

# USPEH ŠTUDENTOV UNIVERZE V LJUBLJANI NA MEDNARODNEM TEKMOVANJU BREZPILOTNIH LETAL V ZDA

Igor Petrović

Na letošnje tekmovanje v snovanju, gradnji in letenju daljinsko vodenih brezpilotnih letal DBF (Design/Build/Fly – Zasnuj/Izdelaj/Leti), ki ga organizira Ameriški inštitut za aeronavtiko in astronautiko (AIAA) ob podpori Textron Aviation in Raytheon Missiles & Defense, sta se iz Slovenije prijavili ekipa Univerze v Ljubljani in ekipa Univerze v Mariboru. Ekipa študentov Univerze v Ljubljani: DBF Edvard Rusjan Team Slovenija je osvojila 2. mesto, študentje Univerze v Mariboru pa 49. mesto v konkurenci 99 univerz iz 14 držav. Tekmovanje je potekalo med 13. in 16. aprilom 2023 v Tucsonu (Arizona, ZDA).



*Slika 1: Del ekipe DBF Edvard Rusjan Team Slovenia (UL), ki se je udeležila tekmovanja v ZDA.*

Glavna vodila tekmovanja so omogočiti študentom aplikacijo relevantnih inženirskih konceptov na primeru snovanja in izdelave daljinsko vodenega brezpilotnega letala, učenja novih tehničnih veščin

**Dr. Igor Petrović**, univ. dipl. inž., Univerza v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo

in veččin vodenja ter reševanja problemov kot tudi mreženja s potencialnimi delodajalci. To organizatorji dosežejo tako, da vsako leto razpišejo nove naloge, ki jim mora letalo zadostiti. Naloge so objavljene konec septembra, ko pričnejo ekipe analizirati nove zahteve. Na ta način od ekip zahteva vedno nove pristope in znanja, ki pa lahko temeljijo na preteklih izkušnjah. Zaradi tega je tudi zaželeno, da del ekipe predstavljajo študentje z izkušnjami iz

preteklih let, del pa je novih mlajših študentov. Taka je bila tudi sestava letošnje ekipe UL (*slika 1*).

Ekipo UL sestavljajo študentje in študentke Fakultete za strojništvo, študent Biotehniške fakultete, študent Fakultete za računalništvo in informatiko ter študent Ekonomske fakultete. Od 2008, ko se je takratna ekipa študentov Fakultete za strojništvo prvič udeležila tekmovanja, je opazen velik napredek na področju izboljšanja konstrukcije letala in tehnologij izdelave ter medijske prepoznavnosti in pridobivanja sponzorjev in donatorjev. Ker sta razvoj in izdelava takšnega letala precej kompleksna procesa, znotraj ekipe deluje več delovnih skupin. Vsaka je zadolžena za svoje področje: računalniške simulacije, snovanje in modeliranje, testiranje in elektronika, gradnja, finance in odnosi z javnostmi. Vsako leto ekipa glede na časovne in finančne zmožnosti izdelava več prototipov letala. Člani ugotovijo pomanjkljivosti, ga izboljšajo in nato izdelajo tekmovalno letalo.

Letošnja tema nalog, ki jih je moralo opraviti letalo, je bila elektronsko bojevanje. To je aktualno tako na vojnih območjih po svetu kot npr. tudi pri doseganju varnosti na letališčih ob vdoru UAS v letalski zračni prostor, kjer bi ciljno delovanje letala lahko preprečilo velike finančne izgube letališč in letalskih operaterjev. Zahteve so bile razdeljene v 1 nalogo na tleh in 3 letalne naloge. V nalogi na tleh je moral UAS 30 s zdržati čim večjo masno obremenitev, aplicirano na območju trupa, brez vidnih poškodb strukture letala ter s prikazom polnega odklona vseh krmilnih površin. Prva letalna naloga je bil let UAS v osnovni konfiguraciji, kjer mora prikazati, da dosega osnovne zahteve ter dokonča 3 tekmovalne kroge znotraj 5 min časovnega okna. V drugi letalni nalogi »opazovalnega leta« je moralo letalo v 10 min opraviti čim večje število krogov s čim težjim koristnim tovorom. Tretja letalna naloga »elektronsko motenje v letu« je zahtevala let 3 tekmovalne kroge v čim krajšem času s pritrjeno čim daljšo anteno na koncu krila. Vsaka



*Slika 2 : Prvi prototip za določanje letalnih lastnosti*

naloga je točkovana po posebni formuli, seštevek doseženih točk pri nalogah pa se množi s številom točk, doseženih pri končnem poročilu. Tako dosežen končni razpored točk je uporabljen za končno razvrstitev ekip.

Ker tekmovanje pridobiva na popularnosti pri študentih po celem svetu, so organizatorji morali omejiti število tekmovalcev. Zato je postavljen prvi rok konec oktobra, do katerega morajo ekipe poslati poročilo o do tega roka opravljenem delu, predstavijo svoj pristop in organiziranost, začetni koncept letala in načrt izdelave ter testiranje na 5 straneh. Pravočasno je predloge oddalo 135 ekip, od katerih jih je prvih 110 pridobilo pravico udeležbe na tekmovanju v ZDA. UM je s poročilom zasedla 3 mesto, UL pa 93, tako da sta se obe ekipi uvrstili na tekmovanje.

Sledil sta bolj podroben pregled zahtev posameznih nalog in izboljšanje numeričnih modelov, s katerimi smo določali glavne parametre letala, ki najbolj vplivajo na končno točkovanje. Poleg zahtev v nalogah, ki jih je moralo opraviti letalo, so bile podane tudi splošne zahteve, ki so omejevale končni koncept letala. Nekaj glavnih omejitev glede definicij nalog je bila tudi omejitev škatle, v kateri mora biti letalo z vso pripadajočo opremo: seštevek širine, višine in dolžine škatle mora biti manjši od 157,48 cm (62,00 in); največja masa polne škatle je 22,68 kg (50,00 lb). Letalo mora imeti 2 para levih in desnih kril. Letalo mora vzleteti na dolžini 18,29 m (60 ft), največja dovoljena skupna kapaciteta baterije je 100 Wh. Sestavljanje letala mora biti hitrejše kot v 5 min. Poleg teh omejitev so bile podane še ostale, vendar so bile našteje najbolj omejujoče za naš koncept letala.

Rezultati analiz v ekipi razvitega numeričnega modela tekmovanja so pokazali, da bi za doseganje najboljšega skupnega rezultata morali zasnovati letalo, ki bi bilo hitro, lahko, s čim večjo možno obtežbo pri talni nalogi in s čim daljšo anteno. S temi zahtevami je bil zasnovan končni koncept letala, vmes pa sta bila izdelana delna prototipa (*slika 2*), ki sta omogočala meritve posameznih obremenitev za validacijo numeričnih modelov in karakterizacijo uporabljenih metod in materialov. Pri detajlnem snovanju za nalogo na tleh je moralo letalo zdržati čim večjo obtežbo. Za obremenitveni preizkus je ekipa morala razviti stojalo in zagotoviti uteži, ki jih je morala namestiti na letalo. To je predstavljalo dodatni logistični problem, saj je bilo potrebno opremo na tekmovanje pripeljati z letalom oziroma stvari kupiti tam. Poleg detajlnega modeliranja pritrditve letala na podpore, ki bi delno prenašalo obtežbo, ter pritrditve za uteži, ki bi letalo čim manj obremenilo, je bilo veliko poudarka namenjenega razvoju posebnega glavnega nosilca krila, ki bi ustrezal zahtevam (*slika 3*). Poleg velike nosilnosti je bilo željeno, da je nosilec čim lažji, hkrati pa je moral zagotoviti hitro sestavljanje letala, ki je zloženo v škatli. Dolžino antene v 3. letalni nalogi ob primerni izbiri motorja s propelerjem, ki



**Slika 3 :** Detajl trupa (levo) in krila (desno)

bi aerodinamično oblikovanemu letalu zagotavljal veliko hitrost letenja, sta glede na izračune omejevala dolžina škatle in izbrani pogonski sklop. Ugotovljeno je bilo, da odziv antene (PVC-cev premera 21,3 mm, debeline stene 2,8 mm), ki je pri teh hitrostih relativno deformabilna, ne povzroča kritičnih obremenitev na letalo, vendar zahteva izkušenega pilota, ki upošteva vpliv dodatnega upora antene. Ker je bil v ekipi izkušen pilot, se temu ni dajalo preveč poudarka.

Ob določitvi končnih dimenzij in oblike je bilo potrebno letalo izdelati in dodatno testirati ter natrihati. Izdelava letala je potekala v Odprtem laboratoriju FS ter v Zavodu 404. Zahtevala je velik delež ur celotnega dela na letalu. Najprej so bili izdelani kalupi, ki so omogočali natančno polaganje tkanine. Letalo je bilo izdelano pretežno iz karbonskih vlaken, delno pa tudi iz steklenih vlaken s postopkom mokre ročne laminacije z vakuumiranjem v vreči ter s končno fino obdelavo.

Za tekmovanje je bilo potrebno izdelati končno poročilo, ki je zajemalo celoten postopek snovanja,



**Slika 4 :** Naloga na tleh - letalo vsaj 30 s zdrži obremenitev, ki je aplicirana v področju trupa.

gradnje in testiranja letala s pripadajočo tehnično dokumentacijo in je obsegalo do 60 strani. Ocena poročila je imela velik vpliv na končno oceno, saj so končne točke vsake naloge množene s točkami poročila. Poročilo je bilo potrebno oddati do konca februarja, kar je sovpadalo tudi z izpitnim obdobjem, ko je visoka pedagoška obremenitev študentov. Kot vsako leto je bilo poročilo z nekaj iteracijami popravkov oddano v roku. Po recenziji poročil je UL dosegla 7. mesto, UM pa 44. mesto. Ta uvrstitev je določala vrstni red na tekmovanju.

V ZDA je ekipa odpotovala nekaj dni pred tekmovanjem, saj so bile poznane komplikacije iz preteklih let zaradi izgubljene prtljage in ostalih nevšečnosti, ki lahko vplivajo na udeležbo. Na dan tekmovanja so morale ekipe najprej opraviti tehnični preizkus letala ter predložiti video leta letala kot dokaz, da je letalo že preizkušeno v zraku in sposobno letenja. Sledil je pregled ključnih varnostnih zahtev na letalu. Po odobritvi sodnikov so ekipe opravljale nalogo na tleh. Da ne bi bilo potrebno popravljati letala in bi lahko opravili tudi letalne naloge, smo letalo obremenili z manjšim deležem predhodno testirane največje obremenitve. Pri tej nalogi je letalo zdržalo 145 kg obremenitve v vreči (*slika 2*). Zaradi relativno lahkega letala glede na druge ekipe in veliko obremenitev smo bili uvrščeni na prvo mesto pri tej nalogi in hkrati tudi na skupno prvo mesto, saj ekipe še niso dokončale veliko nalog.

Drugi tekmovalni dan je bilo vetroven z napovedjo, da naj bi se veter naslednji dan umiril. Zato smo opravili samo prvo letalno nalogo, pri kateri (*slika 3*) smo dosegli vse minimalne kriterije in letalo pripravili za naslednji dan. Ker je bilo poročilo dobro ocenjeno in smo z letenjem pričeli, preden so vse ekipe naredile tehnični pregled, smo sklepali, da bomo prišli na vrsto večkrat in takrat izboljšali rezultat.

Tretji tekmovalni dan je bil veter močnejši od napovedi. Jakost vetra sicer ni bila premočna, vendar bi lahko ogrozila let pri 2. letalni nalogi, saj letalo s konfiguracijo za to nalogo ni bilo zmožno leteti 10 min,



**Slika 5 :** Atlas v letu – tekmovalno letalo skupine DBF Edvard Rusjan Team Slovenia v čisti konfiguraciji

ker je bilo zasnovano za doseganje čim boljšega rezultata pri nalogi na tleh in pri 3. letalni nalogi. Poleg sunkov vetra so se na območju tekmovanja pojavljali tudi manjši peščeni vrtinci, ki bi bili za letalo lahko uničujoči. Zato smo v drugi nalogi odleteli na 80 % predhodno izračunanih vrednosti. Tako smo odleteli 11 krogov z 1,70 kg koristnega tovora. V tem dnevu nismo več prišli na vrsto za letenje, smo pa čas izkoristili za pripravo letala za zadnji dan, spoznavanje drugih ekip in opazovanje njihovih letal.

V zadnjem tekmovalnem dnevu smo opravili 3. letalno nalogo, kjer smo s 98,5 cm dolgo anteno na koncu krila (*slika 4*) odleteli 3 kroge. Pilot je v prvem krogu uspešno natrimal letalo, preostala 2 kroga pa zelo hitro odletel in dosegel skupni čas 80 s. To nas je v tej nalogi uvrstilo na 1. mesto skupaj z ekipo RWTH Aachen. Slabše točkovanje v 2. nalogi pa nas je uvrščalo na skupno 2. mesto. Za preostanek zadnjega dneva je bila naloga jasna – obremeniti letalo do 90 % testirane obremenitve pri nalogi na tleh. To bi nas postavilo na 1. mesto, kjer nas glede na podatke iz opazovanja drugih ekip najverjetneje ne bi mogli prehiteti. Pri tem poskusu pa se ni izšlo po načrtu, ker je glavni nosilec popustil in letalo ni zdržalo obremenitve. Čeprav se je ekipa zbrala v tekmovalnem šotoru in v kratkem času popravila nosilec, da bi poskusili izboljšati še oceno 2. letalne naloge, kjer smo po izračunih ugotovili, da je bilo še precej rezerve. Ko smo prišli na vrsto za letenje med zadnjimi ekipami tega dneva in je bil zaradi sunkov vetra v zadnjem krogu neuspeh prilet, je letalu pri izvedbi ponovnega prileta zmanjkalo baterije, zato je pilot izvedel izvenletališki pristanek. Izkušnost pilota je omogočila, da je bilo letalo nepoškodovano, vendar poskus ni štel za veljavnega.

S temi rezultati je ekipa dosegla končno drugo mesto za zmagovalno ekipo iz RWTH Aachen in pred tretjevrščeno Embry-Riddle Aeronautical University. Zaostale so tudi druge bolj znane univerze, kot npr. Virginia Tech, University of Washington, MIT



**Slika 6 :** Konfiguracija za 3. letalno nalogo – 98,5-centimetrska antena, pritrjena na koncu krila

(Massachusetts Institute of Technology), Stanford University, Georgia Tech, ... Glavne prednosti, ki so nam prinesle dober uspeh, so predvsem motiviranost ekipe, odličen prenos in nadgradnja znanja iz preteklih let in dobra razdelitev nalog med člani. Pomembno je poudariti, da je bil uspeh na tekmovanju dosežen ob nižjih finančnih zmožnostih ekipe v primerjavi z večino ostalih dobrih ekip.

Ob koncu tekmovanja je ekipa bogatejša za nove izkušnje, s katerimi bo lahko v prihodnje še bolj konkurenčna pri tem tekmovanju, hkrati pa bodo izkušnje lahko uporabljene pri izzivih na nadaljnji karierni poti članov. Iz tega sklepam, da je bila udeležba na tekmovanju velik doprinos k razvoju članov ekipe ter izboljšanju prepoznavnosti Univerze v Ljubljani ter Slovenije v mednarodnem prostoru. Ekipa že usmerja moči v analizo tokratnih izkušenj ter iskanja novih članov in sponzorjev, da bi v prihodnjem letu dosegla podobno dober rezultat.

V ekipi so letos sodelovali študentje: Luka Kambič, Aljaž Ravnikar, Teo Stupar, Mohor Lotrič, Jan Gnamuš, Miha Krajnc, Luka Slapničar, Gregor Kljun, Blaž Breznik, Jakob Erhatič, Miha Kambič, Matic Kravos, Ines Velič, Tit Jerman, Rok Merše, Kristina Novak, Matej Pevc in Urban Pušnik. Pilot je bil Timotej Hofbauer, vodja ekipe Jaka Jeršin, mentor pa dr. Igor Petrovič ob podpori Gašperja Krivica in Vida Puglja.

Radi bi se zahvalili vsem podpornikom: Univerza v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo; Javni študentski, razvojni, invalidski in preživninski sklad Republike Slovenije; Zavod 404; Mestna občina Ljubljana; Elan Composites; Pipistrel Aircraft; Odprti laboratorij FS; LiPo.si; ElevonX; Plastika Trček; Tuli Ljubljana; Martin Godnič; Domel; Durokem; SK Škrlj; Mirnik TG; Tris in Tris, ki so pripomogli k snovanju in izdelavi letala ter finančno podprli stroške udeležbe na tekmovanju.