

# Analiza uvođenja bespilotnih vazduhoplova u proces održavanja komercijalnih vazduhoplova

MILOŠ S. MARINA, Univerzitet u Beogradu,

Saobraćajni fakultet, Beograd

ORCID: 0000-0003-4303-9581

DRAGANA V. MACURA, Univerzitet u Beogradu,

Saobraćajni fakultet, Beograd

ORCID: 0000-0002-6439-7938

NIKOLA LJ. KNEŽEVIĆ, Univerzitet u Beogradu,

Saobraćajni fakultet, Beograd

ORCID: 0000-0001-7282-9537

PETAR D. MIROSAVLJEVIĆ, Univerzitet u Beogradu,

Saobraćajni fakultet, Beograd

ORCID: 0000-0003-30084682

Pregledni rad

UDC: 629.7.014.9

629.7-049.3

DOI: 10.5937/tehnika2601073M

*Bespilotni vazduhoplovi imaju sve veću primenu u savremenom društvu i sve više su prisutni u određenim granama privrede. Ideja ovog rada je da predstavi sam proces održavanja komercijalnih vazduhoplova i mogućnost korišćenja bespilotnih vazduhoplova u tom procesu. Sam proces kontrolnih pregleda bi se mogao u znatnoj meri unaprediti i ubrzati, uz zadržavanje ili čak povećanje nivoa bezbednosti. Rad daje prikaz današnjih rešenja koja se primenjuju i mogućnosti unapređenja takvih sistema. Na samom kraju rada predstavljena je cost benefit analiza uvođenja ovih sistema, uz poseban aspekt na bezbedonosni rizik.*

**Ključne reči:** UAV, MRO, transportni vazduhoplov, održavanje

## 1. UVOD

Bespilotni vazduhoplovi su napredovali u velikoj meri posledenje decenije, pre svega zbog napretka tehnologija, koje se koriste u njihovoj proizvodnji. Prva upotreba bespilotnih vazduhoplova vezana je za upotrebu u vojne svrhe. Danas ne postoji segment ljudskog društva, koji ne koristi bespilotne vazduhoplove. Procene su da će do 2025. godine gotovo  $\frac{3}{4}$  stanovništva EU-e (Evropska unija) imati dodira sa bespilotnim vazduhoplovima. [1]

Pored društva, koje evidentno koristi i koristiće bespilotne vazduhoplove, oni se primenjuju i u privredne svrhe. Osnovne operacije koje su do skoro obavljali bespilotni vazduhoplovi bile su u osnovi konce

and dangerous) [2]. Jedna od interesantnih primena upotrebe bespilotnih vazduhoplova bila bi upotreba u procesu održavanja komercijalnih vazduhoplova, stoga je to i tema ovoga rada.

U prvom delu rada predstavljen i objašnjen sam proces održavanja komercijalnih vazduhoplova. Nakon toga u radu su objašnjenje vrste i zadaci pregleda, koji se sprovode na vazduhoplovima u procesu održavanja i verifikacije njihove plovidbenosti.

Prethodno navedeni deo održavanja jeste deo održavanja koji se u velikoj meri može unaprediti uvođenjem bespilotnih vazduhoplova. Potom je predstavljena upotreba bespilotnih vazduhoplova u svrhu održavanja. Ovaj segment je podeljen u dva dela, prvi deo odnosi se na prikaz današnje upotrebe bespilotnih vazduhoplova, dok drugi jeste predlog za koje delove se još mogu koristiti. Na kraju rada je prikazana cost-benefit analiza uvođenja ovakvog sistema u deo održavanja.

Poseban deo ove analize je dat kroz analizu sistema sa bezbednosnog aspekta (eng. Safety), prven-

---

Adresa autora: Miloš Marina, Univerzitet u Beogradu, Saobraćajni fakultet, Beograd, Vojvode Stepe 305  
e-mail: m.marina@sf.bg.ac.rs

Rad primljen: 08.08.2025.

Rad prihvaćen: 19.11.2025.

stveno iz razloga što bezbenost u vazduhoplovstvu predstavlja jedan od dva načela postojanja i poslovanja svih subjekata.

## 2. PROCES ODRŽAVANJA VAZDUHOPLOVA I REGULATIVA

Održavanje komercijalnih vazduhoplova jedan je od značajnih elemenata sa njihovo bezbedno korišćenje i upotrebu. Postoje strogo definisana pravila koja se moraju poštovati u ovom segmentu. Vazduhoplovi koji se koriste u komercijalnom vazduhoplovstvu moraju biti plovidbeni tako da oni budu kontinuirano plovidbeni, što im kvalitetno održavanje i omogućava.

Sam proces održavanja zasnovan je na međunarodnim regulatornim okvirima, odnosno na propisima ICAO-a (eng. International Civil Aviation Organization). Osnovni dokumenti kojima ova organizacija predlaže regulativu za nacionalne regulatorne okvire je kroz Aneks, kojima se daju standardi i bazične preporuke. Sam Aneks 8 se odnosi na plovidbenost vazduhoplova i gotovo da se njime uređuje ceo proces održavanja komercijalnih vazduhoplova, kakav danas znamo.

Članstvo u ICAO-u, Republika Srbija, stekla je kao pravna naslednica Kraljevine Jugoslavije, koja je 1944. godine potpisala Čikašku konferenciju, i sa njom povezane protokole koje čine Čikaški sistem regulisanja civilnog vazduhoplovstva. [3]

Sada ćemo predstaviti Aneks 8 i njegove standarde i preporuke. Aneks 8 reguliše standarde i preporuke za plovidbenost vazduhoplova. Plovidbenost vazduhoplova je mera podobnosti vazduhoplova za siguran let. Da bi vazduhoplov bio plovidben mora se projektovati, konstruisati, proizvoditi i održavati po datim standardima. Sertifikacija je postupak kojim se utvrđuje da li vazduhoplov ispunjava zahteve relevantnog standarda. [4]

Republika Srbija je potpisala sa Evropskom unijom Sporazum o stabilizaciji i pridruživanju, koji je stupio na snagu 1. septembra 2013. godine i time dobila status države pridružene Evropskoj uniji. Jedna od obaveza, koju je Republika Srbija preuzela tim Sporazumom, je usklađivanje zakonodavstva sa pravom EU [7]. Stoga se u našem zakonodavstvu sve više sreću propisi EU, na taj način što se određene direktive i uredbe implementiraju u naše zakone i pravilnike.

Najnoviji Pravilnik o obezbeđivanju kontinuirane plovidbenosti vazduhoplova i drugih vazduhoplovnih proizvoda, delova i uređaja i o održavanju vazduhoplovno-tehničkih organizacija i osoblja koji se bave ovim poslovima donet 2021. godine je u stvari preuzeta Uredba Komisije (EU) br 1321/2014 koja je izmenjena i dopunjena sa sledećim uredbama: [8]

- Uredbom Komisije (EU) br. 2015/1088 od 3. jula 2015. godine o izmeni Uredbe (EU) br. 1321/2014 u pogledu ublažavanja postupaka održavanja za opštu kategoriju vazduhoplova;
- Uredbom Komisije (EU) br. 2015/1536 od 16. septembra 2015. godine o izmeni Uredbe (EU) br. 1321/2014 u pogledu usklađivanja pravila za kontinuiranu plovidbenost sa Uredbom (EZ) broj 216/2008, kritični zadaci održavanja i praćenje kontinuirane plovidbenosti vazduhoplova;
- Uredbom Komisije (EU) br. 2018/1142 od 14. avgusta 2018. godine u pogledu uvođenja određenih kategorija dozvola za održavanje vazduhoplova, izmeni postupka prihvatanja komponenti od strane spoljnih dostavljača i izmeni prava koje imaju organizacije za obuku o održavanju.

Da bi se vazdušni saobraćaj odvijao na međunarodnom nivou, neophodna je bila navedena standardizacija propisa. Republika Srbija je u velikoj meri ispratila međunarodne propise, kako od strane ICAO-a, tako i propise EU. U samoj implementaciji regulative EU prednjači se o oblasti vazduhoplovstva. Jedna od skorašnjih provera je iz 2022. godine, gde je ICAO u oblasti vazduhoplovnog obezbeđivanja i olakšica u vazdušnom saobraćaju utvrdila sveobuhvatnost kompatibilnosti sistema u procentu od čak 94.73%. [9]

Sam proces održavanja usklađen je u velikoj meri sa međunarodnim propisima, stoga je naredni prikaz samih pregleda koji se vrše na avionima u cilju održavanja kontinuirane plovidbenosti, primenjiv na avione širom sveta.

## 3. KONTROLNI PREGLEDI

Obezbeđivanje kontinuirane plovidbenosti vazduhoplova se prvenstveno vrši na osnovu samih kontrolnih pregleda vazduhoplova strogo definisanih kroz same programe održavanja vazduhoplova. Pregledi vazduhoplova predstavljaju složene grupe radova, koje se moraju obaviti u određenom roku i na propisani način. Pregledi koji se sprovode na vazduhoplovima mogu se podeliti na tri osnovne grupe: [11]

- Linijske – servisne preglede;
- Periodične preglede;
- Velike strukturalne preglede – obnove, revizije, i sl.

Preglede moraju izvoditi ovlašćene organizacije za obezbeđivanje kontinuirane plovidbenosti sa međunarodno priznatim sertifikatima za obavljanje istih. Tehnologija samih pregleda nije napredovala od gotovo samog uspostavljanja sistema kontinuirane plovidbenosti, odnosno od 70-ih godina prošlog veka. Pod ovim terminom tehnologija, pre svega se misli na sam proces, dok su određena tehnološka dostigla imple-

mentirana u sam sistem. Proces samih kontrolnih pregleda, kakvim ga danas poznajemo, ima dosta kritičnih aspekata zbog samog obezbeđivanja kako hangara, ljudstva, tako i same opreme kako bi se pregledi izvršili na većim visinama, zbog samih konstruktivnih dimenzija savremenih komercijalnih vazduhoplova koje su iz dana u dan sve veće.

Ideja ovog rada jeste predstavljanje integracije samih bespilotnih vazduhoplova u ovakve procese. Sami doprinosi i nedostaci ove ideje predstavljeni su u delu cost benefit analize ovoga rada. Pre prikaza same mogućnosti upotrebe bespilotnih vazduhoplova u sistemu održavanja aviona, predstavimo detaljnije same vrste pregleda na avionima. [4, 10]

Linijski pregledi na vazduhoplovima mogu se podeliti u nekoliko kategorija:

- Prepoletni pregledi (S1);
- Tranzitni pregledi (S2);
- Dnevni pregledi.

Prepoletni pregledi se obavljaju pre prvog leta svakoga dana. Oni uključuju obilazak i vizuelni pregled vazduhoplova, proveru izvršenja – korektnost obavljanja servisnih radova, proveru oštećenja i prisutnost propisanih dokumenata u kabini.

Tranzitni pregledi su oni koji se vrše u prolazu – usputnom sletanju na jednom letu. Predstavljaju obilazni i vizuelni pregled vazduhoplova sa ciljem uočavanja očiglednih oštećenja kao što su: prskotine, curenje fluida, otpadanje delova vazduhoplova u letu, pričvršćenosti delova, oštećenja motorskih lopatica usled uletanja stranog tela, posekotina na gumama, itd.

Dnevni pregledi su oni koji se vrše na kraju svakog letačkog dana, mogu se raditi i svakog drugog, odnosno trećeg dana nakon povratka vazduhoplova u bazu. Sam pregled je sličan prepoletnom pregledu, ali je većeg obima u poređenju sa prethodne dve vrste linijskog pregleda. Sam pregled može obuhvatati i radove servisiranja samog vazduhoplova [11, 12]. Periodični pregledi se označavaju slovima i brojevima. Samo mesto njihovog izvršenja je bazni aerodrom vazduhoplova ili centri za održavanje u okviru drugih organizacija.

Postoje sledeće tri vrste periodičnih pregleda: A, B i C pregled.

A pregled – je prvi periodični pregled određen časovima leta vazduhoplova i predstavlja prvi po obimu veći pregled. Obično se obavlja na 100 do 450 sati naleta vazduhoplova;

B pregled – sličan je pregledu A, ali je veći po obimu i obuhvata A pregleda, koji se obavlja istovremeno. Sam pregled se uklapa u umnožak A pregleda, odnos dva ili tri puta je veći servisni interval ovog pregleda u odnosu na A pregled;

C pregled – predstavlja veliki pregled vazduhoplova koji se često izjednačava sa godišnjim pregledom. Određen je vremenom naleta i predstavlja umnožak B pregleda. Na ovom pregledu se vrše opravke i modifikacije za koje nije bilo raspoloživog vremena u periodu aktivnog korišćenja vazduhoplova. Sami C pregledi se međusobno razlikuju i pri tome se označavaju brojevima (npr. 1C, 2C, 3C,...) [11, 12]. Strukturalni pregledi služe da se na njima utvrdi stanje strukture usled oštećenja, uticaja okoline, slučajnih oštećenja i samog zamora materijala. Samo njihovo izvršavanje uslovljeno je časovima naleta vazduhoplova ili vremenski periodom eksploatacije. U literaturi se najčešće sreću pod nazivom D ili E pregledi, a mogu se sresti i kao revizije, strukturalni pregled, obnova ili pak veliko održavanje.

D pregled predstavlja najveći pregled vazduhoplova, koji često podrazumeva punu obnovu vazduhoplova i sa njime se završava jedan ciklus tehničkog održavanja i proizvodnog rada vazduhoplova. Ovaj pregled je takođe vremenski umnožak C pregleda i posvećen je pre svega pregledu i opravci strukture, obično se obavlja na svakih 4 do 6 godina eksploatacije. Tokom D pregleda vrši se i pregled krupnih vitalnih komponenata vazduhoplova, farbanje vazduhoplova i rade velike opravke, koje zahtevaju dugo zadržavanje na zemlji. [11, 12]

#### 4. DOSADAŠNJA UPOTREBA BESPILOTNIH VAZDUHOPLOVA U MRO

Bespilotni vazduhoplovi predstavljaju osnov za budući razvoj savremenog društva. Danas se mogu naći u upotrebi u različitim granama privrede, dok se njihova najveća ekspanzija, u sve segmente društva, očekuje do kraja ove decenije. U samoj vazduhoplovnoj industriji bespilotni vazduhoplovi su se koristili od njihovog postanka na različite načine. Segment koji je tema ovoga rada jeste sama njihova upotreba u procesu održavanja komercijalnih vazduhoplova. Svakako dominantna uloga koju imaju i koju mogu preuzeti bespilotni vazduhoplovi ogleda se u njihovom korišćenju tokom prethodno navedenih kontrolnih pregleda vazduhoplova. Bespilotni vazduhoplovi se danas upotrebljavaju u svrhe prepoletnih pregleda. Nekoliko kompanija danas izvršava svoje prepoletne preglede na ovaj način, jedna od njih je EasyJet, čiji vazduhoplov možete videti na slici 1. EasyJet je prvi prepoletni pregled bespilotnim vazduhoplovom uradio još 2015. godine na svom avionu Airbus A320.

Bespilotni vazduhoplov korišćen tom prilikom, je kvadkopterske strukture i nazvan je RISER (eng. Remote Intelligence Survey Equipment for Radiation), koji je prevashodno korišćen u svrhu istraživanja radijacije u određenim područjima.



Slika 1 - Prepoletni pregled EasyJet-ovog aviona [5]

RISER je projektovan tako da skenira i proceni avion, pružajući izveštaj o bilo kakvoj šteti koja može zahtevati dalju inspekciju ili rad na održavanju. Vazduhoplov sadrži sistem pametne navigacije i senzora koji mu omogućavaju let u okolini vazduhoplova – aviona, na taj način što održava bezbednu udaljenost od njega na približno 1 metar. Prednosti koje je predvideo EasyJet su trostruke. Naravno prva stvar koja se vidno nameće kao prednost je smanjen broj potrebnih radnika i opreme potrebne za pregled aviona, te bi se na taj način uštedeo novac i sami prepoletni pregledi podigli na viši nivo sa većom tačnošću i bez kašnjenja u samoj realizaciji. Uzimajući u obzir da je jedan od dva postulata vazduhoplovstva, na vreme (eng. On time) i da je ova aviokompanija kod svojih korisnika poznata po tačnosti, ušteda i tačnost u vremenu se mogu svrstati u još jednu prednost ovakvog sistema. Treća prednost, koju predložava sama aviokompanija jeste ta da se sami inženjeri sada mogu fokusirati na druge zadatke i mnogo lakše i brže izvršiti procenu statusa aviona i preduzeti odgovarajuće akcije, na osnovu podataka koje dobijaju od RISERA. Kompanija Easy-Jet jeste pionir u upotrebi bespilotnih vazduhoplova, ali nije jedina koja danas vrši ove preglede na ovakav način. Trenutni način izvođenja prepoletnih pregleda aviona je radno intenzivan, stoga veliki broj kompanija razmišlja o ideji korišćenja bespilotnih vazduhoplova za identifikaciju potencijalnih problema. U nastavku je prikazana primena bespilotnog vazduhoplova DJI Mavic 2 u American Airlines-u (slika 2).



Slika 2 - DJI Mavic 2 u inspekciji aviona American Airlines-a [6]

American Airlines prednjači u usvajanju nove tehnologije sa ciljem unapređenja efikasnosti svog tima održavanja. Sama ideja o uvođenju bespilotnih vazduhoplova za inspekcije aviona evoluirala je tokom vremena. Bespilotni vazduhoplovi bi obavljali više posla leteći oko aviona, dok bi posao mehaničara bio taj da analiziraju dobijeni materijal i izvrše potrebne popravke.

Kako ističu u samoj kompaniji, imaju više od 6.000 letova dnevno, oni iziskuju više od 13.000 samih tehničara za njihovo održavanje. Procene su da se upotrebom nove tehnologije vreme trajanja pregleda može smanjiti za duplo, dok su rizici po same tehničare daleko manji. Prepoletni pregled jednog aviona zahteva 3-4 tehničara, u zavisnosti od same veličine vazduhoplova, koji moraju koristiti dizalice kako bi obavili pregled. Broj smena koje imaju tehničari je 1-2, odnosno 8 – 10 sati, u zavisnosti od same godišnje sezonalnosti i broja letova. Visine na kojima se nalaze tehničari prilikom pregleda aviona su velike, dok rizici prilikom pregledanja repnog dela, kao najviše tačke vazduhoplova, nisu beznačajni po njih.

Kompanija American Airlines je zajedno sa DJI kompanijom, za proizvodnju bespilotnih vazduhoplova, razvila je, kombinujući sofisticirano mašinsko navođenje sa naprednim hardverom Mavic 2E. Ovakva kombinacija omogućava bezbedno i lako kretanje oko vazduhoplova. Osnovne karakteristike ovog sistema jesu brzina, smanjena buka i kamera visoke rezolucije. Omogućen je rad bez povezivanja na server, što je izuzetna pogodnost s obzirom na otežane mogućnosti povezivanja na teretu i u hangarima aviona.

Buduće faze razvoja ovog sistema zasnovane su na prikupljanju podataka od samih tehničara koji ih koriste, kako bi se poboljšao model mašinskog učenja za otkrivanje nedostataka i sama automatizacija leta oko aviona. U ovoj kompaniji ističu da bi se bespilotni vazduhoplovi mogli koristiti i na aerodromima za brzo prikupljanje podataka sa poletno sletnih staza i inspekcije velikih asfaltnih površina i njihovih potencijalnih oštećenja. [6]

Skorašnji projekat DroScan iznedrile su kompanija Air New Zealand i ST Engineering, kako bi ga implementirale u MRO (eng. Maintenance, repair and overhaul) sisteme aviona. Same kompanije smatraju da će ovaj projekat doneti veliku vrednost za celokupnu avioindustriju s obzirom na ogroman naglasak koji se stavlja na bezbednost i efikasnost ovog sistema. To je bio još jedan od navedenih primera kojih danas ima sve više. Same kompanije razvijaju ove sisteme sa ciljem poboljšanja samih procesa i održavanja njihove konkurentnosti na tržištu, jer uštedama u novcu i vremenu, avioni će biti samim tim više u vazduhu, odnosno profitabilniji po aviokompanije. [5]

## 5. MOGUĆNOST UPOTREBA BESPILOTNIH VAZDUHOPLOVA U MRO

Prethodno je prikazana dosadašnja upotreba bespilotnih vazduhoplova u svrhu održavanja. Nadalje biće predstavljena mogućnost njihove primene u ovoj oblasti. Primeri današnje upotrebe ukazuju na to da se bespilotni vazduhoplovi primenjuju u okviru linijskih pregleda, odnosno samo u delu prepoletnih pregleda. Sami doprinose uvođenja ove tehnologije su veliki i u velikoj meri povećavaju bezbednost samih radnika na održavanju vazduhoplova.

Linijski pregledi vazduhoplova otvaraju mogućnost primene na sve njihove aspekte i vrste. U bliskoj budućnosti možemo očekivati da će se bespilotni vazduhoplovi primenjivati i kod tranzitnih i kod dnevnih pregleda. Svakako ostaje na vazduhoplovnim subjektima da obezbede adekvatnu opremu na aerodromima kojom bi se vršili dati pregledi. Tranzitni pregledi su po svojoj sadržini manji od prepoletnih i odnose se na vizuelni pregled vazduhoplova. Stoga radnike i same inženjere bespilotni vazduhoplovi mogu zameniti u velikoj meri, tokom tranzitnih pregleda. Što se tiče samih dnevnih pregleda oni su u nekoj meri zahtevniji u odnosu na prepoletne preglede, međutim u suštinskom pristupu su isti. U deo koji se tiče same analize stanja vazduhoplova i njegovih komponenti mogu se implementirati bespilotni vazduhoplovi. Deo koji se tiče samog održavanja i servisiranja vazduhoplova, i dalje bi ostao na vazduhoplovnim inženjerima.

Tokom ostalih tipova pregleda bespilotni vazduhoplovi mogu predstavljati podršku, odnosno alat koji može olakšati proces održavanja. Bespilotni vazduhoplovi se mogu i u ovim pregledima angažovati u svrhe vizuelne analize, kao i u slučajevima analize uz pomoć određenih senzora i termovizijskih kamera za analize prskotina na strukturi. Svrha upotrebe ovakvog sistema ogleda se u povećanju same efikasnosti i sledljivosti procesa održavanja, na taj način da se nikako ne naruši sistem bezbednosti.

Prethodno predviđanje iznosimo na osnovu dosadašnjeg iskustva u razvoju ovih tehnologija, koje je bazirano na osnovu nekoliko dosadašnjih istraživanja. Od svih istraživanja na ovu temu pomenuli bi sledeća tri rada, u kojima je predstavljena tematika upotrebe bespilotnih vazduhoplova u svrhe održavanja vazduhoplova.

Naziv prvog rada je „Upotreba UAV (eng. Unmanned Aerial Vehicles) u održavanje vazduhoplova“, sledećih autora A. Novak, A. Novak Sedlačkova, M. Bugaj i ostali [13]. Sam rad sadrži predstavljanje primene korišćenja bespilotnih vazduhoplova na primeru aviona PA034-220t SENECA. Navodi se da je moguća upotreba bespilotnih vazduhoplova za sve vizuelne preglede koje je neophodno primeniti na avionu te

kategorije. Pored samog prikupljanja podataka za vizuelno osmatranje, rad je doneo i mogućnost nadzora sistema pružanjem obrade skupljenog materijala, bez koje sam material ne bi imao značaja za proces održavanja. Kako se navodi sistem ima brojnih prednosti, ali i nedostataka, koje je potrebno ispraviti kako bi sistem bio efikasan. Deo ovog rada biće prezentovan u narednom poglavlju, kroz cost benefit analizu sistema.

Drugi rad je sledećeg naziva „Inspekcija spoljnih viljaka aviona zasnovana na UAV-u pomoću Computer Vision-a“, a autori su: J. Miranda, S. Larnier, A. Herbulot i M. Devy [15]. Autori su otišli korak dalje u predstavljanju upotrebe bespilotnih vazduhoplova u procesu održavanja vazduhoplova, kroz analizu stanja spoljašnjih viljaka na oplati vazduhoplova. Njihov pristup ogleda se u primeni lidar sistema, koji donosi preciznije slike sa metapodacima. Sistem koristi konvencionalne neuronske mreže uz pristup kategorizacije izvlačenja zone interesa. Sam sistem na kraju koristi deo veštačke inteligencije, tzv. „kompljuterskog vida“, koji primenom određenih algoritama vrši procenu stanja viljaka i otkrivanje onih koji nedostaju ili su se olabavili. Ovakva primena je svakako sofisticiranija i ukoliko bi ovakav sistem zaživeo u praksi, mogao bi se koristiti tokom strukturalnih pregleda vazduhoplova.

Još jedan interesantan rad je na sledeću temu „Upotreba UAV-a sa infracrvenom i RFID (eng. Radio-frequency identification) kamerom za praćenje stanja oplata vazduhoplova“, autora: M. Hruz, M. Bugaj, A. Novak, B. Kandra i B. Badanik [16]. U radu su predložene dve varijante realizacije ovog problema, u cilju povećanja efikasnosti praćenja tehničkog stanja strukture vazduhoplova. Upotreba bespilotnog vazduhoplova na koju bi bila pričvršćena dugotalasna infracrvena kamera omogućila bi vizuelni pregled površinskih i strukturnih oštećenja. Pored avionske konstrukcije kompozitne strukture, ovo rešenje takođe omogućava praćenje tehničkog stanja komponente propelera i motora. Autori tvrde da se primenom ove varijante moguće uštedeti vreme obavljanja vizuelnih, kao i konstruktivnih pregleda; pored toga, prilikom izbora odgovarajuće varijante infracrvene kamere, moglo bi biti moguće pratiti elektronske elemente aviona.

Na kraju, predložene implementacije moguće je postići pouzdano praćenje tehničkog stanja okvira aviona, motora, propelera i elektronskih elemenata aviona, povećati bezbednost i smanjiti opterećenje tehničkog osoblja, smanjiti zastoje, i obezbediti pouzdano praćenje evidencije održavanja. RFID tehnologija, posebno UHF RFID, je odličan pomoćni alat za vizuelnu inspekciju bespilotnim vazduhoplovom.

Pored praćenja konstrukcijskih električnih kvara, uz korišćenje UHF, moguće je identifikovati bilo

koju zakovicu ili otpuštanje zavrtnja komponenti opremljenih njime. Novi načini praćenja stanja mogli bi povećati efikasnost održavanje aviona, kao i uštedu vremena, troškova i radne snage. Za male organizacije koje se bave održavanjem vazduhoplova, ovi predlozi predstavljaju nove moguće načine prilagođavanja strategiji prediktivnog održavanja i mogu zameniti dugotrajne procese strategija preventivnog održavanja.

Na osnovu prikazanih dosadašnjih primera i eksperimenata, može se zaključiti da se bespilotni vazduhoplovi manjih dimenzija mogu korsiti efikasno u procesu održavanja komercijalnih vazduhoplova, tokom procesa održavanja, uz održavanje zahtevanog nivoa bezbednosti.

## 6. COST-BENEFIT ANALIZA

Ovaj segment rada ima za cilj da identifikuje optimizovane rezultate pružaoca poslovnih usluga popravke i remonta vazduhoplova, odnosno MRO organizacija, za efikasno korišćenje bespilotnih vazduhoplova u svakodnevnom radu. Sadrži prikaz osnovnih pozitivnih i negativnih karakteristika ovog sistema po same vazduhoplovne subjekte i bezbednost celokupnog sistema civilnog vazdušnog saobraćaja.

Samo uvođenje bespilotnih vazduhoplova u ovaj sistem će pomoći efikasnijem održavanju i identifikaciji kvarova komponenti, optimizaciji tehničkom rasporedu plana rada i poboljšanja vremena obrta vazduhoplova. Kako bi MRO organizacije implementirale bespilotne vazduhoplove u njihove poslovne usluge od njih se zahtevaju istraživanja i ulaganja u bespilotne vazduhoplovne sisteme, mašinsko učenje i aplikacije za koje bi podržale proces održavanja i popravki vazduhoplova. [19]

U slučaju primene bespilotnih vazduhoplova za izvršavanje vizuelnih pregleda vazduhoplova može se uštedeti potrebno vreme za taj pregled. Ukoliko bi se pregled odvijao ručno, bilo bi potrebno 4 do 6 sati, u zavisnosti od veličine aviona, dok bi bespilotni vazduhoplovi ovaj pregled obavili za pola sata. Sama ušteda u vremenu vršenja vizuelnog pregleda vazduhoplova je nekih 8 do 12 puta, što je poprilično. Sve uštede u vremenu, su i uštede u novcu, jer avion avio-kompanije najviše košta dok je na zemlji.

Doprinos koji se javlja u toku popravke je povećanje efikasnosti, pre svega iz razloga što bespilotni vazduhoplov može brže dostaviti rezervni deo od magacina do mesta popravke.

Uvođenjem Aviation 4.0, u šta spada i implementacija UAV u MRO, doprinosi se povećanju praćenja, prenosa, skladištenja i analiziranja ogromnih skupina podataka. Rezultati analize poboljšali bi trenutne pre-

ventivne procese održavanja i implementaciju procesa prediktivnog održavanja.

Ovim implementacijama bile bi omogućene sledeće uštede: [20]

- Smanjenje vremena zastoja,
- Ušteda radne snage,
- Produžavanje životnog veka komponenti.

Na osnovu iznetih ušteda možemo zaključiti da se postiže maksimalna efikasnost celokupnog sistema uz održavanje zahtevanog nivoa bezbednosti.

Sa aspekta čoveka i njegovog upravljanja i učestvovanja u procesu održavanja imamo smanjenje rizika na dva nivoa. Prvo smanjenje rizika ogleda se u tome da radnici koji rade na platformama za pregled vazduhoplova, više se ne moraju nalaziti na velikim visinama i ugrožavati svoje živote. Drugi aspekt jeste eliminisanje ljudskog faktora, odnosno smanjenje uticaja čoveka na održavanje vazduhoplova, uz korišćenje prilagođenih skenera i aplikacija. [13]

Uslovi radnog okruženja koji zahtevaju UAV sistemi sa primenom u održavanju su komplikovaniji i generalno više finasijski zahtevni po same MRO organizacije. Osnovni zahtevi koji se traže po pitanju uslova radnog okruženja su sledeći: [17]

- Rad u okruženju bez prašine
- Identifikacija kretanja bespilotnog vazduhoplova – položaj osoblja u pogledu bezbednosti (opremljenost vazduhoplova sa sistemima izbegavanja sudara)
- Obezbeđenje bespilotnih vazduhoplova i vazduhoplova od njihovog sudara – zaštita propelera i definisanje zaštitnih zona.

Poseban osvrt većina autora ima ka malim organizacijama MRO, odnosno kako se proces održavanja u tim organizacijama može promeniti uvođenje UAV tehnologije. Neki autori smatraju da bi uvođenje ovakvih sistema bilo neefikasno u ovim tipovima MRO, pre svega iz dodatne potrebe za kvalifikacijom samog osoblja, kao i novih zahteva za njihovim veštinama, posebno u delu informacionih tehnologija, što do sada nije bio zahtevani standard [18]. Dok drugi autori smatraju da bi uvođenje UAV sistema mogao unaprediti sam proces održavanja. Proces unapređenja bi kroz nova tehnološka rešenja pružio nove načine prilagođavanja strategije prediktivnog održavanja i zamenio dugotrajne procese strategije preventivnog održavanja [16]. Strategija preventivnog održavanja podrazumeva zamenu određenih komponenti bez obzira na stanje, tako da bi se zamenom komponenti u zavisnosti od stanja povećala efikasnost. Samim tim može se potvrditi da je budućnost malih MRO organizacija u procesu digitalizacije i korišćenja savremenih tehnologija u cilju sticanja konkurentске prednosti na tržištu vazduš-



nog saobraćaja, uz analiziranje ušteda koje proističu iz ovih sistema.

Na osnovu iznetih podataka u okviru ovog poglavlja možemo zaključiti da je potrebno pažljivo izvršiti analizu troškova i koristi pre implementacije sistema bespilotnih vazduhoplova u proces održavanja komercijalnih vazduhoplova. CBA u ovom slučaju mora uzeti u obzir i početnu vrednost investicije i potencijalnu dugoročnu korist. Kao i za svaki sistem, pa tako i za ovaj, u zavisnosti od toga šta postavimo kao kriterijum merila može biti dobar ili loš sistem. Svaka MRO organizacija ili aviokompanija koja u sklopu svoje kompanije ima deo namenjen održavanju, mora definisati jasne ciljeve i merila, pa na osnovu toga treba analizirati mogućnost upotrebe UAV sistema u procesu održavanja aviona. Zbog same osetljivosti troškova i koristi predlažemo stvaranje modela za CBA. Model prikazuje relevante aspekte sistema, koje je potrebno razmotriti pri CBA.

U ovom delu prikazani su parametri koji se odnose na dugoročnu korist ovakvih sistema. Prvi i osnovni parametar, koji se postavlja u vazduhoplovstvu, je bezbednost. Tokom analize bezbednost je potrebno posmatrati kroz doprinose bezbednosti na održavanje vazduhoplova i na doprinose koje se odnose na povećanje bezbednosti uslova rada ljudi zaduženih za poslove održavanja. Kao dve osnovne prednosti sistema iz-

dvajaju se brzina i efikasnost. Kako je vazdušni saobraćaj osetljiv na vreme, od izuzetnog je značaja da se prethodno navedene prednosti uvrste u CBA. Direktna uticaj navedenih parametara oslikava se na vreme obrta samih vazduhoplova. Smanjenje broja potrebnih radnika je jedan od dugoročnih doprinosa, koji je potrebno razmatrati, pre svega iz ekonomskog aspekta poslovanja kompanije.

Sada će biti prikazani parametri, koje je potrebno razmotriti kao deo troškova sistema. Potrebno je razmotriti troškove početne investicije, koji su u ovom slučaju izuzetno visoki. Sami troškovi nabavke bespilotnih vazduhoplova su iz godine u godinu sve niži, dok su troškovi nabavke softvera i odgovarajuće opreme (kamera i senzora) izuzetno visoki. Troškovi implementacije treba da obuhvate i troškove koji se odnose na obuku i proširenje znanja samih operatora održavanja. Troškovi koji se javljaju tokom samih operacija bespilotnih vazduhoplova, uglavnom se vezuju za samo radno okruženje koje im je potrebno obezbediti (prostor bez prašine uz definisanje zone letanja i obezbeđivanja aviona).

Struktura predloženog modela za CBA prikazana je na slici 3. Struktura je podeljena na dve grane, odnosno na parameter koristi i parametre troškova, koje se kasnije granaju na ostale bitne elemente.



Slika 3 – Struktura modela za CBA

Upotreba bespilotnih vazduhoplova u svrhu održavanja je u početnoj fazi i porebno je izvršiti detaljnu analizu zbog dosta nepoznatih elemenata koje treba razmotriti pre implementacije.

Kako bi implementacija bila moguća, najpre se mora promeniti regulativa za održavanje komercijalnih aviona, koja bi omogućila upravo ovu implementaciju. [19]

## 7. PRIMER CBA ZA PRED POLETNE PREGLEDE AVIONA

U nastavku rada prikazan je primer upotrebe gore navedenog modela CBA za uvođenje bespilotnih vazduhoplova u proces prepoletnih pregleda aviona. Ovaj segment uključuje bliži prikaz dugoročne koristi

i troškova uvođenja sistema prepoletnih pregleda sa upotrebom bespilotnih vazduhoplova.

U primeru koji će biti prikazan prepostavili smo da je potrebno pregledati flotu od 10 aviona kategorije MRJT (Medium Range Jet Transport).

Prvo su prikazani elementi dugoročne koristi, koji u osnovi su koncipirani kao po modelu. Parametar bezbednosti prilikom obavljanja prepoletnih pregleda i dalje ostaje ključan. Uključuje smanjenje rizika tokom pred poletnih pregleda, kao i sigurnost operacija. Sam rizik koji se smanjuje je u direktnoj vezi sa sertifikovanim vazduhoplovnim osobljem za održavanje vazduhoplova, u daljem tekstu operatori, koji vrše pregled. Procenat povrede operatora tokom prepoletnih pregleda zavisi od mnogo faktora, pre svega od

vrste vazduhoplova, obuke osoblja i primenjenih procedura održavanja.

Možemo zaključiti da je veći procenat povreda operatora prisutan kod aviona sa većim geometrijskim karakteristikama, kao što je vertikalna visina aviona, jer za potrebe njihovih pred poletnih pregleda operateri se moraju nalaziti na većim visinama uz upotrebu platformi i merdevina. Upotreba bespilotnih vazduhoplova bi u većoj meri smanjila procenat povreda operatora tokom pred poletnih pregleda aviona čija visina zahteva upotrebu merdevina i platformi tokom pred poletnih pregleda. Sigurnost operacija pret poletnih pregleda upotrebom bespilotnih vazduhoplova se povećava u domenu detekcije pukotina koje se ne mogu analizirati golim okom [15] [16]. Na taj način vrši se minimiziranje ljudskog faktora u procesu pred poletnih pregleda odnosno smanjuje na najmanju moguću meru. Dobit po pitanju bezbednosti pretpoletnih pregleda i samog smanjenja rizika ne može biti direktno vidljiva kroz operativne troškove, ali kroz periodične ukupne troškove aviokompanije se može izraziti. Brzina i efikasnost se u sistemu pretpoletnih pregleda mogu posmatrati kroz smanjenje vremena potrebnog za pregled i pripremu aviona za let, što može direktno uticati na operativnu efikasnost vazduhoplova.

U sprovedenim istraživanjima do sada i praktičnim primenama ušteda u vremenu kretala se od 2 do 12 puta [5], [6]. Prosečno vreme trajanja pretpoletnog pregleda danas je 5 sati, za avione kategorije MRJT [21]. Uzimanjem uštede u vremenu od 4 puta, dolazi se do zaključka da bi pretpoletni pregled trajao sat vremena i 15 minuta i proseku, što bi značilo da 3 sata i 45 minuta može provesti više vremena u obavljanju komercijalnih letova. Dok je avion van komercijalnih operacija, indirektni operativni troškovi aviona su najveći dok je na zemlji AOG (Aircraft on Ground). Treba imati u vidu da AOG varira i da zavisi prvenstveno od sledećih faktora: troškova osoblja, troškova rezervnih delova, troškova izgubljenih prihoda, troškova zakupa aerodromske infrastrukture i operativnih procedura. Procena kompanije Air-bus je da za MRJT avion AOG su u proseku 440 \$/h [21]. Dnevna ušteda koju bi avion kompanija imala po jednom avionu samo od uštede u predpoletnim pregledima bila bi oko 1.650 \$, što bi iznosilo 16.500 \$ na dnevnom nivou za flotu iz primera.

Takođe, kraćim zadržavanjem aviona tokom pred poletnih pregleda uštedelo bi se i na angažovanju operatora, kako kroz uštede u broju radnih sati, tako i kroz uštede broja potrebnih operatora. Smanjenje broja potrebnih operatora podrazumeva procenu ušteda u radnoj snazi usled uvođenja bespilotnih vazduhoplova u održavanje, što direktno utiče na operativne troškove.

Danas je potrebno između 3 i 4 operatora za rad na poslovima pregledanja aviona sa radnim vremenom od 8 do 10 sati, koji bi po proceni za to vreme mogli pregledati dva aviona [6]. Primenom bespilotnih vazduhoplova broj operatora u smeni bi se smanjio na 2 operatora, koji bi u smeni mogli pregledati u proseku 6 aviona. To bi značilo da je danas potrebno najmanje 15 operatora u smeni, dok bi za isti broj aviona, primenom bespilotnih vazduhoplova bilo potrebno 4 operatora. Procena kompanije Airbus je da su troškovi jednog radnog sata operatora na održavanju vazduhoplova oko 51 \$/h [21], da su troškovi jednog operatora po danu 408 \$. Zbog smanjenog broja potrebnih operatora ušteda bi na dnevnom nivou bila 4.488 \$. Sumiranje ukupnih ušteda aviokompanije bi uštede na operativnim troškovima oko 21.000 \$ po danu za flotu vazduhoplova iz primera. U tabeli 1. prikazane su uštede u operativnim troškovima za flotu vazduhoplova iz primera po danu.

Tabela 1. Uštede u operativnim troškovima po danu

| Naziv uštede       | Jedinični trošak | Broj jedinica uštede | Uštede za flotu po danu [\$] |
|--------------------|------------------|----------------------|------------------------------|
| AOG                | 450\$/h          | 3,5h                 | 16.500                       |
| Troškovi operatora | 51\$/h           | 8h*11 (operatora)    | 4.488                        |
| Σ                  |                  |                      | 20.988 ≈<br><b>21.000</b>    |

Parametri troškova sistema su inicijalno podeljeni modelom u dve grupe, a to su troškovi početne investicije i troškovi infrastrukture, koje kada pogledamo možemo nazvati troškovima implementacije sistema. Troškovi početne investicije često igraju ključnu ulogu u analizi isplativosti. Troškovi nabavke bespilotnih vazduhoplova čine jedan deo početne investicije. Ovi troškovi uključuju troškove nabavke bespilotnih vazduhoplova, ali takođe mogu uključivati i troškove povezane sa specifičnim tehničkim karakteristikama i performansama bespilotnih vazduhoplova. Kod jedne aviokompanije je korišćen bespilotni vazduhoplov koji se u slobodnoj prodaji može nabaviti za 1.200 \$ [6]. Troškovi nabavke ovog bespilotnog vazduhoplova su bez posebnih elemenata koji su ovom prilikom bili prilagođeni, koje proizvođač ne bi isporučivao bez naknade manje od 1.300 \$ po vazduhoplovu. Kako su potrebna 4 operativna bespilotna vazduhoplova u svakom trenutku moraju se nabaviti 8 vazduhoplova. Tako dolazimo do cene bespilotnih vazduhoplova od 2.500 \$ po komadu, odnosno od 20.000 \$ vrednosti nabavke bespilotnih vazduhoplova za predpoletne preglede aviona. Uz samu nabavku bespilotnih vazduhoplova, treba uzeti u obzir troškove nabavke softverskih aplikacija koje će se koristiti za upravljanje



bespilotnim vazduhoplovima, nadgledanje operacija prepoletnih pregleda i analizu dobijenih podataka. Ovo takođe može obuhvatiti troškove za licence softvera i hardverske opreme poput kamera, senzora i drugih dodataka na bespilotnim vazduhoplovima. Procena istraživača, s obzirom na tehnologiju u razvoju, da bi troškovi koji bi nastali na osnovu nabavke ove opreme dosegli najveći deo investicije, odnosno procenjenih 200.000 \$.

Za siguran i efikasan rad bespilotnih vazduhoplova, operateri za održavanje i upravljanje dronovima moraju biti adekvatno obučeni. To može uključivati troškove za obuku operatera i sertifikaciju u skladu sa regulatornim zahtevima, koji su trenutno u razvoju i početnoj implementaciji. Obuka za samo upravljanje bespilotnim vazduhoplovima iznosi nekih 700 \$, dok bi obuka sa korišćenje softvera iznosila nekih 10% od vrednosti nabavke softvera. Potrebno je obučiti 8 operatera, kako bi se osiguralo da u smeni budu 4 operatera.

Troškovi obuke bi procenjeno iznosili 5.600 \$ za upravljanje i 20.000 za softver. Da bi se obezbedio siguran i efikasan rad dronova, neophodno je implementirati sistem za praćenje i upravljanje bespilotnim vazduhoplovima. Ovo može uključivati infrastrukturne troškove i troškove za implementaciju sistema za praćenje i upravljanje. Ova nabavka bi, po nekoj proceni, bila reda veličine 80.000 \$. Za postizanje operativne gotovosti bespilotnih vazduhoplova neophodno je održavati ih u dobrom stanju, stoga treba uzeti u obzir troškove tehničke podrške i održavanja, uključujući popravke, redovno održavanje i rezervne delove.

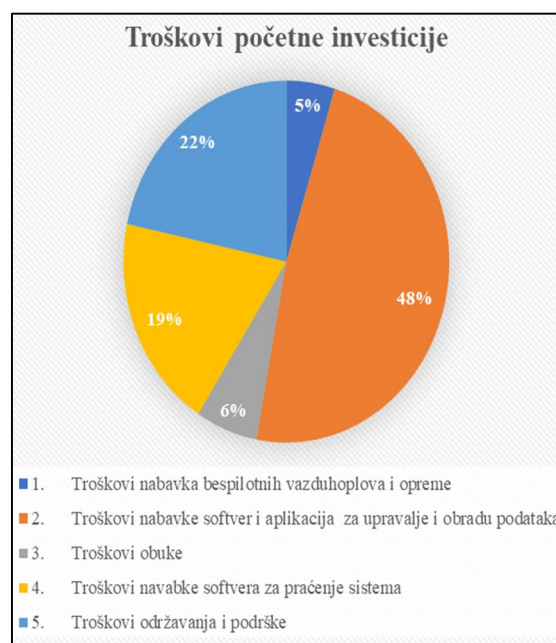
Ove troškove možemo podeliti na dva dela, jedan koji se odnosi na održavanje bespilotnih vazduhoplova, gde bi oni iznosili koliko i vrednost nabavke bespilotnih vazduhoplova, dok bi se drugi odnosili na softver i procenjeno bili 25% od vrednosti nabavke softvera. Tako bi ovi troškovi iznosili 20.000 \$ za vazduhoplove i 70.000 \$ za softvere. Troškovi implementacije sistema su uzeti pod pretpostavkom da iznose 25% od vrednosti troškova početne investicije. Troškovi implementacije sistema bespilotnih vazduhoplova u prepoletne preglede aviona navedeni su u tabeli 2. Potrebno je napomenuti da su istraživači podatke koje su koristili tokom procene izneli na osnovu dosadašnjih istraživanja i njihovog iskustva.

Na osnovu iznetih parametara možemo zaključiti da je isplativost investicije vezana za 25 operativnih dana svih vazduhoplova. Kako jedna trećina dana otpada na održavanje vazduhoplova, potrebno je da prođe oko 40 dana da bi se investicija isplatila. Ovako koncipirani sistem bi mogao raditi minimalno godinu dana, bez većih izdataka od predviđenih.

Tabela 2. Troškovi implementacije sistema

| Troškovi početne investicije                    |                   |
|-------------------------------------------------|-------------------|
| Nabavka bespilotnih vazduhoplova i opreme       | 20.000 \$         |
| Softver i aplikacija upravlja i obrade podataka | 200.000 \$        |
| Obuka                                           | 25.600 \$         |
| Softver praćenja sistema                        | 80.000 \$         |
| Održavanje i podrške                            | 90.000 \$         |
| $\Sigma$                                        | 415.600 \$        |
| Troškovi infrastrukture – implementacije        |                   |
| 25% od troškova početne investicije             | 103.900 \$        |
| <b>UKUPNI TROŠKOVI</b>                          | <b>519.500 \$</b> |

Na osnovu iznetog primera možemo zaključiti da procentualno polovinu troškova početne investicije čine troškovi nabavke softvera i aplikacija za upravljanje i obradu podataka (slika 4).



Slika 4. Troškovi početne investicije

Procenjeno je da su troškovi nabavke softvera za praćenje sistema čine petinu ukupnih troškova početne investicije, isto kao i troškovi održavanja i podrške. Troškovi obuke i troškovi nabavke bespilotnih vazduhoplova su procenjeni na po 5% pojedinačno od ukupne vrednosti troškova početne investicije.

## 8. ZAKLJUČAK

U radu su prikazane osnovne mogućnosti implementacije bespilotnih vazduhoplova u proces održavanja komercijalnih vazduhoplova. Kroz same dosadašnje primere iz prakse i sprovedene eksperimente i

istraživanja, stvorena je slika veoma dobre mogućnosti implementacije ovih sistema. Može se potvrditi da je budućnost MRO organizacija u procesu digitalizacije i korišćenja savremenih tehnologija u cilju sticanja konkurentne prednosti na tržištu vazdušnog saobraćaja.

Sami doprinosi u uštedama koje ovi sistemi donose u pogledu vremena pregleda vazduhoplova, smanjenju broja potrebnih mehaničara, veće efikasnosti sistema i uvećanje životnog veka komponenti. Upotrebom digitalnog formata otvara se mogućnost unapređenja prediktivnog održavanja vazduhoplova, gde bi se vršila zamena komponenti u zavisnosti od stanja čime bi se maksimizirala efikasnost komponenti. Pored prednosti koje donosi ovaj sistem, postoje i određeni nedostaci. Javljaju se problemi implementacije u pogledu obučavanja kadrova, nabavke bespilotnih vazduhoplova i sofisticirane opreme. Rad sadrži prikaz CBA modela, koji je primenjen na primeru uvođenja bespilotnih vazduhoplova u proces predpoletnih pregleda aviona.

Možemo zaključiti da upotreba sistema bespilotnih vazduhoplova u procesu održavanja komercijalnih vazduhoplova može imati u većini slučajeva pozitivne doprinose na povećanje bezbednosti celokupnog sistema održavanja. Definitivno možemo reći da je budućnost MRO organizacija leži u upotrebi bespilotnih vazduhoplova, čijom implementacijom leži njihov opstanak na tržištu održavanja komercijalnih vazduhoplova.

#### LITERATURA

- [1] EASA, *Urban air mobility*, [Internet] European Union Aviation Safety Agency, [Citirano 10/4/2025] Dostupno na: <https://www.easa.europa.eu/en/what-is-uam>, 2023
- [2] National air and space museum, *Drones Doing Dirty and Dangerous Jobs*, [Internet], [Citirano 12/4/-2025] Dostupno na: <https://airandspace.si.edu/stories/editorial/ronesdoingdirtyanddangerousjobs>, 2025.
- [3] DCV, *Međunarodna saradnja i evropske integracije*, [Internet], Direktorat civilnog vazduhoplovstva Republike Srbije, [Citirano 15/4/2025] Dostupno na: <https://cad.gov.rs/strana-/19851/internationalrelations?-lang=en>,
- [4] ICAO - *Annex 8 - to the Convention on International Civil Aviation – Airworthiness of Aircraft*
- [5] Easy Jet, *Easy Jet makes drone inspection a reality in aviation MRO* [Internet], [Citirano 20/4/2025] Dostupno na: <https://mainblades.com/article/easyjet-makes-drone-inspection-a-reality-in-aviation-mro/>,
- [6] American Airlines, „Drones Do Belong at Airports: American Airlines and DJI Demonstrate Why“, [Internet], [Citirano 20/4/2025] Dostupno na: <https://dronelife.com/2018/10/29/drones-do-belong-at-airports-american-airlines-and-dji-demonstrate-why/>,
- [7] MEI, *Sporazum o stabilizaciji i pridruživanju*, Republika Srbija – Ministarstvo za evropske integracije, [Internet], [Citirano 16/4/2025] Dostupno na: <https://www.mei.gov.rs/srl/srbija-i-eu/sporazum-ostabilizacijiiipridruzivanju/>, 2025.
- [8] Pravilnik o obezbeđivanju kontinuirane plovidbenosti vazduhoplova i drugih vazduhoplovnih proizvoda, delova i uređaja i o odobravanju vazduhoplovno-tehničkih organizacija i osoblja koji se bave ovim poslovima, *Sl. Glasnik RS*, br: 5/2019, 50/2019 i 123/2021
- [9] DCV, *Veliki uspeh za civilno vazduhoplovstvo RS*, [Internet], Direktorat civilnog vazduhoplovstva Republike Srbije, [Citirano 25/4/2025] Dostupno na: <http://cad.gov.rs/lat/vest/20991/veliki-uspeh-za-civil-no-vazduhoplovstvo-rs-usaglasenost-srbije-u-oblasti-sistema-obebedivanja-security-u-vazduhoplovstvu-na-najvisem-nivou>
- [10] Zakon o vazdušnom saobraćaju, *Sl. Glasnik RS*, br: 73/2010, 57/2011, 93/2012, 45/2015, 66/2015 – dr. zakon, 83/2018, 9/2020 i 62/2023
- [11] Petrović N, Kalićanin P, Vorotović G, Mitrović Č, *Održavanje vazduhoplova – obezbeđivanje kontinuirane plovidbenosti*, Univerzitet u Beogradu – Mašinski fakultet, 2016.
- [12] Kinnison S. A. H, Siddiqui T, McGraw-Hill, *Aviation Maintenance Management*, New-York, 2013.
- [13] Novak A, Novak Sedláčková A, Bugaj M, Kandra B, Lusiak T, Use of Unmanned Aerial Vehicles in Aircraft Maintenance, *Transportation Research Procedia* 51, 160-170, 2020
- [14] MMM, *A Gentle Introduction to Computer Vision, Machine Learning Mastery*, [Internet], [Citirano 20/5/2025] Dostupno na: <https://machinelearningmastery.com/what-is-computer-vision/>
- [15] Miranda J, Larnier S, Herbulot A, Devy M, *UAV-based Inspection of Airplane Exterior Screws with Computer Vision*, VISAPP, 2019.
- [16] Hruz M, Bugaj M, Novak A, Kandra B, Badanik B, „The Use of UAV with Infrared Camera and RFID for Airframe Condition Monitoring“, *Appl. Sci.* 2021, 11, 3737, 2021.
- [17] Fabra, F, Distributed Approach for Collision Avoidance between Multirotor UAVs Following Planned Missions, *Sensors* 2019.
- [18] Knowledge Alliance in Air Transport, project RASMUS+, 588060-EPP-1-2017-1-RO-EPPKA2-KA, KAAT, 2020.
- [19] Solanki A, Tarar S, Preet Singh S, Tayal A, *The Internet of Drones AI Applications for Smart Solutions*, CRC Press, 2023
- [20] Tsakalerou M, Nurmaganbetov D, Beltenov N, „Aircraft Maintenance 4.0 in an era of disruptions“, *Sci-*

ence Direct – Procedia Computer Science 200, 121-131, 2022.

[21] Airbus, *New Airbus list price for 2014*, Airbus, [Citirano 15/6/2025] Dostupno na: <http://->

[www.airbus.com/presscentre/pressreleases/press-release-detail/detail/new-airbus-aircraft-list-prices-for-2014/](http://www.airbus.com/presscentre/pressreleases/press-release-detail/detail/new-airbus-aircraft-list-prices-for-2014/)

## SUMMARY

### ANALYSIS OF THE INTRODUCTION OF UNMANNED AERIAL VEHICLES IN THE MAINTENANCE PROCESS OF COMMERCIAL AIRCRAFT

*Unmanned aerial vehicles are increasingly used in modern society and are increasingly present in certain branches of detention. The idea of this paper is to present the very process of maintenance of commercial aircraft and the possibility of using unmanned aircraft in that process. The inspection process itself could be significantly improved and accelerated, while maintaining or even increasing the level of security. The work gives an overview of today's solutions that are applied and the possibilities of improving such systems. At the very end of the paper, an analysis of the cost-effectiveness of the introduction of these systems is presented, with a special aspect on security risk.*

**Key Words:** UAV, MRO, aircraft, maintenance