

Automatski nadzor cesta primjenom bespilotnih letjelica

Matić, Marko

Undergraduate thesis / Završni rad

2021

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Transport and Traffic Sciences / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:119:511700>

Rights / Prava: [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2024-11-19**



Repository / Repozitorij:

[Faculty of Transport and Traffic Sciences - Institutional Repository](#)



Sveučilište u Zagrebu
Fakultet prometnih znanosti

Marko Matić

**AUTOMATSKI NADZOR CESTA PRIMJENOM
BESPILOTNIH LETJELICA**

ZAVRŠNI RAD

Zagreb, 2021.

Zagreb, 17. svibnja 2021.

Zavod: **Zavod za inteligentne transportne sustave**
Predmet: **Inteligentni transportni sustavi I**

ZAVRŠNI ZADATAK br. 6373

Pristupnik: **Marko Matić (0135255980)**
Studij: **Inteligentni transportni sustavi i logistika**
Smjer: **Inteligentni transportni sustavi**

Zadatak: **Automatski nadzor cesta primjenom bespilotnih letjelica**

Opis zadatka:

Razvoj bespilotnih letjelica otvorio je širi spektar mogućnosti njihove primjene u području nadzora i upravljanja prometnom infrastrukturom. Automatski nadzor cesta primjenom bespilotnih letjelica novo je područje interesa znanstvene i stručne zajednice. U ovom završnom radu potrebno je analizirati procese i nadzora prometne infrastrukture te mogućnosti primjene sustava bespilotnih letjelica za nadzor prometne infrastrukture. Također, u završnom radu je potrebno opisati nacionalnu i EU regulativu za bespilotne sustave te načine i sustave upravljanja bespilotnim letjelicama. Također, tijekom izrade završnog rada potrebno izvesti i opisati eksperimentalni nadzor testnog cestovnog koridora.

Mentor:

Predsjednik povjerenstva za
završni ispit:

doc. dr. sc. Pero Škorput

Sveučilište u Zagrebu
Fakultet prometnih znanosti

ZAVRŠNI RAD

**AUTOMATSKI NADZOR CESTA PRIMJENOM
BESPILOTNIH LETJELICA**

AUTONOMUS DRONE ROAD SURVEILLANCE

Mentor: doc. dr. sc. Pero Škorput

Student: Marko Matić

JMBAG: 0135255980

Zagreb, 2021.

SAŽETAK

Nadzor cestovnog prometa vrši se u svrhu analize prometnih podataka kako bi povećali učinkovitost i sigurnost samog prometa. Nadzor se uglavnom vrši primjenom klasične tehnologije poput stacionarnih kamera, senzora, te manualnog brojanja, ali primjenom inovativnih rješenja poput bespilotne letjelice moguće je unaprijediti i olakšati taj proces, te ukloniti mane postojećih sustava. Ovim završnim radom analizirana je potreba za zamjenom postojećih sustava usporedbom prednosti i mana između navedenog i bespilotnih letjelica. Istražene su razne primjene bespilotnih letjelica u svrhu sigurnosti prometa, nadzora i upravljanja prometom i upravljanja infrastrukturom autocesta, te su predloženi načini, oprema i sustavi koji bi omogućili automatizirani nadzor cesta bespilotnim letjelicama. Sve to popraćeno je uz analizu zakona i regulative za izvođenje letenja bespilotnim letjelicama na području Europske unije i Republike Hrvatske. Pred kraj rada izvršena je i opisana praktična primjena bespilotne letjelice u svrhu nadzora.

KLJUČNE RIJEČI: bespilotne letjelice; nadzor cestovnog prometa; sustavi za upravljanje letom

SUMMARY

Road traffic monitoring is performed for the purpose of analyzing traffic data in order to increase the efficiency and safety of the traffic itself. Surveillance is mainly done by applying classic technology such as stationary cameras, sensors and manual counting, but by applying innovative solutions such as drones, it is possible to improve and facilitate this process, and eliminate the shortcomings of existing systems. This final paper analyzes the need to replace existing systems by comparing the advantages and disadvantages between the existing systems and unmanned aerial vehicles. Various applications of unmanned aerial vehicles for the purpose of traffic safety, traffic control and management, and motorway infrastructure management have been investigated and ways, equipment and systems that would enable automated road surveillance by unmanned aerial vehicles have been proposed. All this was accompanied by an analysis of the laws and regulations for the performance of drones in the European Union and the Republic of Croatia. Towards the end of the work, the practical application of the unmanned aerial vehicle for the purpose of surveillance was performed and described.

KEY WORDS: unmanned aerial vehicles; road traffic control, flight control systems

SADRŽAJ

1. UVOD.....	1
2. POVIJEST, PRIMJENA I PODJELA BESPILOTNIH LETJELICA.....	3
2.1. Povijest bespilotnih letjelica	3
2.2. Primjena i razvoj dronova.....	7
2.3. Klasifikacija i podjela dronova.....	8
3. AUTOMATSKI NADZOR CESTA PRIMJERNOM BESPILOTNIH LETJELICA.....	11
3.1. Potreba za zamjenom postojećih sustava za nadzor	11
3.2. Prednosti i mane bespilotnih letjelica u nadzoru prometa.....	12
3.3. Područja primjene bespilotnih letjelica za nadzor u prometu.....	13
3.3.1. Sigurnost cesta	13
3.3.2. Nadzor i upravljanje prometom	15
3.3.3. Upravljanje infrastrukturom autocesta	16
3.4. Senzorski sustavi i sustavi za upravljanje bespilotnim letjelicama	18
3.4.1. Senzorski sustavi na dronovima.....	18
3.4.2. Sustavi za upravljanje dronovima	20
4. NACIONALNA I EU REGULATIVA	22
4.1. European Union Aviation Safety Agency (EASA).....	22
4.2. Europska regulativa.....	23
4.2.1. Otvorena kategorija	24
4.2.2. Određena kategorija	27
4.2.3. Certificirana kategorija.....	28
4.2.4. Uvjeti za osposobljavanje.....	28
4.3. Regulativa Republike Hrvatske	30
5. PRAKTIČNI PRIMJER	32
6. ZAKLJUČAK	40
LITERATURA	41
POPIS SLIKA	43
POPIS TABLICA	44

1. UVOD

Nadzor prometa vrši se u svrhu analize prometnih podataka kako bi unaprijedili protok prometa i povećali sigurnost i udobnost istog. Trenutni sustavi u primjeni uključuju instaliranje stacionarnih kamera, senzora, te ručnog brojanja prometa koji, u praksi daju dobre rezultate, ali imaju i bitna ograničenja koja smanjuju uspješnost nadziranja cesta. Cilj je smanjiti ograničenja takvih sustava kako bi se osigurala bolja analiza prometa koja bi predvodila unapređenje samog prometa. Jedna od inovativnih rješenja su bespilotne letjelice koje imaju mogućnost unapređenja takvog sustava, u smislu bržeg, boljeg i financijski isplativijeg sustava.

U ovom završnom radu predmet istraživanja je upravo sustav nadziranja cesta primjenom bespilotnih letjelica. Cilj je istražiti razloge zamjene bespilotnih letjelica sa postojećim sustavima i područja primjene bespilotnih letjelica u svrhu nadzora cesta. Izvori podataka za izradu ovoga rada uglavnom potječu sa internetskih stranica o bespilotnim letjelicama i raznim istraživanjima i video sadržajima pronađenim na internetu. Naslov završnog rada glasi: Automatski nadzor cesta primjenom bespilotnih letjelica. Rad je podijeljen u šest cjelina:

1. Uvod
2. Povijest, primjena i podjela bespilotnih letjelica
3. Automatski nadzor cesta primjenom bespilotnih letjelica
4. Nacionalna i EU regulativa
5. Praktični primjer
6. Zaključak

U drugom poglavlju opisana je povijest bespilotnih letjelica, te su nabrojani razni načini primjene dronova, uključujući i primjena u prometu kao jedan od načina. Također su opisani načini podjele kao i prikaz podjele bespilotnih letjelica.

Treće poglavlje najviše govori o zadanoj temi ovoga završnog rada. Istražuje se potreba za promjenom postojećih sustava nadzora, te se predstavljaju prednosti i mane postojećih sustava i sustava sa bespilotnim letjelicama. Također opisana su

neka područja primjene bespilotnih dronova u prometu, preciznije područja sigurnosti cesta, nadzora i upravljanja prometom i upravljanje infrastrukturom autocesta. Na kraju navedena je bitna oprema, te je opisan sustav koji bi se mogao koristiti u slučaju automatiziranog upravljanja bespilotnim letjelicama.

Dalje, u četvrtom poglavlju opisane su regulacije letenja bespilotnim letjelicama na području Europske unije, kao i područja Republike Hrvatske. Isto tako navedene su operativne kategorije dronova i uvjeti za osposobljavanje.

U petom poglavlju bit će opisan praktični zadatak upravljanja bespilotnim letjelicama.

2. POVIJEST, PRIMJENA I PODJELA BESPILOTNIH LETJELICA

Bespilotne letjelice (Unmanned Aerial Vehicle - UAV), većini poznatije pod imenom dronovi, su letjelice koje ne zahtijevaju pilota. Dronovi su sastavni dio bespilotnog zrakoplovnog sustava (Unmanned Aircraft Systems - UAS), koji uključuje zemaljski kontroler i sustav komunikacije s dronovima. Let dronom može se upravljati na daljinu od strane ljudskog operatera, kao daljinski pilotirani zrakoplov (Remotely-Piloted Aircraft - RPA) ili različitim stupnjevima autonomije, kao što je pomoć autopilota, pa sve do potpuno autonomnih zrakoplova koji nemaju potrebu ljudske intervencije. [1]

Dronovi su izvorno razvijeni kroz 20. stoljeće za vojnu uporabu, a za civilnu uporabu su se smatrali previše „dosadni, prljavi, opasni“. Kako se tehnologija razvijala, a troškovi padali, njihova primjena u 21. stoljeću je naglo našla mnogo raznih područja uključujući zračno snimanje, dostava proizvoda, agrikultura, patroliranje i nadzor, inspekcija infrastrukture, znanosti, pa čak i švercanje i utrkivanje dronovima. [1]

2.1. Povijest bespilotnih letjelica

Već sredinom 1850-ih godina pojavili su se prvi vojni „dronovi“. Njihov koncept datira nazad u 1849. godinu kada je Austrija napadala Veneciju koristeći bespilotne balone punjenim eksplozivom. Na grad je bilo lansirano oko 200 balona, ali zbog utjecaja vremena, tek 1 je pogodio svoju metu. Iako ovakvi ne predstavljaju dronove kakve danas poznajemo zanimljivo je vidjeti da se koncept istih počeo razvijati već u 19. stoljeću. [2]

Kada govorimo o današnjim dronovima jedna od njihovih prepoznatljivih karakteristika su četiri propelera. Rani razvoj takve tehnologije pojavio se još 1907. godine kada su braća Jacques Brequet i Luis Brequet uz pomoć francuskog fiziologa Charlesa Richeta razvili rani primjer sa svojim žiroplanom, pretečom helikoptera. Letjelica je postigla svoj prvi vertikalni uspon, ali uz pomoć pilota i to samo na visinu od 0.6 metara. Iako je to daleko od onakvog drona kakav je danas poznatiji, bio je to veliki korak u pravom smjeru. [2]

Kada pričamo o Prvom i Drugom svjetskom ratu, bez ikakve nedoumice možemo reći da su to, kao i ratovi općenito, nepoželjna i strašna razdoblja, te strane koje su sudjelovale u takvim događajima provodile bi velika istraživanja novih i efektivnijih

načina kako pridonijeti pobjede bez velikih gubitaka. Tu dolazi do velikog tehnološkog napretka u ratovima, pa tako je došlo i do razvoja bespilotnih letjelica. Tijekom Prvog svjetskog rata 1916. godine razvijena je prva bespilotna letjelica pod nazivom Ruston Proctor Aerial Target [2] koju prikazuje slika 1.



Slika 1. Prva bespilotna letjelica Ruston Proctor Aerial Target

Izvor:

https://www.google.com/search?q=ruston+proctor+aerial+target&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=2ahUKEwjCxavzjZ_xAhXdhv0HHXIWB10Q_AUoAXoECAEQAw&biw=1536&bih=754&dpr=1.25#imgrc=cSit_zUdYgiKwM (pristup, lipanj 2021.)

Ove ratne bespilotne letjelice koristile su radio navigacijski sustav razvijen od strane britanskog inženjera Archibalda Lova. Kasnije američka vojska je izradila Kettering Bug koji je koristio žiroskopske kontrole i namjena mu je bila da bude zračni torpedo. [2]

Nakon Prvog svjetskog rata tehnologija bespilotnih letjelica je nastavila razvoj. 1930-ih godina Američka mornarica počela je eksperimentirati sa radio kontrolnim (Radio Controlled - RC) letjelicama koje su rezultirale razvoju Curtiss N2C-2 drona 1937. godine. Par godina prije, 1935., u Velikoj Britaniji je razvijen Queen Bee, radio kontrolirani dron za koji se vjeruje da je doveo do uporabe termina „drone“ za radio kontrolirane bespilotne letjelice. [2] Prikaz navedenoga je na sljedećoj slici 2.



Slika 2. Radio kontrolirani dron Queen Bee

Izvor:

https://en.wikipedia.org/wiki/File:Winston_Churchill_and_the_Secretary_of_State_for_War_waiting_to_see_the_launch_of_a_de_Havilland_Queen_Bee_radio-controlled_target_drone,_6_June_1941._H10307.jpg (pristup, lipanj 2021.)

RadioPlane OQ-2, razvijen od strane britanskog glumca Reginalda Dennyja i inženjera Waltera Rightera 1930-ih godina postao je prvi masovno proizvedeni dron u Sjedinjenim Državama, a proizvedeno je gotovo 15 000 dronova za vojnu uporabu. Međutim, stvarna zasluga za izum radio-upravljanog zrakoplova pripada Edwardu M. Sorensenu, koji je patentirao izum koji koristi zemaljski terminal za praćenje kretanja zrakoplova. Prije razvoja ove tehnologije rani RC zrakoplovi mogli su djelovati samo u vizualnom pogledu kontrolnog pilota. [2].

Sljedeći veliki korak za dronove bio je za vrijeme vietnamskog rata. U ovom ratu došlo je do novih načina uporabe dronova, kao što je izviđanje dronovima, isto tako služili su kao i mamci u borbama, lansiranje raketa na određene mete i ispuštanje letaka za psihološku operaciju.

Zahvaljujući tehnologijama tranzistora, koje su se razvijale 1960-ih godina, radio kontrolirane komponente mogle su biti umanjene i to je dovelo do mogućnosti prodaje dronova civilnim kupcima, te je tako došlo do prvih prodaja RC letjelica. [2]

Iako je u SAD-u masovna proizvodnja dronova za vojsku bila uspješna, dronovi su se i dalje smatrali veoma skupima. To se promijenilo 1982. godine kada je Izrael

pomoću dronova zadobio pobjedu nad Sirijskom zračnom snagom sa minimalnim gubitcima. U SAD-u je također započet Pioneer UAV program 1980., sa golom da se izradi jeftiniji dron za operacije flote. Združeni projekt Izraela i Amerike 1986. godine dovela je do razvoja RQ2-Pioneer. [2]

Mini i mikro verzije UAV-a predstavljene su 1990. i poznati dron Predator (slika 3) je predstavljen 2000. godine. Korišten je u Afganistanu za lansiranje raketa i potragu Osame bin Ladena.



Slika 3. Prikaz bespilotne letjelice Predator

Izvor: https://en.wikipedia.org/wiki/General_Atomics_MQ-1_Predator#/media/File:MQ-1_Predator,_armed_with_AGM-114_Hellfire_missiles.jpg (pristup, lipanj 2021.)

U nadolazećim godinama broj manjih dronova kao Raven, Wasp, Puma razvijeni su od strane AeroVironment INC. Službenu komercijalnu dozvolu za dronove 2006. godine izdala je Savezna uprava zrakoplovstva (Federal Aviation Administration - FAA).

Zadnjih 10-ak godina došlo je do velike „eksplozije“ u inovaciji dronova i komercijalnom interesu. Iako se i dalje koriste najviše za vojsku i za hobije, početkom 2010. godine dolazi do novih prijedloga za primjenu kao što su dostave. Sredinom desetljeća FAA je vidjela veći rast zahtjeva za dozvolama i oko 1000 komercijalnih dozvola izdano je 2015. godine. Broj se utrostručio godinu kasnije i od tada eksponencijalno raste. Veliki utjecaj imao je i razvoj pametnih mobitela iz razloga što je došlo do velikog smanjenja cijena mikrokontrolera, akcelerometra, senzora itd. [2]

Daljnji razvoj dronova sa 4 propelera, kakvi su danas i naj prepoznatljiviji, poboljšalo je stabilnost istoga, te je otvorilo nove razne mogućnosti za uporabu dronova, a više o tome u nastavku.

2.2. Primjena i razvoj dronova danas

Zadnjih nekoliko godina primjena dronova je značajno porasla, bilo to u komercijalne ili civilne svrhe. Unapređenjem tehnologija otvorio se i veliki broj područja gdje bi se dronovi mogli primijeniti [3], a takva područja su sljedeća:

- Zračno fotografiranje za novinarstvo i filmove
- Ekspresna dostava
- Prikupljanje informacija ili pružanje osnovnih stvari za upravljanje katastrofama
- Dronovi sa termalnim senzorima za operacije potrage i spašavanje
- Geografsko mapiranje nepristupačnog terena i lokacije
- Inspekcija sigurnosti građevina (npr. mostova, vijadukta, itd.)
- Precizno praćenje usjeva
- Беспilotni transport tereta
- Nadzor nad provođenjem zakona i granične kontrole
- Praćenje oluja i predviđanje uragana i tornada, itd.

Razvoj još mnogih drugih primjena su na putu zbog velikih investicija u ovu obećavajuću industriju.

Kada govorimo o vojnoj uporabi dronova, postao je jedan o primarnih uporaba današnjeg svijeta. Koriste se kao sastavni dio vojnih snaga širom svijeta. Neke od primjena su kao varalice za metu, razne borbene zadatke, istraživanje, razvoj i nadzor. Njihova primjena u raznim vojnim operacijama će se nastaviti i koristiti u budućnosti zbog njihove pogodnosti u smanjenju gubitaka ljudskih života i omogućavanju izvršavanja vremenski osjetljivih misija. Prema podacima Globe Newswire, globalno tržište vojnih dronova je projicirano da dostigne \$23.78 milijarde do 2027. godine. [3]

Komercijalna uporaba dronova danas značajno raste i postala je glavna tema. Kako veliki broj industrija radi sa dronovima u njihovoj dnevnoj rutini poslovanja, očekuje se da će tržište беспilotnih letjelica porasti s \$4.4 milijarde u 2018. godini na

\$63.3 milijardi do 2025. godine, a Insider Intelligence predviđa da će se potrošačke isporuke bespilotnih letjelica doseći \$29 milijuna do kraja 2021. godine. Samim time što dolazi do povećanja primjene dolazi i do bržeg razvita tehnologije dronova što u konačnici otvara vrata za nove primjene dronova. Industrija komercijalnih dronova je mlada, ali započela je s određenom konsolidacijom i velikim ulaganjima industrijskih konglomerata, tvrtki za proizvodnju čipova, IT konzultantskih tvrtki i glavnih ugovarača obrane. Za sada su lideri u industriji još uvijek nekolicina proizvođača u ranoj fazi u Europi, Aziji i Sjevernoj Americi. Na kraju dana, utjecaj komercijalnih dronova mogao bi biti \$82 milijarde i 100 000 poslova na ekonomiju SAD-a do 2025. godine, kako kaže AUVSI. [3]

Kako prodaja civilnih dronova raste, povećavaju se i sigurnosni problemi koji ih okružuju među regulatorima i agencijama za provođenje zakona. Isto kao i u cestovnom prometu, pa i u svakom drugom, povećanjem korisnika dronova dolazi do povećanja rizika od incidenata, te se tako odgovarajućom regulacijom treba osigurati sigurne operacije letova dronova. Prema Philly By Air, do kraja 2019. bilo je 990 000 rekreativnih operatora registriranih i otprilike 1.32 milijuna rekreacijskih dronova u SAD-u. Insider Intelligence predviđa prodaju dronova da premaši \$12 milijardi u 2021. godini. I ne mali dio toga će ići na prodaju osobnih dronova korištenih za npr. izradu filmova, snimanje, fotografiranje, igrice, itd. [3]

2.3. Klasifikacija i podjela dronova

Kada govorimo o klasifikacijama UAS-a zapravo ne postoji standard. Općenito dronove možemo podijeliti prema namjeni, a to mogu biti vojne ili civilne bespilotne letjelice, dok civilne još možemo podijeliti na komercijalne i ne komercijalne. Naravno podjela se još može vršiti i po njihovim tehnološkim karakteristikama i performansama, pa tu možemo vršiti podjelu po njihovoj veličini, dometu kojeg mogu prijeći i izdržljivosti. Još jedna podjela koju treba navesti je podjela po autonomnosti, a takvi mogu biti: potpuno daljinski upravljane letjelice, polu-autonomni sustavi i potpuno autonomni sustavi. [4], [5]

Prema američkom Ministarstvu obrane, bespilotne letjelice su klasificirane u pet grupa, a podjela se vrši po veličini, masi pri kojoj zrakoplov smije poletjeti, visini i brzini letjelice. Podjela je prikazana na sljedećoj tablici 1:

V æ à | ã & æ Á F È Á S | æ • ã ~ ã \ æ & ã b æ Á à ^ •] ã | [c d b r a n @ Á | ^ c b ^

Kategorija	Veličina	MGTM*(kg)	Normalna operativna visina (m)	Brzina (km/h)
Grupa 1	Mali	0-10	<366 AGL**	<186
Grupa 2	Srednji	10-25	<1.067	<463
Grupa 3	Veliki	<600	<5.487 MSL***	<463
Grupa 4	Veći	>600	<5.487 MSL	Bilo koje brzine
Grupa 5	Najveći	>600	>5.487	Bilo koje brzine

- Zbog konverzija jedinica, korištene su zaokružene vrijednosti
- Ako dron ima barem jednu karakteristiku sljedeće razine pripada u tu kategoriju

*Maximum Gross Takeoff Mass – maksimalna masa pri kojoj zrakoplov smije poletjeti
**Above Ground Level – iznad razine tla
***Mean Sea Level – srednja razina mora

Izvor: [4]

U nastavku navedene su kategorije bespilotnih letjelica, čija se podjela vršila po masi, doletu letjelice, maksimalnoj visini leta i autonomiji leta. Kategorije su prikazane u tablici 2:

Tablica 2. Kategorizacija bespilotnih letjelica po masi, doletu, visini i autonomiji leta

Naziv kategorije (eng.)	Akronim	Masa letjelice (kg)	Dolet letjelice [km]	Maksimalna visina leta [m]	Autonomija leta [h]
Micro	Micro	<5	<10	250	1
Mini	Mini	25 – 150	<10	150 – 300	<2
Close Range	CR	25 – 150	10 – 30	3.000	2 – 4
Short Range	SR	50 – 250	30 – 70	3.000	3 – 6

Medium Range	MR	do 1.250	70 – 200	5.000	6 – 10
Medium Range Endurance	MRE	do 1.250	>500	8.000	10 – 18
Low Altitude Deep Penetration	LADP	do 350	>250	50 – 9.000	0,5 – 1
Low Altitude Long Endurance	LALE	<30	>500	3.000	>24
Medium Altitude Long Endurance	MALE	do 1.500	>500	14.000	24 – 48

Izvor: [5]

3. AUTOMATSKI NADZOR CESTA PRIMJERNOM BESPILOTNIH LETJELICA

Razvitkom bespilotnih letjelica dolazi i do otvaranja novih mogućnosti njihove primjene. Jedna od tih primjena spada pod nadzor cestovnog prometa (Road Traffic Monitoring - RTM). Već postoji nekoliko RTM sustava gdje je njihova aktivnosti strukturirana oko dva glavna zadatka. Prvi zadatak odnosi se na otkrivanje događaja poput incidentnih situacija i prebrze vožnje, dok se drugi dio zadatka više fokusira na regulacije prometa kako bi se izbjegla prometna zagušenja i gužve u prometu. Da bi provodili ove dvije zadaće bitno je prikupiti podatke o prometu pomoću postavljenih uređaja za nadzor. Podaci koji se prikupljaju su broj vozila na određenom području, broj vozila koja prolaze kroz određenu točku kroz vrijeme, brzina i položaj vozila. Razlog prikupljanja ovih podataka je kako bi mogli detektirati incidentne situacije i hitno reagirati na njih. Isto tako mogu služiti kako bi pomoću prikupljenih podataka izračunali statistike prometa, koje se mogu koristiti radi upravljanja ili regulacije cestovnog prometa. Današnji sustavi uglavnom koriste stacionarne kamere i senzore, te ostala rješenja koja koriste ugrađene senzore poput mobilnih telefona ili uređaje globalnog pozicijskog sustava (Global Positioning System - GPS) za lociranje vozila, kako bi prikupili potrebne podatke. Naravno ovi sustavi imaju svojih mana koje bi primjenom bespilotnih letjelica mogli ukloniti. [6]

3.1. Potreba za zamjenom postojećih sustava za nadzor

Zbog kompleksnosti prometa koji se mijenja kroz vrijeme, nadzorom i praćenjem želimo razumjeti ponavljajuće prometne uvijete i brzo detektirati incidentne situacije kako bi time doprinijeli učinkovitijim upravljanjem prometom pješaka i vozila, kao i upravljanju prometom i potražnjom u neočekivanim uvjetima prometne mreže, koji bi mogli ozbiljno pogoršati rad prometnog sustava i utjecati na sigurnost. Nadziranje sustava instaliranjem stacionarnih kamera bila je uspješna praksa već godinama, ali i ta praksa ima svojih mana. Problem ovakvih sustava je što nisu primjenjivi za velika područja, jer povećanjem područja nadziranja raste kompleksnost postavljanja strukture sustava kao i troškovi istog, pogotovo ako je potreba za nadzorom na određenom području nije dugotrajna. Čak i ako bi problemi troškova mogli biti ublaženi, problem stjecanja vizualnih informacija kod neočekivanih događaja još uvijek

nije riješen. Ekstremni događaj može se dogoditi u bilo koje vrijeme i na bilo kojem mjestu, te na takve događaje treba pravodobno reagirati kako bi se maksimalno smanjio utjecaj na prometni sustav. Očiti problem je što stacionarni i specifični položaj kamere ne pokriva cijeli prometni sustav, te u nekim slučajevima ne može dati jasnu sliku neočekivanog događaja i time dolazi do problema brzine odziva na problem. [7]

Uz to, u ruralnim sredinama problemska područja su puno raspršenija, operatori bi se ponekad morali nositi s velikim vremenskim intervalima između identifikacije situacije, procjene svih koraka i na kraju poduzimanja mjera za njeno rješavanje, gubitka dragocjenog vremena za sigurnost i/ili raspodjela resursa. Isto tako do sada su zrakoplovi s posadom (Manned Aerial Vehicles - MAV), obično helikopteri kojima upravlja policija ili zračne medicinske službe, bili najprikladnije sredstvo za pružanje žive slike i informacija kontrolnim centrima, no zbog činjenice da i MAV ima visoke fiksne i operativne troškove, te zbog rizika osoba unutar istih, nije najbolje rješenje. [7]

Nedavno su bespilotni zrakoplovni sustavi predloženi kao alternativa kako bi se prevladala sva gore navedena ograničenja i nedostaci trenutne prakse koja uključuju nadzor prometa i detekcija incidentne situacije, te uspoređujući sustave bespilotni zrakoplovi imaju jasne prednosti.

3.2. Prednosti i mane bespilotnih letjelica u nadzoru prometa

Prednosti primjene bespilotnih letjelica za nadzor prometa su sljedeća: [8]

- Manje potrebnih kamera; zbog svoje stacionarne karakteristike kamere ne mogu pokrivati više područja nego što im njihove karakteristike dopuštaju, te prilikom nadzora većih područja često se treba postaviti i više kamera
- Uklanjanje se razmatranja o infrastrukturi; pri postavljanju kamera potrebno je razmišljati o mjestima njihova postavljanja, te nije rijetkost da nema dostupne potrebne pozicije kako bi mogli nadzirati određeno područje
- Šira pokrivenost; primjenom dronova možemo proširiti područje nadzora, na način da ne promatramo samo npr. raskrižja nego i ulaz u ista, čime možemo dobiti bolju sliku prometa
- Pokrivenost na bilo kojem dijelu ceste ili zajedničkom prostoru; prednost drona je u tome što ne zahtjeva specifičnu lokaciju na koju se postavlja, te samim time

ima mogućnost nadzora ne samo raskrižja, nego i autoceste, mostove i bilo koji dio prometnice gdje je postavljanje kamera onemogućeno.

- Bolji video sadržaj; zbog svoje mobilnosti dronovi mogu dobiti snimku iz raznih kutova, te time prikupiti više informacija o npr. incidentnim situacijama

Kao i svaki sustav, pa tako i sustav nadziranja primjenom bespilotnih letjelica, postoje određene mane koje otežavaju rad istoga, a to su sljedeće: [8]

- Dostupnost i pristupačnost
- Kratka trajnost baterije
- Utjecaj vremenskih nepogoda
- Limitirano vrijeme nadzora

3.3. Područja primjene bespilotnih letjelica za nadzor u prometu

Kako postoji veliko područje primjene dronova, u ovom dijelu obratiti će se pozornost na sigurnost cesta, uključujući istraživanje incidenata i procjena rizika, nadzor i upravljanje prometom, što će uključivati detekciju vozila, izdavanje prometnih parametara i analizu prometnog toka, te na kraju upravljanje infrastrukturom autocesta, gdje ćemo govoriti o UAV-u kao alat za nadzor mostova, nadgledanje stanja kolnika i nevolja na cestama.

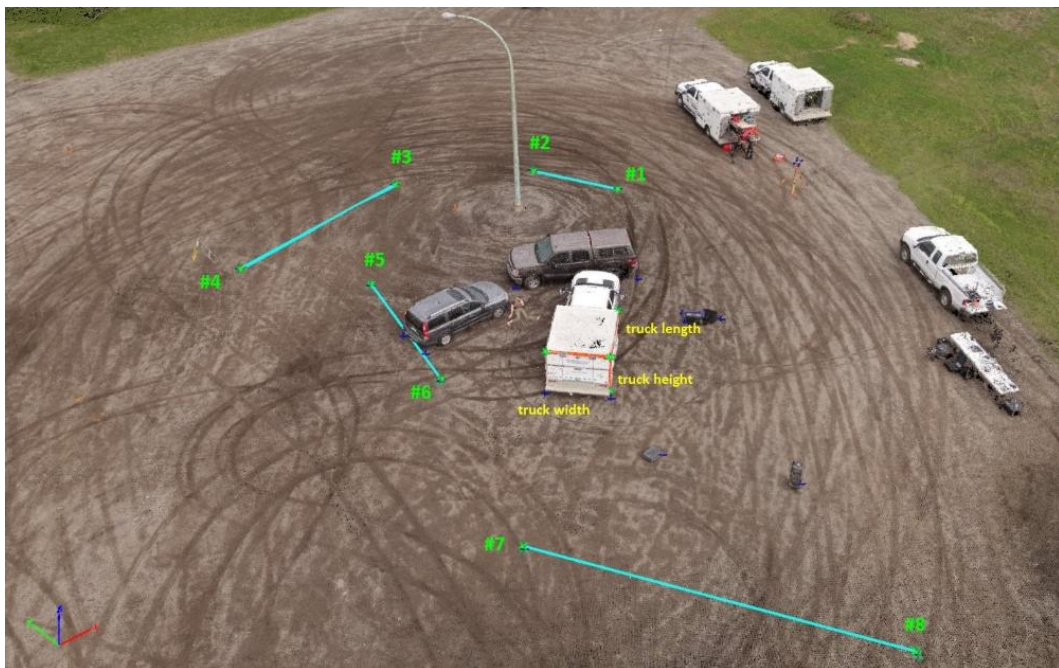
3.3.1. Sigurnost cesta

Primjena UAV-a bazirana na sigurnosti cesta uključuje detaljnu istragu incidenata, te procjenu rizika i općenito nadziranje cestovne mreže. Najveća pozornost daje se za istragu incidenata i procjenu rizika.

Procjena rizika karakterizirana je detaljnom analizom trajektorija vozila dobivenih snimkama bespilotnih letjelica. Uključuje identifikaciju potencijalnih konfliktnih točaka i riskantne promjene traka, itd. Korištenjem dronova olakšano je izvlačenje putanja vozila tako da se analiza može provesti na mikroskopskoj razini. Tradicionalnim načinom prikupljanja podataka postojale su razna ograničenja koja su za rezultat davale neprecizne trajektorije, pogotovo u područjima gdje su problemi sigurnosti puno značajniji. Neka istraživanja predlažu algoritme koji detektiraju već postojeće incidente ili opasne situacije koje mogu rezultirati sudarom, analizom trajektorija dobivenih UAV snimanjem. Istraživanjem raznih metoda razvijen je okvir za analizu koji je baziran na ekstrakciji trajektorije vozila koristeći video podatke UAV-a za analizu

rizika od sudara povezanih promjenom trake na područjima spajanja autocesta. Metoda je predložena da mjeri rizik sudara između vozila koje se spaja i okolnih vozila procjenom modela ponašanja pri spajanju koji uključuje vrijeme do sudara. [9]

Studije istrage incidenata karakterizirani su temeljem metoda, sistema i aplikacija vizualnog algoritma. Glavni problem leži u procesu izvlačenja informacija sa video zapisa kao i razmještanjem sustava koji je pouzdan kako bi dronovi mogli izvršavati svoju funkciju. Unapređenjem mogućnosti software-a da procesira sliku dobivenu dronom mogla bi se vršiti rekonstrukcija scena incidenata koja bi znatno pomogla u istraživanju istih. [9] Zahvaljujući mobilnošću dronova možemo dobiti sliku nesreće iz bilo kojeg kuta i sa bilo koje visine, što uvelike pomaže u 3D rekonstrukciji incidenta (slika 4).



Slika 4. Prikaz uzimanja fotografija incidentne situacije primjenom drona u svrhu izrade 3D modela

Izvor: <https://uavcoach.com/drones-accident-reconstruction/> (pristup, lipanj 2021.)

Predložen je sljedeći sustav koji je baziran na ključne module kao što su: [9]

- Planiranje leta i kontrola UAV-a
- Snimanje video podataka pomoću UAV-a na mjestima nesreće sa različitim visina i kutova
- Mehanizam transfera video podataka zemaljskoj stanici

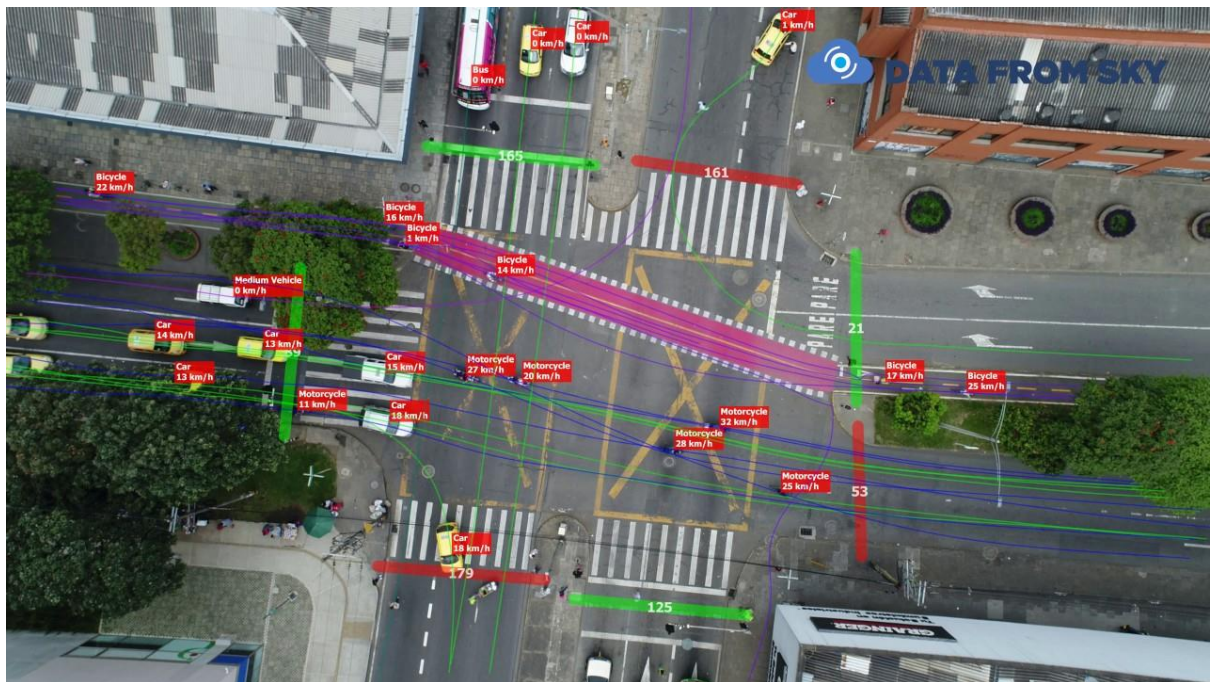
- Procesiranje slike
- Validacija i primjena sustava, okvir za mjerenje točnosti

Ovakav sustav bio bi iznimno koristan službama policije kako bi lakše mogli detektirati incidentne situacije, utvrditi krivca, te čim prije vratiti promet u normalu. Policijski službenici bi mogli u minutama prikupiti potrebne informacije i vrlo brzo očistiti mjesto nesreće. Također takve snimke policiji puno više znače kada govorimo o pravnim postupcima. Sa sigurnošću možemo reći da će policijske službe definitivno koristiti dronove u bliskoj budućnosti kako bi održavale sigurnost cesta.

3.3.2. Nadzor i upravljanje prometom

Većina istraživačkih napora koji koriste i promiču uporabu UAV-a mogu se svrstati u ovaj odjeljak. Ovi istraživački napori uglavnom su dio razvoja niza algoritama, metodama za izdvajanje značajnih informacija iz video podataka. Otkrivanje vozila, njihovo praćenje i izdvajanje parametara protoka prometa kao što su gustoća, brzina, itd., glavni je fokus otkad se tehnologija UAV-a počela koristiti za civilne namjene. [9]

Istraživanje metoda za detekciju vozila i izdavanje prometnih parametara, predložena je metoda s gledištem da su dronovi opremljeni video kamerama kojima dobivaju video prikaz situacije i šalju ga zemaljskoj postaji gdje se ti videozapisi mogu obraditi i izvući informacije o prometnim parametrima za daljnji prijenos tih podatak u središnju kontrolnu stanicu. Ovim je započelo otkrivanje vozila i određivanjem prosječne brzine do ostalih parametara na razini trake, poput smjera kretanja i brzine za specifičnu traku, pa do pojedinačne brzine i putanje vozila, itd. [9] Ovakav nadzor mogao bi biti izvršen primjenom drona i primjenom software-a, kao na primjer TrafficSurvey razvijen od strane DataFromSky kojim se mogu analizirati objekti prikazani na video zapisu. Na slici 6. prikazan je primjer snimke drona koristeći navedeni software. Na slici su prikazane putanje vozila, njihova brzina, tip vozila, itd.



Slika 5. Prikaz nadzora prometa bespilotnom letjelicom uz primjenu TrafficSurvey sustava

Izvor: <https://www.youtube.com/watch?v=XwzbFzqhF1Y> (pristup, lipanj 2021.)

Kako bi stvorili bolje metode analize protoka prometa, potrebno je unapređenje procesa ekstrakcije parametara iz podataka temeljenih na UAV-u. Te metode analize uključuju izvedbu različitih geometrija cesta, različitih ponašanja protoka prometa, modele slijeđenja vozila sa kalibracijom i validacijom za primjenu u mikroskopskim simulacijskim paketima. [9]

3.3.3. Upravljanje infrastrukturom autocesta

Sljedeće važno područje primjene tehnologije bespilotnih zrakoplova u prometu je njihova primjena za nadzor i upravljanje fizičkom infrastrukturom autocesta. Značajno su razmotrena dva područja, inspekcija i nadzor mosta i prepoznavanje nevolja na kolniku, a napravljeni su i razni eksperimenti i ispitivanja kako bi se uspostavili protokol, metode i algoritmi. [9]

Istraživački naponi i studije temeljene na terenskim ispitivanjima zagovaraju slučaj upotrebe bespilotnih letjelica za inspekciju i nadzor mostova. Korištenjem dronova ne samo da bi se uštedilo na vremenu, nego bi mogli i bolje uočiti štetu. Prednosti ovakve primjene dronova leži u tome da, npr. ova tehnologija može ponuditi uštedu od smanjene i eliminirane kontrole prometa i smanjene uporabe vozila i liftova

pod pregledom mosta. Način pregleda mosta mogao bi se vršiti uzimanje puno detaljnih snimaka i slika dobivenih dronom, te pomoću fotogrametrijskih software-a rekonstruirati slike u 3D model, putem kojeg bi mogli dobiti detaljan prikaz mosta koji bi mogli jednostavno pregledati. [9] Na sljedećoj slici 6. prikazana je inspekcija mosta za vlakove na kojem je s lijeve strane slike prikazan 3D model, a s desne 2D slika istog. Prikazani 3D model i inspekcija istog izvršena je u AUAV inSite software-u.



Slika 6. Pregled željezničkog mosta u svrhu pronalaza oštećenja primjenom 3D modela

Izvor: <https://www.youtube.com/watch?v=unE8kD9na8Y> (pristup, lipanj 2021.)

Periodična procjena stanja kolnika i praćenje nevolja obično je norma, pa stoga transportne agencije i lokalne samouprave imaju postavljene mehanizme i zalihe kako bi se izveli potrebni popravci. Tradicionalni mehanizmi uključuju vizualni pregled, a zatim i terenske testove za procjenu nevolja na cesti, neravnina, kolotruga, širine pukotina i njihove dubine, itd. Korištenje UAV-a za pomoć u provedbi dijela ovog posla još je u fazi izrade i još nije u praksi. [9] Način za procjenu stanja mogao bi biti korištenjem drona s kamerom, koji bi automatski putovao po pre definiranoj ruti iznad autoceste, te bi se pomoću software-a mogao napraviti 3D model.

3.4. Senzorski sustavi i sustavi za upravljanje bespilotnim letjelicama

Kako bi nadzirali promet, bilo da se govori o brojanju prometa ili procjeni stanja kolnika, dronovi moraju biti opremljeni određenim senzorima kako bi se mogla vršiti navigacija drona u svrhu georeferenciranja pomoću snimaka. Isto tako senzori su potrebni kako bi, uz dodatnu primjenu odgovarajućih software-a, mogli postići automatski nadzor cesta. Senzorski sustavi koji su potrebni su globalni satelitski navigacijski sustav (Global Navigation Satellite System – GNSS), LiDAR i odgovarajući video senzori. Za automatsko upravljanje bespilotnim letjelicama i planiranje rute leta govoriti ćemo isključivo o DJI Ground Station Pro aplikaciji.

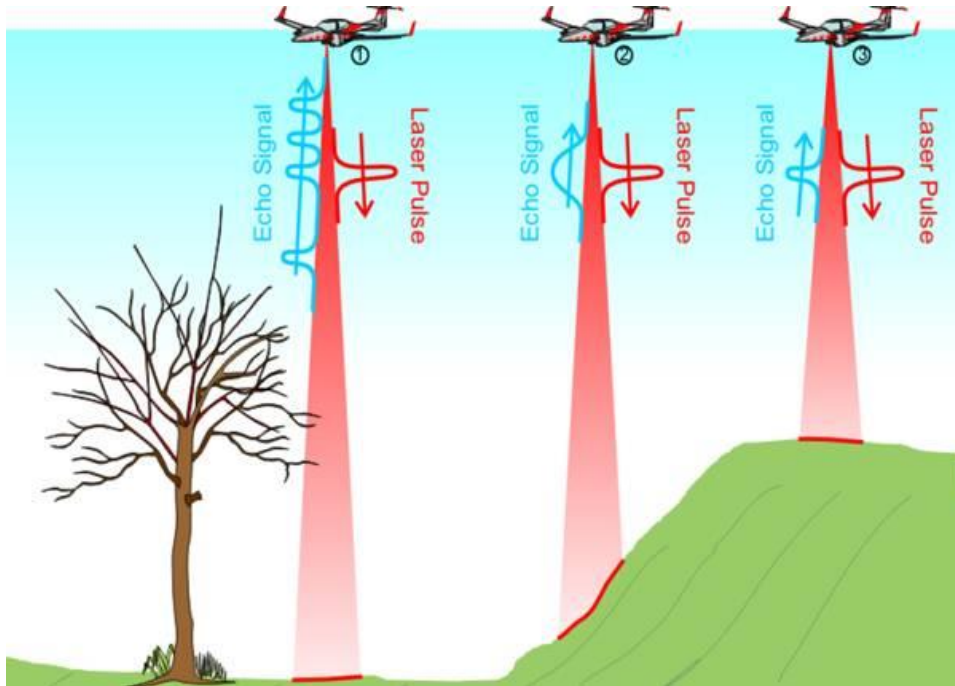
3.4.1. Senzorski sustavi na dronovima

Za navigaciju bespilotnih letjelica jedan od standarda su GNSS prijemnici koji su danas postali već dovoljno jeftini i malih dimenzija. Način rada GNSS sustava je da koristi signale sa satelita u orbiti za izračunavanje položaja, vremena i brzine, međutim kad je vidokrug satelita blokiran razno raznim preprekama navigacija postaje znatno nepouzdana i nemoguća. U takvom slučaju Inercijski navigacijski sustav (Inertial Navigation System - INS) može nastaviti s učinkovitom navigacijom dulje vrijeme. INS koristi podatke o rotaciji i ubrzanju iz inercijske mjerne jedinice (Inertial Measurement Units - IMU) za izračunavanje relativnog položaja vremena. Prednost IMU mjerenja je što pružaju kutno rješenje oko tri osi. INS prevodi ovo kutno rješenje u rješenje lokalnog stava koje može pružiti, uz položaj i brzinu. INS zahtjeva početnu poziciju kako bi na osnovu akceleracije izračunao poziciju letjelice i za to je idealan GNSS. Uz ova dva sustava potrebno je još nadodati sustav koji uključuje običnu kameru za navigaciju kako bi se uklonile poteškoće letenja prilikom niskog leta. [5]

Zadnjih godina tehnologija prostornog laserskog skeniranja postala je sve pristupačnija do te mjere da ih možemo pronaći i u autonomnim usisavačima koje možemo kupiti u većini trgovačkih centra. Osnovni mjerni instrument je LiDAR (Light Detection and Ranging) koji se temelji na laserskom dometu, koji mjeri udaljenost izračunavanjem umnoška brzine svjetlosti i vremena potrebnog za emitirani laserski impuls koji se odbio od određenog objekta vrati do senzora. Ovom tehnologijom možemo u kratkom vremenu detaljno izmjeriti oblik površine terena i objekata koji se nalaze na njoj. Veoma je koristan za dobivanje 3D modela, koje možemo koristiti u

inspekciji mostova i stanja autocesta, također i u incidentnim situacijama. Tehnologiju dijelimo na: [5]

- Lasersko skeniranje iz zraka (slika 7)
- Lasersko skeniranje sa zemlje



Slika 7. Ilustrativni prikaz rada LiDAR senzora

Izvor: <https://www.minesurveyor.net/equipaeriallidar.php> (pristup, lipanj 2021)

Uz navedene senzorske sustave potrebno je za drona imati i odgovarajuće video senzore. Kako bi bila omogućena analiza video sadržaja potreban je mrežni video nadzorni sustav. Ovisno o zahtjevima projekta, prikupljanje i procesiranje podataka može se izvršiti nakon izvršavanja leta ili za vrijeme leta, gdje je takav način najčešće korišten prilikom praćenja vozila kako bi se nadziralo trenutno ponašanje vozača te smanjile incidentne situacije i povećala sigurnost u prometu. Ovakav sustav radi na principu da prenosi video upravljačkoj jedinici na zemlji što omogućuje da se slika analizira sa minimalnim kašnjenjem u odnosu na vrijeme snimanja videa. Korištenjem raznih komunikacijskih kanala kao što je LAN mreža, ISDN, širokopolasni Internet, telefonske i mobilne mreže omogućava se prijenos video sadržaja sa udaljene lokacije čime se smanjuju troškovi transporta prema nadziranim lokacijama ne računajući brzinu kojom video informacija dolazi. [5] Ova se karakteristika najviše cijeni u incidentnim situacijama.

3.4.2. Sustavi za upravljanje dronovima

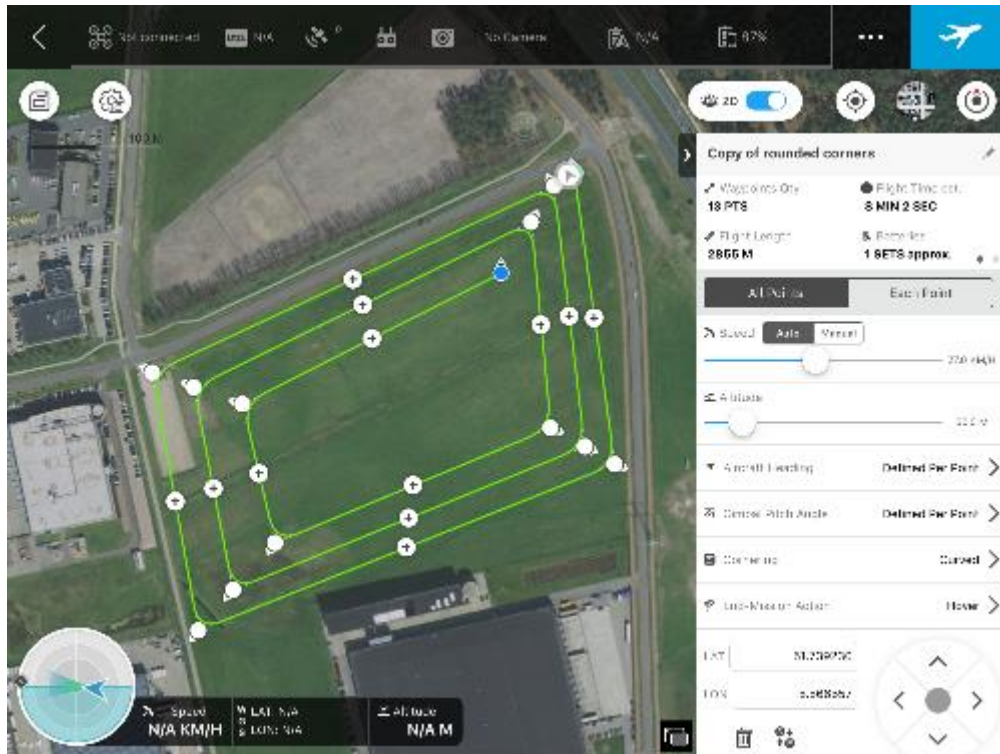
Kako bi olakšali poslove, navedene u prethodnom poglavlju o načinima primjene bespilotnih letjelica u prometu, moguće je koristiti posebne software-e i aplikacije u svrhu automatiziranog planiranja i izvedbe takvih poslova, kako bi dobili precizna mjerenja. Jedna od takvih aplikacija razvijena je od strane DJI (Da-Jiang Innovations), kineske tehnološke kompanije sa sjedištem u Shenzhen-u, Guangdong. U DJI-u se bave komercijalnom proizvodnjom bespilotnih letjelica za zračno fotografiranje i snimanje. Isto tako bave se dizajniranjem i proizvodnjom kardanske postolje za kamere, akcijske kamere, stabilizatore kamere, platforme za let, pogonske sustave i sustav za kontrolu leta.

Sustavi za kontrolu leta razvijeni od strane DJI-a su DJI GS Pro i DJI PC Ground Station. Dok oba imaju istu svrhu razlika je u tome što je DJI GS Pro aplikacija za iPad, te je samim time i pristupačnija, te je također, prema komentarima korisnika, jednostavnija za upotrebu. Misije koje se mogu obaviti pomoću ove aplikacije su sljedeće: [10]

- PhotoMap
 - o DJI GS Pro automatski generira put letenja na odabranom području za slikanje, gdje bi dron slijedio tu rutu i izvršavao zadatak slikanja terena. Informacije se u nastavku mogu importirati u DJI GS Pro, gdje će biti izrađena referenca za druge misije. Korisnik također može ručno komponirati rezultate kako bi rekonstrukcija područja bila točnija.
- Virtual Fence
 - o Ovom komponentom se definira virtualna ograda koja određuje područje dozvoljenog letenja drona. Kako bi se dron približavao granici usporavao bi i na kraju zaustavio na mjestu.
- 3D Map
 - o 3D Map Area: DJI GS Pro automatski generira odgovarajući put letenja nakon što korisnik odredi područje letenja i parametre kamere. Dron slijedu odabranu rutu, te prikupljene podatke šalje u software koji generira 3D mapu terena.
 - o 3D Map POI : Korisno za prikupljanje podataka fizičkih struktura. Omogućuje kružno i vertikalno snimanje koje može biti korisno prilikom

snimanja visokih objekata ili čak incidentnih situacija. Prikupljenim informacijama omogućuje stvaranje 3D mape.

- Waypoint Flight
 - o Omogućuje postavljanje puta letenja, na način da korisnik definira točke puta. Primjer izgleda sučelja prikazano je na slici 8.



Slika 8. Sučelje DJI GS Pro prilikom postavljanja rute leta drona

Izvor:

<https://forum44.djicdn.com/data/attachment/forum/201709/02/034800k0ov016sh48psj0u.png> (pristup, lipanj 2021.)

Primjena ove aplikacije mogla bi znatno olakšati poslove primjene dronova u prometu. Od operatora drona se ne bi trebala zahtijevati pre velika stručnost letenja, pilot bi jednostavno mora odrediti područje, put, brzinu i visinu letenja, odrediti način prikupljanja i vrstu podataka koji bi se prikupljali i samo tako misija bi bila u tijeku. Ovime bi bio omogućen automatizirani let dronova na određenom području, čime bi u kombinaciji sa drugim software-ima, npr. TrafficSurvey, mogli postići automatski nadzor cesta primjenom bespilotnih letjelica. Gotovo istu primjenu kao DJI GS Pro ima i software Pix4D koji bi se mogao koristiti kao alternativa prethodno navedenoj.

4. NACIONALNA I EU REGULATIVA

U svrhu upravljanja i održavanja sigurnost zračnog prometa, postoje određene regulacije o načinu upravljanja bespilotnim letjelicama. Regulacije za područje Europske unije donijela je agencija za zrakoplovnu sigurnost Europske unije (European Union Aviation Safety Agency - EASA).

4.1. European Union Aviation Safety Agency (EASA)

EASA je agencija za zrakoplovnu sigurnost Europske unije (European Union - EU). Sjedište Agencije je u Kölnu, Njemačka. Kao takva agencija, uređena je europskim javnim pravom. Ona se razlikuje od institucija zajednice (vijeće parlamenta, komisija, itd.) i ima vlastitu pravnu osobnost. EASA je osnovana Uredbom (EU) 2018/1139 Europskog parlamenta i Vijeća od 4.srpnja 2018. o zajedničkim pravilima u području civilnog zrakoplovstva i uspostavljanju agencije za zrakoplovnu sigurnost Europske unije, te izmjenama i dopunama Uredbe (EZ) br.2111 / 2005., (EZ) br.1008/2008, (EU) br.996/2010, (EU) br.376/2014 i direktivama 2014/30 / EU i 2014/53 / EU Europskog parlamenta i Vijeća, te Uredbe Vijeća (EEZ) br.3922/91, te su mu dodijeljene posebne regulatorne i izvršne zadaće u području sigurnosti civilnog zrakoplovstva i zaštite okoliša. [11]

Europska agencija za zrakoplovnu sigurnost središte je strategije Europske unije za sigurnost zrakoplovstva. Misija je promicanje najviših zajedničkih standarda sigurnosti i zaštite okoliša u civilnom zrakoplovstvu. Agencija razvija zajednička pravila o sigurnosti i okolišu na europskoj razini. Nadzire provedbu standarda kroz inspekcije u državama članicama i pruža potrebnu tehničku stručnost, obuku i istraživanje. Agencija surađuje s nacionalnim vlastima koje i dalje provode mnoge operativne zadatke, poput certificiranja pojedinačnih zrakoplova ili licenciranje pilota. [11]

Glavni zadaci Agencije trenutno uključuju sljedeće: [11]

- Donošenje pravila: izrada zakona o zrakoplovnoj sigurnosti i pružanje tehničkih savjeta Europskoj komisiji i državama članicama;
- Programi inspekcija, obuke i standardizacije kako bi se osigurala jedinstvena provedba europskog zakonodavstva o zrakoplovnoj sigurnosti u svim državama članicama;

- Sigurnost i okolišno certificiranje tipa zrakoplova, motora i dijelova;
- Odobrenje organizacija za dizajn zrakoplova širom svijeta kao i organizacija za proizvodnju i održavanje izvan EU-a;
- Odobrenje organizacija za dizajn zrakoplova širom svijeta kao i organizacija za proizvodnju i održavanje izvan EU-a;
- Odobrenje operatora iz trećih zemalja (koji nisu EU);
- Koordinacija programa Europske zajednice SAFA (Procjena sigurnosti stranih zrakoplova) u vezi sa sigurnošću stranih zrakoplova koji koriste zračne luke Zajednice;
- Prikupljanje podataka, analiza i istraživanje za poboljšanje zrakoplovne sigurnosti.

Kada je riječ o pitanjima sigurnosti civilnog zrakoplovstva, npr. sigurnosne mjere aerodroma, protuterizma, EASA-ina nadležnost ih ne obuhvaća.

4.2. Europska regulativa

Prema Agenciji za zrakoplovnu sigurnost Europske unije (EASA), letenje dronom legalno je u Europskoj uniji. Od 1.siječnja 2021. EASA je standardizirala propise o bespilotnim letjelicama u svim državama članicama. Novi regulatorni okvir zamjenjuje postojeće propise koje su prethodno pojedinačne države članice donijele u zakon. Osim 28 država članica, nove propise o bespilotnim letjelicama EASA-e usvojili su i Island, Švicarska, te Norveška. [12]

Revizija iz siječnja 2021. godine uključuje izmjene AMC-a (Acceptable Means of Compliance) i GM-a (Guidance Material) uvedene Odlukom ED 2020/022/R kako bi: [13]

- Razjasniti uvjete za odobravanje operacija bespilotnog zrakoplova nad naseljenim područjima i skupštinama ljudi u kategoriji „specifično“;
- Osigurati interoperabilnosti nacionalnih sustava registracije država članica EASA-e za operatore UAS-a i za certificirane EAS-e koji zahtijevaju registraciju;
- Uvesti nove unaprijed definirane procjene rizika (PDRA) i poboljšati postojeće PDRA

Dokument će se redovito ažurirati kako bi obuhvatio daljnje promjene i evoluciju provedbenih pravila (IR), delegiranih pravila (DR), AMC i GM.

Prema novim propisima, postoje tri operativne kategorije koje određuju propise o bespilotnim letjelicama na temelju težine drona i namjeravanog rada. Te kategorije su: otvorena, određena i certificirana kategorija.

4.2.1. Otvorena kategorija

Otvorena kategorija podrazumijeva nisko rizične operacije kod kojih nije potrebna prethodna autorizacija korisnika, od rekreativaca do komercijalnih korisnika. Kategorija je podijeljena u tri potkategorije kojima se utvrđuje korištenje specifične vrste drona, bilo da je u fazi registracije, treba elektroničku identifikaciju ili prema zahtjevima pilota. Otvorena kategorija je sama podijeljena u tri potkategorije A1, A2, A3, koje mogu biti sažete kako slijedi: [14]

- A1: preletjeti ljude, ali ne i skupine ljudi
- A2: letjeti blizu ljudi
- A3: letite daleko od ljudi

Sljedeće tablice prikazuju podjelu otvorene kategorije do i nakon 1. siječnja, 2023. godine.

*Væà | ã & æÁ HÈ Á Šã { ã c ã ! æ} æÁ] [å b ^ | æÁ [c ç [! ^ } ^ Á \ a
godine, bez identifikacijske oznake*

UAS		Operacije			Operater drona	
Klasa	MTOM	Potkategorija	Operacijske restrikcije	Registracija operatera drona	Kompetencija pilota na daljinu	Minimalna dob pilota na daljinu
Privatno izrađen	< 250 g	A1 (može letjeti u potkategoriji A3)	-nema letenja iznad ne uključenih ljudi (ili barem minimalno)	Ne, osim ako je kamera i/ili senzor na dronu i ako nije igračka	-nije potrebna obuka	Nema minimalne dobi
Dron bez identifikacijske oznake klase	< 500 g		-nema letenja preko skupina ljudi	Da	-pročitati upute korisnika -izvršiti obuku i proći ispit	16

Dron bez identifikacijske oznake klase	< 2 kg	A2 (može letjeti u potkategoriji A3)	-nema letenja iznad ne uključenih ljudi -horizontalna udaljenost 50m od neuključenih ljudi	Da	-pročitati upute korisnika -izvršiti obuku i proći ispit	16
Dron bez identifikacijske oznake klase ili privatno izrađen	< 25 kg	A3	-ne letjeti blizu ljudi Letjeti izvan urbanog područja (150m udaljenosti)	Da	-pročitati upute korisnika -izvršiti obuku i proći ispit	16

Izvor: [14]

Væà | ã & æÁ | È Á Ú [å b ^ | æÁ [c ç [i ^ } ^ Á \ æc ^ * [i ã b ^ Á } a
identifikacijskim oznakama

UAS		Operacije			Operater drona	
Klasa	MTOM	Potkategorija	Operacijske restrikcije	Registracija operatera drona	Kompetencija pilota na daljinu	Minimalna dob pilota na daljinu
Privatno izrađeno	< 250 g	A1 (može letjeti u potkategoriji A3)	-nema letenja iznad ne uključenih ljudi (izbjegavati kad je moguće) -nema letenja preko skupina ljudi	Ne, osim ako je kamera i/ili senzor na dronu i ako nije igračka	-nije potrebna obuka	Nema minimalne dobi
C0					-pročitati upute korisnika	
C1	< 900 g			Da	-pročitati upute korisnika -izvršiti online obuku -proći teorijski online ispit	16
C2	< 4 kg	A2 (može letjeti u potkategoriji A3)	-nema letenja iznad ne uključenih ljudi	Da	-pročitati upute korisnika -izvršiti online obuku	16

			-horizontalna udaljenost 50m od neuključenih ljudi		-proći teorijski online ispit -provesti i proglasiti samo-praktični trening -proći pismeni ispit u NAA	
C3	< 25 kg	A3	-ne letjeti blizu ljudi Letjeti izvan urbanog područja (150m udaljenosti)	Da	-pročitati upute korisnika -izvršiti online obuku -proći teorijski online ispit	16
C4						
Privatno izrađeno						

Izvor: [14]

Dronom se može upravljati u otvorenoj kategoriji ako: [12]

- Dron ima jednu od oznaka klase 0, 1, 2, 3, 4
- Dron je kupljen prije 1. siječnja 2023. godine, bez oznake klase
- Bepilotna letjelica ima najveću poletnu masu manju od 25kg (55 lbs)
- Daljinski pilot drži dron na sigurnoj udaljenosti od ljudi
- Dronom se neće upravljati izravno nad ljudima, osima ako nema oznaku klase ili je lakši od 250g (0.25 lbs)
- Daljinski pilot će održavati vizualni vidokrug (VLOS) ili će daljinskom pilotu pomagati promatrač UA-a
- Daljinski pilot neće upravljati bepilotnom letjelicom većom od 120m
- Dron neće nositi opasnu robu i neće ispuštati materijal

U slučaju da putujete unutar Europske unije i želite ponijeti svoj dron, EASA navodi sljedeća posebna razmatranja za strance koji žele letjeti bepilotnim letjelicama, a to su za otvorenu kategoriju: [12]

- Potrebno je registrirati se kod Nacionalnog zrakoplovnog tijela (National Aviation Authority - NAA) prve zemlje EU-a u kojoj se namjerava letjeti vlastitim dronom

- Registracijski broj izdan od strane NAA mora biti istaknut naljepnicom na svim bespilotnim letjelicama, a zatim ga treba prenijeti u 'Sustav daljinske identifikacije' osobnog bespilotnog zrakoplova
- Registracija vrijedi za upotrebu u svim državama članicama EASA-e
- Pridržavanje propisa o dronovima koji su specifični za svaku državu članicu

Za određenu kategorije vrijedi sljedeće:

- Pored prijašnjih navedenih zahtjeva, ako je namjera djelovati u određenoj kategoriji, o kojoj više slijedi u nastavku, mora se podnijeti deklaracija za standardni scenarij ili podnijeti zahtjev za operativno odobrenje državi članici NAA gdje je i izvršena registracija

4.2.2. Određena kategorija

Određena kategorija rezervirana je za bespilotne letjelice koje ne udovoljavaju gore navedenim zahtjevima unutar otvorene kategorije zbog povećane razine operativnog rizika. U određenoj kategoriji odvijaju se operacije za koje je za razmatranje rizika potrebno odobrenje nadležnog tijela prije nego što se operacija izvede. Mora se provesti procjena rizika i utvrditi mjere ublažavanja, osim ako je operacija vrlo česta. U potonjem su slučaju mjere za procjenu i ublažavanje rizika prethodno identificirane i dio su „standardnog scenarija“ koji je odobrila EASA.[12]

Dronom se može upravljati u određenoj kategoriji ako: [12]

- Daljinski pilot djeluje prema standardnom scenariju koji je izdala EASA ili njihovo nacionalno zrakoplovno tijelo (NAA)
- Operacija je prema standardnom scenariju, izjava se također mora podnijeti NAA-i
- Operacije se ne provodi prema standardnom scenariju, daljinski pilot mora provesti unaprijed definiranu procjenu rizika (PDRA) prije operacije i dobiti odobrenje NAA-e
- Operaciju provodi daljinski pilot koji je dobio svjetlosnu potvrdu operatora UAS (LUC)

4.2.3. Certificirana kategorija

Certificirana kategorija namijenjena je operacijama s najvišom razinom rizika. Budući letovi dronovima s putnicima na brodu, poput zračnog taksija, na primjer, spadati će u ovu kategoriju. Pristup koji se koristi za osiguravanje sigurnosti ovih letova bit će vrlo sličan onome koji se koristi za zrakoplovstvo s posadom. Iz tog razloga će ovi zrakoplovi uvijek trebati biti certificirani, operator UAS-a trebat će odobrenje zračnog operatera izdano od nadležnog tijela, a daljinski pilot mora posjedovati pilotsku dozvolu. Dugoročno gledano, očekuje se da će razina automatizacije dronova postupno povećavati do posjedovanja autonomnih dronova bez potrebe za intervencijom daljinskog pilota. Kako bi se omogućile operacije u certificiranoj kategoriji, gotovo svi zrakoplovni propisi će se trebat izmijeniti. [15]

Upravo to će biti glavni zadatak EASA-e. EASA je odlučila ovu aktivnost provoditi kroz više faza i pozabaviti sljedećim trima vrstama operacijama, a te su: [15]

- Operacije tipa #1: Međunarodni let certificiranih teretnih bespilotnih letjelica izveden pod instrumentalnim pravilom leta (IFR) u razredima zračnog prostora A-C i polijetanje i slijetanje na aerodromima pod djelovanjem EASA-e. Npr. teret iz Pariza u New York.
- Operacije tipa #2: Operacije dronova u urbanim ili ruralnim sredinama koristeći unaprijed definirane rute u zračnim prostorima koje se pružaju „U-space“ usluge. To uključuje operacije bespilotnih letjelica koje prevoze putnike ili teret. Npr., zračni taksi ili usluge dostave paketa koji dolaze izravno na balkon ili krov zgrade ili dvorište.
- Operacije tipa #3: Operacije kao u tipu #2, ali se izvodi s zrakoplovom s pilotom na brodu. Zapravo se očekuje da će to pokriti prvu vrstu zračnih taksi operacija, gdje će pilot biti na brodu. U drugoj fazi zrakoplov će postati daljinski pilotiran.

Prvi prijedlog i izmjena i dopuna bit će objavljena na web mjestu EASA-e u 2021. godini.

4.2.4. Uvjeti za osposobljavanje

Kako bi mogli voziti bespilotne letjelice u državama članicama EASA-e, potrebno je proći online tečaj za osposobljavanje koji se provodi kroz svaku državu članicu. U

Republici Hrvatskoj tečaj se polaže na web stranici Hrvatske civilne zrakoplovne agencije (Croatian Civil Aviation Agency – CCAA). Jedina iznimka od zahtjeva za obukom nakon online tečaja je ako je bespilotna letjelica klasificirana kao dron C0. Tada nije potrebna obuka za upravljanje ovim lakim bespilotnim letjelicama. Jedini zahtjev za klasu C0 jest da piloti moraju biti upoznati sa uputama proizvođača kako bih mogli upravljati dronovima. [16]

Zahtjevi za osposobljavanje za otvorenu kategoriju (potkategorije A1 i A3) su ti da daljinski piloti moraju biti upoznati s proizvođačkim priručnikom / uputama za upravljanje bespilotnom letjelicom. Potrebno je također obaviti online tečaj obuke koji pruža Nacionalna zrakoplovna uprava unutar države članice u kojoj se polaže. Isto tako potrebno je ispuniti online ispit teorijskog znanja prije nego što je dozvoljeno upravljati dronovima. Piloti na daljinu koji trebaju djelovati u potkategoriji A2 moraju poduzeti dodatne korake kako bi bili usklađeni sa zahtjevima obuke. Pored navedenog, potrebno je: [12]

- Završiti praktičnu obuku (u području koje ne predstavlja rizik za druge) kako bi se upoznali s dronom i osigurali postizanje dobre razine kontrole
- Popuniti dodatni teoretski ispit znanja koji će se provoditi u objektu koji je identificiralo Nacionalno zrakoplovno tijelo. NAA će izdati 'Potvrdu o daljinskoj pilotskoj sposobnosti' po završetku ispita.
- Test se sastoji od 30 pitanja s višestrukim izborom kojima se ispituje znanje pilota o ublažavanju rizika od tla, meteorologiji i letačkim performansama bespilotnih letjelica

Obuka za određenu kategoriju razlikuje se ovisno o namjeravanoj operaciji. Dolje navedeni zahtjevi primjenjuju se samo prema standardnom scenariju: [12]

- Daljinski pilot mora imati potvrdu o teorijskom znanju daljinskog pilota
- Daljinski pilot također mora imati akreditaciju za završetak STS-01 praktične obuke

Operacije certificirane kategorije predstavljaju zapravo i najveći stupanj rizika, pa stoga još nisu odlučeni o odgovarajućim zahtjevima za certificiranje i osposobljavanje, jer će trenutni zrakoplovni propisi morati biti izmijenjeni. Prvi prijedlog dopuna i izmjena bit će objavljena na web mjestu EASA-e 2021. godine. [12]

4.3. Regulativa Republike Hrvatske

Od 01.01.2021. godine nacionalni propisi (Pravilnik o sustavima bespilotnih zrakoplova, „Narodne novine“ broj 104/18) kojima su bile regulirane operacije bespilotnih zrakoplova u Republici Hrvatskoj se prestaju primjenjivati, te se umjesto njih primjenjuju europski propisi. Zajednička pravila u području civilnog zrakoplovstva propisana su u Osnovnoj uredbi (EU) 2018/1139, koja uključuje i bespilotne zrakoplove bez obzira na njihovu operativnu masu. Cilj Osnovne uredbe je održati visoku ujednačenu razinu sigurnosti civilnog zrakoplovstva u Europskoj uniji. [16]

Europska komisija donijela je i sljedeće propise koji detaljnije reguliraju bespilotne zrakoplove:

- Delegirana Uredba (EU) 2019/945
- Provedbena Uredba (EU) 2019/947

Sastavni dio Provedbene i delegirane Uredbe su i Prihvatljivi načini udovoljavanja (AMC), te smjernice (GM) koje donosi EASA. [16]

Navedene Uredbe sadržavaju propise vezano za:

- Primjenjivost u državi članici
- Potkategorije otvorene i povezane klase bespilotnih zrakoplova
- Registracija operatora bespilotnog zrakoplova
- Odgovornosti operatora bespilotnog zrakoplova
- Odgovornosti udaljenog pilota
- Izvještavanje o nezgodama i nesrećama

Dužnosti operatera bespilotnog zrakoplova jest da izvrši obveznu registraciju ukoliko:

- Unutar otvorene kategorije izvodi operacije bespilotnim zrakoplovom dopuštene mase pri polijetanju od najmanje 250g
- Bespilotnim zrakoplovima koji u slučaju udarca na čovjeka mogu prenijeti kinetičku energiju veću od 80 džula
- Bespilotnim zrakoplovom opremljenim sensorima koji mogu prikupljati osobne podatke osim ako je riječ o bespilotnim zrakoplovima koji se smatraju igračkom

Ovisno o vrsti operacije i pripadajućem riziku operator bespilotnog zrakoplova dužan je uspostaviti radne postupke.

Dužnosti udaljenog pilota jesu te da se treba uvjeriti da je bespilotni zrakoplov u takvom stanju da se može na siguran način dovršiti planirani let. Također nikako ne smije biti pod utjecajem psihoaktivnih tvari ni alkohola, ili ako je pilot u nemogućnost pravilnog upravljanja zbog ozljede, umora, lijekova, bolesti ili nekih drugih tvari. [16]

Treba voditi računa da postoji stalni vizualni kontakt sa bespilotnim zrakoplovom, te promatrati prostor oko njega kako ne bi došlo do sudara sa drugim zrakoplovom.

Detaljnije informacije o regulaciji letenja bespilotnim letjelicama u Europskoj uniji, pa tako i u Republici Hrvatskoj mogu se naći na stranici EASA-e, te službenom internetskom portalu za pravo EU-a EURLEX EUROPA.

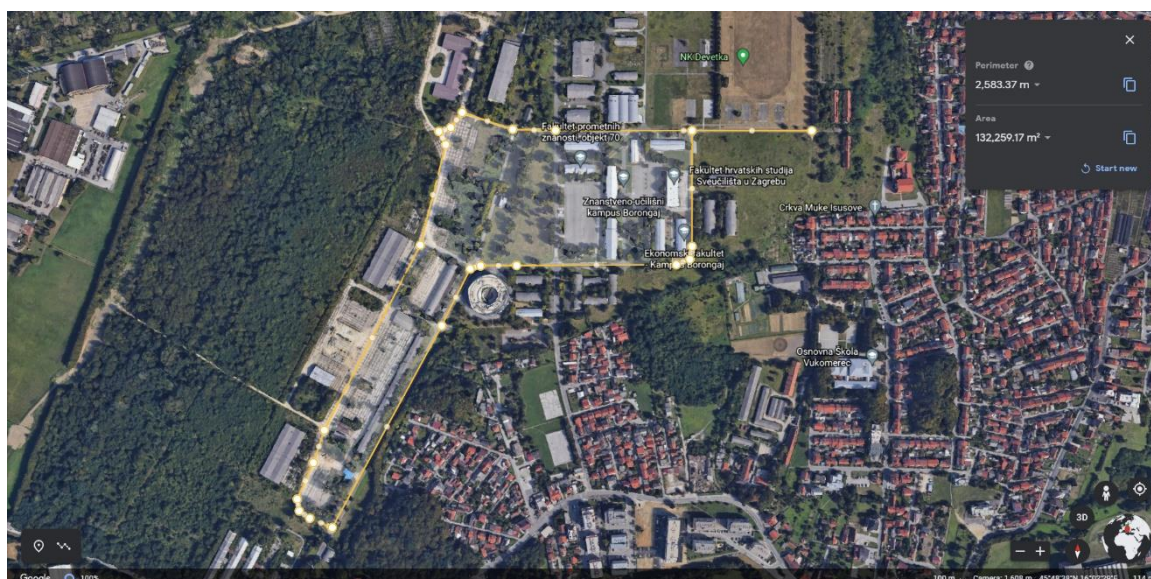
5. PRAKTIČNI PRIMJER

Za praktični dio ovog završnog rada izvršeno je snimanje određenog područja primjenom drona u svrhu dobivanja informacija o mogućnostima samoga drona, kao što su vrijeme leta, prijeđeni put, izdržljivost drona, te vizualni detalji snimljeni dronom. Kao testni poligon za izvršavanje snimanja odabran je znanstveno-učilišni kampus Borongaj, gdje je ruta leta dronom proizvoljno odabrana. Za snimanje korišten je dron DJI Mavic Air, te aplikacija DJI GS Pro u svrhu nadziranja i upravljanja dronom.

Karakteristike DJI Mavic Air-a: [17]

- Dijagonalna veličina: 335 mm
- Maks. brzina uspona: 5 m/s u sport modu
- Maks. brzina silaženja: 3 m/s
- Maks. brzina leta: 65 km/h u sport modu bez utjecaja vjetra
- Maks. visina polijetanja: 5000m
- Maks. vrijeme leta: 27 minuta (bez vjetra na dosljednih 25 km/h)
- Maks. vrijeme lebdenja: 24 minute (bez vjetra)
- Ukupno vrijeme leta: 21 minutu (u normalnom modu, sa preostalih 15% baterije)
- Maks. prijeđena udaljenost: 13km
- Satelitski pozicijski sustavi: GPS / GLONASS

Testni poligon odabran za snimanje sadrži dio neodržavanih cesta, poneki dio zaraslih cesta, ali i onih u dobrom stanju, parkinga, niskih i visokih građevinskih objekata fakulteta, krošnja drveća uz cestu koje stvaraju ili zaklanjaju ceste, te je zapravo dobar primjer za testiranje preglednosti i uočavanje sitnih detalja cesta primjenom dronova, te i utjecaj okoline na kameru drona. Korištenjem Internet aplikacije Google Earth izračunata je duljina testne rute koja iznosi 2,583.37 metara. Na sljedećoj slici 9. prikazana je izmjerena ruta.

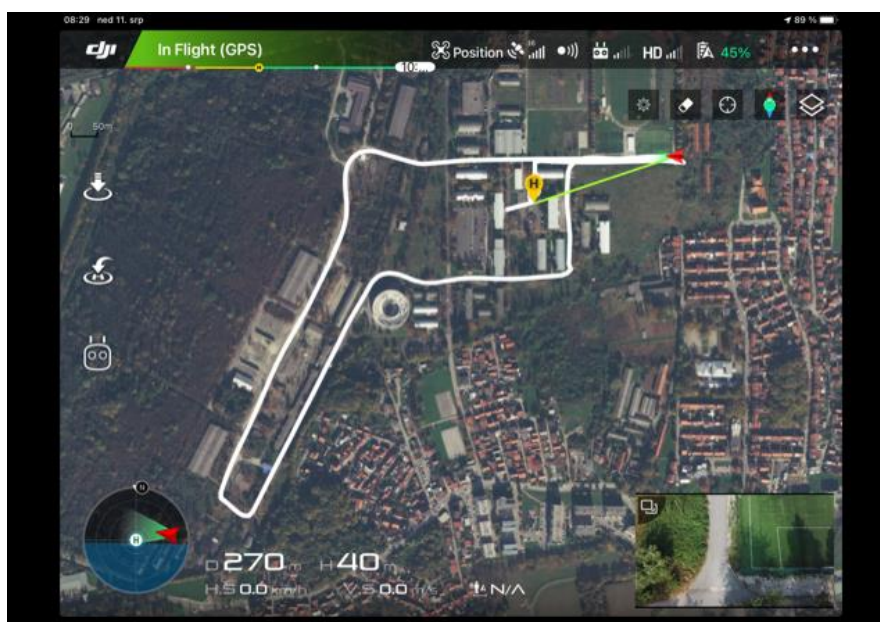


Slika 9. Prikaz izmjerene rute pomoću Google Earth-a

Izvor:

<https://earth.google.com/web/@45.81094782,16.04210838,126.56579755a,1687.45383617d,35y,0h,0t,0r>

Izvršena su dva mjerenja iste rute, ali na različitim visinama u svrhu usporedbe dobivenih detalja, te su oba mjerenja izvršena istim instrumentima. Prvo mjerenje izvođeno je sa dronom na visini od 40m. Ruta je bila određena pomoću aplikacije DJI GS Pro, te se preko iste vršio i nadzor leta. Sučelje prikazuje sljedeća slika 10.



Slika 10. Prikaz sučelja DJI GS Pro

Izvođenjem leta na 40 metara u normalnom modu leta (30-40 km/h) mogla se primijetiti dobra uočljivost detalja na kolnika. Pregledom snimke mogla su se uočiti, kako velika oštećenja cesta poput rupa, itd., tako i mala oštećenja poput pukotina u cestama, i to sa relativno dobrom razinom detalja. Smanjenjem brzine drona mogla bi se i povećati razina detalja na snimci, ali time bi onda žrtvovali prijeđeni put. Isto tako vrlo je lako bilo uočiti pješačke prijelaze koji su gotovo pa u potpunosti izbrisani sa kolnika. Kao što je već spomenuto dužina testne rute iznosi oko 2.58km, te za snimanje cijele rute bilo je potrebno 5:20 min. Na slijedećim slikama 11. i 12. prikazana je veličina područja koju zahvaća kamera drona, te su označena neka mjesta na kojima se vide oštećenja cesta.



Slika 11. Veličina zahvaćenog područja i prikaz stanja kolnika, let 1



Slika 12. Prikaz stanja kolnika, let 1

U nastavku potrebno je napomenuti i nekoliko uzroka koji ometaju dobivanje detaljnih prikaza. Kako sama kamera i detalji na njoj ovise o svjetlosti, ukoliko dođe do poremećaja iste može se znatno izgubiti razina detalja. Na primjer, prolaskom pored građevine čiji krov izrazito jako reflektira sunčevu svjetlost, razina detalja na snimci znatno pada. Manji utjecaj rade krošnje drveća koje bacaju sjenu preko cesta, ili samom krošnjom zaklanjaju cestu.

Drugi let izvršen je na istoj ruti, te se vršio sa visine od 100m. Također se izvodio u normalnom modu letenja, te za je mjerenje trebalo 4:50 min. Vremenska razlika između prvog i drugog mjerenja je iz razloga, što se prilikom prvog mjerenja na nekim mjestima usporila brzina leta zbog sigurnosti.

Jedna od očitih razlika između prvog i drugog leta je u zahvaćenom području, gdje se sa visine od 100m može pokriti puno veća površina, čiju približnu vrijednost možete vidjeti na slici 13. u nastavku.



Slika 13. Veličina zahvaćenog područja, let 2

Kada govorimo o detaljima vidljivim na kolnicima, njihova razina se smanjila. Manja oštećenja poput pukotina znatno se slabije vide, dok veće pukotine i rupe i dalje imaju prihvatljivu razinu detalja, ali manju nego u prvom letu. S druge strane, imamo puno bolji prikaz objekata iz okoline čime možemo dobiti razne informacije. Na sljedećim slikama 14. i 15. prikazane su neke snimke leta.



Slika 14. Prikaz stanja objekata, let 2



Slika 15. Prikaz stanja kolnika, let 2

Iako drugim letom dobijemo manje detalja samoga stanja kolnika, u praksi bi let prilikom visine od 100m imao veće značenje u slučaju detekcije prometnih nesreća i slično, bilo to u gradskom prometu, ili čak na autocestama iz razloga što bi pokrivali veću površinu odjednom.

Proveden je i treći let, kojim se nije snimala određena ruta kao u prijašnjim navedenim, već su se ispitivale karakteristike leta. Treći let proveden je u sport modu leta, brzine 60-65 km/h na visini od 119 metara. Let je trajao 4:45 minute, uključujući i vrijeme slijetanja na „Home point“. Sljedeće slike 16. i 17. prikazuju dijelove snimke sa provedenog letenja.



Slika 16. Prikaz stanja prometa, let 3



Slika 17. Prikaz zahvaćenog područja, let 3

Tablica 5. Prikaz podataka prikupljenih provedenim letovima

Karakteristike leta	Brzina leta	Vrijeme leta	Visina leta	Potrošenost baterije	*Zahvaćena površina
Let					
Prvi let	35 km/h	8:20 min	40m	34%	1500m
Drugi let	35 km/h	5:15 min	100m	21%	9100m
Treći let	65 km/h	4:45 min	119m	30%	9450m
*površina s vidljivim detaljima koju zahvaća kamera bespilotne letjelice					

Kako bi za kraj dobili bolju sliku podataka svakog provedenog leta izrađena je tablica 5. koja prikazuje karakteristike leta poput brzine leta, ukupno vrijeme leta, visina, potrošenost baterije, te zahvaćena površina. Prema podacima iz tablice 5. može se vidjeti kako je potrošnja baterije prilikom leta u sport modu veća, ali dobit je u tome što se može u kratkom vremenu prijeći znatno veća površina.

6. ZAKLJUČAK

Nadzor prometa, infrastrukture prometnica i otkrivanje incidentnih situacija jedni su od glavnih faktora za povećanje sigurnosti u prometu. Postojeći sustavi za nadzor daju dobre rezultate, ali naravno kao i ocjene u školi dobar nije odličan. Kao zamjenu postojećih sustava predstavljeni su sustavi bespilotnih letjelica za nadzor, koji iako imaju očite prednosti nad postojećim sustavom, još nisu do te mjere razvijeni kako bi mogli u potpunosti zamijeniti postojeći. To naravno ne govori da nikada neće.

Zadnjih godina se pokazalo kako se razvitak samih dronova znatno ubrzava zbog povećanja investicije, interesa i uporabe u raznim područjima industrije. U kombinaciji sa već razvijenim softwareskim alatima, koji svake godine postaju sve pouzdaniji mogli bi se ukloniti problemi izvlačenja podataka iz vizualnih informacija prikupljenih dronom koji su postojali primjenom klasičnih metoda, koje su zahtijevali puno više osoblja, vremena i sredstava. Također provedbom snimanja na testnoj ruti opisanoj u 5. poglavlju, može se zaključiti da je vrlo jednostavno izvršiti nadzor nad većim površinama u kratkom roku i pritom dobiti zadovoljavajući broj informacija i detalja o nadziranom području.

Iako je primjena sustava bespilotnih letjelica još u fazi istraživanja, rezultati koje pokazuju su obećavajući i nema sumnje da će u bliskoj budućnosti navedeni sustav pružati mogućnosti nadzora cesta i povećanja sigurnosti prometa.

LITERATURA

- [1] https://en.wikipedia.org/wiki/Unmanned_aerial_vehicle [Pristup: lipanj 2021.]
- [2] <https://interestingengineering.com/a-brief-history-of-drones-the-remote-controlled-unmanned-aerial-vehicles-uavs> [Pristup: lipanj 2021.]
- [3] <https://www.businessinsider.com/drone-technology-uses-applications> [Pristup: lipanj 2021.]
- [4] <https://www.e-education.psu.edu/geog892/node/5> [Pristup: lipanj 2021.]
- [5] Sinčić, M. (2020.), PRIMJENA DRONOVA (AUTONOMNI ROBOT) U NADZORU PROMETA, Pomorski fakultet
- [6] <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-02124406/document> [Pristup: lipanj 2021.]
- [7] <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2046043016300533> [Pristup: lipanj 2021.]
- [8] <https://safety.transoftsolutions.com/blog/drone-video-vs-fixed-cameras-which-is-best-for-traffic-safety-studies/> [Pristup: lipanj 2021.]
- [9] <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7527789/> [Pristup: lipanj 2021.]
- [10] https://dl.djicdn.com/downloads/groundstation_pro/20181102/GS_Pro_User_Manual_v2.0_EN_201811.pdf [Pristup: lipanj 2021.]
- [11] <https://www.easa.europa.eu/the-agency/faqs/about-easa> [Pristup: lipanj 2021.]
- [12] <https://uavcoach.com/drone-laws-in-the-european-union/> [Pristup: lipanj 2021.]
- [13] <https://www.easa.europa.eu/document-library/easy-access-rules/easy-access-rules-unmanned-aircraft-systems-regulation-eu> [Pristup: lipanj 2021.]
- [14] <https://www.easa.europa.eu/domains/civil-drones-rpas/open-category-civil-drones> [Pristup: lipanj 2021.]

[15] <https://www.easa.europa.eu/domains/civil-drones-rpas/certified-category-civil-drones> [Pristup: lipanj 2021.]

[16] <https://www.ccaa.hr/osposobljavanje-za-udaljene-pilote-za-potkategorije-a1a3-otvorene-kategorije-28241> [Pristup: lipanj 2021.]

[17] <https://www.dji.com/hr/mavic-air> [Pristup: kolovoz 2021.]

POPIS SLIKA

Slika 1. Prva bespilotna letjelica Ruston Proctor Aerial Target.....	4
Slika 2. Radio kontrolirani dron Queen Bee.....	5
Slika 2. Prikaz bespilotne letjelice Predator.....	6
Slika 4. Prikaz uzimanja fotografija incidentne situacije.....	14
Slika 5. Prikaz nadzora prometa bespilotnom letjelicom uz primjenu TrafficSurvey sustava.....	16
Slika 6. Pregled željezničkog mosta u svrhu pronalaženja oštećenja primjenom 3D modela.....	17
Slika 7. Ilustrativni prikaz rada LiDAR senzora.....	19
Slika 8. Sučelje DJI GS Pro.....	21
Slika 9. Prikaz izmjerene rute.....	33
Slika 10. Prikaz sučelja DJI GS Pro.....	33
Slika 11. Zahvaćeno područje prvim letom.....	34
Slika 12. Prikaz stanja kolnika, let 1.....	35
Slika 13. Zahvaćeno područje drugim letom.....	36
Slika 14. Prikaz stanja objekata, let 2.....	36
Slika 15. Prikaz stanja kolnika, let 2.....	37
Slika 16. Prikaz stanja prometa, let 3.....	38
Slika 17. Prikaz zahvaćenog područja, let 3.....	38

POPIS TABLICA

Tablica 1. Klasifikacija bespilotnih letjelica prema američkom Ministarstvu obrane.....	9
Tablica 2. Kategorizacija bespilotnih letjelica po masi, doletu, visini i autonomiji leta..	9
Tablica 3. Limitirana podjela otvorene kategorije valjana do 1. siječnja, 2023.	24
Tablica 4. Podjela otvorene kategorije nakon 1. siječnja, 2023.....	25
Tablica 5. Prikaz podataka prikupljenih provedenim letovima	39



Sveučilište u Zagrebu
Fakultet prometnih znanosti
10000 Zagreb
Vukelićeva 4

IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI I SUGLASNOST

Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem kako je ovaj završni rad

isključivo rezultat mog vlastitog rada koji se temelji na mojim istraživanjima i oslanja se na objavljenu literaturu što pokazuju korištene bilješke i bibliografija.

Izjavljujem kako nijedan dio rada nije napisan na nedozvoljen način, niti je prepisan iz necitiranog rada, te nijedan dio rada ne krši bilo čija autorska prava.

Izjavljujem također, kako nijedan dio rada nije iskorišten za bilo koji drugi rad u bilo kojoj drugoj visokoškolskoj, znanstvenoj ili obrazovnoj ustanovi.

Svojim potpisom potvrđujem i dajem suglasnost za javnu objavu završnog rada

pod naslovom **Automatski nadzor cesta primjenom bespilotnih letjelica**

na internetskim stranicama i repozitoriju Fakulteta prometnih znanosti, Digitalnom akademskom repozitoriju (DAR) pri Nacionalnoj i sveučilišnoj knjižnici u Zagrebu.

U Zagrebu, 06/09/2021

Student/ica:

(potpis)