Koncept operacija bespilotnih vazduhoplova u urbanim područjima

SARA D. ZORAJA, Univerzitet u Beogradu,
Saobraćajni fakultet, Beograd
FEDA T. NETJASOV, Univerzitet u Beogradu,
Saobraćajni fakultet, Beograd

Stručni rad
UDC: 629.014.9
DOI: 10.5937/tehnika2103345Z

U ovom radu predložen je koncept operacija bespilotnih vazduhoplova koji bi se koristili za transport robe u urbanim područjima, u donjem delu vazdušnog prostora iznad naselja. Kako bi se maksimalno iskoristio potencijal koji ovaj koncept nosi sa sobom, neophodno je usaglasiti već postojeće operacije sa budućim, projektovati vazdušni prostor koji će biti namenjen ovim operacijama, i doneti regulativu koja će omogućiti bezbedno funkcionisanje koncepta. Iako je neophodno uložiti velika sredstva kako bi se obezbedili adekvatni uslovi za bezbedno funkcionisanje sistema, smatra se da će koristi koje jedan ovakav sistem nosi sa sobom dovesti do višestruke isplativosti. Koncept operacija bespilotnih vazduhoplova u urbanim područjima opisan je kroz tri faze evolucije. Faza 1 je najpovoljnija za operatera s aspekta efikasnosti, zbog toga što se podrazumeva kretanje od tačke A do tačke B najkraćom putanjom. Faza 2 uvodi delimičnu uređenost sistema, s obzirom na to da je planirano kretanje bespilotnih vazduhoplova po unapred poznatoj mreži gradskih vazdušnih puteva. U fazi 3 opisan je koncept operacija u potpuno uređenom sistemu, tj. specijalno projektovanim glavnim gradskim vazdušnim putevima, u kome postoji telo zaduženo za nadzor i vođenje bespilotnih vazduhoplova. Dobijeni rezultati su pokazali da se u zavisnosti od kriterijuma, koncepti operacija prikazani fazama 1, 2 i 3 mogu pokazati u manjoj ili većoj meri pogodnim za primenu u donjem delu vazdušnog prostora i mogu se koristiti sukcesivno.

Ključne reči: bespilotni vazduhoplovi, urbani vazdušni prostor, bezbednost

1. UVOD

Potreba za dostavom dobara u gradovima poslednjih godina ima značajan trend rasta. Danas je potreba za transportom od tačke A do tačke B, bilo da se radi o putnicima, robi, medicinskoj pomoći, itd, izraženija nego ikada. Naime, sa globalizacijom i sve većim brojem ljudi u gradovima, gužve i zagušenja na svakodnevnom nivou su postale faktor koji negativno utiče na efikasnost i ekspeditivnost u transportu [1].

Javlja se potreba za izbegavanjem gužvi na zemlji, a jedan od načina za prevazilaženje ovog problema mogu biti bespilotni vazduhoplovi (dronovi). Očekivanja su da će dronovi moći da prevaziđu neke od najučestalijih logističkih problema izbegavajući problematičnu infrastrukturu na zemlji, ubrzavajući proces dostave i čineći lance snabdevanja efikasnijim [2]. Smatra se da bi upravo na tržištu dostave manjih pake-

ta poručenih preko interneta, kargo dronovi mogli da rasterete grad, puteve i železnice smanjujući zagušenje, a pridržavajući se predviđenih vremena dostave. Velike kompanije kao što su Amazon, UPS, DHL eksperimentišu ovim novim vidom transporta i novim tehnologijama kako bi utvrdili budući opstanak i koristi ovakvog sistema [3].

Npr. kompanija Amazon je trenutno u fazi testiranja PrimeAir-a (slika 1), prototipa vazduhoplova koji će biti namenjen dostavi manjih paketa poručiocima robe [4]. Zatim, kompanija Zipline koristi male dronove za transport krvi, vakcina i medicinske opreme klinikama koje se nalaze u Ruandi [5].

Slika 1 - Amazon PrimeAir

Adresa autora: Sara Zoraja, Univerzitet u Beogradu,
Saobraćajni fakultet, Beograd, Vojvode Stepe 305
e-mail: s.zoraja@sf.bg.ac.rs
Rad primljen: 11.04.2021.
Rad prihvaćen: 21.04.2021.

Dronovi za dostavu robe u urbanim područjima su malih dimenzija, a pritom efikasni, što omogućava transport malih količina robe. Lete na malim distancama sa malom količinom tereta, povezuju proizvođače sa njihovim potencijalnim mušterijama direktnim letom, izbegavajući troškove i bezbednosne rizike karakteristične za dostavu dobara drumskim vidom saobraćaja.

NASA i Federalne vazduhoplovne vlasti Sjedinjenih Američkih Država, zajedno sa vazduhoplovnom industrijom i univerzitetima aktivno rade na razvoju koncepta UTM (Unmanned Aircraft System Traffic Management) za operacija dronova u donjem delu vazdušnog prostora. Poslednjih godina su sprovedena različita istraživanja u retko i umereno naseljenim područjima, a testiranja u gusto naseljenim područjima se planiraju u bliskoj budućnosti. Od suštinskog je značaja za dalji razvoj koncepta testirati granice UTM-a, struktuirati sistem i definisati pravila koji će važiti u donjem delu vazdušnog prostora (VLL – Very Low Level Airspace) [1].

2. KONCEPT OPERACIJA BESPILOTNIH VAZDUHOPLOVA U URBANIM PODRUČJIMA

Bezbedna integracija dronova u vazdušni prostor podrazumeva da su dronovi sigurni, efikasni i da nemaju ili imaju vrlo malo uticaja na već postojeće operacije u vazdušnom prostoru. Da bi se obezbedio zahtevani nivo bezbednosti, neophodno je definisati pravila kojima će se eventualne prepreke, koje utiču na nesmetano odvijanje saobraćaja, prevazići [5].

2.1 Principi

Prilikom definisanja konkretnih pravila, čiji će predlog biti detaljno predstavljen kasnije u radu, neophodno je ograničiti se i voditi se određenim principima [6]:

- koncept operacija dronova u urbanim područjima ne bi trebalo da zahteva velike promene u vidu infrastrukture u odnosu na već postojeću;
- pravila koja će biti definisana bi trebalo da budu slična pravilima u ATM-u (Air Traffic Management);
- implementacija koncepta ne bi trebalo da pravi značajne promene kada se radi o podeli i nameni vazdušnog prostora.

Razlozi za uvođenje ovih principa su ekonomske i organizacione prirode. Pravila koja bi bila sušta suprotnost današnjem načinu funkcionisanja sistema vazdušnog saobraćaja bi bila teško prihvaćena od strane operatera, ali i ljudi na zemlji. Razlog koji se krije iza ove činjenice je taj što su današnja pravila u vazduhoplovstvu posledica prakse, tj. incidenata i akcidenata koji su se dešavali kroz istoriju. Suštinski drugačiji način funkcionisanja bi doveo do nepoverenja i

rezervisanosti, što bi dalje odložilo implementaciju dronova u sistem [5].

2.2. Pretpostavke

Koncept operacija dronova predložen u ovom radu na nivou urbanog područja, temelji se na gore pomenutim principima i sledećim pretpostavkama [6]:

- postoji telo koje vrši nadzor i vođenje bespilotnih vazduhoplova u donjem delu vazdušnog prostora (Urban Traffic Control - UTC), slično kontroli letenja;
- tehničko-tehnološki aspekt radio-navigacione opreme je na najvišem mogućem nivou i omogućava nesmetano odvijanje operacija dronova u donjem delu vazdušnog prostora;
- kontrola letenja (ATC – Air Traffic Control) nije u nadležnosti za donji deo vazdušnog prostora i ne kontroliše saobraćaj koji se odvija na visinama do 400 ft [7] iznad nivoa zemlje, osim u okolini aerodroma;
- bespilotni vazduhoplovi raspolažu sa najnovijom tehnologijom i pratećim sistemima neophodnim za bezbedno obavljanje operacija;
- postoji sistem za prikupljanje i razmenu informacija između svih zainteresovanih strana u sistemu (SWIM – System Wide Information Management);
- postoje standardi koji se tiču obavljanja operacija u VLL (Very Low Level [8]) vazdušnom prostoru doneti od strane vazduhoplovnih vlasti.

Pravilo koje se odnosi na maksimalnu visinu na kojoj bespilotni vazduhoplovi mogu leteti utvrđeno je na osnovu minimalne visine krstarenja vazduhoplova, koja iznosi 500 ft. Smatra se da je bezbedno razdvajanje od 100 ft dovoljno da se izbegne potencijalni bliski susret između vazduhoplova i drona. Ovo pravilo je od posebnog značaja na mestima gde su uobičajeni letovi helikoptera, zbog toga što oni po prirodi operacija lete na nižim visinama, u poređenju sa avionima [7].

Iako uvođenje pretpostavki ograničava koncept operacija, iste je neophodno uvesti zbog toga što u ovom trenutku nisu usvojena konkretna rešenja po pitanju organizacije, komunikacije i navigacije ovih tipova vazduhoplova. Simultano se radi na donošenju rešenja koja se tiču ovih pitanja što će u budućnosti olakšati proces formiranja koncepta operacija.

Pored toga, pravila predložena u ovom radu, odnose se na idealne meteorološke uslove, na uslove optimalne potražnja i na pretpostavku da je obavljanje operacija dostave dobara prihvaćeno od strane korisnika [5].

Komponente sistema dostave robe dronovima čine [5]: bespilotni vazduhoplovi, neophodna infrastruktura

na zemlji i u vazduhu, operateri dronova, korisnici usluga (naručioci dobara) i telo koje vrši vođenje i nadzor kretanja bespilotnih vazduhoplova.

2.3. Ograničenja

Postoji niz ograničenja koja treba da se prevaziđu kako bi se operacije bespilotnim vazduhoplovima bezbedno i efikasno integrisale u sistem vazdušnog saobraćaja. Pored toga, treba obezbediti kapacitet za povećanje obima operacija, koje se očekuju u bliskoj budućnosti nakon implementacije dronova za dostavu robe u donjem delu vazdušnog prostora [5].

Najčešća ograničenja su kvalitet prevoza dobara, emisije štetnih gasova, pristupačnost koja se ogleda kroz vreme i cenu dostave, buka opažena od strane ljudi na zemlji, bezbednost u slučaju nezgoda, efikasnost po pitanju potrošnje energije, itd [5].

Ograničenja u vazdušnom prostoru usko su povezana sa ograničenjima samih vazduhoplova. Na primer, ostvarivanje potrebnog nivoa bezbednosti zahteva razvoj tehnologija i implementaciju procedura koje će osigurati bezbedno razdvajanje između dronova, između dronova i terena ili prepreka. Dalje, alate i metode za sekvenciranje saobraćaja je neophodno razviti kako bi se na optimalan način iskoristio vazdušni prostor [5].

Iz svega navedenog, može se zaključiti da glavno ograničenje jeste pitanje bezbednosti. Prevazilaženje barijera po pitanju bezbednosti i efikasnosti podrazumevaće uzajamni razvoj bespilotnih vazduhoplova, ali i pratećih sistema, kao i infrastrukture na zemlji. Paralelno sa tim, neophodno je razvijati UTM sistem kako bi se obezbedila adekvatna koordinacija između svih zainteresovanih strana [5].

3. RAZVOJ KONCEPTA OPERACIJA

Koncept operacija predložen u ovom radu se fokusira na UTM operacije koje se dešavaju na ili ispod 400 ft (120 m) iznad naseljenih mesta. Koncept je strukturiran na osnovu određenih standarda u vazdušnom saobraćaju, ali je ujedno uveden i niz pretpostavki kako bi se postigla standardizacija i generalizacija koncepta operacija.

Pored toga, imajući u vidu da je koncept implementacije dronova u vazdušni prostor u svrhe dostave dobara u ranim fazama svog razvoja, u trenutku pisanja rada ne postoji konkretna regulativa na osnovu koje bi bilo moguće razviti koncept operacija, bez uvođenja pretpostavki [5].

Visina na kojoj dronovi lete je relativna visina, tj. vertikalno rastojanje posmatrane tačke (drona), za koju se podrazumeva da je u vazduhu, u odnosu na referentnu ravan. Korišćenjem relativne umesto apsolutne visine (vertikalno rastojanje određene tačke u vazduhu u odnosu na srednji nivo mora (MSL – Mean Sea

Level)) smanjuje se rizik od narušavanja bezbednog nadvišavanja prirodnih ili veštačkih prepreka.

Imajući u vidu da je prvobitna namena dronova – dostava dobara u urbanim područjima, značajno je napomenuti da će ove operacije biti van vizuelnog dometa operatera (Beyond Visual Line of Site - B-VLOS), zbog toga što operater (Remote Pilot - RP) neće biti u mogućnosti da održava vizuelni kontakt sa dronom (Visual Line of Site - VLOS). VLOS podrazumeva održavanje vizuelnog kontakta sa bespilotnim vazduhoplovom sve vreme leta, što znači da dronovi ne mogu leteti u lošim meteorološkim uslovima (magla, oblačnost), iza drveća, zgrada ili drugih prepreka. Zbog očiglednih ograničenja koncepta, neophodno je koristiti B-VLOS operacije, koje podrazumevaju upravljanje dronovima bez potrebe da se održava vizuelni kontakt između bespilotnog vazduhoplova i RP. Umesto toga, RP upravlja dronom pomoću instrumenata iz udaljene upravljačke stanice (Remote Pilot Station - RPS). Ove operacije zahtevaju veće kvalifikacije i iskustvo RP-a, kako bi zadovoljile zahtevani nivo bezbednosti. Pored toga, jasno je da će dronovi biti programirani tako da budu autonomni. Ovaj tip operacija predstavlja fundamentalnu osnovu za razvijanje koncepta dostave dobara u urbanim područjima [9].

Autonomnost dronova, ali i činjenica da će operacije biti B-VLOS, vode ka tome da će još jedan od zahteva, koji će dronovi morati da zadovolje, biti opremljenost antikolizionim sistemom, koji bi bio pandam postojećem TCAS-u (Traffic Collision Avoidance System) u civilnom vazduhoplovstvu. Prisustvo ovakvog sistema koji bi pružao informacije o prisustvu "stranog tela" u određenom radijusu je od vitalnog značaja za bezbedne operacije bespilotnih vazduhoplova, tj. za smanjenje rizika od oštećenja bespilotnog vazduhoplova, sudara dva ili više bespilotnih vazduhoplova u vazduhu, sudara bespilotnog vazduhoplova i prirodne ili veštačke prepreke ili akcidenta/incidentu po treća lica na zemlji [5].

Kontrola letenja nadležna za nadzor, komunikaciju i bezbedno vođenje vazduhoplova kroz vazdušni prostor nije zadužena za upravljanje dronovima u donjem delu vazdušnog prostora. Međutim, prikazano je kroz faze postepeno uvođenje nekakvog tela koje će imati sličnu ulogu kao konvencionalna kontrola letenja, ali koja će se baviti isključivo vođenjem bespilotnih vazduhoplova. Opisan kroz faze, predloženi koncept operacija daje pregled prednosti i nedostataka koje bi svako od rešenja nosilo sa sobom, kao i razloge za uvođenje novog.

Cilj predloženog koncepta jeste predstavljanje jedne vizije uređenog sistema u kome su glavni akteri dronovi, kao i opisivanje operativnih i tehničkih zahteva za bezbedno odvijanje operacija unutar sistema.

Predlozi i rešenja navedeni u radu opisuju fundamentalne koncepte i elemente koji su u vezi sa UTM operacijama i koji bi mogli da posluže kao ideja i baza za dalji razvoj UTM-a [5].

3.1. Faza 1 koncepta

Prva faza razvoja koncepta operacija se temelji na slobodnom letenju iznad naseljenih mesta između baze operatera i korisnika usluga. Pod slobodnim letenjem podrazumeva se letenje na ili ispod 400 ft (120 m) iznad nivoa zemlje, direktno od tačke A do tačke B (najkraćim putem), bez postojanja vazdušnih koridora i bez postojanja tela koje vrši nadzor i vođenje bespilotnih vazduhoplova (slika 2 levo) [5].

Pretpostavlja se da će operacije dronova na nivou grada, u najranijoj fazi, biti organizovane tako da budu što jednostavnije i što povoljnije za operatera. S obzirom na to da će glavni izvor energije dronovima biti baterije, a teži se tome da one budu što dugotrajnije, akcenat se u prvoj fazi projektovanja stavlja na pređeni put i vreme koje je neophodno da se dronom izvrši dostava od tačke A do tačke B. Operateri bi u ovom slučaju birali ortodromsko rastojanje, tj. najkraće rastojanje između dve tačke na Zemljinoj površini za dostavu dobara, budući da su u tom slučaju operativni troškovi najniži.

Jedan operater bi, na teritoriji jednog grada, mogao da obavlja operacije na ovaj način. Ovakva organizacija operacija u vazdušnom prostoru bi bila izvodljiva ukoliko bi postojala koordinacija unutar organizacionih struktura operatera koje bi vodile računa da ne dolazi do presecanja putanja, a samim tim ni do potencijalnih konflikata [5].

Međutim, uvođenje još jedne baze drugog operatera bi dovelo do naglog povećanja kompleksnosti saobraćajne situacije u donjem delu vazdušnog prostora. Bez hijerarhije, tela koje vrši nadzor i vođenje bespilotnih vazduhoplova, porastao bi broj potencijalnih konflikata čime bi saobraćajna situacija postala nebezbedna i nepovoljna. Glavna prednost ovog koncepta je svakako najkraće rastojanje i najkraće vreme dostave od tačke A do tačke B. Samim tim, operater bi teorijski imao kapacitet koji je ograničen brojem raspoloživih dronova, koji bi se koristili za dostavu robe, i vremenom dostave [5].

U teorijskom smislu, ovakva faza bi bila adekvatna kada bi postojala samo jedna baza i jedan operater na nivou jednog grada, gde ne dolazi do presecanja putanja dronova. Međutim, pretpostavlja se da će situacija biti dosta složenija. Veći broj putanja, baza i operatera, njihovo preklapanje ili presecanje otvara mogućnost za razvoj potencijalnih konflikata i smanjenje bezbednosti. Bezbednost je i dalje najvažniji prioritet u vazduhoplovstvu, bilo da se radi o vazduhoplovima koji lete sa ili bez posade. Takođe, treba

imati u vidu da se operacije dostave robe dronovima planiraju za donji vazdušni prostor, iznad urbanih područja, čime se stanovništvo izlaže dodatnom riziku od posledica koje bi nastale konfliktom ili kolizijom dva ili više dronova.

Imajući u vidu potencijalne posledice, potrebno je na adekvatan način napraviti balans između ekonomskih koristi i nivoa bezbednosti. Iako bi za operatere idealan slučaj bio kada bi mogli da lete po najkraćoj mogućoj putanji, s aspekta javne bezbednosti taj slučaj se ne može okarakterisati kao najidealniji. Teško je zamisliti sistem koji funkcioniše bez delimičnog ili potpunog nadzora i vođenja bespilotnih vazduhoplova. Iako se dronovi nalaze visoko na lestvici tehnološkog napretka, ipak će biti potrebno mnogo vremena da se automatizacija i sistem harmonizuju tako da ne dolazi do potencijalnog narušavanja bezbednosti [5].

3.2. Faza 2 koncepta

Koncept predstavljen u prvoj fazi razvoja predstavlja bazu za dalji razvoj i organizaciju operacija u donjem vazdušnom prostoru. Pored nedostataka kao što je veliki broj potencijalnih konflikata, narušavanje bezbednosti i kompleksna saobraćajna situacija, nameće se još problema. Jedan od njih je problem privatnosti. Naime, ukoliko bi operateri vršili dostavu dronovima iz svojih baza do finalne destinacije najkraćom mogućom putanjom, to bi neretko značilo da isti preleću privatne posede ljudi. Na taj način bi ljudima bila narušena ne samo privatnost, već i bezbednost, tj. postojao bi određeni rizik da dođe do incidenta iznad njihovog poseda [5].

Imajući u vidu sve navedene probleme koji prate koncept operacija opisan u Fazi 1, može se zaključiti da bi rešenje moglo biti uspostavljanje delimično uredenog sistema. Faza 2 nastaje evolucijom Faze 1 usled povećanja broja operatera i potražnje za takvom vrstom usluge.

Faza 2 podrazumeva letenje na ili ispod 400 ft (120 m) iznad nivoa naselja, od tačke A do tačke B, korišćenjem "gradskih vazdušnih puteva" koji su replika mreže puteva na zemlji na nivou jednog grada, bez postojanja tela koje vrši nadzor i vođenje bespilotnih vazduhoplova (slika 2 sredina) [5].

Fundamentalni koncept Faze 2 zasniva se na formiranju transportne mreže gradskih vazdušnih puteva, na osnovu već postojeće gradske transportne mreže. Transportna mreža predstavlja složen skup više čvorova i veza između njih, po kojoj se obavlja proces prevoza, prenosa ili premeštanja objekata transporta primenjenom transportnom tehnologijom u vremenu i prostoru [5].

Ovakav pristup prevazilazi problem letenja iznad privatnih poseda, kao i problem neuređenosti sistema. Mreža sačinjena od čvorova i grana daje dobar uvid u

saobraćajnu situaciju i pozitivno utiče na nivo bezbednosti. Međutim, postoji veliki broj parametara koji određuju kvalitet transportne mreže, kako na zemlji, tako i u vazduhu.

Neki od navedenih parametara kvaliteta mogu intuitivno navesti na zaključak da replika gradske transportne mreže na mrežu vazdušnih puteva kojim bi se kretali dronovi, ne predstavlja najbolje rešenje po pitanju efikasnosti. Problem kompleksnosti saobraćajne situacije, koji je naizgled rešen uvođenjem uređenog sistema, se lako može pokazati kao i dalje aktuelan ukoliko se izvrši analiza po nekim od parametara kvaliteta. Veliki broj raskrsnica, koje opravdano postoje na zemlji, u vazduhu mogu potencijalno predstavljati uska grla na kojima se povećava broj potencijalnih konflikata. Dalje, određene grane u gradskoj transportnoj mreži bi verovatno bile procentualno korišćene više vremena, dok bi druge bile korišćene manje, što bi dalje dovelo do smanjenja koeficijenta iskorišćenja predloženih vazdušnih puteva [5].

Konflikti između dva ili više dronova mogu nastati u raskrsnicama u vazduhu. Činjenica je da će se ova

vrsta saobraćaja odvijati iznad urbanih područja, na malim visinama, pa posledice konflikata mogu biti u manjoj ili većoj meri fatalne. Slučajevi i situacije koje mogu biti pogodne za razvoj konflikata nam daju indicaciju da je ipak potrebno strukturirati vazdušni prostor i osnovati telo koje će se baviti organizacijom kretanja bespilotnih vazduhoplova u donjem delu vazdušnog prostora, kako bi se postigao određeni nivo bezbednosti [5].

3.3. Faza 3 koncepta

Evolucijom Faze 2, usled daljeg povećanja broja operatera i potražnje za takvom vrstom usluge, a samim tim i većeg rizika da dođe do konflikata, nastaje Faza 3.

Koncept operacija u Fazi 3 odnosi se na operacije koje se dešavaju na ili ispod 400 ft (120 m) iznad nivoa naselja, od tačke A do tačke B, korišćenjem „gradskih vazdušnih koridora“ projektovanim isključivo za kretanje bespilotnih vazduhoplova, koji su kontrolisani od strane tela koje vrši nadzor i vođenje bespilotnih vazduhoplova (slika 2 desno) [5].

Slika 2 - Izgled hipotetičke mreže u Fazi 1 (levo), 2 (sredina) i 3 (desno) [5]

Uvođenjem podobnog tela koje je uporedivo današnje kontroli letenja postiže se urednost sistema, sa jasno definisanom strukturom i pravilima letenja. U ovakvom sistemu, bezbednost je na najvišem mogućem nivou. Pored povećanja bezbednosti, kontrolisani sistem uliva poverenje građanima, samim tim, proširuje se spektar njegove primene [5].

4. ILUSTRACIJA KONCEPTA OPERACIJA

Za potrebe ilustracije razvijenog koncepta u ovom radu je definisan generički primer koji se može razviti i primeniti na primeru bilo koje teritorije. Simulacija saobraćaja rađena je u programima GeoGebra i MS Excel [5].

Primer je urađen na sledećem scenariju [5]:

- ukupan broj baza operatera je 3;
- ukupan broj korisnika je 15;

- broj korisnika kojima se vrši dostava robe iz svake od baza je 5;
- u prirodi rastojanje između dve susedne tačke na mreži iznosi 1 NM (1,852 km);
- simulirano je ukupno 15 operacija u periodu od sat vremena u intervalu od t do $t+60$ minuta, pri čemu su vremena poletanja u intervalu od t do $t+30$ minuta;
- geografski položaj baza operatera, korisnika, kao i vremena poletanja su određeni na slučajan način. Uvedene su sledeće pretpostavke [5]:
- flota operatera je unificirana i za dostavu dobara koristi se samo jedan tip drona sa odgovarajućim performansama;
- svi dronovi se kreću istom krstarećom brzinom koja iznosi 50 km/h;

- zanemaruje se uticaj vetra i drugih meteoroloških faktora koji bi mogli uticati na performanse bespilotnih vazduhoplova;
- radno vreme počinje u t i traje do $t+60$ minuta (pretpostavlja se da ovaj period predstavlja „vršni sat“ u toku dana kada se radi o dostavi robe);

Cilj ovog generičkog primera jeste evaluacija predloženog koncepta operacija kroz tri faze, kako bi se pokazalo da li i u kojoj meri teorijske pretpostavke predstavljene konceptom operacija odgovaraju rezultatima koji su dobijeni simulacijom saobraćaja. Poređenje faza izvršeno je na osnovu tri parametra [5]:

1. rastojanje [km] – pređeni put između baze operatera i krajnjeg korisnika;
2. vreme dostave [min] – vreme koje je potrebno da se pređe rastojanje krećući se određenom brzinom;
3. broj potencijalnih konflikata – na mestima ukrštanja putanja bespilotnih vazduhoplova.

5. REZULTATI ANALIZE

Analizom pomenuta tri parametra za svaku fazu ponaosob dobijeni su rezultati prikazani na slikama 3, 4 i 5.

Na slici 3 su prikazana pređena rastojanja od baza B1, B2 i B3 do korisnika za sve tri faze uporedo. Logično, najkraća rastojanja se ostvaruju u Fazi 1 koncepta, dok se u većini slučajeva najveća rastojanja ostvaruju u fazi 3.

Slika 3 - Rastojanje između baze i korisnika [5]

Slika 4 - Vreme leta od baze do korisnika [5]

Na slici 4 su prikazana vremena trajanja letova od baza B1, B2 i B3 do korisnika za sve tri faze uporedo. Logično, najkraća vremena se ostvaruju u Fazi 1

koncepta, dok se u većini slučajeva najduža ostvaruju u Fazi 3.

Ovi rezultati su razmljivi jer proizilaze iz činjenice da je zbog konstantne brzine dronova veza između pređenog rastojanja i vremena leta direktna.

Na slici 5 su prikazani ukupni brojevi presečnih tačaka putanja (INT) u svakoj pojedinoj Fazi kao i ukupan broj potencijalnih konflikata. Interesanto je zapaziti da u Fazi 3 u kojoj postoji telo koje upravlja saobraćajem dronova, broj presečnih tačaka i broj potnecijalnih konfliktnih situacija je najmanji.

Slika 5 - Međuzavisnost između broja presečnih tačaka (INT) i broja potencijalnih konflikata [5]

6. ZAKLJUČAK

U ovom radu predložen je koncept operacija dronova koji bi se koristili za transport robe u urbanom području, u donjem delu vazdušnog prostora iznad urbanih naselja. Kriterijum kojem je u ovom radu dat najveći značaj je kriterijum bezbednosti, zbog čega se poseban akcenat stavlja na ideju o urednosti sistema, a samim tim i postojanja tela koje će se baviti nadzorom i vođenjem bespilotnih vazduhoplova u donjem delu vazdušnog prostora. Evolucijom koncepta operacija kroz tri faze i poređenjem različitih parametara između faza, cilj je bio teorijski predstavljenu ideju o urednosti sistema praktično dokazati. U te svrhe je urađena simulacija na generičkom primeru, određenog broja operacija u određenom vremenskom intervalu, čiji su rezultati u radu predstavljeni i obrađeni. Dobijeni rezultati simulacije saobraćaja su pokazali da se, u zavisnosti od kriterijuma koncepti operacija prikazani u Fazi 1, 2 i 3 mogu pokazati u manjoj ili većoj meri pogodnim za primenu i implementaciju u donjem delu vazdušnog prostora.

Imajući u vidu značaj kriterijuma bezbednosti, jedan od parametara koji je bio razmatran bio je broj potencijalnih konflikata, pri čemu ni u jednoj od faza broj konflikata nije bio jednak nuli. Ovaj podatak govori da postoji prostor za poboljšanje koncepta operacija ili uvođenje nekog novog. Poređenjem koncepta operacija, došlo se do zaključka da u navedenim uslovima, pri uvedenim pretpostavkama i ograničenjima, koncept operacija Faze 3 predstavlja najbolje

rešenje, tj. predstavlja dovoljno dobru kombinaciju efikasnosti i zahtevanog nivoa bezbednosti.

Veliki je izazov izvršiti implementaciju dronova u vazdušni prostor, imajući u vidu da su korisnici vazdušnog prostora, između ostalog, i civilni vazduhoplovi. Međutim, donošenjem odgovarajuće regulative kojom će se definisati propisi, pravila i procedure moguće je izvršiti koordinaciju operacija i ujedno obezbediti visok nivo bezbednosti u sistemu vazdušnog saobraćaja.

7. ZAHVALNICA

Istraživanje je finansirano sredstvima projekta TR 36033 Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije.

LITERATURA

- [1] NASA, *Urban Air Mobility Air Mobility Airspace Integration Concepts and Considerations*, 2019.
- [2] IATA, *Unmanned Aircraft Systems (Drones)*, <https://www.iata.org/en/programs/safety/drones/> (pristupljeno 11.4.2021).

- [3] UPS, *UPS is researching its own delivery drones*, <https://www.theverge.com/2013/12/3/5169878/ups-is-researching-its-own-delivery-drones-to-compete-with-amazons> (pristupljeno 11.4.2021).
- [4] Amazon, *PrimeAir: The Evolution of Amazon's Drone Delivery*, <https://tinuiti.com/blog/amazon-amazon-prime-air/> (pristupljeno 11.4.2021).
- [5] Zoraja S, *Koncept operacija dronova u urbanim područjima*. Saobraćajni fakultet, Beograd, 2020.
- [6] SESAR Joint Undertaking, *Initial view on Principles for the U-Space architecture*, 2019.
- [7] EASA, *Proposal to create common rules for operating drones in Europe*, 2015.
- [8] EUROCONTROL, *EASA, U-Space Services – Implementation Monitoring Report*, 2018.
- [9] ACUO, *How do we see them*, <http://www.acuo.org-au/industry/how-do-we-see-them-vlos-evlos-bvlos>, (pristupljeno 11.4.2021).

SUMMARY

THE CONCEPT OF DRONE OPERATIONS IN THE URBAN AREAS

In this paper, the concept of drone operations that would be used for transportation of goods in the urban areas, in the lower part of the airspace above urban areas, is proposed. To make the most of the potential that this concept brings, it is necessary to harmonize the already existing operations with the future ones, to design the airspace for these operations, and to adopt regulations that will enable safe operations. Although it is necessary to invest large amounts of money to provide satisfactory conditions for the safe functioning of the system, the benefits that such a system brings will lead to multiple profitabilities. The concept of drone operations in urban areas has been described through three phases of evolution. The Phase 1 is the most favorable for the operator from the aspect of efficiency because it means moving from point A to point B by the shortest path. Phase 2 introduces the idea of a partial arrangement of the system. In the Phase 3, the concept of operations is described in a fully controlled and organized system, with the urban traffic control in charge of supervising and guiding unmanned aircraft. Depending on the criteria, the results show that the concepts of operations presented in phases 1, 2, and 3 can be more or less suitable for application and implementation in the lower airspace and can be used sequentially.

Key words: *drones, urban airspace, safety*