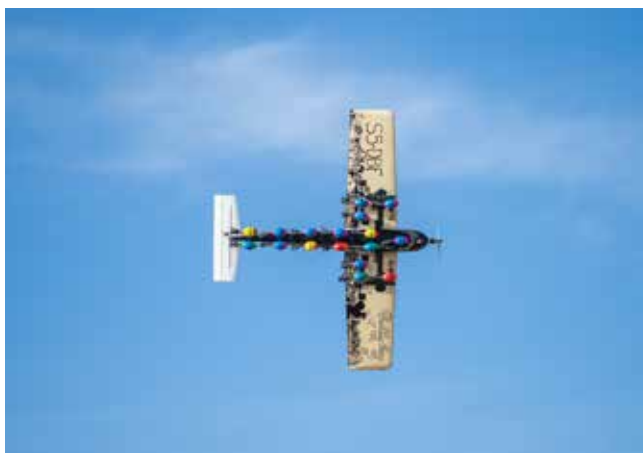


EKIPA EDVARDA RUSJANA FAKULTETE ZA STROJNIŠTVO V LJUBLJANI OSVOJILA PRVO MESTO NA MEDNARODNEM UNIVERZITET- NEM TEKMOVANJE DBF (DESIGN-BUILD-FLY)

Filip Plešnik, Emil Zubalič, Viktor Govže, Viktor Šajn

DBF (Design-Build-Fly) je mednarodno univerzitetno tekmovanje, ki ga vsako leto organizira AIAA (American Institute of Aeronautics and Astronautics). Na njem se tehnične fakultete potegujejo za zmago v gradnji in letenju radijsko vodenega letala, ki je zasnovan za opravljanje določenih nalog (t. i. misij). Pravilnik z zahtevami za posamezne naloge in s tehničnimi zahtevami samega modela se vsako leto povsem spremeni in tako je ekipa vsakokrat postavljena pred nove izzive.



Tekmovalni model med opravljanjem misije z vorteksi

Ekipa Edvarda Rusjana Fakultete za strojništvo v Ljubljani se tekmovanja udeležuje že vrsto let, zadnjih nekaj let pa se redno uvršča v peterico najuspešnejših ekip. Podanih nalog smo se že zelo zgodaj lotili z resnim pristopom. Iz pravilnika smo izluščili najpo-

membnejše parametre, ki so vplivali na dober nastop letala. Za pomembna parametra sta se izkazali teža in hitrost. To je vplivalo na odločitev, da model letala v celoti izdelamo iz kompozitnih materialov.

Na kratko o pravilniku

Letalo je moralo biti sposobno samostojnega vzleta s 3 m dolge klančine z naklonom 5°. Edini dovoljen vir energije za vzlet je moral zagotavljati akumulator v letalu. Zaradi varnostnih razlogov so uporabo baterij omejili na celice NiMh.

Dimenzijsko omejitev je predstavljal okvir z dimenzijami 90 cm x 60 cm, skozi katerega se je moralo letalo zapeljati brez dotika, medtem ko je bil minimalen razpon kril 120 cm.

Krila je bilo tako potrebno zložiti, mehanizem za razpenjanje in »zaklepanje« pa je moral biti upravljan z RV-napravo.

Poleg tega mehanizma je bilo potrebno razviti še dva: sistem za spuščanje tovora oz. »vorteksov« in rotirajočo imitacijo radarja.

Odpiranje kril, montažo »radarja« ter vorteksov so v misiji na tleh (od skupno 4 misij) štopali, zato je bilo za vse mehanizme pomembno, da so bili hitri in zanesljivi.

Filip Plešnik, Emil Zubalič, Viktor Govže, doc. dr. Viktor Šajn, univ. dipl. inž., vsi Univerza v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo



Ekipa Edvard Rusjan Team po zmagi na tekmovanju

Z razvijanjem modela se je izkazalo, da omejitve v pravilniku predstavljajo zgolj začetek izzivov in zahtev, ki jim mora model zadoščati za uspešno opravljanje vseh misij.



Končni trup, vzet iz kalupa in očiščen

Od ideje do izdelka

Ko smo iz pravilnika pridobili najpomembnejše parametre, smo se zahtev lotili sistematično. Ker je najpomembnejše, da letalo najprej vzleti, smo se najprej lotili tega, nato pa smo razvoj postopoma nadaljevali po seznamu prioritet. Vsaka ideja in zasnova se je najprej začela s skico na papirju ali na tabli. Sledili so diskusija na tedenskih sestankih, testiranje in izvedba. Izdelana je bila simulacija idealnih misij, da bi letalo doseglo največ točk, mi pa smo se z rezultati testnih letov želeli simulaciji kar se da približati. Po prvem grobem prototipu, ki je bil izdelan iz balze, krilo pa iz stiroporne sredice, se je natančnost dela povečala. Za vsak del na letalu smo izdelali računalniški 3D model.

Za nekatere dele letala (trup, krilo) smo izvedli CFD-analizo, s katero smo ocenili zračni upor izbranih oblik. Pri razvoju trupa letala smo izbirali med tremi variantami – med najbolj preprosto, tisto, ki se nam je intuitivno zdela najbolj primerna, ter kombinacijo obeh. Z vsemi tremi oblikami smo s pomočjo 3D tiska v vetrovniku izvedli meritve zračnega upora in se glede na rezultate odločili za tisto, ki je z nameščenimi vorteksi predstavljala najmanjši upor.

Tudi razvoja mehanizmov smo se lotili na podoben način. Če je bilo idej za rešitve več, smo se odločili za tisto, ki se nam je zdela najboljša, nato pa smo jo testirali. Če se je zaradi materialno slabših lastnosti (npr. 3D tisk) ali z vidika zanesljivosti izkazala za pomanjkljivo, smo nadaljevali z izvedbo in testiranjem drugih rešitev.



Skoraj 3-kilowatni Scorpionov pogonski motor je zagotavljal 7 kg statičnega potiska



Model na tekmovalni stezi v Tucsonu (ZDA)

Z več iteracijami smo izdelali en prototip letala v celoti iz kompozitov in tekmovalni model letala z nekaj prilagoditvami. Z vsemi tremi modeli smo izvedli več kot 40 testnih letov, z rezultati smo se na koncu popolnoma približali začetnim simulacijam.

Tehnologija gradnje

Za letošnje tekmovanje smo si zastavili cilj, da vsako stvar, ki se da izdelati iz kompozitov – in je to seveda smotrno, tudi izdelamo.



Zložena konfiguracija pred opravljanjem misije

Kalupe, ki so predstavljali negativ komponent modela, smo izdelali s pomočjo 3D računalniškega modela in CNC-stroja. Vsak kalup je bilo po obdelavi potrebno še fino pobrusiti in primerno premazati, preden smo se lotili laminacije.

Trup

Trup je prvi del, ki smo ga naredili iz kalupa. Narejen je v sendvič tehniki. Zunanji sloj, kot je razvidno s slike, je iz 160 g pletenih ogljikovih vlaken. Ta tkanina sicer ni povsem optimalna, vendar so pri tako veliki kvadraturi stroški materiala precejšnji, zato smo uporabili, kar nam je bilo na voljo. Sredico sendviča sestavlja 2-milimetrski aramidni honeycomb, znotraj pa se skriva še nekoliko lažja (60 g) steklena tkanina. Ob sami gradnji smo se že na začetku soočili s problemom velikosti letal in posledično velikosti kalupa. Polovički kalupa trupa smo izrezkali iz purenita, oba kalupa pa sta presegala dolžino dveh metrov. Vsi kalupi so letos zahtevali tudi večjo peč in ogromno prostora. Po nanosu smole smo namreč vsak kalup pustili v peči na približno 60 stopinjah vsaj 12 ur.

Rep

Rep je edini kompozitni del, ki ni bil narejen iz pravega kalupa. Izdelan je bil iz stiroporne sredice nizke gostote (15 kg/m^3), izrezane z računalniško vodeno vročo žico. Sredica je bila obdana še s plastjo 80-gramske steklene tkanine in nekaj ojačitvami iz ogljikovih vlaken. Tako sestavljen laminat smo položili v maylar folijo ter pustili v vakuumu toliko časa, da se epoksidna smola posuši. Kljub laminaciji neposredno na pozitiv nam je uspelo doseči dokaj visoko kvaliteto površin, čeprav smo zaradi tega pridobili nekaj gramov na teži.

Krila

Kalup kril je bil najbolj problematičen del gradnje, saj smo tu kot material uporabili leseno vlakneno ploščo MDF, ki ne slovi ravno po trdnosti in je zelo občutljiva na vlago. Seveda tak kalup ne bi bil primeren za večjo serijo izdelkov, a vendarle je bil

ustrezen za izdelavo dveh parov kril. Ta so, razen nekaj reber in elektronike, povsem votla, lupina pa je tako kot pri trupu zgrajena po principu sendvič konstrukcije. Razlika je le v tem, da smo bistveno dražji karbon zamenjali s stekleno tkanino, honeykomb za sredico pa s herex peno. Krila so sicer trapezne oblike, po celotni razpetini smo uporabili profil Clark-Y brez geometrijskega zvitja. Zaključki so izdelani, kolikor je mogoče optimalno, saj nam je način zlaganja kril onemogočal izdelavo tako imenovanih »wingletov«. Namesto danes bolj poznanih tipov zaključkov smo se odločili za zaključke »hoerner«, ki ne povečujejo debeline krila.

Mehanizmi

Pravilnik je zahteval razpiranje kril, možnost spuščanja vorteksov in vrtenje radarja. Vsaka naloga je zahtevala svoj mehanizem, načinov izvedb teh pa ni manjkalo.

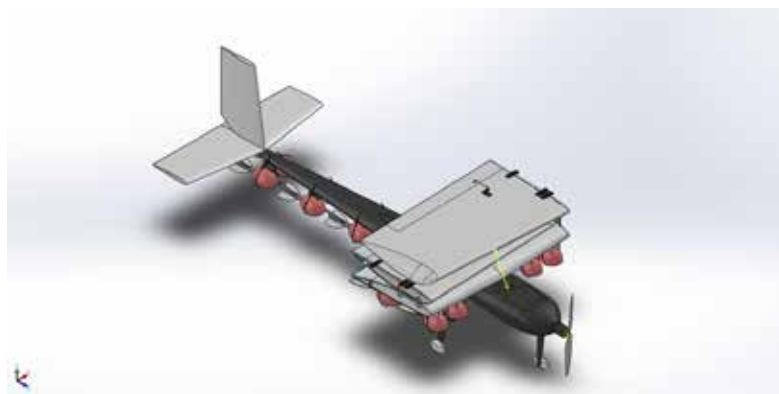
Pri iskanju rešitev smo se omejili na vsem dobro poznan, vendar premalo rabljen princip KISS (»Keep it simple, stupid!«). Po Murphyju lahko povzamemo, da tisto, kar lahko gre narobe, navadno gre narobe, zato sta bili naši glavni prioriteti zanesljivost in enostavnost.

Pri razpiranju krila je bilo potrebno zagotoviti energijo za hitro razpiranje krila. Rešitev smo našli v torzijskih vzmeteh, zaklepanje krila pa smo zagotovili s pomočjo kavljev v obliki harpune. Tečaji, okrog katerih se je krilo razpiralo, so bili enaki kot tisti, uporabljeni za zajčjo kletko. Velika prednost tega sistema je bila tudi njegova hitrost. Letalo je bilo že v pičlih 2 sekundah pripravljeno na letenje.

Za spuščanje vorteksov smo naredili sistem, ki s servomehanizmom sprosti zapeto vezico. Prednosti tega sistema so bile fleksibilnost glede velikosti vorteksa, trdnost pričvrstitve in majhna teža. Tudi vrtenje radarja je bilo zagotovljeno s servomotorjem, njegova pritrditev pa z vijakom in matico – ko se servomotor zavrti, se radar sam zavija in drži samodržno. Enostavno, hitro in učinkovito.

Elektronika

Letalo upravlja kar 17 servomotorjev. Šest večjih, brezkrtačnih, visokonapetostnih je namenjenih krmilnim površinam, ostali so za kontroliran izpust vorteksov in vrtenje radarja. To smo dosegli s pomočjo arduina, vezanega na PCB-vezje, ki je bilo zasnovano točno za to letalo. Na tak način smo z uporabo samo enega kanala na sprejemniku lahko krmilili dodatnih 11 servomotorjev, v zaporedju vsakega posebej. Model je poganjal brezkrtačni outrunner motor, ki je s približno 3 kW moči zahteval tok tudi do 100 A. Takšen tok je prenašal visokonapetostni 150-amperski regulator. Za zadnjo misijo smo v letalo spravili kar 56 celic NiMh, kar znaša okoli 40 V in 10000 mAh. Primerno hlajenje tako motorja kot baterij se je izkazalo za precejšen izziv, zato smo bili primorani postaviti motor izven trupa ter že v kalupu narediti »air intake«. 6 mesecev se je posebna ekipa ves čas ukvarjala s testiranjem baterij in s pogonom. V optimalnih razmerah smo po veliko vzletih ugotovili, da s



3D dizajn modela v zloženi konfiguraciji

pogonskim sklopom in propelerjem Apc 16 x 8 lahko nesemo do 19 vorteksov.

Na tekmovanju

Tekmovanje je potekalo od 11. do 14. aprila v Tucsonu, v zvezni državi Arizona (ZDA). Za tekmovanje se je kvalificiralo 113 ekip, udeležilo pa se ga je 77 ekip.

Samo tekmovanje je bilo sestavljeno iz treh misij v zraku, misije na tleh in še ocene poročila, ki smo ga oddali pred tekmovanjem. Ocena poročila se je množila z nabranih točkami na misijah, zato je bilo to prav toliko pomembno kot letalne sposobnosti. V poročilu so zajete podrobnosti konceptnega in detajlnega dizajna, testiranj ter tehnična dokumentacija. Model je najprej moral skozi tehnični pregled, kjer je moral med drugim zdržati wingtip test, natovorjen z maksimalno težo. Skupno se je je nabralo slabih 10 kg, od česar so baterije tehtale kar zajetne 4 kg.

Poudarek je bil vsekakor tudi na hitrosti letenja. Model je moral v čim krajšem času preleteti 3 »tekmovne kroge« z radarjem, pri tretji misiji pa odvreči čim več vorteksov z 10-minutno omejitvijo in po pravilu, da odvrže le 1 vorteks na krog. Izkazalo se je, da je moral za izmet vseh 18 vorteksov model v vodoravnem letu v vsakem krogu preseči 100 km/h. Srednja hitrost leta je znašala nekje nad 75 km/h. Ker smo že na začetku vedeli, da nam veliko število vorteksov prinese največ točk med vsemi tremi misijami, smo veliko pozornosti namenili zmanjševanju upora vorteksov ter povečevanju hitrosti letala. Pri tem sta imela veliko vlogo sistem napajanja ter lupinasta oblika trupa letala.

Nazadnje sta nam prav veliko število vorteksov ter odlično letenje prinesli zmago na tekmovanju. Zmaga pa je bila seveda tudi plod vztrajnosti in dela celotne ekipe v vseh šestih mesecih pred tekmovanjem.

Naslednje leto nas čaka drugačen izziv, pravilnik pa bo znan šele septembra. Prav gotovo bo pravilnik tudi naslednje leto zahteval veliko mero inovativnosti, vztrajnosti ter timskega duha. Vsekakor se bomo tudi novih izzivov lotili zagnano in se pri izpolnjevanju zahtev potrudili kot do sedaj.