

Tehnike leta dronova u vazdušnom saobraćaju i transportu

MILOŠ S. MARINA, Univerzitet u Beogradu,
Saobraćajni fakultet, Beograd

PETAR D. MIROSAVLJEVIĆ, Univerzitet u Beogradu,
Saobraćajni fakultet, Beograd

Pregledni rad

UDC: 623.746.2-519

DOI: 10.5937/tehnika1805683M

Upotreba dronova danas postala je sastavni deo savremenog života do te mere da nivo upotrebe dronova određuje kvalitet života. Ekspanzija aplikacije dronova je postala eksponencijalna. Pre svega njihovoj ekspanziji doprinose niski troškovi kako nabavke i održavanja, tako i njihova mogućnost raznolike primene. U ovom radu prikazane su bitne letne karakteristike dronova, pre svega kvadkoptera, kao dominantnog rešenja izrade drona. Cilj rada je kako prikaz samih dronova, tako i prikaz prednosti korišćenja dronova u odnosu na tradicionalna vazduhoplova prevozna sredstva. Posebna pažnja posvećena je stabilnosti dronova tokom osnovnih operacija i pri obavljanju operacija u blizini površine i efekta vazdušnog jastuka.

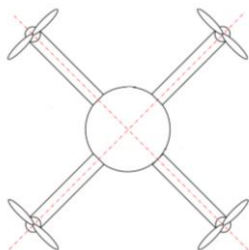
Ključne reči: tehnike leta, dron, kvadkopter, efekat vazdušnog jastuka, upravljanje

1. UVOD

Osnovne tehnike leta, kao i principi leta dronova prikazani su u radu. Dronovi se konstruišu na različite načine i imaju različite konstrukcije. Opšte prihvaćena konstrukcija dronova, najčešća u praksi, je četvorokraki dron sa motorom na svakom kraku, odnosno kvadkopter. Kako bi razmotrili same tehnike leta i upravljanja dronom neophodno je najpre nešto reći o konstrukciji.

2. KONSTRUKCIJA KVADKOPTERA

Kvadkopteri se sastoje iz četiri motora raspoređena u istoj ravni tako da sačinjavaju temena kvadrata (slika 1.). Na taj način sila uzgona ostvaruje se pomoću četiri vertikalno orijentisana elisna elektro motora, čije je napajanje pomoću velikog spektra baterija. [1]



Slika 1 - Idejno konstrukcijsko rešenje kvadkoptera

Adresa autora: Miloš Marina, Univerzitet u Beogradu,
Saobraćajni fakultet, Beograd, Vojvode Stepe 305
e-mail: milosmarina993@gmail.com
Rad primljen: 22.08.2018.
Rad prihvaćen: 18.09.2018.

Ovakav koncept konstruisanja vazduhoplova datira još od 20-tih godina prošlog veka. Sam koncept nije mogao dodatno da se razvija u prošlosti i nije bio primenljiv iz razloga nemogućnosti efikasnog koordinisanog upravljanja motorima. Razvojem tehnologije, pre svega senzora i mikrokontrolora, omogućena je i efikasnija primena kvadkoptera.

Prilikom projektovanja konstrukcije kvadkoptera neophodno je voditi računa da ravan rotora bude iznad ravni u kojoj se nalazi težište. Ukoliko bi se težište nalazio u ravni rotora, bilo koji manevar oko horizontalne ravni (eng. Pitch) mogao bi proizvesti prevrtanje kvadkoptera. Usled prevrtanja kvadkoptera, dolazi do gubitka sile uzgona kao i do njegovog neminovnog pada. Tako da je za što veću pokretljivost drona neophodno da težište bude što niže, jer se prilikom nagnjanja drona referentna ravan elise „spušta“. Stoga i ne čudi činjenica da se dodatni teret, odnosno oprema, postavlja ispod same osnove drona.

Glavni zahtevi koji se postavljaju pri izradi konstrukcije su sledeći:

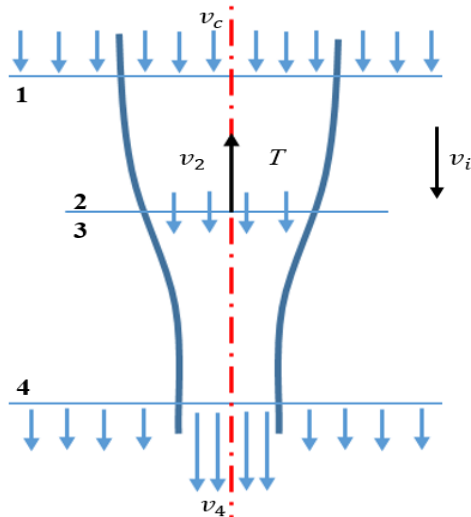
- Vertikalna osa svih motora mora ležati u istoj kružnici sa centrom koji se nalazi na središnjoj osi težišta konstrukcije,
- Težište konstrukcije mora biti ispod ravni rotora kako ne bi dolazilo do prevrtanja usled momenta težine oko težišta, simetričnost konstrukcije radi lakšeg regulacije i bolje stabilnosti,
- Simetričnost konstrukcije radi lakše regulacije i bolje stabilnosti

- Osiguran prostor za baterije i ostalu opremu
- Što manje mase ali da se zadovolje zahtevi za čvrstoćom,
- Prostor iznad i ispod rotora sa što manje konstrukcijskih delova i po mogućstvu postojanje elementa koji bi pri eventualnom padu preuzimali većinu energije udara, a da pritom budu lako zamenljivi.

Konstrukcija pre svega mora imati što manji aerodinamički otpor kretanju kroz vazduh i ukoliko je to ikako moguće imati aerodinamički oblik. Ovakva konstrukcija troši daleko manje energije na samo njeno pokretanje, čime ostaje više mogućnosti za nošenje tereta.

3. TEORIJA DISKA-TEORIJA IDEALNOG ROTORA

Da bi dron mogao da leti neophodno je da stvara potisnu silu. Strujanjem vazduha kroz lopatice rotora, određena količina vazduha se potiskuje na dole kroz ravan rotora. Ovo strujanje može se opisati analitičkim putem preko jednačina masenog protoka, jednačine kontinuiteta i održanja energije. Ovakav pristup u literaturi može se sresti pod nazivom teorija diska (eng. Momentum theory). Kod ove teorije rotor se posmatra kao beskonačni disk uz sledeće pretpostavke: brzina i pritisak na disku su konstantni, strujanje vazduha koje prolazi kroz ravan rotora je odvojeno od ostalog vazduha i radi se o strujanju koje je nestišljivo. [2]



Slika 2 - Model strujne cevi idealnog rotora

Rotor posmatramo za slučaj vertikalnog penjanja. Stujna cev je prikazana na slici 2. i pri tome analiziramo: presek 1-dovoljno daleko iznad diska, presek 2-neposredno iznad diska, presek 3-neposredno ispod diska i presek 4-dovoljno ispod diska.

Veličine koje se analiziraju su pritisak p , površina A i brzina v . Brzina vertikalnog penjanja v_c uzima vrednost brzine vazduha koji nastrojava kroz presek 1, odnosno na dovoljnoj udaljenosti od rotora.

$$v_c = v_1 \quad (1)$$

Za vertikalno penjanje i pretpostavljenu strujnu cev primenjuje se jednačina kontinuiteta. Maseni protok m predstavlja odnos vazduha koji prolazi kroz rotor u jedinici vremena i u ovom slučaju je konstantan. Primenom jednačine kontinuiteta za disk rotora sa slike 2. i navedene preseke 1,2,3 i 4 može se zapisati na sledeći način:

$$m = \rho_1 A_1 v_1 = \rho_2 A_2 v_2 = \rho_3 A_3 v_3 = \rho_4 A_4 v_4 \quad (2)$$

Uzimajući u obzir pretpostavku da je strujanje nestišljivo, odnosno:

$$\rho_1 = \rho_2 = \rho_3 = \rho_4 = \text{const.} \quad (3)$$

gornja jednačina kontinuiteta ima sledeći oblik:

$$A_1 v_1 = A_2 v_2 = A_3 v_3 = A_4 v_4 \quad (4)$$

Pošto za površinu diska važi $A = A_2 = A_3$, može se zaključiti da se brzina strujanja pri prolasku kroz disk ne menja: $v_2 = v_3$

Rotor uzima određenu količinu vazduha iznad koje se prolaskom kroz disk ubrzava prema dole. U preseku 1 nastupava struja neporemećenog vazduha brzinom penjanja $v_c = v_1$, koja se nakon prolaska kroz rotor ubrzava za Δv , gde je:

$$\Delta v = v_4 - v_1 = v_4 - v_c \quad (5)$$

Prema jednačini kontinuiteta može se reći da je brzina promene količine kretanja jednaka pogonskoj sili rotora.

Prilikom ove analize rotora koja predstavlja jedno-dimenzionalno strujanje u stacionarnim uslovima, važi da je proizvod masenog protoka i promena brzine strujanja kroz rotor jednaka brzini promene količine kretanja.

$$T = m \Delta v \quad (6)$$

$$T = \rho_2 A_2 v_2 (v_4 - v_1) \quad (7)$$

gde je T pogonska sila na disku rotora.

Za slučaj nestišljivog strujanja duž strujne cevi za preseke 1 i 2, odnosno za preseke 3 i 4, može se primeniti Bernulijeva jednačina za nestišljiv fluid u sledećem obliku:

$$p_1 + \frac{1}{2} \rho v_1^2 = p_2 + \frac{1}{2} \rho v_2^2 \quad (8)$$

$$p_3 + \frac{1}{2} \rho v_3^2 = p_4 + \frac{1}{2} \rho v_4^2 \quad (9)$$

Pošto je u presecima 1 i 4 pritisak nepromenjen, odnosno jednak atmosferskom $p_a = p_1 = p_4$ i brzina na samom disku $v_2 = v_3$, na osnovu toga sledi:

$$p_3 - p_2 = \frac{1}{2} \rho (v_4^2 - v_1^2) \quad (10)$$

Pogonska sila na rotoru jednaka je proizvodu razlike pritiska i površine na rotoru.

$$T = A(p_3 - p_2) = \frac{1}{2}\rho A_2(v_4^2 - v_1^2) \quad (11)$$

Ukoliko izjednačimo izraze za pogonsku silu [7, 11], dobija se brzina strujanja vazduha na rotoru kao polovina zbira brzine u preseccima 1 i 4.

$$v_2 = \frac{1}{2}(v_4^2 - v_1^2) \quad (12)$$

Analizom povećanja brzine u preseccima 1 i 2, odnosno 3 i 4 dobijaju se sledeće relacije:

$$\begin{aligned} v_i &= v_2 - v_1 = \frac{1}{2}(v_4 + v_1) - v_1 = \\ &= \frac{1}{2}(v_4 - v_1) = \frac{1}{2}\Delta v \end{aligned} \quad (13)$$

$$\begin{aligned} v_4 - v_3 &= v_4 - v_2 = v_4 - \frac{1}{2}(v_4 + v_1) = \\ &= \frac{1}{2}(v_4 - v_1) = \frac{1}{2}\Delta v = v_i \end{aligned} \quad (14)$$

Može se zaključiti da povećanje brzine strujanja vazduha daleko iza diska, presek 4, dva puta veće od povećanja brzine na samom disku. Brzina v_i nazivamo induktivnom brzinom na disku. Primenom jednačine održanja energije, potrebna snaga na rotoru jednaka je povećanju kinetičke energije masenog protoka vazduha kroz rotor.

$$N = \frac{1}{2}[(v_c + \Delta v)^2 - v_c^2] \quad (15)$$

$$\begin{aligned} N &= m\Delta v(v_c + \frac{1}{2}\Delta v) = m\Delta v(v_c + v_i) = T(v_c - \\ &v_i) = T v_c - T v_i = T v_c + \frac{1}{2}T\Delta v \end{aligned} \quad (16)$$

Primenom izraza za pogonsku silu rotora na jednačinu održanja energije može se pokazati da je potrebna snaga rotora sačinjena iz dve komponente. Jedna komponenta je korisna snaga, koju čini proizvod pogonske sile rotora i brzine strujanja i druge komponente koju čine proizvod brzine kretanja rotora i gubitka zbog ubrzanja strujanja.

Izraz za indukovanu brzinu protoka vazduha kroz disk rotora može se izvesti, na osnovu ubrzanja strujanja $\Delta v = v_4 - v_1 = v_4 - v_c$ i izvedene relacije za pogonsku silu $T = 2\rho A(v_c + v_i)v_i$.

$$v_i = \frac{1}{2}\left(-v_c + \sqrt{v_c^2 + \frac{2T}{\rho A}}\right) \quad (17)$$

gde je:

$$\Delta v = \left(-v_c + \sqrt{v_c^2 + \frac{2T}{\rho A}}\right) \quad (18)$$

Ovim smo pokazali koja je potisna sila koju stvara rotor kvadrokoptera.

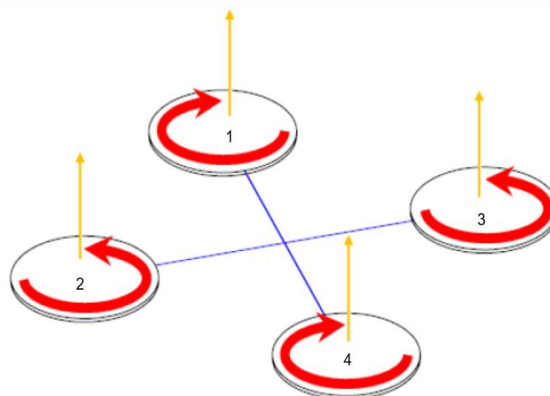
4. OSNOVE KRETANJA KVADROKOPTERA U PROSTORU

Kod kvadrokoptera pogonski motori, na čijim kraje-

vima se nalaze elise, su fiksni i vertikalno orijentisani. Elise su tako konstruisane da nemaju promenu koraka kraka elise. Ovo je uglavnom slučaj kod većine dronova, izuzev nekih novih modela koji su još u fazama projektovanja i testiranja. Svaka elisa ima mogućnost promene brzine okretanja, smanjenjem ili dodavanjem broja obrtaja pojedinom motoru, nezavisno u odnosu na ostale. Za njihovu usklađenost i organizovanost odgovorni su senzori i mikrokontroleri. Ovakvo organizovanje elisa omogućilo je dronu obavljanje čitavog spektra kretanja, odnosno vazduhoplovu daje mogućnost kretanja sa šest stepeni slobode. Pored toga obezbeđenja je vrlo laka i brza promena željenog kursa letenja.

Kod klasičnih helikoptera sa jednim pogonskim rotorom kretanje se postiže zahvaljujući promenljivim korakom krakova oko glavčine nosećeg rotora. Glavni problem pri korišćenju ovog principa javlja se prilikom prelaska iz faze lebdenja u fazu progresivnog leta. Pri promeni kraka dolazi do razlaganja pogonske sile, ona se deli na silu uzgona i propulzivnu silu i ukoliko sila uzgona bude manja od težine helikoptera počće da ponire. Ovo je najkritičnija faza za ovako konstruisane vazduhoplove i faza sa najvećim brojem nesreća. Kod kvadrokoptera sa elisama bez promenljivog koraka ovaj problem ne postoji, tako da imaju veliku prednost u odnosu na helikoptere za obavljanje operacija u blizini tla.

Pre prelaska na samo kretanje dronova treba napomenuti da se kod njih ne javlja problem okretnog momenta i da ne mora biti angažovan određeni dodatni motor kako bi odgovorio na silu reakcije koja nastaje kao posledica okretanja glavnih rotora. Kvadrokopteri su konstruisani tako da se svaki od četiri rotora okreće u odnosu na dva susedna u suprotnim smerovima. Može se reći da se rotori koji se nalaze jedan nasuprot drugog kreću u istim smerovima. Prikaz smerova okretanja rotora prikazan je na slici 3. [3]

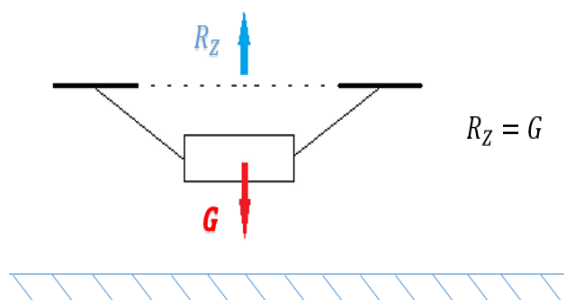


Slika 3 - Smer okretanja rotora kvadrokoptera

Sa slike 3. uočava se da se rotori sa brojem 1 i 4 okreću u istom smeru i tada se javlja moment konstrukcije u drugom smeru, ali pošto se rotori 2 i 3 okreću u istom smeru, koji je suprotan smeru okretanja rotora

1 i 4, javlja se moment konstrukcije koji se poništava sa momentom konstrukcije nastalim usled delovanja rotora 1 i 4.

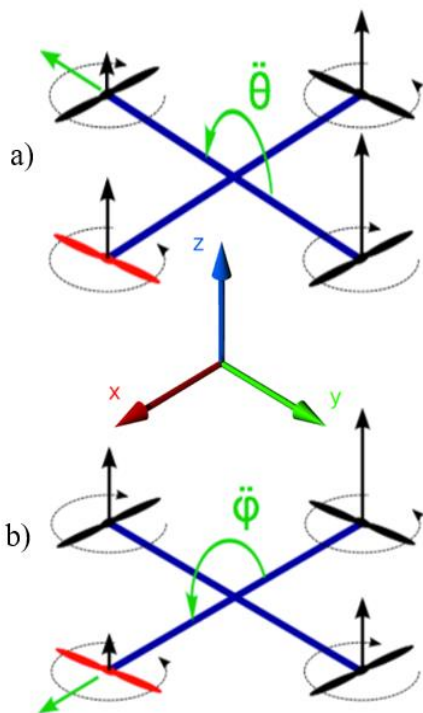
Lebdenje je režim letenja drona u kom se održava stalna pozicija iznad određene tačke, obično na nekoj manjoj visini iznad tla. Može se reći da je lebdenje primarni režim leta i da je u velikoj meri preduslov za poletanje i sletanje. U ovom režimu letenja pogonska sila uzgona jednaka je težini drona (slika 4.). [4]



Slika 4 - Dron u fazi lebdenja

Pogonska sila uzgona nastaje kao zbir aerodinamičkih sila uzgona četiri pojedinačna rotora. Ukoliko bi došlo do narušavanja relacije $R_z = G$, dovelo bi do vertikalnog uzdizanja, odnosno spuštanja. Vertikalno uzdizanje bi se desilo uz uslov da $R_z > G$, odnosno spuštanje uz uslov da je $R_z < G$.

Kao što je već bilo reči, dronovi nemaju rotore sa elisama promenljivog koraka kraka, stoga je za njihovo lateralno i rotaciono kretanje isključivo odgovoran broj obrtaja pogonskih rotora.



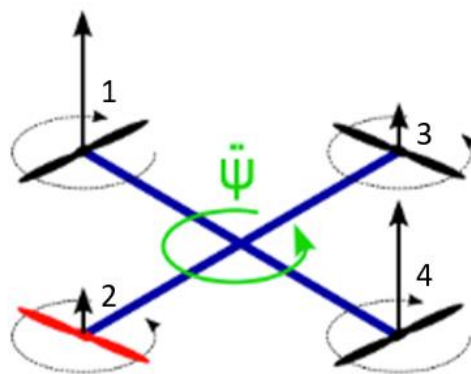
Slika 5 - Uticaj sila i momenata kod lateralnog pomeranja drona [5]

Za obezbeđivanje lateralnog kretanja neophodno je da tri rotora imaju istu brzinu, čime stvaraju jednake po pravcu, smeru i intenzitetu aerodinamičke sile, dok četvrti rotor je potrebno da ima različit broj obrtaja u odnosu na ostale. Na ovaj način stvara se razlika potencijala sila, odnosno moment, koji naginje dron u određenu stranu i obezbeđuje mu lateralno kretanje.

Prikaz lateralnog kretanja drona je na slici 5, gde je pod a) prikazano lateralno kretanje i moment okretanja oko x ose (eng. Roll), a pod b) prikazano lateralno kretanje i okretanje oko y ose (eng. Pitch).

Što se tiče sila one se razlažu na dve komponente, tako da u vertikalnoj ravni dobijamo silu uzgona, a u horizontalnoj ravni propulzivnu silu koja mu omogućava kretanje po toj ravni.

Dron se svakako može rotirati i oko z ose (eng. Yaw). Pošto se od četiri rotora dva naspramna okreću u istu stranu, smanjenjem njihovih brojeva obrtaja u odnosu na ostala dva dobija se rotaciono kretanje drona. Dron će rotirati u smeru u kome se rotiraju rotori sa manjim brojem obrtaja, jer je u tom slučaju javlja veći moment konstrukcije nastao delovanjem brzih rotora, kontra od njihovog smera rotacije. Na slici 6. je prikazana rotacija drona oko z ose. Uočava se da rotori 2 i 3 imaju manju brzinu rotacije, samim tim stvaraju manju aerodinamičku silu uzgona i da se dron rotira u smeru rotacije tih rotora.



Slika 6 - Uticaj sila i momenata kod rotacionog kretanja drona [5]

Među osnovnim karakteristikama koje proizvođači stavljaju, kao što su maksimalna visina, brzina i trajanje leta, nalazi se i maksimalni nagib drona. Ovaj nagib dronu daje pokretljivost u xy ravni, odnosno njegovo lateralno kretanje. Prekoračenjem ovog nagiba verovatno bi dron ušao u stalling i došlo bi do neminovnog pada. Razlog ovome je pre svega taj što se prilikom nagiba drona, sila uzgona deli na dve komponente i ukoliko vertikalna komponenta sile nije dovoljna za savladavanje njene težine on će smanjivati visinu.

U ovom delu su pre svega iznete osnovni načini kretanja drona-kvadkoptera. Treba imati u vidu da će se dron ovako ponašati u uslovima bez postojanja vetra,

dok je u uslovima sa vetrom moguća korekcija brzine rotora više ili manje, kako bi se postiglo željeno kretanje.

Na tržištu su prisutni modeli koji imaju mogućnost aktiviranja automatske komanda lebdjenja. Po aktiviranju te komande korisnik ima mogućnost da se više fokusira na radni zadatak.

5. DINAMIČKA ANALIZA EFEKTA VAZDUŠNOG JASTUKA PRI MALIM VISINAMA

Uglavnom se efekat vazdušnog jastuka (eng. Ground effect) do skoro temeljno obrađivao samo za helikoptere. Istraživanja koja se odnose na dronove a tiče se ove tematike skoro da nije ni bilo. Jedna studija, kojom su se bavili Bernard i ostali, odnosi se upravo na efekta vazdušnog jastuka kod dronova. [6]

Pre svega potrebno je nešto reći o samom efektu vazdušnog jastuka. Pod ovim efektom podrazumeva se da lopatice rotora u blizini zemlje nisu u sposobnosti potpuno razviti strujanje prema dole. Tako da se javlja pojava značajnog povećanja uzgona i potrebna manja snaga motora za stvaranje aerodinamičke sile uzgona za savladavanje težine vazduhoplova.

Bernard i ostali su u sprovedeli eksperiment sa dronom-kvadkopterom u labaratoriskim uslovima. Dron je bio iznad određene platform i variranjem visine praćena je promena potiska i obrtnog momenta.

Razmatrana su dva slučaja. Prvi slučaj odnosio se samo na dinamički odziv jednog rotora za različite visine od tla, dok se u drugom slučaju proučavao dinamički odziv četiri rotora koji rade zajedno na kućištu kvadkoptera.

Analizirana je promena potiska i obrtnog momenta variranjem broja obrtaja na pojedinom motoru. Za slučaj jednog rotora odziv potiska je gotovo trenutno i srazmeran promeni broja obrtaja, te se može ustanoviti linealna veza odziva potiska na promenu broja obrtaja motora. Dok kod obrtnog momenta postoji izvesno kašnjenje za koji istraživači smatraju da je povezano sa torzionom fleksibilnošću strukture koja povezuje dron i senzore za očitavanje mernog uređaja.

Korišćenjem metode najmanjih kvadrata došli su do odgovora za odziv potiska F_Z :

$$F_Z = A_0 + \sum_{i=1}^n \text{step}(t - T_i) A_i e^{\frac{t-T_i}{T_i}} \quad (19)$$

gde su A_0 -statički potisak, T_i -vreme početka narednog koraka, A_i -amplituda i T_i -vremenska konstanta koju treba identifikovati.

Uzimajući u obzir procenjene vrednosti vremenskih konstanti odziva potiska na variranje broja obrtaja motora, za svaki korak na različitim visinama uviđa se razlika između pozitivnih i negativnih vremenskih

konstanti. Glavni razlog ogleđa se u tome što većina dronova koristi ESC (eng. Electronic speed control), te motori ovakvog tipa nemaju aktivne kočnice. Tako su vremenske konstante odziva potiska na smanjenje broja obrtaja motora veće nego vremenske konstante odziva potiska na povećanje broja obrtaja motora. Utvrđeno je da se sa povećanjem broja obrtaja motora odziv ubrzava, tako da je za veći broj obrtaja brži odziv potiska. Jednostavnije rečeno dinamika odziva zavisi od broja obrtaja motora.

Iz svega iznetog istraživači su došli do zaključka da se ne pojavljuje zavisnost vremenske konstante broj obrtaja motora-potisak u odnosu na visinu od tla kada je upitanju jedan aktivan rotor

Isti testovi sprovedeni na jednom rotoru ponovljeni su za četiri rotora montirana na kućište tako da sačinjavaju kvadkopter. Primećeno je isto ponašanje kao i za jedan rotor. Takođe nije bilo moguće prepoznati evidentnu zavisnost vremenske konstante odziva u odnosu na visinu od tla.

Može se zaključiti da se kod kvadrone ne pojavljuje uticaj efekat vazdušnog jastuka i bilo kakvo stvaranje turbulencija. Štaviše, upoređujući dinamiku kućišta jednog rotora sa četiri rotora, utvrđeno je da se ne pojavljuju nikakve aerodinamičke interakcije između rotora i kvadrone konstrukcije koje bi uticale na dinamiku rada rotora. Na statičkom nivou primećena je izvesna interakcija između motora i same konstrukcije.

Do sada se analiza odnosila samo na potisak i obrtni momenat motora i u tom slučaju uticaja sa promenom visine nije bilo. Ukoliko se razmatra i variranje položaja samog kvadrone dolazi se određene pretpostavke uticaja efekta vazdušnog jastuka pri malim visinama.

Iz svega iznetog dolazi se do zaključka da je efekat vazdušnog jastuka kod kvadkoptera takođe prisutan kao i što je prisutan i kod helikoptera. Međutim kod dronova je ovaj efekat daleko manje izražen. Pre svega ovaj efekat se uglavnom javlja na visina koje su jednake polovini prečnika rotora.

Kako dronovi uglavnom sadrže četiri rotora, rasponi rotora su manji, te je i manja visina na kojoj se ovaj efekat javlja. Treba uzeti u obzir i samu konstrukciju dronova, pri kojoj se teži da težište bude daleko ispod ravnih rotora. Tako se ovaj efekat uglavnom neće ni osetiti kod dronova jer su rotoru uglavnom postavljeni iznad tla mnogo više nego što im je polovina prečnika rotora.

Efekt vazdušnog jastuka, koji se mogu javiti, su uticaj na sam položaj drona u odnosu na tlo, ali su ovi uticaji za sada slabo istraženi. Ovi uticaji jesu evidentni, ali nisu toliko izraženi kao npr. kod helikoptera. Pri izgradnji platforme za poletanje i sletanje dronova nije potrebno voditi računa o turbulencijama izazvanim

efektima vazdušnog jastuka i merama za njeno razbijanje.

6. ZAKLJUČAK

Dronovi su danas postali svakodnevnicima i u velikoj meri teže da promene sistem vazdušnog saobraćaja kakvog ga danas znamo. Za sada imaju primitivne uloge snimanja i nadgledanja, ali mogućnost njihove primene u raznim sferama naših života je jako velika. Ovo važi za dronove u upotrebi u Republici Srbiji.

Veliki je problem integracija samih bespilotnih vazduhoplova, što većina dronova i jeste, u civilni vazdušni saobraćaj. Da bi se ovo postiglo na valjan način neophodno je dobro proučiti sve elemente njihovog upravljanja i elemente koji mogu doprineti narušavanju bezbednosti.

Rad sadrži trenutna razmatranja koja su do sada izneta o dronovima. Ovaj tip vazduhoplova nije dovoljno istražen i ostaje velika mogućnost daljim istraživanjima. Pre svega u proučavanju efekta vazdušnog jastuka i njegovim potencijalnim uticajima na dronove. Prosto fascinira činjenica da je njegov uticaj značajan, što dronovima daje veliku mogućnost za korišćenje, jer se ne moraju koristiti posebna mesta za njihovo poletanje i sletanje.

Uzimanjem u obzir nepostojanja problema prilikom tranzicije dronova iz faze lebdjenja u progresivan

let, kao i gotovo zanemarljivog uticaja efekta vazdušnog jastuka, dronovima se otvaraju velike mogućnosti primene u vazdušnom saobraćaju i transportu.

LITERATURA

- [1] Fahlstrom P. G, Gleason T. J, *Introduction to UAV Systems*, Vol 4, John Wiley & Son, Nju Džersi, 2012.
- [2] Cunha F. S, *Helicopters-Momentum Theory*, [Internet] Instituto Superior Technico, Lisabon, [citirano 10.08.2018]. Dostupna na: <https://fenix.tecnico.ulisboa.pt/downloadFile/282093452028191/3-Momentum%20Theory%20in%20hover.pdf>
- [3] Chede B, *Fabrication of a Drone*, Mahakal institut of Technology & Managment, Ujjain, 2015
- [4] Novak D, Radišić T, *Teorija leta helikoptera*, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2012.
- [5] Sarath R., *Quadcopter flight Thrust*, [Internet] 2014 [citirano 11.08.2018]. Dostupno na: http://www.pinsdaddy.com/uav-society-june-2014_
- [6] Bernard D. D. C, Riccardi F, Giurato M, Lovera M, *A dynamic analysis of ground effect for a quadrotor platform*, IFAC PapersOnLine 50-1, 10311-10316, 2017.

SUMMARY

TECHNIC OF FLIGHT DRONES IN AIR TRAFFIC AND TRANSPORT

The use of drones today has become an integral part of modern life to the extent that the level of use of drones determines the quality of life. The expansion of the drone application has become exponential. First and foremost, their expansion is contributed by the low cost of procurement and maintenance, as well as their ability to use a variety of applications. This paper presents the important annual characteristics of the drones, primarily quadcopters, as the dominant solution for drilling. The aim of the paper is to show the drones themselves and to demonstrate the benefits of using trunks in relation to traditional airliners' means of transport. Particular attention is paid to the stability of drones during basic operations and during near-surface operations and ground effects.

Key words: *flight techniques, dron, quadcopter, ground effect, control*