**Neven VERDNIK***

# UPORABA BREZPILOTNEGA ZRAKOPLOVA V PROCESU PROJEKTIRANJA

## UVOD

Na področju urejanja, vzdrževanja in posegov v vodotoke in obvodni prostor površinskih voda, se v procesu projektiranja pogosto soočamo z zahtevami:

- da je potrebno zajeti prostorske podatke v velikem obsegu, v čim krajšem času in po zmerni ceni,
- da sodobni projektantski postopki zahtevajo tridimenzionalne podatke na območju projektiranja in širše,
- da se pojavi težava s pomankanjem ažuriranih prostorskih podatkov, ki prikažejo dejansko stanje okolja ter položaj in stanje objektov v danem časovnem trenutku,
- da obravnavamo obširne in težko dostopne terene za katere je potrebno pripraviti geodetske posnetke,
- da je potrebno sprotno nadzirati napredek gradnje in posegov v prostoru,
- da je potreben nadzor kakovosti izvedenih gradbenih del (izdelava projektov izvedenih del), idr..

Za izpolnjevanje večine izmed navedenih zahtev smo in še izvajamo klasične geodetske terestrične meritve, ki so najbolj uveljavljena metoda zajema podatkov terena, kjer se uporablja tahimeter in/ali globalni navigacijski satelitski sistem pozicioniranja (GNSS). Meritve omogočajo pridobivanje prostorskih podatkov z nekaj centimetrsko natančnostjo, vendar se uporabnost le-teh manjša z večanjem obravnavanega območja meritve.

Ob iskanju rešitev, kako bi izboljšali zajem in obdelavo prostorskih podatkov večjega obsega, pri tem pa zagotavljali zahtevano natančnost le-teh, se vse pogosteje implementira fotogrametrična metoda zajema prostorskih podatkov na podlagi bližnjeslikovnih aeroposnetkov, zajetih s pomočjo brezpilotnega zrakoplova. Tehnologijo se lahko spoji s klasičnimi geodetskimi terestričnimi meritvami in s pomočjo programske opreme kot je npr. 3Dsurvey, ki ga je izdelalo slovensko podjetje Modri planet, vzpostavi

* Neven VERDNIK, dipl. inž. grad. (UN), DRAVA vodnogospodarsko podjetje Ptuj d.o.o., Žnidaričevo nabrežje 11, 2250

nov in učinkovit način zajema visokonatančnostih prostorskih podatkov, ki je opisan v nadaljevanju prispevka.

## BREZPILOTNI ZRAKOPLOVI

Brezpilotni zrakoplovi – BPL (angl. *Unmanned Aerial Vehicle, UAV*) so v zadnjem desetletju prešli iz striktno vojaške rabe in posamičnih modelarskih zanesenjakov v komercialno rabo. Tehnološki razvoj pri navigiranju in upravljanju brezpilotnih zrakoplovov, ki rezultira v uporabniku prijazni izkušnji, je v zadnjih letih močno napredoval, hkrati pa so zaradi nižjih cen in dostopnosti, brezpilotni zrakoplovi vse pogosteje uporabljeni v zasebni in komercialni rabi.

Brezpilotni zrakoplov je manjše zračno polovilo, ki leti brez posadke in je daljinsko vodeno, oz. leti avtonomno z v naprej določeno potjo. V ta namen imajo novejši brezpilotni zrakoplovi praviloma vgrajene pospeškometre, barometrične višinomere, žiroskope, GNSS sprejemnike in druge senzorje in tehnologije. V splošnem se ločijo na dva tipa in sicer na kopterje in krila oz. letala (slika 1).

Slika 1: Kopter (4 in 6 rotorjev) ter krilo ali letalo (vir: dji.com; parrot.com)

Kopterji so sestavljeni iz telesa zrakoplova in običajno štirih, šestih ali osmih rotorjev s fiksnim naklonom, ki skrbijo za vzgon. V prostoru se gibajo z variacijo hitrosti vrtljajev posamičnih togih rotorjev, kar jim daje unikatno sposobnost manevriranja po prostoru v vseh smereh neba.

**Glavne prednosti:**

Odlična sposobnost manevriranja: Sposobni so vertikalnega vzleta in pristanka, lebdenja ter zlahka manevrirajo okoli objektov, v zraku potrebujejo zelo malo prostora za let.

Cenovno ugodni: V primerjavi s krili so kopterji bistveno cenejši. Profesionalni kopter je možno kupiti že za 1500 € in naprej, kjer profesionalno krilo stanje vsaj 7-10x več.

Kompaktni: Zavzemajo malo prostora v primerjavi s krili, običajno se razstavijo ali zložijo.

Enostavni za uporabo: V primerjavi s krili je upravljanje kopterjev bistveno lažje, prav tako je krajša krivulja učenja.

Obtežba tovora: Z večanjem brezpilotnega zrakoplova se veča možnost nošenja bremena (kamere, LIDAR senzorji, dir…)

**Glavne slabosti:**

Kratek doseg: Glavna pomanjkljivost je doseg oz. čas leta za posamično baterijo. Zaradi zgradbe brezpilotnega zrakoplova se za kljubovanje gravitaciji ves vzgon zagotavlja s pomočjo motorjev, kar zahteva ogromno energije. Večina

Krila oz. letala so podobna običajnim letalom, zgrajena iz centralnega telesa s propelerjem in dveh kril. Po vzletu krila ustvarjajo vzgon, ki s pomočjo motorja kompenzira težo krila in omogoča dolge polete.

**Glavne prednosti:**

Dolg doseg: Čas poleta v primerjavi s kopterji je bistveno daljši, tudi do 24h in več. Posledično so krila idealna za zelo velika obravnavana območja.

Stabilnost v zraku: Zaradi aerodinamične oblike so manj občutljiva na vpliv vetra in tako primerna za območja z močnimi vetrovi.

Izguba energije: V primeru izgube energije za let, so varnejša, saj omogočajo jadranje in nadzorovan padec oz. pristanek.

**Glavne Slabosti:**

Potrebno veliko območje za vzlet in pristanek: Zahtevajo vzletno/pristajalno stezo ali portal (razen manjših kril, kjer je možen ročni izmet in pristanek na travnatih površinah na »trebuhu« zrakoplova) in dolg in zahteven postopek priprave na let.

Cena: Trenutno so krila bistveno dražja v primerjavi s kopterji.

Zahtevna uporaba: Upravljanje je tako za avtopilot kot človeka zelo zahtevno in zahteva mnogo izkušenj in učenja.

Manj kompaktini: Zaradi velike površine, potrebne za ustvarjanje vzgona, so manj

kopterjev je na posamični bateriji sposobna leteti do 30 min.

kompaktni in manj primerni za enostaven transport.

## PROCES IZDELAVE DIGITALNEGA MODELA TERENA IN ORTOFOTO POSNETKA Z UPORABO BREZPILOTNEGA ZRAKOPLOVA

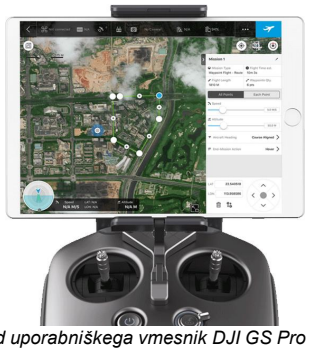
V nadaljevanju je na kratko predstavljen proces in uporabnost prostorskih podatkov na podlagi bližnjeslikovnih aeroposnetkov, zajetih s pomočjo brezpilotnega zrakoplova. Proces izdelave temelji na tehnologiji fotogrametrije (pridobivanja zanesljivih kvantitativnih informacij o fizičnih objektih na Zemlji iz fotografskih posnetkov), ki pa za potrebe tega prispevka ni podrobneje predstavljena.

*Slika 2: Proces izdelave modela (vir slike: 3dsurvey.si)*

### NAČRTOVANJE LETA IN POLET

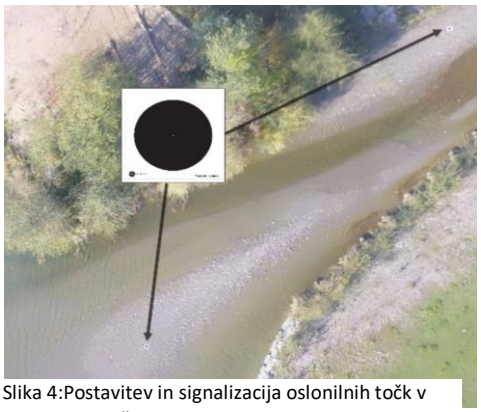
Načrt letenja brezpilotnega zrakoplova se začne že v pisarni, kjer se preuči velikost predvidenega obdelovanega območja, poišče morebitne ovire v prostoru in preveri in zadosti vsem zakonskim zahtevam.

S pomočjo programske opreme, kot je na primer DJI Ground Station se lahko v primerih ko naloga to dopušča, predpripravi načrt leta. Območje obdelave predpripravimo v obliki poligona, ki ga definiramo na podlagi podložnih zemljevidov (npr. Google zemlja, idr.). Glede na željeno natančnost in namen meritve (ortofoto, digitalni model višin, 3D model, idr.) v programu določimo višino leta, maksimalno hitrost, gostoto fotografij in njihovo prečno in vzdolžno prekrivanje ter usmerjenost kamere. Programska oprema na podlagi vnesenih parametrov določi predviden čas leta (ki ne upošteva vetrovnih razmer) in potrebno število baterij oz. ponovitev.



*Slika 3: Izgled uporabniškega vmesnik DJI GS Pro (vir: dji.com)*

Pri zajemu prostorskih podatkov visoke ločljivosti je poleg hitrosti, višine leta, stabilizacije brezpilotnega zrakoplova in konfiguracija kamere ključnega pomena uporaba terenskih oslonilnih točk. Terenske oslonilne točke potrebujemo za določitev parametrov zunanje orientacije posnetkov (medsebojna oreientacija posnetkov se vrši s pomočjo senzorjev v zrakoplovu ter algoritmov pri obdelavi podatkov) in predstavljajo pomemben vhodni podatek pri izdelavi visoko natančnih bližnjeslikovnih aeroposnetkov in



Slika 4:Postavitev in signalizacija oslonilnih točk v prostoru z tarčo

digitalnega modela. Oslonilne točke se na terenu postavijo v obliki signalizacije ali tarče (slika 4), katerih lokacija se posname s tahimeterom ali globalnim navigacijskim satelitskim sistemom pozicioniranja (GNSS). Število oslonilnih točk je pogojeno z velikostjo in razgibanostjo obravnavanega območja . Oslonilne toče so posnete z natančnostjo do 2,5 cm v smereh vseh treh prostorskih koordinat.

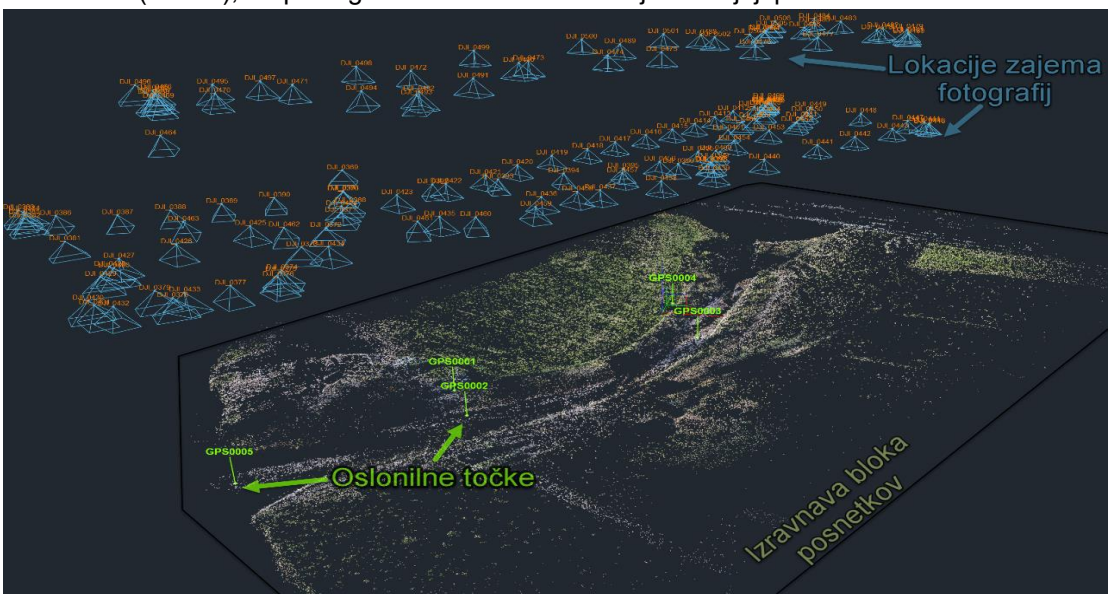
Po predhodni pripravi leta ter postavitvi in geodetski izmeri oslonilnih točk sledi polet brezpilotnega zrakoplova in zajem bližnjeslikovnih aeroposnetkov. Polet se izvaja v avtonomnem načinu, kar pomeni da zrakoplov samodejno vzleti, leti in pristane po predhodno začrtani poti, pogosto pa se zgodi, da se na terenu oceni, da zaradi ovir (drevesa, ozke doline, električna napeljava, ipd.) avtonomno letenje ni mogoče in je potrebno ročno upravljanje. V tem primeru je v programski opremi možno določiti proženje posnetkov glede na prevoženo vertikalno in horizontalno razdaljo, ter določiti maksimalno hitrost gibanja brezpilotnega zrakoplova. Upravljalec pa mora poleg usmerjanja zrakoplova zagotoviti, da se posnetke zajame z zadostno prečno in vzdolžno prekritostjo ter usmerjenostjo. S tem se zaključi terensko delo v procesu izdelave digitalnega modela terena.

## UVOZ IN PROCESIRANJE PODATKOV

Uvoz in procesiranje prostorskih podatkov za izdelavo se lahko vršin na dva načina. Možno je procesiranje v oblaku, kjer prostorske podatke v obliki zajetih fotografij programski paketi kot so Pix4D, DroneDeploy,…, prenesejo v oblak, kjer se procesi izvajajo na superračunalnikih. V zelo kratkem času se pridobijo končni produkti (digitalni ortofoto posnetek, digitalni model višin, trikotna mreža, idr.), manipulacija in obdelava le-teh pa je omejena. Možno pa je tudi procesiranje na lokalnem računalniku, kjer uporabnik s pomočjo programske opreme na lastnem računalniku izvaja procese za izdelavo končnega produkta (digitalni ortofoto posnetek, digitalni model višin, trikotna mreža, idr.). Glavna prednost te rešitve je možnost dodatne obdelave in manipulacije podatkov, slabost pa je predvsem dolg čas procesiranja in potreba po veliki računalniški moči.

V nadaljevanju je prikazan proces delovanja programskega paketa 3Dsurvey, kjer so predstavljeni in na kratko opisani glavni koraki procesiranja prostorskih podatkov:

- Uvoz fotografij je osnovni korak pri izdelavi novega projekta. Pri uvozu se izbere pravilen format metapodatkov zajetih slik, na podlagi katerih progam pridobi podatke o lokaciji zajema fotografij (slika 5), nastavitve kamere, času posnetka, idr. Prav tako je potrebno izbrati koordinatni sistem zapisa lokacije posnetka, ki ga uporablja brezpilotni zrakoplov, ter koordinatni sistem projekta, v katerega se izvrši re-projekcija.
- Izravnava blokov posnetkov *(ang. Bundle Adjustment)* je korak, kjer se z ali brez upoštevanja predhodno določenih oslonilnih točk in parametrov kamere globalno za vse zajete posnete obdeluje in določi stične točke oz. se posnetke medsebojno povezuje. Produkt je manjše število stičnih točk (slika 5), na podlagi katerih se rekonstruirajo nadaljnji procesi.




Slika 5: Prikaz pozicije zajema posnetkov, oslonilnih točk in procesa izravnave blokov posnetkov.

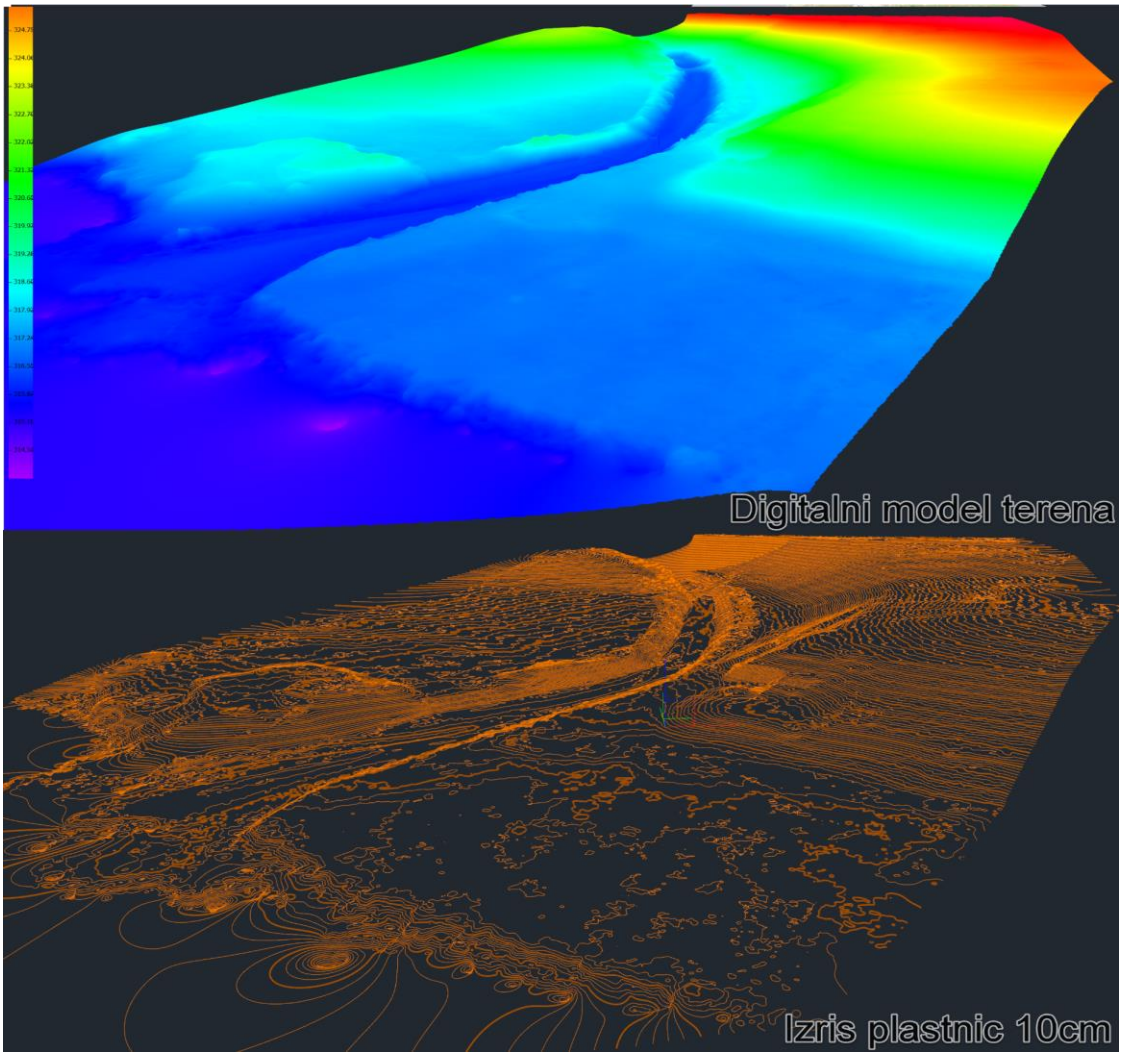
- Rekonstrukcija oz. izdelava gostega oblaka točk (*ang. Dense Point Cloud*) je korak, v katerem se na podlagi izravnanega bloka posnetkov nadaljuje obdelavo fotografije. S pomočjo različnih algoritmov program izračuna globinske informacije posamičnih fotografij, ki se medsebojno primerjajo ter rezultirajo v skupnem oblaku višinskih točk (slika spodaj). Gostota točk, pridobljenih s fotogrametrično metodo, je vsaj tako gosta kot LIDAR posnetki, ali gostejša. Po izvedenem koraku rekonstrukcije sledijo možnosti dodatne obdelave, kot npr. klasifikacija točk, kjer se na podlagi lastnosti točke kot je višina in barva, določa klasifikacija točke (teren, vegetacija, objekti,idr.). Na ta način izločimo vegetacijo in objekte in pripravimo digitalni model površja, ki je prikazan v nadaljevanju. Z izvedenim korakom rekonstrukcije se glavno procesiranje vhodnih podatkov zaključi, sledjo možnosti dodatne obdelave in rezultati procesiranja.

**REZULTATI IN ANALIZA**

V nadaljevanju so prikazani rezultati oz. končni produkti procesiranja (digitalni ortofoto posnetek, digitalni model terena, 3D model, idr.) paketa 3Dsurvey, kjer so predstavljeni in na kratko opisani glavni koraki izdelave:

- Izdelava 3D modela terena se izvede po klasifikaciji točk, kjer se na podlagi lastnosti točke kot je višina in barva, določa klasifikacija točke (teren, vegetacija, stehe,…). Na ta način izločimo vegetacijo in druge objekte in pripravimo teksturo za 3D model površja, ki je prikazan v na spodnji slik.

- Izdelava digitalnega modela višin in plastnic je dodatna možnost obdelave, rezultat je prikazan na spodnjih slikah.




- Izračun poljubnih profilov in prostornino je možnost, ki omogoča, da kjerkoli znotraj izdelanega 3D modela izrišemo profil terena in/ali izračunamo prostornino označenega območja.

- Izdelava digitalnega georeferenciranega ortofoto posnetka predstavlja zadnji rezultat procesiranja v programskem orodju 3Dsurvey prikazan na sledeči sliki. Posnetki so lahko natančnosti 1 cm/pixel in manjši, odvisno od kvalitete kamere, višine leta, …

## OMEJITVE IN ZAKONODAJA IZ PODROČJA BREZPILOTNIH ZRAKOPLOVOV

Pri uporabi brezpilotnih zrakoplovov je nujno poznavanje vseh pravil in zahtev, ki jih določa Direktiva o varnosti glede uporabe brezpilotnih zrakoplovov ter Uredba o sistemih brezpilotnih zrakoplovov (Uradni list RS, št. 52/16 in 81/16 – popr.), izdana pri Javni agenciji za civilno letalstvo Slovenije (CAA). V nadaljevanju so izpostavljene najpomembnejše omejitve in zahteve za upravljalce brezpilotnih zrakoplovov, celoten opis je dosegljiv na spletni stani CAA.

(http://www.caa.si/fileadmin/user_upload/pageuploads/Slike/Agencija/Direktiva_o_varnosti_droni2016.pdf in http://www.pisrs.si/Pis.web/pregledPredpisa?id=URED7317)

- Direktiva o varnosti se uporablja za vse brezpilotne zrakoplove z operativno maso, ki ne presega 150 kg, razen za brezpilotne zrakoplove, katerih operativna masa ne presega 250 g, kinetična energija pa hkrati ne presega 79 J. (ob morebitnem padcu na osebo poškodbe niso bistvene);
- letenje z brezpilotnimi zrakoplovi je dovoljeno za šport in rekreacijo, pri čemer se dovoli letenje na področju razreda I (področje, kjer ni objektov in kjer ni ljudi, razen upravljavca in osebja, ki je nujno potrebno za letenje) in na področju razreda II (področje, kjer se nahajajo pomožni objekti ali objekti, ki niso namenjeni bivanju ljudi in kjer ni ljudi, razen upravljavca in osebja, ki je nujno potrebno za letenje; dovoljen je samo občasni prehod, brez zadrževanja ljudi na tem področju (kolesarji, sprehajalci ipd.)) ;
- polet brezpilotnega zrakoplova se lahko odvija le podnevi;
- pred letom brezpilotnega zrakoplova je treba preveriti in se prepričati o pravilnem delovanju sistema brezpilotnega zrakoplova;
- pred poletom brezpilotnega zrakoplova je treba pridobiti vse potrebne informacije za načrtovani polet in se prepričati, da meteorološke in druge razmere na območju leta zagotavljajo njegovo

varno izvedbo (NOTAM sporočila so objavljeni na spletni strani Kontrole zračnega prometa Slovenije, d.o.o. (KZPS d.o.o.);

- zagotoviti je treba, da je vsa oprema ali tovor na brezpilotnem zrakoplovu pritrjen tako, da ne more odpasti;
- zagotoviti, da se brezpilotni zrakoplov med vzletanjem ali pristajanjem varno izogne vsem oviram v zraku in na tleh;
- med poletom zagotoviti varno razdaljo brezpilotnega zrakoplova od ljudi, živali, objektov, vozil, plovil, drugih zrakoplovov, cest, železniških prog, vodnih poti ali daljnovodov, ki ne sme biti manjša od 30 metrov, zagotoviti, da je minimalna oddaljenost brezpilotnega zrakoplova od skupine ljudi 150 metrov, pri čemer se za skupino ljudi šteje več kot 12 ljudi;
- zagotoviti, da se polet brezpilotnega zrakoplova odvija znotraj vidnega polia upravljavca in na oddaljenosti ne več kot 500 m od upravljavca;
- zagotoviti, da se polet brezpilotnega zrakoplova odvija zunaj kontroliranega zračnega prostora, ali v skladu z dogovorom z KZPS d.o.o.. in do višine 150 metrov nad terenom;
- en upravljavec lahko hkrati upravlja samo en brezpilotni zrakoplov;
- zrakoplovi splošnega letalstva imajo vedno prednost pred brezpilotnimi zrakoplovi. Upravljavec sistema brezpilotnega zrakoplova ali pridruženi opazovalec, ko se izvaja letenje v sistemu za prikaz pogleda iz letala (FPV), morata opazovati drug zračni promet. Sistem za prikaz pogleda iz zrakoplova (FPV) je sistem, ki s pomočjo vgrajene kamere in prikazovalnika na tleh upravljavcu omogoča prikaz pogleda iz zrakoplova. V primeru konflikta mora upravljavec sistema brezpilotnega zrakoplova takoj pričeti z manevri za zagotovitev ustreznega horizontalnega ali vertikalnega razdvajanja;
- v primeru letenja s sistemom FPV upravljavec lahko izvaja polete samo v spremstvu pridruženega opazovalca, ki ga je dolžan seznaniti z vsemi pomembnimi podrobnostmi načrtovanega leta, najmanj z višino in načrtovano zračno potjo. Pridruženi opazovalec je dolžan ves čas leta vzdrževati neprekinjen vizualni stik z brezpilotnim zrakoplovom in opozarjati upravljavca na vsa odstopanja od načrtovanega leta, možne kršitve minimalne razdalje in ga obveščati o drugih zadevah, pomembnih za varno izvajanje leta. Pridruženi opazovalec in upravljavec morata biti med letom na razdalji, ki omogoča nemoteno glasovno sporazumevanje brez tehničnih pripomočkov. V primeru letenja s FPV znotraj radija 200 m do višine 50 m in maso brezpilotnega zrakoplova do 5 kg v območju razreda 1 je lahko:
    - pridruženi opazovalec le eden v primeru športnih aktivnosti (tekmovanja, treningi in podobno), kadar je na območju več upravljalcev s sistemom FPV hkrati;
    - upravljalec s sistemom FPV lahko leti tudi sam v primeru, da ima že vsaj 5 ur izkušenj s FPV letenjem z opazovalcem na poznanem terenu.

Ob upoštevanju vseh zgoraj navedenih pogojev velja tudi, da je prepovedano:

- izvajanje dejavnosti z brezpilotnimi zrakoplovi, pri čemer izvajanje dejavnosti pomeni uporabo brezpilotnega zrakoplova za plačilo ali brez njega, kadar gre za opravljanje nalog iz zraka (npr. snemanje iz zraka, oglaševanje iz zraka, nadzor iz zraka, protipožarna zaščita, proženje plazov, letenje v znanstveno raziskovalne namene, letenje za televizijske in filmske potrebe in potrebe poročanja, letenje za potrebe posebnih dogodkov in podobno);
- letenje z brezpilotnimi zrakoplovi na področju razreda III (področje, na katerem so objekti, primarno namenjeni za stanovanje, poslovanje ali rekreacijo (stanovanjske zgradbe, stanovanjske hiše, šole, pisarne, športni objekti, parki in podobno), ali na področju, na katerem so objekti nizke gradnje, na katerih se nahajajo ljudje (avtoceste in podobno na področju razreda IV (področju ožjih urbanih con, kot so središča mest, naselja in kraji).

Za izvajanje dejavnosti in letenje na področju razreda III je možno pridobiti posebno dovoljenje od CAA. Za to je potrebno pridobiti potrdilo iz poznavanja pravil letenja z brezpilotnimi zrakoplovi - izpit (izda CAA) ter med drugim najavljati vse rekreativne lete kot izkaz o zadostnem številu naštetih ur (pridobljenih izkušenj).

## ZAKLJUČEK

V prispevku je predstavljen le segment uporabnosti brezpilotnih zrakoplovov na področju gradbeništva. Prav tako so brezpilotni zrakoplovi zelo uporabni na širšem področju geodezije, na področju reševanja pogrešanih ljudi, nadzore požarov, infrastrukture, zelo koristni so lahko za spremljanje in oceno škode ob naravnih nesrečah (v primeru hidrotehnike lahko služijo kot kalibracijski/validacijski podatki pri pripravi hidravličnih modelov) in na mnogih drugih področjih.

Morda ravno zaradi tako širokega uporabnega potenciala brezpilotnih zrakoplovov ter vse pogostejše uporabe (v Sloveniji je bilo po nekaterih podatkih v zadnjem letu prodanih 3500 brezpilotnih zrakoplovov, zakonodaja to področje in njegov razvoj v družbeno koristni smeri zelo močno omejuje in kljub temu, da je regulativa nujno potrebna, ne sledi zelo hitremu razvoju novih tehnologij. Novi poklici, ki nastajajo kot posledica hitrega razvoja novih tehnologij, bodo za svoj razcvet potrebovali bolj življenjske in usmerjene predpise oz. zakonodajo.