dronom usled prisustva drugih vazduhoplova, vozila i tehničkog osoblja. Takođe, osetljivost na vremenske uslove, poput vetra i padavina, može uticati na stabilnost letenja i preciznost podataka. Održavanje dronova je još jedan izazov koji zahteva redovno čišćenje i kalibraciju senzora i

kamera, jer se njihova preciznost može redukovati usled nečistoća ili habanja. Vek trajanja baterije takođe ograničava vreme letenja, što može predstavljati problem tokom pretpoletnog pregleda većih vazduhoplova. Uvođenje autonomnih dronova zahteva i prilagođavanje tehničkih timova za izvođenje operacija. Neophodna je obuka osoblja za upravljanje i održavanje dronova, kao i za analizu prikupljenih podataka. Dronovi predstavljaju dodatak tradicionalnim metodama pregleda, a ne njihova zamena, jer su mehaničari nezamenljivi u slučaju složenijih popravki.

Jedan od glavnih koraka ka unapređenju sertifikacionih procesa je i poboljšanje saradnje između regulatornih tela i industrije. Efikasna komunikacija između regulatora i proizvođača ključna je za brzu identifikaciju potencijalnih problema i njihovo proaktivno rešavanje. Rano uključivanje svih zainteresovanih strana omogućava bržu razmenu informacija i efikasnije donošenje odluka.

Uz to, unapređenje metoda testiranja i validacije autonomnih sistema može značajno doprineti ubrzanju sertifikacionih procesa. Korišćenje simulacija u realnom vremenu, kao i drugih savremenih metoda omogućava rigorozno testiranje sistema pre operativne upotrebe. Investiranje u istraživanje i razvoj novih metodologija za sertifikaciju, takođe može poboljšati procese. Osim toga, modularni pristup sertifikaciji, gde se različiti delovi autonomnog sistema sertifikuju nezavisno, može ubrzati celokupan proces. Dodatno, digitalizacija i automatizacija sertifikacionih procesa, kroz korišćenje digitalnih platformi i automatizovanih alata za proveru usklađenosti, može značajno smanjiti vreme potrebno za sertifikaciju i mogućnost pojave ljudske greške. Nakon što autonomni dronovi budu sertifikovani, ključno je kontinuirano praćenje njihovih performansi u operativnim uslovima. Ovo omogućava pravovremenu identifikaciju problema i implementaciju neophodnih mera za unapređenje sistema, čime se održava visok nivo bezbednosti i pouzdanosti.

Uvođenjem navedenih preporuka, proces sertifikacije autonomnih dronova može biti značajno unapređen, omogućavajući bržu integraciju ovih tehnologija u vazduhoplovnu industriju.

4. PRIMENA AUTONOMNOG DRONA U PRETPOLETNOM PREGLEDU AVIONA - STUDIJA SLUČAJA

Autonomni dronovi postaju sve značajniji alat u vazdušnom saobraćaju koji omogućavaju precizniji i brži pregled aviona, posebno u fazi pretpoletnog pregleda. Međutim, pre primene autonomnih dronova u operativnim uslovima, neophodno je da se izvrši proces sertifikacije, kako bi se osiguralo ispunjenje svih tehničkih, bezbednosnih i operativnih standarda

definisanih regulatornim okvirom. U nastavku je prikazana procedura primene sertifikovanog autonomnog drona u pretpoletnom pregledu aviona, uz analizu ključnih koraka u sertifikaciji i tehničkih karakteristika drona sa ciljem da se istaknu prednosti koje ovakva tehnologija može doneti vazduhoplovnoj industriji.

Pretpoletni pregled aviona je ključni deo bezbednosnih procedura koji se obavlja pre svakog leta kako bi se osiguralo da je avion u ispravnom operativnom tehničkom stanju. Ovaj proces obuhvata detaljan pregled unutrašnjih i spoljašnjih delova aviona, uključujući kokpit, trup, krila, stajni trap i repne površine. Takođe se proveravaju dodatne komponente kao što su antene, senzori i bezbednosni uređaji. Tradicionalno, ove preglede sprovodi tehničko osoblje, ali s obzirom na značajan razvoj autonomnih tehnologija, javlja se tendencija upotrebe autonomnih dronova za navedene zadatke.

Upotreba autonomnog drona u pretpoletnom pregledu aviona donosi značajne prednosti. Dronovi omogućavaju brže, preciznije i bezbednije preglede, posebno kada se radi o teško pristupačnim delovima aviona, poput gornjih delova trupa ili horizontalnih repnih površina. Pored navedenog, na ovaj način smanjuje se mogućnost ljudske greške jer je moguće doneti objektivne procene. Na slici 2 je prikazan autonomni dron u toku pregleda spoljašnjeg dela aviona.



Slika 2 - Autonomni dron u fazi pregleda vazduhoplova, izvor: [19]

Dron je opremljen kamerama visoke rezolucije koje omogućavaju vizuelni pregled spoljnog dela aviona kao što su: krila, trup, motor i stajni trap. Kamere su sposobne da detektuju oštećenja poput udubljenja, pukotina, korozije ili nečistoća koje mogu uticati na bezbednost letenja. Dron koristi kombinaciju GPS, LIDAR i naprednih algoritama za autonomno upravljanje oko aviona. Zahvaljujući ovim sistemima, dron može precizno manevrisati oko svih delova strukture vazduhoplova, izbegavati prepreke i postizati optimalnu poziciju tokom pregleda kritičnih tačaka. Slika 3 prikazuje tehničku opremu autonomnog drona, uključujući senzore i softverski prikaz (interfejs) za

kontrolu i analizu podataka tokom pregleda. Jedna od ključnih karakteristika ovog drona je sposobnost da prikupljene podatke obrađuje i analizira u realnom vremenu. Softver koji je integrisan sa dronom automatski obrađuje slike i podatke prikupljene tokom pregleda, upoređujući ih sa unapred definisanim bezbednosnim parametrima. Na ovaj način se odmah detektuju nepravilnosti koje bi mogle ugroziti bezbednost aviona. Ovi podaci se beleže i skladište, omogućavajući mehaničarima da ih kasnije detaljno analiziraju. Iako je dron osmišljen da radi potpuno autonomno, u određenim situacijama operateri mogu preuzeti kontrolu nad dronom. Ova opcija je ključna u hitnim slučajevima, kao što je prisustvo FOD ili drugi hazardi na poletno-sletnoj stazi. Operater može brzom intervencijom bezbedno dovesti dron do početne tačke ili preusmeriti njegov let na drugu poziciju [12, 16, 17].

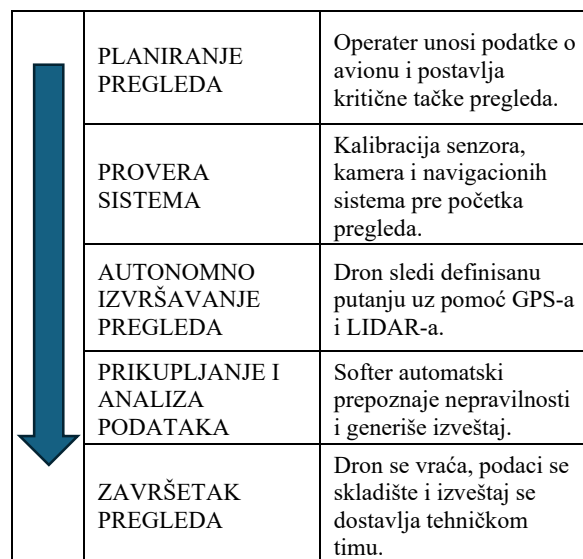


Slika 3 - Tehnička oprema autonomnog drona, izvor: [20]

Procedura pretpoletnog pregleda sertifikovanim autonomnim dronom se sastoji od nekoliko koraka, od planiranja operacije pregleda do analize prikupljenih podataka tokom snimanja. Prvi korak predstavlja pripremu drona kako bi se obezbedila ispravnost opreme i ispunili svi bezbednosni uslovi. Naredni korak predstavlja pripremu operacije pregleda aviona dronom. Neophodno je da operater unese specifične parametre pregleda kao što su tip aviona, tačne dimenzije, položaj na aerodromu. Softver automatski generiše optimalnu putanju drona oko aviona, uzimajući u obzir moguće prepreke i vreme potrebno za sam pregled. Zatim je potrebno izvršiti kalibraciju senzora kako bi se obezbedila maksimalna preciznost. Pre početka samog pregleda, neophodno je da operater proveri vremenske uslove na aerodromu. Vetar i padavine mogu negativno uticati na stabilnost drona, što može zahtevati odlaganje pregleda ili dodatno prilagođavanje senzora kako bi mogli da funkcionišu u specifičnim vremenskim uslovima. Nakon izvršene adekvatne pripreme, dron autonomno poleće i pozicionira se u početnu tačku pregleda. Dron bi mogao započeti pregled na gornjoj površini trupa, krećući se od nosnog ka repnom delu aviona i snimajući sve

eventualne nepravilnosti, zatim bi se pregledala zona krila, uz detaljno skeniranje zone oko pokretnih komandnih površina, sa ciljem identifikacije eventualnih oštećenja ili habanja. Zatim bi dron pregledao stajni trap, proveravajući mehaničke spojeve, stanje pneumatika i hidrauličkog sistema, kako bi se sprečilo eventualno curenje hidrauličkog fluida. Tokom leta, dron je programiran da detektuje neočekivane prepreke ili bezbednosne rizike. Dron koristi kombinaciju senzora za izbegavanje prepreka, omogućavajući mu da automatski detektuje promene u okruženju, poput prisustva drugog aviona, i preduzme potrebne manevre kako bi izbegao potencijalnu koliziju. U slučaju da dron ne može samostalno da reši situaciju, operater može preuzeti manuelnu kontrolu i bezbedno ga vratiti na polaznu tačku. Nakon pregleda, napredna softverska rešenja automatski prave izveštaj sa identifikovanim problemima, koji tehničko osoblje kasnije može pregledati i na osnovu toga preduzeti potrebne mere. Ukoliko sam sistem nije opremljen naprednim softverskim rešenjima za samostalnu analizu slike, rešenje bi bilo da aviomehaničari u realnom vremenu prate snimak sa drona, po potrebi zumiraju prikaz i na osnovu takvog prikaza dalje donesu odluku o preduzimanju neophodnih bezbednosnih mera [12, 14, 16, 17].

Na slici 4 prikazan je dijagram toka (eng. Flow-chart) koji vizuelno prikazuje prethodno definisane ključne korake u postupku pretpoletnog pregleda aviona autonomnim dronom. Ovaj dijagram pruža pregled svih faza, od planiranja pregleda i provere sistema, do automatskog izvršavanja pregleda i prikupljanja podataka. Završni deo prikazuje analizu podataka i generisanje izveštaja, čime se omogućava kompletan uvid u stanje aviona.



Slika 4 - Dijagram toka – procedura pretpoletnog pregleda aviona autonomnim dronom, izvor: autori

5. ZAKLJUČAK

U radu je analiziran postupak sertifikacije autonomnih dronova i njihova primena u pretpoletnom pregledu aviona. Autonomni dronovi imaju potencijal da unaprede efikasnost i bezbednost pregleda, omogućavajući brže i preciznije rezultate u poređenju sa tradicionalnim metodama. Međutim, uspešna integracija ove tehnologije zahteva prilagođavanje regulatornog okvira, posebno kroz sertifikaciju koja obezbeđuje usaglašenost sa standardima i preporučeno praksom. Trenutni proces sertifikacije je spor i ne prati dovoljno razvoj novih tehnologija, što usporava komercijalnu primenu dronova.

Glavni izazovi u primeni autonomnih dronova uključuju upravljanje u složenom aerodromskom okruženju, osetljivost na vremenske uslove i potrebu za redovnim održavanjem. Ovi faktori utiču na pouzdanost i efikasnost, naglašavajući potrebu za fleksibilnim sertifikacionim standardima koji bi omogućili bržu procenu novih tehnologija. Unapređenje saradnje između regulatornih tela i industrije, kao i primena naprednih tehnika testiranja, kao što su simulacije, uz digitalizaciju sertifikacionih procedura, moglo bi ubrzati proces i smanjiti eventualne greške.

Primena dronova donela bi benefite avioindustriji kroz smanjenje troškova, optimizaciju operacija i povećanje bezbednosti, što bi pozitivno uticalo na sve aktere. Unapređenje sertifikacionih procedura i povećana fleksibilnost ključni su za dalji razvoj i širu primenu autonomnih dronova, čime bi se unapredili standardi bezbednosti i efikasnosti u vazдушnom saobraćaju.

LITERATURA

- [1] EASA. Drone regulatory system. Understanding European drone regulations and the aviation regulatory system [Internet]. Cologne, Germany; 2024 [citirano 01.10.2024]. Dostupno na: <https://www.easa.europa.eu/en/domains/drones-air-mobility/drones-air-mobility-landscape/Understanding-European-Drone-Regulations-and-the-Aviation-Regulatory-System>
- [2] EASA. Commission implementing regulation (EU) 2019/947 [Internet]. Cologne, Germany; 2024 [citirano 01.10.2024]. Dostupno na: <https://www.easa.europa.eu/en/document-library/regulations/commission-implementing-regulation-eu-2019947>
- [3] EASA. Commission delegated regulation (EU) 2019/945 [Internet]. Cologne, Germany; 2019 [citirano 01.10.2024]. Dostupno na: <https://www.easa.europa.eu/en/documentlibrary/regulations/commission-delegated-regulation-eu-2019945>
- [4] EASA. Commission delegated regulation (EU) 2024/1108 [Internet]. Cologne, Germany; 2024 [citirano 01.10.2024]. Dostupno na: <https://www.easa.europa.eu/en/documentlibrary/regulations/commission-delegated-regulation-eu-20241108>
- [5] EASA. Commission delegated regulation (EU) 2024/1107 [Internet]. Cologne, Germany; 2024 [citirano 01.10.2024]. Dostupno na: <https://www.easa.europa.eu/en/documentlibrary/regulations/commission-delegated-regulation-eu-20241107>
- [6] EASA. Commission implementing regulation (EU) 2024/1109 [Internet]. Cologne, Germany; 2024 [citirano 01.10.2024]. Dostupno na: <https://www.easa.europa.eu/en/documentlibrary/regulations/commission-implementing-regulation-eu-20241109>
- [7] EASA. Drones & air mobility [Internet]. Cologne, Germany; 2024 [citirano 01.10.2024]. Dostupno na: <https://www.easa.europa.eu/en/domains/civil-drones>
- [8] EASA. Drones & air mobility benefits for European citizens and air transport [Internet]. Cologne, Germany; 2024 [citirano 01.10.2024]. Dostupno na: <https://www.easa.europa.eu/en/domains/drones-air-mobility/drones-air-mobility-landscape/benefits>
- [9] ICAO. Unmanned aircraft systems (UAS), Cir328 [Internet]. Montreal, Canada; 2011 [citirano 01.10.2024]. Dostupno na: https://www.icao.int/Meetings-UAS/Documents/Circular%20328_en.pdf
- [10] Farner M. Recommendations for certification specification for unmanned aircraft systems [Internet]. JARUS; 2019 [citirano 01.10.2024]. Dostupno na: http://67.217.59.217/jarus/wpcontent/uploads/2023/06/jar_13_doc_CS_UAS-1.pdf#page=-2.32
- [11] Fisher M, Mascardi V, Rozier KY, Schlingloff BH, Winikoff M, Yorke-Smith N. 2021. Towards a Framework for Certification of Reliable Autonomous Systems, *Autonomous Agents and Multi-Agent Systems*, Vol. 35, pp.1-65, 2021.
- [12] McFarlane C. The future of drones in aviation & their integration with aviation MRO software [Internet]. 2024 [citirano 01.10.2024]. Dostupno na: <https://www.oases.aero/blog/drones-in-aviation-mro-software/>
- [13] Bugaj M, Novak A, Stelmach A. Unmanned aerial vehicles and their use for aircraft inspection, in Proc. *New Trends in Civil Aviation (NTCA)*, Prague, Czech Republic, pp. 45-50, 23-24 November 2020.
- [14] Čokorilo O, Tomić L. Aircraft inspection using drones - benefits and related safety concerns, in Proc. *Solutions for Maintenance Repair and Overhaul ISATECH 2021*, Budapest, Hungary, pp. 209–218, 28-30 June 2021.
- [15] Costello D, Adams RA Framework for Airworthiness Certification of Autonomous Systems within United States Naval Aviation, *Journal of Aviation*, Vol. 7, No. 1, pp. 7-16, 2023.
- [16] Dalal A. Hangar of the future [Internet]. TU Delft, the Netherlands; 2020 [citirano 01.10.2024]. Dostupno na: <https://repository.tudelft.nl/record/uuid:-827772f0-8965-4e8a-ad1b-b7ac97d3e501>

- [17]Rodriguez D. A, Tafur C. L, Melo P, Villalba Vidales JA. Inspection of Aircrafts and Airports using UAS: A Review, *Results in Engineering*, Vol. 22, pp. 102330, 2024.
- [18]Webster M, Jump M, Cameron N, Fisher, M. Formal Methods for the Certification of Autonomous Unmanned Aircraft Systems, in Proc. *Computer Safety, Reliability, and Security SAFECOMP 2011*, Naples, Italy, pp. 228–242, 19-22 September 2011.
- [19]Jetaviation [Internet]. 2024. [citirano 01.10.2024]. Dostupno na: <https://www.jetaviation.com>
- [20]Airbus [Internet]. 2024. [citirano 01.10.2024]. Dostupno na: <https://www.airbus.com>

SUMMARY

CERTIFICATION PROCESS OF AUTONOMOUS SOLUTIONS FOR PRE-FLIGHT AIRCRAFT INSPECTION - THE CASE OF AN AUTONOMOUS DRONE

The paper analysed the certification process of autonomous drones for pre-flight aircraft inspection according to the European regulatory framework. The phases of certification are presented in detail, highlighting the challenges and recommendations for process improvement, with a particular focus on navigation issues in complex airport environments. The main recommendation emphasizes the need for enhanced cooperation between regulatory bodies and the aviation industry. Through a case study, the application of an autonomous drone in pre-flight inspection is demonstrated, covering all stages - from inspection planning and system checks to the automated execution of inspections and data collection - providing a comprehensive overview of the aircraft's condition.

Key Words: *Unmanned Aircraft Systems UAS, pre-flight inspection, autonomous drone, aircraft*