Bespilotne letjelice u funkciji upravljanja incidentnim situacijama u prometu

Strikinac, Filip

Undergraduate thesis / Završni rad

2016

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:119:800217

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-29**



Repository / Repozitorij:

Faculty of Transport and Traffic Sciences - Institutional Repository







SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI

Filip Strikinac

BESPILOTNE LETJELICE U FUNKCIJI UPRAVLJANJA INCIDENTNIM SITUACIJAMA U PROMETU

ZAVRŠNI RAD

Zagreb, Rujan 2016.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI
ODBOR ZA ZAVRŠNI RAD

Zagreb, 23. svibnja 2016.

Zavod: **Zavod za inteligentne transportne sustave**
Predmet: **Upravljanje incidentnim situacijama u prometu**

ZAVRŠNI ZADATAK br. 3832

Pristupnik: **Filip Strikinac (0135225671)**
Studij: Inteligentni transportni sustavi i logistika
Smjer: Inteligentni transportni sustavi

Zadatak: **Bespilotne letjelice u funkciji upravljanja incidentnim situacijama u prometu**

Opis zadatka:

Brzi razvoj i mogućnosti primjene bespilotnih letjelica otvorile su potpuno drugačiju paradigmu rješavanja problema incidentnih situacija u prometu u posljednjih nekoliko godina. Zahvaljujući sve boljim performansama, bespilotne letjelice mogu u vrlo kratkom vremenu, uz minimalne troškove i minimalni utjecaj na ostale sudionike u prometu, slati stvarnovremenske informacije važne za upravljanje incidentnim situacijama u prometu. U završnom radu potrebno je opisati senzorske sustave i tehnička rješenja bespilotnih letjelica te koncept stvarnovremenskog upravljanja incidentnim situacijama u prometu. Također, potrebno je izraditi operativni koncept zračne potpore u upravljanju incidentnim situacijama u prometu te analizirati letne karakteristike i mogućnosti primjene bespilotnih letjelica. Na temelju operativnog koncepta i letnih karakteristika potrebno je izraditi idejno rješenje primjene bespilotnih letjelica u upravljanju incidentima u gradu Zagrebu.

Zadatak uručen pristupniku: 4. ožujka 2016.

Mentor: dr. sc. Pero Škorput

Predsjednik povjerenstva za završni ispit:

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI

ZAVRŠNI RAD

BESPILOTNE LETJELICE U FUNKCIJI UPRAVLJANJA INCIDENTNIM SITUACIJAMA U PROMETU

IMPACT OF DRONES IN THE TRAFFIC INCIDENT MANAGEMENT

Mentor: **Dr. sc. Pero Škorput**
Student: **Filip Strikinac**
JMBAG: **0135225671**

Zagreb, Rujan 2016.

Sažetak

Bespilotna letjelica je letjelica ili zrakoplov bez posade. Ona se može nadzirati na daljinu ili letjeti samostalno. Bespilotna letjelica samostalno može letjeti uporabom unaprijed programiranog plana leta ili pomoću složenih autonomnih dinamičkih sustava. Razvoj bespilotnih letjelica započela je ponajprije vojska u svrhu smanjivanja troškova i ljudskih žrtava. Dovoljno govori činjenica da troškovi održavanja i izrade jedne bespilotne letjelice čine desetinu troškova jednog suvremenog zrakoplova. Najveći izazov kod modeliranja je dakako navigacija i pozicioniranje bespilotnih letjelica, bilo da se radi o vojnoj ili civilnoj uporabi. Danas se najčešće integriraju dva senzora: INS (inercijalni navigacijski sustav) i GNSS (globalni navigacijski satelitski sustav). Prateći povijesni razvoj sve do današnjih dana pokazano je koliki je napredak postignut u tom smjeru. U današnje vrijeme došlo je do povećanja broja i vrsta senzora koje bespilotne letjelice mogu sadržavati, a samim time i do širenja njihove uporabe.

Ključne riječi: Bespilotne letjelice, INS, GNSS, UAV, UAV navigacija, Integracija senzora

Summary

Unmanned aircraft vehicle (UAV) is an aircraft without crew. It can be controlled remotely or fly autonomously. UAV can fly using pre-programmed flight plan or using complex autonomous dynamical systems. UAV development was initiated by the military in order to reduce costs and human casualties. Just the fact that the costs of maintenance and making one UAV consists of one tenth of a modern aircraft says enough.The biggest challenge in modeling UAV is the course navigation and positioning unmanned aerial vehicles, weather it is military or civilian use. Today the most often integration is the one of two sensors: INS (inertial navigation system) and GNSS (global navigation sattelite system). Following the historical development up to the present it has been shown how much progress has been made in this direction. At the present time there has been an increase in the number and types of sensors that UAV may contain, and therefore to spread their use.

Key words: Unmanned aircraft vehicle, INS, GNSS, UAV, UAV navigation, Sensor integration

SADRŽAJ

1. UVOD 1
2. SENZORSKI SUSTAVI NA BESPILOTNIM LETJELICAMA ZA MJERENJE PROMETNIH VELIČINA 3
2.1. Senzorski sustavi 5
2.1.1. GNSS i INS 5
2.1.2. LiDAR 6
2.1.3. Video senzori 9
2.2. Kontrola i upravljanje letjelicama 11
2.3. Phantom 4 11
3. PRAVNA REGULATIVA REPUBLIKE HRVATSKE 14
3.1. Izvođenje letačkih operacija 17
3.2. Uredba o snimanju iz zraka 18
4. MJERENJE PROMETNIH VELIČINA PRIMJENOM BESPILOTNIH LETJELICA 22
4.1. Mjerenje gabarita prometnice 22
4.2. Brojanje vozila na prometnicama 25
4.3. Bilježenje brzine vozila 27
5. PRIMJERI POČETNIH ITS RJEŠENJA NADZORA INCIDENTNIH SITUACIJA IZ ZRAKA 29
5.1. Elementarna nepogoda 29
5.2. Nuklearne nesreće 31
5.3. Vojna upotreba 32
5.4. Granična sigurnost 33
5.5. Prometna nesreća 34
6. IDEJNO RJEŠENJE ZA GRAD ZAGREB 36
7. ZAKLJUČAK 38
POPIS LITERATURE 39
POPIS SLIKA 40
POPIS TABLICA 41

1. UVOD

Širenjem raznih tehnika iz vojne u civilnu uporabu u korak s razvojem tehnologije dolazi do sasvim novog pristupa načina uporabe. Tako su se počele proizvoditi različite vrste bespilotnih letjelica - UAV-a (engl. *Unmanned Aerial Vehicle*) raznih namjena diljem svijeta popularno zvanih dronovi. Bespilotni zrakoplov je definiran kao zrakoplov namijenjen izvođenju letova bez pilota u zrakoplovu, koji je ili daljinski upravljan ili programiran i autonoman. Sustav bespilotnog zrakoplova - UAS (engl. *Unmanned Aircraft System*) je sustav namijenjen izvođenju letova zrakoplovom bez pilota koji je daljinski upravljan ili programiran i autonoman. Sastoji se od bespilotnog zrakoplova i drugih komponenti za upravljanje ili programiranje neophodnih za kontrolu bespilotnog zrakoplova, od strane jedne ili više osoba.

Bitno je naglasiti i postojanje daljinski upravljanih zrakoplovnih sustava – RPAS (engl. *Remotely Piloted Aircraft System*) koji su dio šire kategorije bespilotnih letjelica kojima i samo ime govori da im daljinski upravljaju piloti. Bespilotni sustavi mogu poslužiti kao pomoć pri pronalasku i spašavanju unesrećenih, za nadzor određenih područja (npr. državne granice), za pristup opasnim područjima bez ugrožavanja ljudskih života (posade) i u mnoge druge svrhe. Prva generacija bila je uglavnom namijenjena izviđanju, ali neki su opremljeni s oružjem, kao što su MQ-1 Predator koji je uključivao rakete zrak-zemlja. Hrvatska vojska koristila je bespilotne letjelice u pripremi operacije Oluja za fotografiranje i snimanje neprijateljskih položaja. Tako su određeni bespilotni sustavi našli primjenu i u prometnoj djelatnosti.

Prikupljanjem podataka bespilotnih sustava i naknadnom fotogrametrijskom obradom mogu se izraditi 3D oblaci točaka, digitalni model prometne površine. Iz njih se mogu mjeriti duljine, računati volumeni, kreirati profili i slično. Prometna struka prati razvoj tehnologije te se sve više prepoznaju moguće koriste bespilotnih sustava na području inteligentnih transportnih sustava. Problem koji se javlja je sigurnost takvih sustava budući da se njihova uporaba širi te, što se tiče same struke, kvaliteta podataka dobivena takvim tehnologijama.

Daljinsko upravljane bespilotne letjelice, njima se upravlja za vrijeme trajanja leta s pomoću radiosignala iz postaje za upravljanje. U vojnoj uporabi bespilotna letjelica može

služiti kao mamac, meta, za elektronska protudjelovanja, izviđanje, za radiorelejne veze, a najčešće je višenamjenska. Najveći broj spada u izvidničke bespilotne letjelice i njima se izviđa optički, elektronsko optički i elektronički. Bespilotna letjelica se projektira i gradi modularno, a glavni su elementi: zrakoplov, lansirni uređaj, koristan teret (do 500 kg) upravljački uređaj te uređaj nadzora leta i povratka na zemlju. Veličina bespilotne letjelice su u rasponu od samo nekoliko milimetara (mikro UAV) do veličine zrakoplova s 40 m raspona.

Rad je podijeljen u sedam cjelina:

1. Uvod
2. Senzorski sustavi na bespilotnim letjelicama za mjerenje prometnih veličina
3. Regulativa Republike Hrvatske
4. Primjeri početnih rješenja nadzora incidentnih situacija
5. Određivanje prosječnog čekanja paketa u čvoru paketne mreže
6. Idejno rješenje za grad Zagreb
7. Zaključak

U drugom poglavlju definirani si senzorski sustavi koji se nalaze na bespilotnoj letjelici. Senzori poput: GNSS-a, INS-a, LiDAR-a i video senzori pomažu bespilotnoj letjelici u pozicioniranju i snimanju incidentnih situacija.

U trećem poglavlju opisana je pravna regulativa za bespilotne letjelice u Republici Hrvatskoj.

U četvrtom poglavlju prikazana su mjerenja gabarita prometnice bespilotnom letjelicom. Također, prikazano je i brojanje vozila na prometnicama i njihova brzina vožnje.

U petom poglavlju prikazani su primjer ITS rješenja u incidentnim situacijama u kojima bespilotna letjelica ima značajnu ulogu.

U šestom poglavlju prikazano je idejno rješenje za grad Zagreb. Pozicionirano je nekoliko lokacija na području grada, kako bi se u kratkom vremenskom periodu mogle obići bilo koje mjesto u gradu.

2. SENZORSKI SUSTAVI NA BESPILOTNIM LETJELICAMA ZA MJERENJE PROMETNIH VELIČINA

Bespilotna letjelica je letjelica ili zrakoplov bez posade koji se može nadzirati na daljinu ili letjeti samostalno uporabom unaprijed programiranog plana leta ili pomoću složenih autonomnih dinamičkih sustava. Kako bismo mogli govoriti o dosadašnjim dosezima na području bespilotnih letjelica potrebno je izvršiti podjelu. Zbog široke primjene i različitosti dizajna, podjela koja obuhvaća sve bespilotne letjelice je podjela po veličini. Tako imamo četiri glavna razreda: vrlo male bespilotne letjelice, male bespilotne letjelice, bespilotne letjelice srednje veličine i velike bespilotne.

Vrlo male bespilotne letjelice su letjelice čija se veličina kreće od veličine većih kukaca, do veličine raspona krila od 30 do 50 cm (slika 1). Postoje dva glavna modela vrlo malih bespilotnih letjelica. Jedan model koristi pokretna krila za let kopirajući insekte i ptice, dok drugi koristi konvencionalnu konfiguraciju zrakoplova s fiksnim krilima ili propelerima. Na izbor pogona uvelike je utjecala želja da bespilotna letjelica sleti na malu površinu te da može nadzirati okolno područje bez prevelikog utroška energije za letenje [1].



Slika 1. *Vrlo mala bespilotna letjelica, [2]*

Male bespilotne letjelice imaju barem jednu dimenziju 50 i više centimetara (slika 2). Barem jedna dimenzija letjelice iznosi nekoliko metara. Najveći dio njih napravljen je kao model zrakoplova s fiksnim krilima i mogu polijetati tako da ih operator baci u zrak. Dovoljno su lagane da ih operator može nositi. Najveći dio letjelica za civilnu uporabu nalazi se u ovoj kategoriji.



Slika 2. *Mala bespilotna letjelica, [3]*

Bespilotne letjelice srednje veličine su prevelike i preteške da ih može nositi jedna osoba, ali su manje od laganog zrakoplova (slika 3). Najveći dio bespilotnih letjelica za vojnu uporabu nalazi se u ovoj kategoriji. Koriste se za nadzor područja i izviđanje. Imaju srednji domet te autonomiju od nekoliko sati leta [1].



Slika 3. *Srednja bespilotna letjelica, [2]*

Velike bespilotne letjelice su letjelice veće od lakog zrakoplova i one koje mogu ponijeti dosta tereta, bilo da se radi o instrumentima za ispitivanje radioaktivnosti ili navođenim projektilima (slika 4). Taj model ima visoku autonomiju leta, vrlo visok domet te mogu ostati u zraku više od 40 sati. Najčešće su korištene za nadzor i izviđanje opasnih područja [1].



Slika 4. *Velika bespilotna letjelica, [4]*

2.1. Senzorski sustavi

Glavni razlog uporabe bespilotne letjelice je potpuno autonomna navigacija koja pruža veliku funkcionalnost u slučajevima kada se prekine radijski kontakt s letjelicom, te ona autonomno izvršava zadanu operaciju. Ključno je odrediti poziciju bespilotne letjelice kako bi se poboljšala navigacija. Neovisno o tome koji senzor za daljinsko opažanje letjelica koristi, potrebna je točna lokacija svakog snimka kako bi se snimci mogli georeferencirati. U prošlosti pozicija bespilotne letjelice određivana je relativno s obzirom na izmjerenu početnu lokaciju antene za prijenos podataka koristeći azimut i udaljenost antene od izmjerene lokacije [1].

2.1.1. GNSS i INS

Danas je GNSS (globalni navigacijski satelitski sustav), preferirani sustav za geolociranje, najkorišteniji sustav za određivanje položaja bespilotne letjelice. GNSS prijemnici su sada toliko jeftini i malih dimenzija da su postali standard za navigaciju i to ne samo bespilotnih letjelica, nego i zrakoplova. Međutim, može biti teško odrediti točnu poziciju bespilotne letjelice pogotovo u slučaju kada GNSS trpi određene smetnje. Iz toga se razloga u današnje vrijeme okreće integraciji senzora (slika 5), odnosno dodavanju dodatnog senzora koji će davati poziciju i u trenutku kada GNSS nije dostupan.



Slika 5. *Primjer integracije senzora, Quadcopter, [5]*

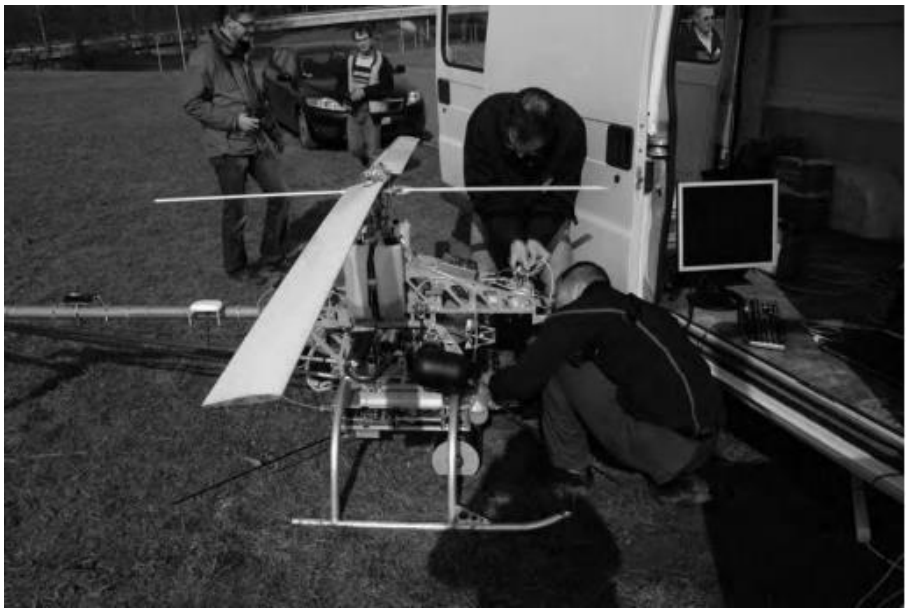
Prva integracija je integracija GNSS-a i INS-a (inercijalni navigacijski sustav), sustava koji su kompatibilni, a mane jednoga su prednosti drugoga. INS pruža visoku točnost, ali u malom vremenskom intervalu, dok je točnost GNSS-a manja, ali je konstantna na globalnoj

razini. INS zahtjeva početnu poziciju kako bi na osnovu akceleracije računao poziciju letjelice i za to je idealan GNSS. Nakon pada točnosti INS-a ispod razine GNSS-a opet se uzima pozicija dobivena GNSS-om kao početna za računanje pozicije INS-om i na taj se način dobiva pozicija veće točnosti nego kod samog GNSS-a. U slučajevima kada dođe do ispada GNSS-a tu je INS koji može autonomno davati podatke o poziciji te se letjelica može navigirati. To su slučajevi kada se letjelica nađe u tunelu, kada leti u razini zgrada gdje je prisutan *multipath* vezan uz GNSS, a gdje je isti neupotrebljiv. INS također daje ispravne podatke o visini letjelice, njezinom nagibu koji može biti u 3 smjera.

Ta dva sustava zadovoljavaju većinu potreba za navigaciju bespilotnih letjelica, međutim, ako se radi o letjelicama koje su namijenjene za jako niski let, let u blizini aerodroma, let u tunelima i slično, oni nisu dovoljno. Ne postoje dovoljno točni podatci o svim ljudskim građevinama, instalacijama te na kraju krajeva, ne može se utjecati na visinu drveća jer je to promjenjivo. U tome slučaju moramo bespilotnoj letjelici nadodati još jedan senzor, odnosno izvršiti drugu integraciju senzora, a to je integracija GNSS-a, INS-a i obične kamere. Sustav koji koristi običnu kameru za navigaciju nazivamo GVSS (*Vision based Sensor Suite*). Sastoji se od običnih kamera koje izvode procese praćenja i detekcije. One se integriraju s navedena dva senzora kako bi letjelica mogla autonomno izbjegavati prepreke na svom putu. Kao što se pilot najviše u takvim situacijama oslanja na svoj vid tako smo dobili letjelicu koja oponaša ljudskog pilota i može sama izvršavati ispravke na svojoj ruti ovisno o vanjskim utjecajima [1].

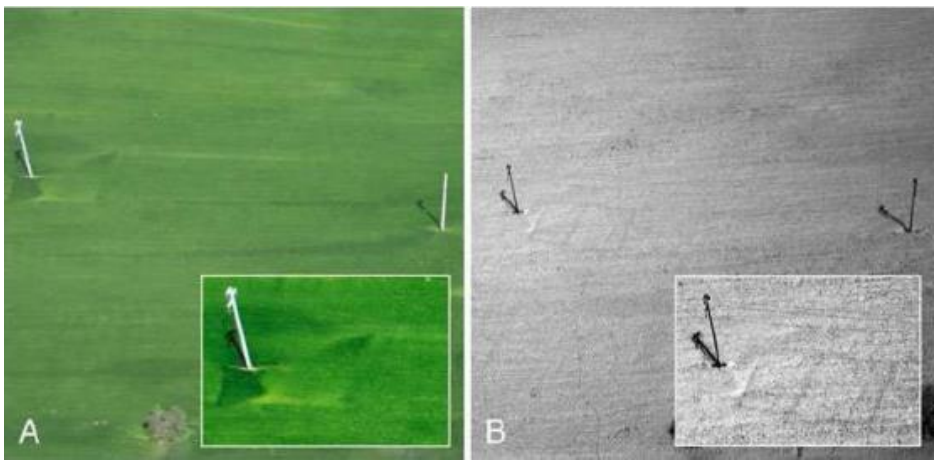
2.1.2. LiDAR

Laserski skeneri (LiDAR) su aktivni instrumenti za mjerenje koji mogu generirati oblake točaka s 3D koordinatama za svaku točku. Postoje terestrijalni i zračni skeneri. S obzirom da zračni skeneri zahtijevaju vrlo precizni GNSS uređaj znatno su skuplji od terestrijalnih. Laserske skenere je moguće uspješno montirati na bespilotnu letjelicu. Sama letjelica mora biti u mogućnosti nositi dodatnu težinu i biti prilagođena za duže, više i sigurnije letove od onih koji se mogu ostvariti letjelicama vrlo male kategorije. Najbolji primjer je potpuno autonomna letjelica Scout B1-100 (slika 6) dizajnirana da nosi *Riegl LiDAR skener LMS-Q160.* Radi se o potpuno autonomnom helikopteru koji može nositi od 18 do 20 kilograma, s vremenom leta od 90 minuta.



Slika 6. *Letjelica Scout B1-100 opremljene zračnim laserskim skenerom Riegl LMS-Q160, [6]*

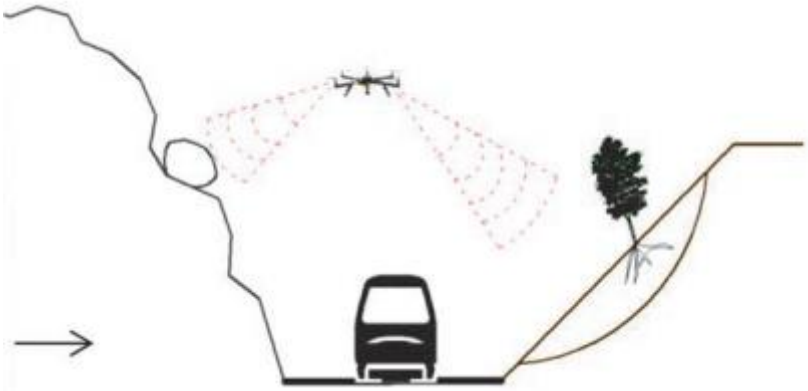
Letjelica s laserskim skenerom testirana je kod kampusa Honggerberg u Zurichu i rezultati su pokazali enormni potencijal za budućnost, pogotovo ako bi se paralelno moglo odraditi i lasersko i fotografsko snimanje i na taj način objediniti obje metode. Infracrvene i termalne kamere se obično koriste na bespilotnim avionima, jer nam u većini slučajeva ovakve vrste snimaka koriste za pretraživanje i detekciju. U arheologiji je potencijalna primjena u sferi zračne prospekcije. Naime, bliske infracrvene (engl. NIR – *Near Infra Red* 0,78 – 3 μm) zrake probijaju dublje kroz biljku od obične svjetlosti i daju nam više informacija, što može rezultirati prepoznavanjem arheoloških formacija u vegetaciji koje prije nisu bile vidljive (slika 7) [6].



Slika 7. *a) Normalna fotografija; b) NIR (engl. Near Infra Red), infracrvena fotografija, [6]*

Postoje dvije tehnologije laserskog skeniranja: lasersko skeniranje sa zemlje (eng. *Terrestrial Laser Scanning* - TLS) i lasersko skeniranje iz zraka (eng. *Airborne Laser canning* - ALS). Princip rada ALS-a je da zrakoplov s pričvršćenim skenerom prelijeće područje koje je potrebno snimiti. Kako bi se dobila snimka cijelog područja, potrebno je unaprijed, ovisno o vidnom kutu skenera i visini leta, odrediti širinu pojasa (niz) snimanja te po potrebi područje preletjeti nekoliko puta s potrebnim brojem nizova. Kako bi se omogućilo pokrivanje cjelokupnog područja snimanja i izjednačenje svih nizova u bloku, visinski i položajno, između nizova treba ostaviti preklop. Za određivanje prostornih koordinata pojedine izmjerene točke primjenjuje se polarna metoda [7].

Za razliku od laserskog skeniranja sa zemlje, ALS skener služi za precizno mapiranje na većem području, što omogućuje izradu strukturne analize na regionalnoj razini bez ulaska u opasnu zonu i to na mnogo brži i sigurniji način. Također se mogu odrediti ulazni podaci za procjenu rizika od odrona pomoću sustava RHR (eng. *Rockfall Hazard Rating System*), kao što su orijentacija diskontinuiteta, veličina bloka, geometrija pokosa, pozicija bloka [7].



Slika 8. *Određivanja volumena stijenskih blokova daljinskim mjerenjem primjenom bespilotne letjelice, [7]*

ALS se može koristiti u situacijama teško pristupačnog terena, za područja koja zbog visoke temperature ili nepovoljne koncentracije štetnih plinova nisu pogodna za boravak ljudi, a prilikom snimanja prometnica snimanje se može obaviti bez zaustavljanja prometa. Međutim, njegova cijena je još uvijek vrlo visoka i potrebno je stručno osoblje ne samo za proces snimanja i obrade podataka nego i za upravljanje avionom ili helikopterom. Umjesto aviona ili helikoptera za dobivanje snimaka daljinskim istraživanjem mogu se koristiti bespilotne letjelice koje mogu smanjiti opseg terenskog rada, uštedjeti vrijeme ali i novac.

Primjenom bespilotnih letjelica u velikoj se mjeri mogu dopuniti, poboljšati, pa čak i u potpunosti zamijeniti klasični načini kartiranja, određivanja volumena, poprečnih presjeka, slojnica i drugih parametara koji su potrebni za inženjerske analize. Na slici 8. prikazan je primjer kako se klasičan način određivanja volumena kamenog bloka može vrlo jednostavno zamijeniti upotrebom bespilotne letjelice [7].

2.1.3. Video senzori

Mrežni video nadzorni sustavi omogućavaju korisnicima da gledaju, nadgledaju i snimaju video (i audio) putem mreža kao što su LAN mreže, širokopojasni Internet, telefonske i mobilne mreže. U odnosu na tradicionalne analogne sustave video nadzora mrežni sustavi prenose video sa udaljenih lokacija od bilo kuda i u bilo koje vrijeme prema korisniku bez obzira na njegovu lokaciju. Korištenjem mrežnih sustava video nadzor postaje prikladan i komforan, nudi platformu za integraciju kao i za razvoj mnogih drugih aplikacija kod kojih je kvalitetna živa video slika sa udaljenih lokacije od velikog značenja.

Dostupnost video informacija sa udaljene lokacije omogućuje drastično smanjenje troškova transporta prema nadziranim lokacijama (i nazad) ne računajući brzinu kojom video informacija dolazi (i time povećava efikasnost). Ovu karakteristiku najviše se cijeni u incidentnim situacijama. U vrlo kratkom vremenu dostupne su video informacije o željenoj lokaciji. Digitalni mrežni video nadzorni sustavi su fleksibilni, jer omogućavaju prijenos video informacije putem raznih komunikacijskih kanala (lokalna mreža, Internet, telefonska linija, ISDN, mobilne mreže) čime se korisnik ne izlaže dodatnim troškovima već koristi ono čime raspolaže.

Mrežni video nadzorni sustavi lako se i jednostavno integriraju u postojeće mrežne kapacitete kojima korisnik raspolaže. Isto tako, ako korisnik već raspolaže sa analognim sustavom prelazak na digitalni sustav ne znači da treba mijenjati i kvalitetne analogne kamere. Mrežna video tehnologija omogućava digitaliziranje analognih video informacija [8].

Bespilotna letjelica Phantom 4 (više o letjelici u poglavlju 2.3) posjeduje video senzor „*1/2.3" (CMOS), Effective pixels:12.4 M"*, te ima mogućnost slikanja i snimanja u visokoj rezoluciji. Senzor ima mogučnosti slikanja obične slike brzinom zatvarača od 1/ 8 000 sekunde, te mogućnost slikanje više fotografija u nizu (30 fotografija u sekundi). Mogući u brojni modeli snimanja videa poput: UHD, FHD i HD. Snimljeni video je *Full HD* kvalitete

od 120 fotografija u sekundi. Leća je izrazito kvalitetna pomoću koje je moguće približiti fotografiju traženom predmetu uz zadržavanje visoke kvalitete fotografije. U tablici 1. i na vidljive su kompletne specifikacije video senzora bespilotne letjelice Phantom 4 [9].

Tablica 1. *Specifikacije video senzora*

Sensor	1/2.3" (CMOS), *Effective pixels*:12.4 M
Leća	FOV 94° 20 mm (35 mm *format equivalent*) f/2.8, *focus at* ∞
ISO Range	100-3200 (video)
	100-1600 (slika)
Brzina zatvarača	8s -1/8000s
Maksimalana veličina slike	4000×3000
Mogučnosti fotografije	*Single shot*
	Burst shooting: 3 / 5 / 7 frames
	Auto Exposure Bracketing (AEB): 3 / 5 *bracketed frames at* 0.7 EV Bias)
	Timelapse
	HDR
Modeli snimanja videa	UHD: 4096×2160 (4K) 24 / 25p 3840×2160 (4K) 24 / 25 / 30p 2704×1520 (2.7K) 24 / 25 / 30p
	FHD: 1920×1080 24 / 25 / 30 / 48 / 50 / 60 / 120p
	HD: 1280×720 24 / 25 / 30 / 48 / 50 / 60p
Max Video Bitrate	60 Mbps
Podržavanje formata	FAT32 (≤ 32 GB); exFAT (> 32 GB)
Slika	JPEG, DNG (RAW)
Video	MP4, MOV (MPEG-4 AVC/H.264)

Izvor [9]

Na slici 9. vidljiv je video senzor bespilotne letjelice. Zahvaljujući visokoj razini tehnologije, izrađen je video senzor visoke kvalitete i male veličine. Senzor je lagan, te ne otežava letače sposobnosti letjelice.



Slika 9. *Video senzor 1/2.3" (CMOS), Effective pixels:12.4 M, [9]*

2.2. Kontrola i upravljanje letjelicama

Osim pozicioniranja i navigacije letjelice, bitno je da operator uvijek ima kontrolu nad samom letjelicom. Zbog toga je bitna veza između kontrolne stanice i letjelice koja je ili radijska veza ili, ako se radi o bespilotnim letjelicama koje lete na velikim visinama, satelitska veza. Kontrolna stanica je računalno sučelje upravljano od stručnjaka koje upravlja bespilotnom letjelicom. Iz njega operator može komunicirati s bespilotnom letjelicom komunikacijskim vezama kako bi upravljao letjelicom ili ispravljao ranije određen plan leta. Bespilotna letjelica vraća informacije i prenosi u realnom vremenu snimke kamere. Najčešće prenosi informacije o teretu, „zdravlju" letjelice, visini i brzini leta te poziciji letjelice.

Kontrolni centar može upravljati polijetanjem i slijetanjem letjelice. Najčešće je kontrolni centar povezan s drugim računalnim sustavima i od njih dobiva podatke važne za upravljanje bespilotnim letjelicama kao što su meteorološki podaci, primanje zadataka od sustava s većim ovlastima, pružanje informacija ovlaštenim osobama i sl. Kontrolni centri mogu biti smješteni na zemlji, brodu te u zraku, odnosno u zrakoplovu. Oni su vezani za vojnu uporabu. Pošto za civilnu uporabu služe letjelice male ili srednje veličine, a domet i autonomija letjelice su najčešće kratki, za njihovu kontrolu koriste se prijenosne zemaljske kontrolne stanice.

Prijenosne zemaljske kontrolne stanice koriste se za manje bespilotne letjelice bilo za civilne ili vojne svrhe. Ona integrira korisničko sučelje sa značajkama kao što je *touch-screen* laptop dozvoljavajući operatoru jednostavnu korekciju leta s obzirom na podlogu koja je prikazana na ekranu (DOF, TK25...). Također se koristi digitalni model terena radi boljeg planiranja leta. Podaci o letu preneseni su u bespilotnu letjelicu prije nego što je ona poletjela kako bi se znala vratiti u slučaju da izgubi radijska vezu [5].

2.3. Phantom 4

Fakultet Prometnih Znanosti u svom vlasništvu posjedu bespilotnu letjelicu Phantom 4 (slika 10.). Kako bi upute bile jasnije objasnit će se na konkretnom primjeru navedene letjelice. Phantom 4 letjelica je mala letjelica najnovije generacije sa najnovijom tehnologijom.



Slika 10. *Phantom 4, [9]*

Letjelica je težine 1380 grama, te može dostići značajnu brzinu od 20 m/s. Moguće je koristiti letjelicu na 6000 m nadmorske visine u duljini leta od 28 minuta. Putanja letenja je vrlo precizna, odstupanja su 0,1 m od željene visine, te 0,3 m od željnog pravca. Njen opseg sa svim propelerima iznosi 350 mm. Letjelica posjeduje sustav prepoznavanja prepreka. Međutim, prepoznavanje je moguće na udaljenosti do 15 metara i potreba je jakost svjetla veća od 15 luxa. Cijela letjelica funkcionira na napajanje baterije od 17.4 V, te snage od 100 W. Specifikacije navedene letjelice dane su u tablici 2. [9].

Tablica 2. *Specifikacije Phantom 4*

Težina	1380 g
Maksimalna brzina uspona	6 m/s
Maksimalna brzina spuštanja	4 m/s
Najveća brzina	20 m/s
Najveća moguća visina	6000 m
Duljina letenja	28 minutes
Optimalna temperatura	0° do 40° C
GPS Mode	GPS / GLONASS
Održavanje letjelice na visini	0.1 m
Održavanje letjelice na pravcu	0.3 m
Veličina letjelice	350 mm
Rapon senzora	0.7 – 15 m
Jačina svjetlosti	veća od 15 luxa
Voltaža baterije	17,4 V
Snaga baterije	100 W

Izvor [9]

Letjelicu je moguće koristi sa kompatibilnim mobilnim uređajima koji moraju imati Operativni sustav Android ili IOS. Također sa letjelicom je moguće prenositi live prijenos, čije je kašnjenje maksimalno 200 ms. Ljudskom oku tolika kašnjenja nisu značajna. Kompletne specifikacije vidljive su u tablici 3.

Tablica 3. *Specifikacije live prijenosa i mobilnih uređaja*

Mobilne aplikacije	DJI GO
EIRP	00mW
Snaga Spektra	6.9mW/MHz
Frekvencija Live prijenosa	2.4GHz ISM
Kvaliteta Live prijenosa	720P @ 30fps (*depending on conditions and mobile device*)
Kašnjenje	220ms (*depending on conditions and mobile device*)
Potrebni Operativni sustavi	iOS 8.0 *or later* Android 4.1.2 *or later*

Izvor [9]

Uz komplet sa letjelicom nalazi se i daljinski upravljač (slika 11.) za letjelicu, koji ima mogućnost spojiti se sa IOS ili Android uređajem. Letjelica se smije udaljiti 5 km od daljinskog upravljača kao bi se uspješno upravljalo. Na uređaju prikazuje se kadar koji bespilotna letjelica prikazuje kamerom.



Slika 11. *Daljinski upravljač letjelice Phantom 4, [9]*

3. PRAVNA REGULATIVA REPUBLIKE HRVATSKE

Prema [10] pravilnik o sustavima bespilotnih zrakoplova stupio je na snagu u svibnju 2015. godine te je sama provedba odredaba Pravilnika o sustavima bespilotnih zrakoplova (u daljnjem tekstu Pravilnik) tek na samom početku. Mnogi koji posjeduju bespilotne letjelice raznih vrsta nisu upoznati sa zakonima u skladu kojih bi trebali djelovati. Nekolicina smatra Pravilnik nepotrebnim i previše strogim te ih svjesno izbjegavaju i krše. Za uspostavu kompetentnog tržišta na području Republike Hrvatske koje udovoljava svim propisanim operativnim i tehničkim zahtjevima u svrhu sigurnosti potrebno je držati se propisanih pravila. Zbog toga je potrebno obavijestiti javnost i širiti informacije do svih subjekata koji sudjeluju u stvaranju tržišta bespilotnih letjelica. Mnogima nije jasno što zapravo činiti kada kupe ili izrade bespilotnu letjelicu zbog toga su u ovome poglavlju dane pregledne upute koje bi trebale na jednostavan način objasniti svim budućim operaterima što moraju napraviti kako bi djelovali u skladu s propisima Republike Hrvatske.

6. svibnja 2015. godine objavljen je Pravilnik koji stupa na snagu osmog dana nakon objave. Tim Pravilnikom, kako je navedeno u članku 1, propisuju se opći, tehnički i operativni uvjeti za sigurnu uporabu bespilotnih zrakoplova, sustava bespilotnih zrakoplova i zrakoplovnih modela te uvjeti kojima moraju udovoljavati osobe koje sudjeluju u upravljanju tim zrakoplovima i sustavima. Odredbe Pravilnika primjenjuju se na sustave bespilotnih zrakoplova, operativne mase bespilotnog zrakoplova (ukupna masa u trenutku polijetanja) do i uključujući 150 kilograma koji se koriste na području Republike Hrvatske. Odredbe ovog Pravilnika ne odnose se na sustave bespilotnih zrakoplova kada se koriste za državne aktivnosti, na one koji ne mogu postići kinetičku energiju veću od 79 J te kada se koriste u zatvorenom prostoru. Nadležna institucija za izdavanje odobrenje i općenito regulacije svih operacija je Hrvatska agencija za civilno zrakoplovstvo – HACZ [10].

Kako bi se procijenila razina rizika za svaku letačku operaciju potrebno je klasificirati bespilotne zrakoplove i područje letenja. Bespilotni zrakoplovi se dijele, s obzirom na operativnu masu, u tri klase: Klasa 5 (do 5 kilograma), Klasa 25 (od 5 do 25 kilograma), Klasa 150 (od 25 kilograma do i uključujući 150 kilograma). Područja letenja dijele se u četiri klase u odnosu na izgrađenost, naseljenost i prisutnost ljudi, a podjela je vidljiva u tablici 4.

Tablica 4. *Klasifikacija područja letenja*

Klasa/Uvjeti	Izgrađenost	Naseljenost	Prisutnost ljudi
Klasa I	Ne	Ne	Samo rukovatelj i osoblje
Klasa II	Pomoćni građevinski objekti ili građevine	Ne	Rukovatelj i osoblje te privremeni prolaznici (biciklisti, šetači i sl.)
Klasa III	Građevine ili objekti za stanovanje, poslovanje ili rekreaciju	Da	Da
Klasa IV	Uske urbane zone	DA – gusta naseljenost	Da

Izvor [10]

Prije same letačke operacije treba provesti kategorizaciju iste. Kategorija letačkih operacija se određuje razinom rizika kojom bi izvođenje te operacije predstavljalo za okolinu i dijeli se u četiri skupine A, B, C i D vidljive u Tablici 5. Kategorija A predstavlja operaciju s minimalnom opasnosti, dok kategorija D s maksimalnom. U skladu sa svakom kategorijom propisani su određeni zahtjevi koje je potrebno ispuniti. U tablici niže oznaka OM predstavlja operativnu masu zrakoplova [10].

Tablica 5. *Kategorizacija letačkih operacija*

Klasa sustava bespilotnog zrakoplova	**Klasa područja izvođenja letenja**			
	I	**II**	**II**	**IV**
5 OM < 5 kg	A	A	B	C
25 5 ≤ OM ≤ 25 kg	A	B	C	D
150 25 ≤ OM ≤ 150 kg	B	C	D	D

Izvor [10]

Rukovatelj mora osigurati da se let bespilotnog zrakoplova izvodi na način da ne predstavlja opasnost po život, zdravlje ili imovinu ljudi zbog udara ili gubitka kontrole nad sustavom bespilotnog zrakoplova i da ne ugrožava ili ne ometa javni red i mir. U članku 11 Pravilnika navedeni su opći uvjeti za letenje bespilotnih zrakoplova kako bi rukovatelj osigurao sve potrebno navedeno u stavku prvom istog članka. Let bespilotnog zrakoplova treba se odvijati danju. Prije leta treba provjeriti ispravnost cijelog sustava i na odgovarajući način pričvrstiti svu opremu i teret na bespilotnom zrakoplovu kako ne bi 5 došlo do ispadanja. Meteorološki i ostali uvjeti na području letenja ne smiju utjecati na sigurnost izvođenja leta. Tijekom leta treba osigurati sigurnu udaljenost bespilotnog zrakoplova od ljudi, životinja, objekata, vozila, plovila, drugih zrakoplova, cesta, željezničkih pruga, vodenih putova ili dalekovoda koja ne smije biti manja od 30 metara, dok minimalna udaljenost od skupine ljudi je 150 metara. Let bespilotnog zrakoplova uvijek mora biti unutar vidnog polja rukovatelja i na udaljenosti do 500 metara od rukovatelja. Potrebno je osigurati da se let bespilotnog zrakoplova odvija izvan kontroliranog zračnog prostora i na udaljenosti najmanje 3 kilometra od aerodroma i prilazne ili odlazne ravnine aerodroma. Tijekom leta zabranjeno je izbacivati predmete iz ili s bespilotnog zrakoplova. Ukratko najvažnija pravila za sigurno izvođenje letačkih operacija dana su na slici 12 [10].



Slika 12. *Pravila o sigurnosti, [10]*

3.1. Izvođenje letačkih operacija

Prema [10] prije izvođenja letačkih operacija kategorija A i B operator treba Agenciji dostaviti Izjavu koja je propisana Pravilnikom. Za izvođenje letačkih operacija kategorije C operator treba osim dostave Izjave izraditi operativni priručnik. Letačke operacije kategorije D smije izvoditi ako je prethodno ishodio odobrenje Agencije. Za svaku letačku operaciju koja bi odstupala od propisanih pravila potrebno je prethodno ishoditi odobrenje HACZ-a.

Operator mora uspostaviti sustav vođenja i čuvanja zapisa o letu koji sadržava najmanje sljedeće podatke: datum leta, vrijeme početka i završetka izvođenja letačkih operacija i trajanja leta, ime i prezime rukovatelja koji je obavio let, lokacija izvođenja letačkih operacija, klasifikaciju područja letenja, napomene o događajima za koje operator procijeni da su od značaja za izvođenje letačkih operacija. Prije izvođenja letačkih operacija kategorija C i D operator mora, ukoliko procijeni da je nužno, provesti aktivnosti upravljanja rizicima. Zapisi o letu i zapisi o upravljanju rizicima moraju se čuvati najmanje dvije godine.

Operativni priručnik mora sadržavati minimalno sljedeće dijelove i upute: sadržaj, status izmjena i listu važećih stranica, dužnosti i odgovornosti osoblja uključenog u aktivnosti operatora, standardni operativni postupci, održavanje sustava bespilotnog zrakoplova, postupci u nuždi, ograničenja za izvođenje letačkih operacija, izvješćivanje, upravljanje rizicima, osposobljenost rukovatelja, vrste i rokovi čuvanja zapisa.

Operator mora provesti analizu kvarova bitnih komponenata/funkcija sustava bespilotnog zrakoplova. Analiza kvarova provodi se kako bi se utvrdilo da ukoliko dođe do kvara pojedine komponente ili funkcije to ne dovodi do prestanka rada bitnih funkcija/sustava bespilotnog zrakoplova. Potrebno je provjeriti ponašanje sustava bespilotnog zrakoplova u slučaju pojedinog kvara te na koji način rezervni sustav preuzima funkciju. Rezervni sustav, ukoliko dođe do kvara, može po naredbi rukovatelja ili automatski preuzeti svoju funkciju. Također može postojati način djelovanja u nuždi kojim se može nadomjestiti rad sustava u kvaru. Provedena analiza kvarova i njihovog utjecaja kao i konfiguracija sustava bespilotnog zrakoplova za koju je analiza provedena dokumentira se na za to predviđenom obrascu koji je dan u dodatku Pravilnika. Ako operator posjeduje dokumentaciju proizvođača koja specificira kvar i njegov utjecaj tada ne mora sam provoditi analizu istoga. Svaka promjena na bespilotnom zrakoplovu koja ima utjecaja na rad bitnih funkcija/sustava bespilotnog

zrakoplova mora se uzeti u obzir te je potrebno ponovno izvršiti analizu kvarova i njihovog utjecaja. Važeća analiza kvarova sustava bespilotnog zrakoplova mora se čuvati najmanje 6 mjeseci nakon prestanka izvođenja letačkih operacija s tim sustavom bespilotnog zrakoplova.

Operator koji namjerava izvoditi letačke operacije izjavljuje da je sposoban i da ima sredstva za preuzimanje odgovornosti povezanih s izvođenjem letačkih operacija sustavom bespilotnih zrakoplova, da sustavi bespilotnih zrakoplova kojima namjerava izvoditi letačke operacije ispunjavaju primjenjive tehničke zahtjeve, te da će letačke operacije izvoditi u skladu s odredbama Pravilnika. Kada je potrebno ishoditi odobrenje za izvođenje letačkih operacija sustavom bespilotnog zrakoplova operator mora HACZ-u dostaviti sljedeće stavke: ime i adresu podnositelja zahtjeva, opis namjeravanih letačkih operacija, broj i tipove sustava bespilotnih zrakoplova koje će koristiti u izvođenju letačkih operacija u okviru traženog odobrenja, dokaze o ispunjavanju operativnih i tehničkih zahtjeva za izvođenje letačkih operacija, fotografije sustava bespilotnih zrakoplova koji će se koristiti, dokumentaciju procjene rizika namjeravanih letačkih operacija, operativni priručnik i Izjavu propisanu Pravilnikom za ishođenje odobrenja za izvođenje letačkih operacija kategorije D. Agencija može provesti nadzor operatora i zatražiti izvođenje demonstracijskih letova u svrhu izdavanja odobrenja. Odobrenje se izdaje na rok od dvije godine.

3.2. Uredba o snimanju iz zraka

Hrvatska agencija za civilno zrakoplovstvo nadležna je za utvrđivanje udovoljava li letačka operacija sustavima bespilotnih zrakoplova sigurnosnim uvjetima za letenje bespilotnim zrakoplovom. Za ishođenje odobrenja potrebno je udovoljavati uvjetima propisanim Pravilnikom o sustavima bespilotnih zrakoplova. Za ishođenje svih drugih odobrenja i dozvola nadležne su neke druge institucije. Tako je na temelju Zakona o obrani donesena Uredba o snimanju iz zraka.

Ovom uredbom propisuju se uvjeti koje pravne i/ili fizičke osobe moraju ispuniti kako bi mogle snimati iz zraka kopnena područja i vodene površine u Republici Hrvatskoj, razvijati, umnožavati i/ili objavljivati snimljene materijale, postupke i uvjete pod kojima je dopušteno iznositi snimke iz zraka iz Republike Hrvatske te proceduru i način pregledavanja snimaka prije njihovog korištenja. Navedeno je da je zrakoplov za snimanje iz raka svaki zrakoplov koji se koristi u operacijama snimanja iz zraka uključujući i letjelice bez posade

opremljene uređajem za snimanje. Uredba propisuje da snimati mogu pravne i fizičke osobe koje su registrirane za snimanje iz zraka, pri Trgovačkom sudu. Također i operator zrakoplova mora imati važeću svjedodžbu za radove iz zraka te odobrenje za snimanje iz zraka koje izdaje HACZ. Jedina snimanja koja su izuzeta iz ove Uredbe su ona snimanja iz zraka koja provode ministarstva nadležna za obranu i unutarnje poslove. Snimanje iz zraka može se obaviti tek nakon pribavljenog odobrenja za razvijanje zračnih snimaka. Naručitelj snimanja mora Državnoj geodetskoj upravi – DGU podnijeti zahtjev za izdavanje odobrenja za snimanje ili razvijanje i to za svako pojedinačno snimanje. Odobrenje se može izdati iznimno za više pojedinačnih snimanja u slučaju izvješćivanja o izvanrednim događajima kao što su prirodne nepogode, prometne nesreće i slično. Odobrenje se izdaje na razdoblje od najviše 3 mjeseca. Zahtjev mora sadržavati sljedeće podatke:

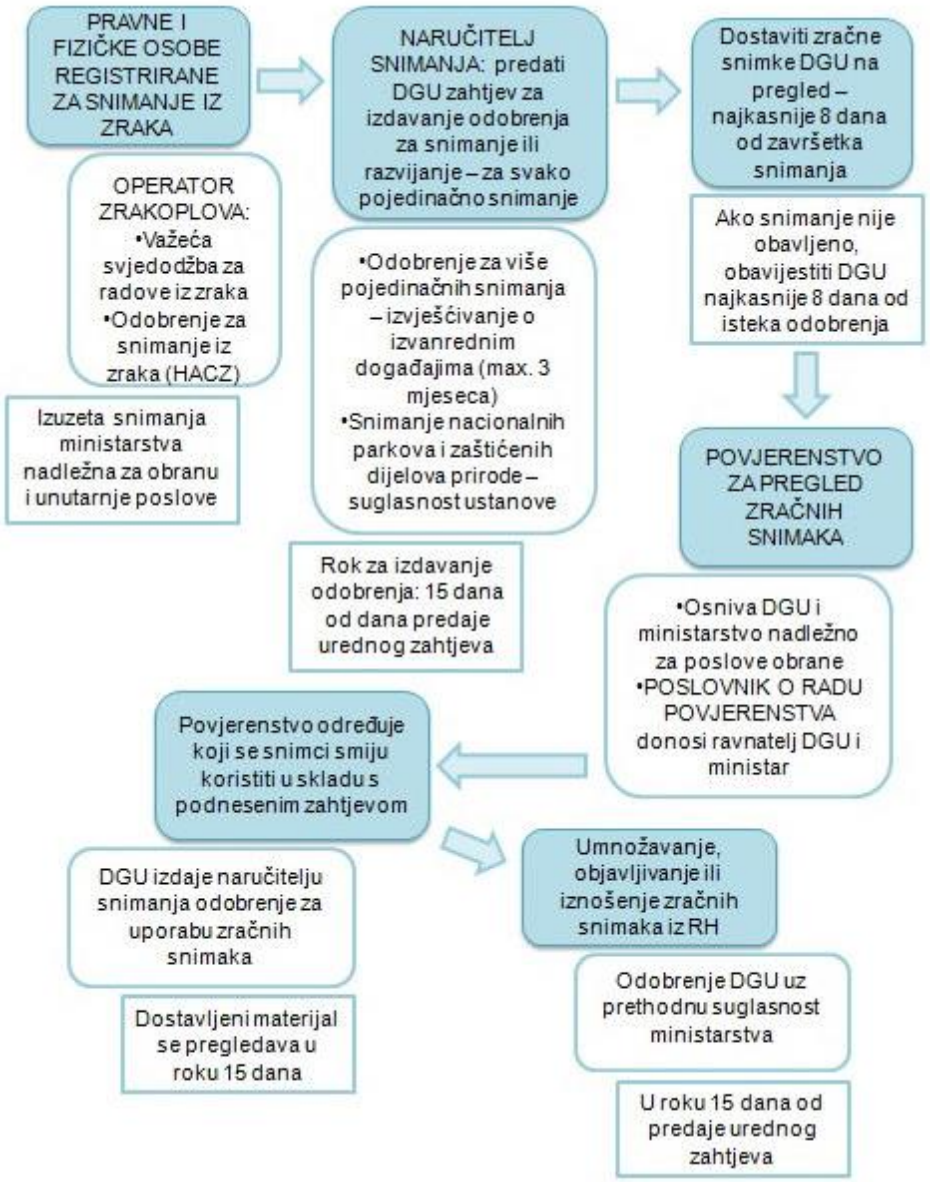
• Podatke o naručitelju snimanja (naziv, adresu sjedišta i OIB);
• Podatke o snimatelju (naziv, adresu sjedišta i OIB) i dokaz o registriranoj djelatnosti snimanja iz zraka;
• Podatke o operateru snimanja (ime, prezime, zanimanje);
• Podatke o zrakoplovu (proizvođač, tip/model, registracijska oznaka);
• Podatke o operateru zrakoplova (naziv, adresa, osoba za kontakt, telefon, fax, email);
• Podatke o izvršitelju razvijanja u slučaju da je različit od snimatelja (naziv, adresu sjedišta i OIB);
• Podatke o vremenu snimanja;
• Svrhu snimanja (izmjera zemljišta, istraživanje, prostorno uređenje, te druge gospodarstvene i znanstvene potrebe);
• Plan snimanja na karti u mjerilu 1:100000 ili krupnije s označenim područjem snimanja;
• Podatak radi li se o pojedinačnom snimanju (u slučaju pojedinačnog snimanja priložiti popis objekata);
• Podatke o vrti snimanja, MS/GSD, kameri/senzoru, žarišnoj daljini objektiva, filmu ili formatu digitalnog zapisa snimka;
• Mjesto čuvanja snimljenog materijala [10].

MS predstavlja mjerilo snimanja i to je osnovni faktor kojim je definirana točnost snimanja iz zraka analognom kamerom. GSD (engl. Ground Sampling Distance) je prostorna veličina slikovnog elementa na terenu koja je osnovni faktor kojim je definirana točnost snimanja iz zraka digitalnom kamerom. Za snimanje nacionalnih parkova i drugih zaštićenih dijelova prirode treba ishoditi i suglasnost ustanove koje upravlja navedenim mjestom. Nakon

obavljenog snimanja zračne snimke se moraju dostaviti Državnoj geodetskoj upravi na pregled. Državna geodetska uprava i ministarstvo nadležno za poslove obrane tada mora osnovati Povjerenstvo za pregled zračnih snimaka koje određuje koji se snimci smiju koristiti u skladu s podnesenim zahtjevom. Zračne snimke se dostavljaju na pregled DGU odmah nakon obavljenog snimanja, a najkasnije u roku 8 dana od završetka snimanja. Ako je izdano odobrenje za snimanje ili razvijanje zračnih snimki, a snimanje nije obavljeno, tada se o tome mora obavijestiti DGU najkasnije u roku 8 dana od isteka odobrenja. Povjerenstvo treba pregledati dostavljeni materijal u roku od 15 dana te donijeti zaključak na temelju kojeg će DGU izdati naručitelju snimanja odobrenje za uporabu zračnih snimaka. Način rada Povjerenstva propisuju ravnatelj DGU i ministar nadležan za poslove obrane Poslovnikom o radu Povjerenstva.

Za umnožavanje, objavljivanje ili iznošenje zračnih snimaka iz Republike Hrvatske potrebno je pribaviti odobrenje DGU uz prethodnu suglasnost ministarstva nadležnog za poslove obrane. Sva odobrenja propisana Uredbom Državna geodetska uprava dužna je izdati u roku 15 dana od dana predaje urednog zahtjeva, odnosno pribavljenih potrebnih suglasnosti. Nadzor nad provođenjem odredaba Uredbe također provodi DGU u suradnji s ministarstvom nadležnim za poslove obrane. Prema objašnjenim postupcima izrađen je dijagram vidljiv na slici (slika 13.) koji ukratko prikazuje što je sve potrebno činiti kako bi se snimanje iz zraka odvijalo prema zahtjevima Uredbe [10].

Na temelju Uredbe cijeli proces letačke operacije u kojoj se obavlja i snimanje iz zraka se znatno produžuje. Letačka operacija s bespilotnim zrakoplovom manjih dimenzija, npr. klase 5, većinom je ograničena trajanjem od nekoliko minuta. Planiranje leta, izvođenje letačke operacije i obrada podataka može se u idealnim slučajevima obaviti i u jednom danu (za manja područja). Za jedan dan rada potrebno je, osim imati registriranu letjelicu, operativni priručnik, suglasnost HACZ-a, dozvolu pilota, također pribavljeno i odobrenje DGU te nakon obavljenog snimanja odobrenje za uporabu zračnih snimaka. Što zajedno može potrajati i mjesec dana. Protiv ovakvog strogog načina ishođenja odobrenja i slanja snimaka na pregled izjasnili su se gotovo svi koji već imaju bespilotne letjelice ili ih planiraju nabaviti [10].



Slika 13. *Dijagram potrebnih postupaka prema Uredbi, [10]*

Cijela odgovornost oko ove Uredbe nije na DGU koju se proziva. DGU po ovom pitanju odgovara ministarstvu zaduženom za obranu. Svako odobrenje i provjera snimaka mora biti potvrđena i od nadležnog ministarstva. Isto tako Ministarstvo obrane može i odbiti zahtjev za odobrenjem bez ikakvog obrazloženja. Također se treba uzeti u obzir da ne donosi zakone DGU već ministarstvo. Zbog toga bi trebalo intenzivno raditi na omogućavanju korištenja bespilotnih letjelica za svakodnevne geodetske poslove, kao i za sve druge komercijalne potrebe [10].

4. MJERENJE PROMETNIH VELIČINA PRIMJENOM BESPILOTNIH LETJELICA

4.1. Mjerenje gabarita prometnice

U navedenom poglavlju prikazana su mjerenja jednog snimanja iz zraka koji je nađen na Internetu. Snimanja nisu rađena letjelicom Phantom 4 koja je u posjedu Fakulteta, jer je letjelica tek nedavno izašla na tržište. Prikaz se odnosi na snimanje prometnice drugom letjelicom, te je vidljiva veličina prometa.

Projekt snimanja iz zraka sastoji se od tri faze:

1. pripremni terenski radovi
2. snimanje iz zraka
3. *postprocessing* ili obrada podataka.

Pripremni terenski radovi sastoje se od uspostave niza točaka koje Su potrebne za orijentaciju i kontrolu zračnih snimaka. Orijentacijske točke služe za orijentaciju zračnih snimaka i trebale bi biti postavljene na terenu na način da budu uočljive kasnije na zračnim snimkama. Kod uočljivosti orijentacijskih točaka trebamo uzeti u obzir da se te snimke snimaju na visini od nekoliko stotina metara nadmorske visine te bi bilo najbolje postaviti signale u obliku križa. Oblik signala mora biti simetričan. Moguća signalizacija je i drvena ploča dimenzija 40 cm x 40 cm ili 20 cm x 20 cm (slika 14). Orijentacijske točke određuju se geodetskim metodama: triangulacija, precizna poligonometrija ili GNNS.



Slika 14. *Orijentacijska točka, [11]*

Najekonomičnija i najbrža je dakako metoda GNNS-a. Uspostavom signalizacijskih točaka prelazi se na idući korak, tj. planiranje leta. Planiranje leta kod *Swinglet Cam* letjelice je automatiziran proces i odvija se na sa mom terenu. Naime, *e-mo-tion* softver automatski skida satelitske ili *open street* karte područja snimanja s Interneta, po izboru korisnika. Preporučljivo je taj dio projekta obaviti prije terena radi mogućnosti povezivanja s Internetom, no naravno, to se može obaviti i na terenu uz prisutnost internetske konekcije. Na tim kartama označava se područje snimanja i pritom treba voditi računa o tome da se obuhvati malo veći opseg snimanja od potrebnog [11].

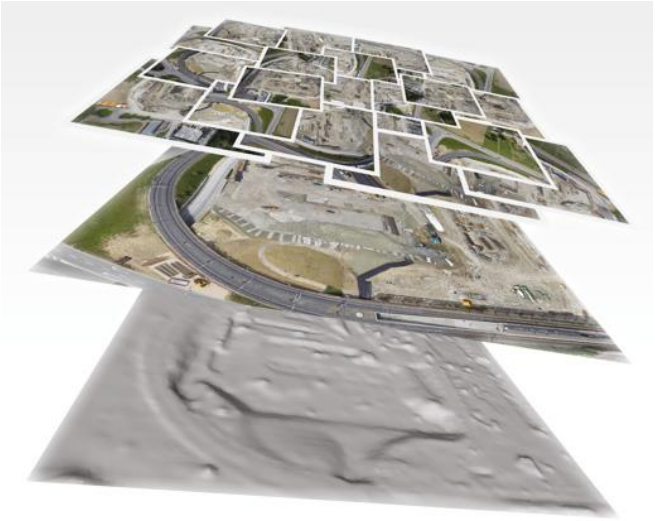
Nakon podešavanja rezolucije snimanja i stupnja preklopa od 70%, softver sam računa i prikazuje plan leta (slika 15). Putem radioveze podaci se prebace s laptopa na bespilotnu letjelicu i ona je spremna za polijetanje. Samo snimanje iz zraka potpuno je automatiziran proces, od uzlijetanja do slijetanja. *Postprocessing* je također potpuno automatiziran i temeljen na principu računalstva u oblaku (eng. *cloud computing*). Krajnji rezultat su: digitalni *ortofoto* (DOF) (slika 16.), *Google Earth* prikaz, digitalni model terena (slika 17.) i izvješće o projektu (prikaz kvalitete i ocjena točnosti) [11].



Slika 15. *Plan leta, [11]*



Slika 16. *Digitalni ortofoto, [11]*



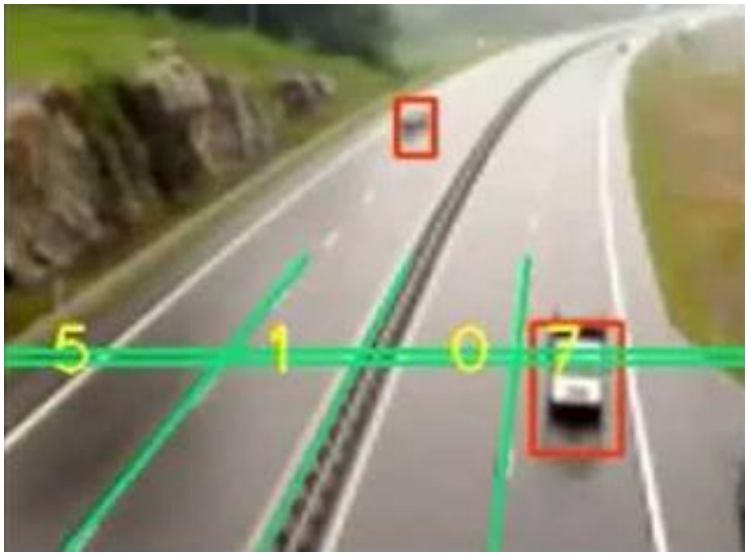
Slika 17. *Model prometnice, [11]*

U ovakvome slučaju prikazan je fizički izgled prometnice. Upotrebom algoritama moguće je kroz sličan način snimanja prometnice, dobiti podatke i o analizi prometa. Algoritmi su jednaki kao na senzorima koji se danas nalaze na semaforima i određenim strateškim pozicijama.

4.2. Brojanje vozila na prometnicama

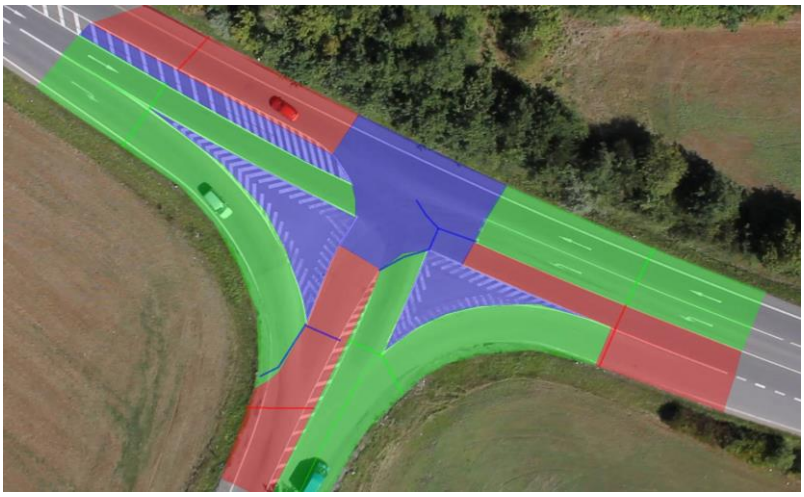
Istim načinom kao što je prikazano u poglavlju 4.1. moguće je brojanje prometa na prometnicama. Bespilotna letjelica dovodi se do željene lokacije, te se pozicionira iznad. U aplikacijama za mjerenje prometa, unose se određene naredbe i označava se željena prometnica.

Prema [12] brojanje vozila na autocesti je jednostavan zadatak, koji je izvediv sa nekoliko naredbi u algoritmima za brojanje vozila. Bespilotna letjelica se pozicionira iznad određene prometnice na kojoj će se obaviti zadatak brojanja vozila. Vozila koja će se brojati, moraju proći virtualnim trakama koja je označena sa ulazom. Vozila su registrirana samo ako prođu kroz ulaz (slika 18.), te se njihov prolazak sprema u bazu podataka. Bilježi se: kada je vozilo prošlo kroz vrata, u kojoj traci i u kojem smjeru. Na taj način skupljaju se informacije u bazi podataka, te se računaju analize potrebne za određenu prometnicu.



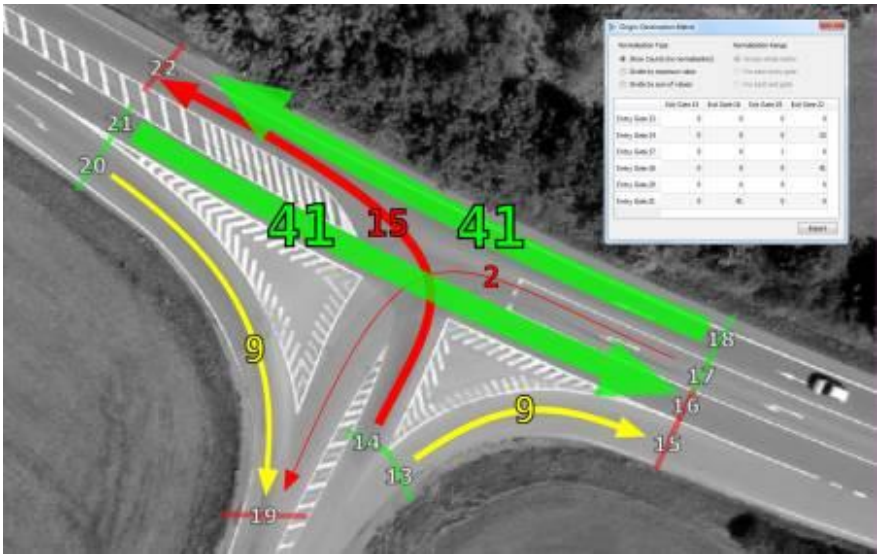
Slika 18. *Ulazna virtualna vrata na autocesti, [13]*

Prema [12] brojanje vozila na raskršću je zahtjevniji od brojanja vozila na autocesti, te je jedan od najčešćih zadataka koji može izvršiti bespilotna letjelica. Cilj je klasificirati vozila na raskršću, što i nije lagan zadatak. Svako vozilo koje prolazi preko virtualnih vrata je zabilježeno i dodijeljena vrijednosti određenom prometnom toku (slika 19.).



Slika 19. *Prometnica označena virtualnim trakama i ulazima, [12]*

Moguća je i izravno upravljanje raskršćem preko bespilotne letjelice. Ukoliko je intenzitet dolazaka vozila prevelik u određenoj prometnoj traci, bespilotna letjelica izdaje naredbu o produljenju zelenog svijetla na semaforu. Na taj način moguće je smanjenje gužve i povećava se protočnost raskršća. Na slici 20 vidljivo je brojanje vozila po prometnim trakama, što bespilotnoj letjelici daje podatke za upravljanje raskršćem.



Slika 20. *Pridružene vrijednosti prometnim trakama, [12]*

Kružni tokovi povećavaju sigurnost i stalni protok prometa jednostavnim odlukama na ulazu u kružni tok, te se usporava promet. Zbog, toga su važan element prometne mreže. Brojanje vozila na kružnom toku je još jedna zadaća koju je moguće izvršiti pomoću

bespilotne letjelice. Princip je isti kao i kod brojanja vozila na raskršću. Broj virtualnih vrata kroz koja prolaze vozila, odgovara broju izlaza odnosno ulaza u kružnom toku. Na taj način definira od kuda je intenzitet prometa najveći, a gdje najmanji. Pomoću prikupljenih podataka, moguće je u budućnosti prilagoditi mogućnosti kružnog toka za dodatnim ulazim i izlazima, kako bih se promet odvija uz minimalna zagušenja [12].

4.3. Bilježenje brzine vozila

Za vrijeme praćenja vozila, podatci su dostupni u svakom trenutku. Bespilotna letjelica kreće se iznad skupine vozila, te prati njihova kretanja i bilježi brzinu vozila. Osim brzine vozila, moguće je bilježiti i akceleraciju vozila. Kako su podatci dostupni u svakom trenutku, moguća je bolja kontrola prometa od osoblja koja se brine za sigurnost prometnica (slika 21).



Slika 21. *Prikaz praćenja i mjerenja brzine i akceleracije vozila*, [12]

Ako je primijećeno prebrzo kretanje vozila ili grupe vozila, bespilotna letjelica može izdati naredbu uređajima za smirivanje prometa. Uređaji za smirivanje prometa mogu biti svjetlosni signali koji su postavljeni na tlu ili podesivi cestovni uspornik (slika 22).



Slika 22. *Podesivi uspornik, [13]*

Ovisno o dozvoljenoj brzini uspornik se uzdiže onoliko koliko je propisano. Za ograničenje brzine vožnje na 50 km/h širina uspornika će se izdići ne manje od 60 cm, a visina ne smije prelaziti 3 cm. Za ograničenje brzine vožnje na 40 km/h širina uspornika će se izdići ne manje od 90 cm, a visina ne smije prelaziti 4 cm. Za ograničenje brzine vožnje na 30 km/h širina uspornika će se izdići ne manja od 120 cm, a visina ne smije prelaziti 7 cm.

5. PRIMJERI POČETNIH ITS RJEŠENJA NADZORA INCIDENTNIH SITUACIJA IZ ZRAKA

Bespilotne letjelice su prepoznate kao tehnologija budućnosti koja će se koristiti u razne svrhe. Kako bi se bespilotni sustavi uveli u uporabu na ispravan način i prihvatljiv građanima pokrenute su određene studije od strane Europske Unije. Smatra se da će se otvaranjem tržišta za civilnu uporabu RPAS-a postići mnoge koristi europskom društvu, otvoriti nova radna mjesta te moći obaviti mnogi zadaci koji predstavljaju problem. Kao tri glavna područja u kojima bi RPAS imao veliku ulogu navodi se civilna zaštita, sigurnost i očuvanje okoliša. Bespilotne letjelice se već sada u nekim dijelovima svijeta koriste za potrebe agrikulture i šumarstva čiji se daljnji razvoj također očekuje.

5.1. Elementarna nepogoda

Sustav civilne zaštite obuhvaća mjere i aktivnosti (preventivne, planske, organizacijske, operativne, nadzorne i financijske) kojima se uređuju prava i obveze sudionika, ustroj i djelovanje svih dijelova sustava civilne zaštite i način povezivanja institucionalnih i funkcionalnih resursa sudionika, koji se međusobno nadopunjuju u jedinstvenu cjelinu radi zaštite i spašavanja građana, materijalnih i kulturnih dobara i okoliša od posljedica prirodnih i tehničko-tehnoloških velikih nesreća i katastrofa te otklanjanje posljedica terorizma i ratnih razaranja.

U samom sustavu civilne zaštite radi veliki broj ljudi iz raznih institucija. O njima se zapravo i ne priča dok ne dođe do same katastrofe, ali sustav civilne zaštite može puno pridonijeti svojim preventivnim djelovanjem. Zabilježene su razne katastrofe koje su prouzrokovale velik broj žrtava i mnogi ljudi su pogođeni na različitim razinama. Također, takve katastrofe uzrokuju vrlo visoke štete. Prema općoj deklaraciji o pravima čovjeka svatko ima pravo na život, slobodu i osobnu sigurnost. Određenim mjerama zaštite i spašavanja mogu se ukloniti ili u određenoj mjeri spriječiti loši učinci katastrofe. Zbog toga se u civilnu zaštitu uključuju i nove tehnologije kako bi u većoj mjeri ostvarili svoje ciljeve. Tako se počinju ispitivati i analizirati prednosti koje bi RPAS pridonio u civilnoj zaštiti.

Civilna zaštita ima veliku ulogu u katastrofama kao što su poplave, šumski požari, oluje, potresi, nuklearne nesreće, vulkanske erupcije i slično. Trebalo bi istražiti na koji način RPAS-ovi mogu djelovati učinkovitije od običnih zrakoplova, odnosno koje su njihove prednosti s obzirom na ostale tehnologije.

Poplava znači privremena pokrivenost vodom zemljišta koje obično nije prekriveno vodom. To uključuje pojave koje uzrokuju rijeke, gorski potoci, bujični vodotoci, te poplave uzrokovane morem na priobalnim područjima, a može isključivati poplave iz kanalizacijskih sustava. Uzroci pojava poplava mogu biti različiti. Uslijed pojave hidroloških prilika poput obilnih kiša i/ili topljenja snijega kada vodotoci ne mogu više primati pristiglu vodu. Prirodne poplave mogu nastati zbog nastajanja ledenih barijera. Umjetne poplava mogu nastati uslijed otkazivanja sustava za akumuliranje vode, otkazivanja sustava za obranu od poplava ili neadekvatnih tehničkih rješenja na odvodnji. Bitno je naglasiti da su poplave prirodni fenomen koji nije moguće spriječiti. Zbog toga je Europski parlament i vijeće izdalo Direktivu o poplavama 2007/60/EG koja je stupila na snagu u studenome 2007. godine. Svrha te Direktive je uspostaviti nacionalni i međunarodni okvir za procjenu i upravljanje rizicima od poplave da bi se smanjile negativne posljedice poplava na ljudsko zdravlje, gospodarsku djelatnost, okoliš i kulturnu baštinu.

Jedan od ciljeva te Direktive je izrada karata opasnosti na kojima bi trebala biti prikazana područja s potencijalno značajnim rizikom. Bespilotne letjelice mogu biti značajne pri izradi ovakvih karata jer u kratkom vremenu mogu dati ne samo trodimenzionalnu poziciju već i digitalni *ortofoto* te na kraju vrlo vjerne 3D modele. Za značajna područja poput kulturne baštine koja su pod velikim rizikom poplava 3D modeli mogu poslužiti za kasniju sanaciju ukoliko dođe do katastrofe. Osim pri izradi karte opasnosti bespilotne letjelice mogu imati vrlo važnu ulogu i tijekom samog trajanja opasnosti.

Tijekom početne faze poplava bespilotne letjelice pomažu stručnjacima u razumijevanju razine rizika i pri evakuaciji ljudi na temelju ispravno utvrđenih i realnih opasnosti. Spasilačke ekipe koje su aktivne tijekom cijelog trajanja katastrofe konstantno izlažu svoje živote opasnosti te je opravdana zamjena upotrebe bespilotnih letjelica u tu svrhu [1].

5.2. Nuklearne nesreće

Nuklearne nesreće nisu čest slučaj, ali njihove posljedice mogu biti katastrofalne i protezati se dugi niz godina nakon samog događaja. Uobičajeno za posljedicu imaju zagađenje područja uključujući i zemlju i vodu. Gubitak ljudskih života je uzrokovan ne samo trenutkom katastrofe već i životnim uvjetima koje nuklearna nesreća ostavlja za sobom. Zbog toga je najvažnija pravovremena evakuacija stanovništva. Spasilačke ekipe koja sudjeluje u evakuaciji moraju imati primjerenu zaštitu zbog velikog zagađenja. Svakako bi bilo sigurnije uopće ne pristupati zagađenim područjima i izlagati se opasnosti gdje se opet prepoznaje opravdana uloga bespilotnih letjelica. Vulkanske erupcije uobičajeno imaju lokalni učinak. Osim gubitka života i evakuacije ugroženog stanovništva problem predstavlja i zagađenje pepelom nakon erupcije. Erupcija vulkana *Eyjafjallajokull* na Islandu u 2010. godini izazvala je, zajedno s problemima civilnom stanovništvu koji živi u blizini vulkana, također velike probleme u zrakoplovstvu (slika 23). Zbog toga je ICAO definirala tri razine zagađenja vulkanskim pepelom. Zračni prostor utvrđenih dimenzija dijeli se na područje male, srednje i velike zagađenosti ovisno u kojim koncentracijama se može susresti vulkanski pepeo. Za sada se još otkrivaju radarski sustavi koji bi bili u mogućnosti otkriti pepeo i njegovu koncentraciju. Također bi trebalo uzeti u obzir alternativne načine
otkrivanja pepela uz pomoć RPAS-a.



Slika 23. *Bespilotna letjelica iznad eruptiranog vulkana, [14]*

Jedna od bitnih stavki tijekom rada spasilačkih ekipa je održavanje komunikacije između svih sudionika nesreće. Zbog toga je potrebna pokrivenosti tijekom cijele misije održavajući aktivnu liniju komunikacije među korisnicima. Komunikacija često može biti prekinuta zbog posljedica katastrofe i nemoguće je obnoviti komunikacijske kanale pri takvim uvjetima i u kratkom vremenu zbog toga se treba pristupiti drugim alternativnim metodama u kojima RPAS može pomoći.

Sprječavanje katastrofe je jedan od zahtjevnijih problema civilne zaštite. Mora se imati na umu da se većina prirodnih katastrofa ne može izbjeći poput potresa, poplava, vulkanskih erupcija i tako dalje. Čak je i predviđanje takvih katastrofa gotovo nemoguće. Unatoč tome neke katastrofe se mogu pratiti prije nego što se dogode što može pružiti mogućnost sprječavanja ili barem smanjenja ljudskih žrtava. Pružiti pomoć nakon katastrofe također predstavlja zahtjevan problem civilne zaštite. Uključuje rad raznih ekipa kojima mora biti osigurano brzo širenje informacija, komunikacija, povezanost i koordinacija u radu. Ono što otežava rad spasilačkih ekipa su svakako loši vremenski uvjeti koji se zadržavaju i nakon same katastrofe. Jedan od bitnih čimbenika ispravnog djelovanja je imati uvid u trenutnu situaciju odnosno ažuriranje karti pogođenih zona. Zbog poteškoća i loših vremenskih uvjeta RPAS-ovi imaju veliku prednost pri skupljanju podataka i vizualizaciji za razliku od tradicionalnih tehnologija [1].

5.3. Vojna upotreba

Vojska ima dugu i kontinuiranu povijest povezanosti s bespilotnim letjelicama u mnogim zemljama. Prednosti koje vojsci nude bespilotne letjelice su brojne posebno u područjima koja su obilježena kao opasna. Primjer letjelice koju koriste britanski vojnici u Afganistanu je *Black hornet nano* (Crni stršljen) (Slika 24). *Black hornet nano* je vojna bespilotna letjelica koju je razvio *Prox Dynamics AS* iz Norveške, a u upotrebi je britanske vojske. Dimenzije su mu oko 10 cm × 2,5 cm i pruža vojnicima informacije o situaciji na terenu. Dovoljno su mali da stanu u ruku i teže nešto više od 15 g (uključujući bateriju). Letjelica je opremljena kamerom koja daje visoko kvalitetne slike i video. Dizajnirani su kako bi se uklopili u sive afganistanske zidove, kako bi omogućili gledanje iza uglova ili preko zidova te kako bi se utvrdile eventualne skrivene opasnosti i neprijateljski položaji. Slike se prikazuju na malom ručnom terminalu koji može koristiti operator za kontrolu. Britanska vojska od 25. listopada 2013. ima 324 *Black hornet nanoa* [1].



Slika 24. *Black hornet nano, [15]*

5.4. Granična sigurnost

Prema [1] bespilotne letjelice vrlo su korisne, ne samo za rješavanje niza vojnih zadaća, već i kao učinkovito sredstvo za istraživanje, pronalaženje i identifikaciju objekata i subjekata od interesa te za precizno određivanje njihovih koordinata. Upravljanje i nadzor u katastrofama kod naftovoda i plinovoda može poprimiti velike razmjere praktične primjene.

Primjenu bespilotnih letjelica u nadzoru granice (slika 25), odnosno prednosti i mane takve primjene obradit ćemo na primjeru granica SAD-a. Korištenje bespilotnih letjelica za poboljšanje sigurnosti granica je metoda koja je zainteresirala Kongres Sjedinjenih Američkih Država. Najveći problem SAD-a je duljina granica s Kanadom i Meksikom. Nije moguće pokriti cijelo područje granice jer iziskuje mnogo sredstava i ljudstva. Tu prazninu u nadzoru granice mogle bi popuniti bespilotne letjelice. Konkretno, tehničke sposobnosti UAV-a mogu poboljšati pokrivenost duž udaljenih dijelova američkih granica.

Elektrooptička (EO) identifikacijska tehnologija dovoljno je napredna da može identificirati potencijalno neprijateljsku metu veličine tetrapaka na nadmorskoj visini od 18 288 m. Mogućnost bespilotne letjelice daje preciznu sliku granice u realnom vremenu omogućuje operatorima razmještanje agenata na točno područje gdje se pokušava ilegalno prijeći granica. Kao primjer navodimo operaciju Safeguard u kojoj je ključno bilo

identificirati potencijalne ilegalne prelaske južne granice s Meksikom. Na tom primjeru vidimo da je sposobnost nadzora bespilotnih letjelica, koja je opremljen samo s EO kamerom i radarskim senzorom koji gleda prema naprijed (FLIR), jako umanjena po lošim vremenskim uvjetima.

Vlažnost klime i naoblaka mogu uvelike utjecati na kvalitetu snimke, ali i na samu opremu. Rješenje ovog problema s klimatskim uvjetima je da se bespilotna letjelica, opremi sa SAR-om (radarskim sustavom sa sintetičkom antenom). Radari mogu proizvesti slike visoke rezolucije u lošim vremenskim uvjetima, što SAR razlikuje od optičkih i infracrvenih sustava. Međutim, SAR lošije prati metu u pokretu, ali to se može ublažiti dodavanjem radarske tehnologije indikatora kretnje (MTI – *moving target indicator*). Ako dodamo MTI na bespilotnu letjelicu, onda će se značajno povećati sposobnost nadziranja granice letjelicom, ali i povećati cijena tog nadzora. Primjena bespilotne letjelice u nadzoru granice još uvijek je u razvoju i ova primjena ima svoje prednosti i nedostatke, međutim, daljnjim razvojem imat će velike prednosti u nadzoru granice pred zrakoplovom s ljudskom posadom, čak i u lošim vremenskim uvjetima i izvanrednim situacijama [1].



Slika 25. *Bespilotna letjelica na granici, [16]*

5.5. Prometna nesreća

U slučaju prometne nesreće (slika 26) upotreba UAV može dovesti do velike pomoći. Vrijeme koje je potrebno hitnoj pomoći ili policiji da stigne do prometne nesreće, ponekad može biti preveliko. U takvim slučajevima UAV ima mogućnost stići do prometne nesreće puno prije ostalih službi zbog jednostavnosti puta. Put je uvijek od točke A do točke B, odnosno od bazne stanice do mjesta nesreće. Na određenoj putanji ne nalaze se nikakve prepreke poput: semafora, drugih vozila, ograničenja koje uvjetuje prometnica. Na taj način

UAV je u mogućnosti stići prva na mjesto nesreće. UAV može snimiti situaciju iz zraka te se direktno šalje u baznu stanicu gdje operateri mogu vidjeti o kakvoj se nesreći radi. Također, letjelicu je moguće opremiti sa stvari za prvu pomoći, jer one ne stvaraju pretjeranu težinu samoj letjelici.

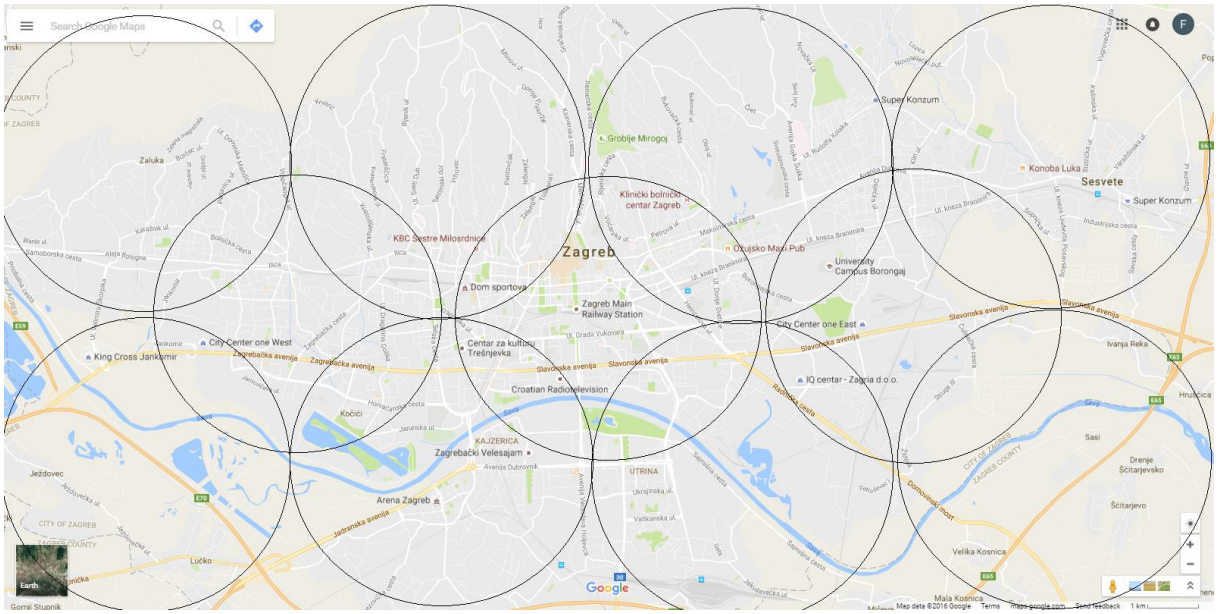


Slika 26. *Prikaz prometne nesreće kamerom bespilotne letjelice, [17]*

6. IDEJNO RJEŠENJE ZA GRAD ZAGREB

Po karakteristikama letjelice Phantom 4 koja je opisana u poglavlju 2.3., letjelica može izdržati u zraku oko 30 minuta, te mu je maksimalan brzina 20 m/s. (72 km/h). Grad Zagreb prostire se površinom od 642 km^2, odnosno oko 30 km u širinu i 20 km u duljinu. Phantom 4 u mogučnosti je preletjeti grad Zagreb po dužini samo jednom. Iz čega proizlazi, da bi na području grada Zagreba trebali imati nekoliko pozicija sa bespilotnim letjelicama koje bi promatrale situacije u gradu.

Ako dođe do incidente situacije poput nesreće u prometu, bespilotne letjelice bile bi prve u mogučnosti stići na mjesto nesreće. Ako bespilotna letjelica dođe na mjesto nesreće u razumnom vremenskom periodu, dobiva se video snimka mjesta nesreće. Razumno vrijeme koji je potrebno bespilotnoj letjelice je 3 minute. Kada se uzme u obzir maksimalna brzina letjelice od 20 m/s, i vremenski period od 3 minute (180 sekundi), dobiva se radijus koji bespilotna letjelica može savladati. Radijus iznosi oko 3500 metara. Što znači da bi udaljenost između dvije bazne stanice trebala biti 7 km (slika 27).



Slika 27. *Bazne stanice u gradu Zagrebu, [18]*

Slika 7. prikazuje 11 baznih stanica na kojima bi se nalazile bespilotne letjelice koji bi mogle doći na bilo koju točku u gradu u roku od 3 minute. Kada se oduzme vrijeme koje je

potrebno letjelici od bazene stanice do mjesta nesreće, te jednako vrijeme za povratak, dobiva se vrijeme od 24 minute. To vrijeme je vrijeme koje bespilotna letjelica može provesti iznad mjesta nesreće, te prenositi video nadležnim ustanovama poput policije i hitne pomoći.

Za vrijeme koje letjelica provodi iznad mjesta nesreće, nadležne ustanove prikupljaju podatke o mjestu nesreće dok njihova vozila putuju prema mjestu nesreće. Na taj način, policija i hitna služba prikupila je potrebne podatke o mjestu nesreće , te je spremna planski intervenirati onog trenutka kada pristupe mjestu nesreće. U trenutku kada policija ili hitna stiže na mjesto nesreće, bespilotna letjelica više nije potrebna te se vraća u baznu stanicu.

Bespilotne letjelice mogu biti opremljene sa laganim kutijama prve pomoći. Na taj način, ako hitna pomoć nije u mogućnosti stići na mjesto nesreće u kratkom vremenskom periodu, bespilotna letjelica je u mogućnosti spusti se na mjesto nesreće i opskrbiti je sa nužnim sredstvima (slika 28).



Slika 28. *Bespilotna letjelica opskrbljena sa kutijom prve pomoći, [19]*

7. ZAKLJUČAK

Ovim završnim radom obrađeno je upravljanje bespilotnim letjelicama u incidentnim situacijama u prometu. Bespilotna letjelica je letjelica ili zrakoplov bez posade, koja se može nadzirati upravlja pomoću robotizirane bespilotne letjelice, u izvedbi kojih nije moguće namjernim upravljanjem mijenjati stazu tijekom leta. Svi podatci za automatski let po predviđenoj stazi unose se u letjelicu prije leta.

Bespilotna letjelica posjeduje senzorske sustave poput: GNSS-a, INS-a, LiDAR-a i video senzora. Navedeni sustavi pomažu bespilotnoj letjelici u pozicioniranju i snimanju incidentnih situacija, u skladu sa pravnom regulativom Republike Hrvatske.

Pomoću bespilotnih letjelica odvija se kontrola vozila na određenim prometnicama. Moguće je mjerenje brzine i akceleracije grupe vozila, kao i brojanje vozila. Prikupljeni podatci se obrađuje te se mogu iskoristi za daljnje upravljanje ili moderniziranje prometa.

Upotreba bespilotne letjelice moguća je u: nadziranju granica, vojnoj službi, nadziranje nepreglednih terena, pomoć pri elementarnoj nepogodi, civilnoj zaštiti itd. Također, upotreba bespilotne letjelice moguća je i u gradu Zagrebu. Postavljanjem letjelica na određenim pozicijama, dobiva se mogućnost pokrivanja grada u vremenu do 3 minute. Što znači da je letjelica u mogućnosti stići na bilo koju poziciju u gradu unutar 3 minute. Bespilotne letjelice će u budućnosti imati značajnu ulogu, zbog svoje izrazite korisnosti u incidentnim situacijama u prometu.

POPIS LITERATURE

1. Pavlik, D., Popčević, I., Rumora, A. (2014): Bespilotne letjelice podržane INS i GNSS senzorima Ekscentar, br. 17, pp. 65-70
2. http://www.airforceworld.com/heli/RQ-1_MQ-1_MQ-9_Predator_UAV.htm, 11.06.2016
3. http://www.defencetalk.com/tag/small-uav/, 11.06.2016
4. http://www.rediff.com/news/slide-show/slide-show-1-chandigarh-gets-indias-first-uav-for-police-work/20110420.htm, 11.06.2016
5. https://qiaosongwang.wordpress.com/tag/quadcopter-uav-gpsins-structure-from-motion-fpv-ahrs/, 11.09.2016
6. H. Eisenbeiss, UAV photogrammetry, 2009, ETH Zurich
7. Danijela Jurić-Kaćunić, Lovorka Librić, Marijan Car, 2016: Primjena bespilotnih letjelica na prometnoj infrastrukturnoj mreži
8. http://webcamsopatija.com/mwp/wp-content/uploads/2013/09/3tc-video-sigurnosni-sustavi.pdf, 11.09.2016
9. https://www.dji.com/phantom-4, 11.09.2016
10. Veronika Nikolić , 2015: Ispitivanje mogućnosti bespilotnih letjelica i pravna regulativa
11. Govorčin, M., Kovačić, F., Žižić, I. (2012): Bespilotne letjelice SenseFly Swinglet CAM
12. http://datafromsky.com/applications/traffic-counting/, 11.09.2016
13. https://plus.google.com/107501936091577298435/videos, 11.092016
14. http://www.popsci.com/watch-drone-filmed-lava-river, 11.09.2016
15. http://www.army-technology.com/projects/pd100-black-hornet-nano/, 11.09.2016
16. http://www.cnbc.com/2016/02/01/the-biggest-hijacking-threat-americans-face-today.html, 11.09.2016
17. http://www.bljesak.info/rubrika/vijesti/clanak/pogledajte-iz-zraka-prometnu-nesrecu-u-zeljusi/168888, 11.06.2016
18. https://www.google.hr/maps/@45.7835021,16.0006671,13z?hl=en, 11.06.2016
19. http://i-hls.com/2016/06/chinas-first-emergency-uav-rescue-team/, 11.06.2016

POPIS SLIKA

Slika 1. Vrlo mala bespilotna letjelica 3
Slika 2. Mala bespilotna letjelica 4
Slika 3. Srednja bespilotna letjelica 4
Slika 4. Velika bespilotna letjelica 4
Slika 5. Primjer integracije senzora, Quadcopter 5
Slika 6. Letjelica Scout B1-100 opremljene zračnim laserskim skenerom Riegl LMS-Q160 .. 7
Slika 7. a) Normalna fotografija; b) NIR (engl. Near Infra Red), infracrvena fotografija 7
Slika 8. Određivanja volumena stijenskih blokova daljinskim mjerenjem primjenom bespilotne letjelice 8
Slika 9. Video senzor 1/2.3" (CMOS), Effective pixels:12.4 M 10
Slika 10. Phantom 4 12
Slika 11. Daljisnki upravljač letjelice Phantom 4 13
Slika 12. Pravila o sigurnosti 16
Slika 13. Dijagram potrebnih postupaka prema Uredbi 21
Slika 14. Orijentacijska točka 22
Slika 15. Plan leta 23
Slika 16. Digitalni ortofoto 24
Slika 17. Model prometnice 24
Slika 18. Ulazna virtualna vrata na autocesti 25
Slika 19. Prometnica označena virtualnim trakama i ulazima 26
Slika 20. Pridružene vrijednosti prometnim trakama 26
Slika 21. Prikaz praćenja i mjerenja brzine i akceleracije vozila 27
Slika 22. Podesivi uspornik 28
Slika 23. Bespilotna letjelica iznad eruptiranog vulkana 31
Slika 24. Black hornet nano 33
Slika 25. Bespilotna letjelica na granici 34
Slika 26. Prikaz prometne nesreće kamerom bespilotne letjelice 35
Slika 27. Bazne stanice u gradu Zagrebu 36
Slika 28. Bespilotna letjelica opskrbljena sa kutijom prve pomoći 37

POPIS TABLICA

Tablica 1. Specifikacije video senzora 10
Tablica 2. Specifikacije Phantom 4 12
Tablica 3. Specifikacije live prijenosa i mobilnih uređaja 13
Tablica 4. Klasifikacija područja letenja 15
Tablica 5. Kategorizacija letačkih operacija 15

METAPODACI

Naslov rada: BESPILOTNE LETJELICE U FUNKCIJI UPRAVLJANJA INCIDENTNIM SITUACIJAMA U PROMETU

Student: Filip Strikinac

Mentor: Dr. sc. Pero Škorput

Naslov na drugom jeziku (engleski): IMPACT OF DRONES IN THE TRAFFIC INCIDENT MANAGEMENT

Povjerenstvo za obranu:

- doc. dr. sc. Edouard Ivanjko predsjednik
- Dr. sc. Pero Škorput mentor
- dr. sc. Miroslav Vujić član
- izv. prof. dr. sc. Sadko Mandžuka zamjena

Ustanova koja je dodijelila akademski stupanj: Fakultet prometnih znanosti Sveučilišta u Zagrebu

Zavod: Inteligentni transportni sustavi

Vrsta studija: Preddiplomski

Studij: ITS i logistika

Datum obrane završnog rada: 15.09.2016

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 **Bespilotne letjelice u funkciji upravljanja incidentnim situacijama u prometu**

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

Student/ica:

U Zagrebu, 14.9.2016

(potpis)