

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

AUTORI: Jure Zubak, Marin Ivanković, Marta Prevarić, Patrik Car, Matija Salamun,
Stanko Krišto, Domagoj Čorić, Florijan Tuđa

PROJEKT LETJELICE HUSZ JAEGER

Zagreb, 2020.

Ovaj rad izrađen je u prostorijama Fakulteta strojarstva i brodogradnje u Zagrebu pod vodstvom prof. dr. sc. Milana Vrdoljaka i predan je na natječaj za dodjelu Rektorove nagrade u akademskoj godini 2019./2020.

SADRŽAJ

1. UVOD	1
2. PRELIMINARNO DIMENZIONIRANJE	3
2.1 KONFIGURACIJA	3
2.2 POSTUPAK DIMENZIONIRANJA	3
3. AERODINAMIKA	6
3.1. ODABIR AEROPROFILA	6
3.2. ODABIR I DIMENZIONIRANJE ZAKRILACA	7
3.2.1. <i>Polijetanje</i>	8
3.2.2. <i>Krstarenje</i>	8
3.2.3. <i>Slijetanje</i>	9
3.3 SINGLE-SLOT ZAKRILCA	10
3.4 REP	11
3.5 POLARA	11
4. ANALIZA ČVRSTOĆE	13
4.1 ČVRSTOĆA RAMENJAČE	13
4.1.1 <i>Analiza čvrstoće ramenjače</i>	14
5. ANALIZA STABILNOSTI	16
5.1 UZDUŽNA STATIČKA STABILNOST	16
5.2 STATIČKA STABILNOST PO PRAVCU	17
6. IZRADA	19
6.1 PODVOZJE	21
6.1.1 <i>Nosiva ploča</i>	21
6.1.2 <i>Kotači, upornice i osovina</i>	22
6.2 TERETNA KUTIJA I AERODINAMIČKA OBLOGA	24
6.3 KRILO	26
6.3.1 <i>Ramenjača</i>	26
6.3.2 <i>Rebra</i>	28

6.3.3	<i>Spojnice krila</i>	31
6.3.4	<i>Oplata</i>	33
6.4	ZAKRILCA	35
6.5	REP	37
6.6	TRUP	39
6.7	MONTAŽA I TESTIRANJE	41
6.8	SIMULATOR LETA	44
7.	NATJECANJE	46
7.1	PRELIMINARNI I KONAČNI IZVJEŠTAJ	46
7.2	PREZENTACIJA I TEHNIČKI PREGLED	46
7.3	LETAČKI DIO NATJECANJA	48
	ZAKLJUČAK	50
	LITERATURA	51

POPIS SLIKA

Slika 2.1 - Procjena polare za $AR = 13$	3
Slika 2.2 – Pravac mase prema podacima o sličnim letjelicama	4
Slika 2.3 - Dijagram letjelice	5
Slika 3.1 – Predloženi aeroprofil.....	6
Slika 3.2 - Rezultati aeroprofila za $Re = 1.4 \cdot 10^5$	7
Slika 3.3 - Različiti otkloni flaperona.....	8
Slika 3.4 – C_L za različite otklone	8
Slika 3.5 - Koeficijent uzgona tijekom krstarenja.....	9
Slika 3.6 – C_L za različite otklone flaperona	9
Slika 3.7 - Raspodjele tlaka i brzina za različite napadne kuteve	10
Slika 3.8 - Konačna polara.....	12
Slika 4.1 - Opterećenje krila	13
Slika 4.2 - Poprečni presjek ramenjače	14
Slika 4.3 - Pomaci [mm].....	15
Slika 4.4 - Ekvivalentna naprezanja [mm]	15
Slika 5.1 - x-plot, uzdužna statička stabilnost.....	16
Slika 5.2 - Ispravljeni x-plot, uzdužna statička stabilnost	17
Slika 5.3 - x-plot, statička stabilnost po pravcu	18
Slika 6.1 - Model nosive ploče.....	21
Slika 6.2 - Nosiva ploča nakon vakuumiranja i polimerizacije smole, prije konačne obrade.	22
Slika 6.3 - Model kalupa za kotače	23
Slika 6.4 - Kalup spreman za vakuumiranje	23
Slika 6.5 - Model osovine	24
Slika 6.6 - Spoj teretne kutije i ostatka letjelice.....	25
Slika 6.7 - Model aerodinamičke obloge podvozja.....	25
Slika 6.8 - Izrada pojaseva ramenjača	26
Slika 6.9 - Ramenjače prije završne obrade.....	27
Slika 6.10 - Povezivanje struka i pojasa ramenjače	28
Slika 6.11 - Sirovac za izradu dijelova rebara od balze.....	29
Slika 6.12 - Spoj rebra, ramenjače i oplate	30
Slika 6.13 - Nosači za povezivanje krila i zakrilaca.....	30
Slika 6.14 - Model dijelova rebara za CNC obradu	31
Slika 6.15 - Neobrađena spojnica.....	32

Slika 6.16 - Spoj spojnice i segmenta krila.....	32
Slika 6.17 - Spoj ramenjače, rebara i oplate	33
Slika 6.18 - Postupak povezivanja gornjake i donjake s ramenjačom i rebrima	34
Slika 6.19 - Konačni izgled segmenta krila	34
Slika 6.20 - Nanošenje epoksidne smole i airex pjene	35
Slika 6.21 - Rebri zakrilca	36
Slika 6.22 - Spoj krila i zakrilca.....	36
Slika 6.23 - Rep letjelice.....	37
Slika 6.24 - Stražnji pogled na rep	38
Slika 6.25 - Proces vakuumiranja.....	38
Slika 6.26 - Postupak izrade segmenta trupa	39
Slika 6.27 - Srednji segment trupa	40
Slika 6.28 - Konačni sklop letjelice.....	41
Slika 6.29 - Vaganje segmenata	41
Slika 6.30 - Transportna kutija.....	42
Slika 6.31 - Statički test.....	42
Slika 6.32 - Fotografija s testnog leta.....	43
Slika 6.33 - Model letjelice u simulatoru leta.....	44
Slika 6.34 - Simulator leta	45
Slika 6.35 - Upravljački blok.....	45
Slika 7.1 - Ekipa HUSZ Jaeger na tehničkom pregledu.....	47
Slika 7.2 - Obrazac letne faze	48
Slika 7.3 - Priprema letjelice za let	49
Slika 7.4 - Ekipa HUSZ Jaeger i letjelica.....	49

POPIS TABLICA

Tablica 3.1 - Nulti uzgon	11
Tablica 4.1 - Vrijednosti parametara.....	15
Tablica 6.1 - Materijal i namjena	19

SAŽETAK

U ovom radu opisan je projekt letjelice HUSZ Jaeger koja je sudjelovala na međunarodnom studentskom natjecanju Air Cargo Challenge 2019. održanom u kolovozu 2019. godine u Stuttgartu u Njemačkoj. Cilj natjecanja je konstruiranje i izrada radio upravljane letjelice s mogućnošću podizanja što većeg tereta unutar određenih pravila. Na projektu su sudjelovali studenti Fakulteta strojarstva i brodogradnje, članovi Hrvatske udruge studenata zrakoplovstva (HUSZ).

Konceptualnim konstruiranjem te definiranjem i evaluacijom ciljeva projekta počeo je proces projektiranja nakon čega je odabrana konfiguracija letjelice, koja je kasnije, zbog jednostavnosti izrade, naknadno modificirana. Problemu se pristupilo analizom performansi u dvije različite klase, nakon čega je odabran aeroprofil krila i zakrilca te je određeno težište letjelice. Zatim je uslijedilo dimenzioniranje stabilizacijskih površina, projektiranje trupa i podvozja te u konačnici analiza stabilnosti i upravljivosti letjelice.

Nakon završetka procesa konstruiranja uslijedila je proizvodnja letjelice, a u tekstu su opisane tehnologije i materijali korišteni tijekom samog postupka proizvodnje. Letjelica je uglavnom kompozitna letjelica čiji su dijelovi izrađeni od ugljičnih vlakana uronjenih u epoksidnu matricu. Po završetku proizvodnje pristupilo se statičkom testiranju letjelice i njenih dijelova, a konačno i testnom letu. Ekipe Sveučilišta u Zagrebu ostvarila je 14. mjesto u konkurenciji od 30 međunarodnih sveučilišta.

Ključne riječi: HUSZ Jaeger, Air Cargo Challenge, radio upravljana letjelica, projektiranje zrakoplova, izrada zrakoplova, kompozitne letjelice

ABSTRACT

The content of this paper presents the project of HUSZ Jaeger aircraft which competed in the international student competition Air Cargo Challenge 2019. held in August in Stuttgart, Germany. The main objective of the competition is design and production of radio controlled aircraft which can lift maximum weight within competition rules. Participants of the project were students from Faculty of mechanical engineering and naval architecture, the members of Croatian aeronautical engineering student association.

The process of aircraft design began with conceptual design, and definition and evaluation of objectives after which the aircraft configuration has been chosen. Due to production simplicity, configuration was later modified. Problem was approached with two-class performance analysis, after which the wing and flap airfoil was chosen and mass center was defined. Furthermore, definition of wing and tail surfaces, along with fuselage and landing gear, enabled final stability and control analysis.

Secondly, team began with the production phase. Technological processes and materials used are further defined in this paper. The aircraft is mostly made of composites, with parts made of carbon fiber and epoxy resin. Once the production was finished, static and flight testing phase began. Finally, the team from the University of Zagreb achieved 14th place among 30 international universities.

Key words: HUSZ Jaeger, Air Cargo Challenge, radio controlled aircraft, aircraft design, aircraft production, composite aircraft

1. UVOD

Projekt letjelice HUSZ Jaeger započeli su studenti Fakulteta strojarstva i brodogradnje, točnije članovi Hrvatske udruge studenata zrakoplovstva s ciljem sudjelovanja na međunarodnom studentskom natjecanju Air Cargo Challenge koje se održalo u kolovozu 2019. godine u Stuttgartu.

Natjecanje je namijenjeno studentima zrakoplovnog inženjerstva i sličnim tehničkim područjima, a osnovna zadaća natjecanja je osmisliti, konstruirati te izraditi radio upravljanu letjelicu koja može podići što veći teret uz što veću brzinu leta. Osim tereta, postoje konstrukcijska ograničenja tijekom projektiranja i izrade, a bodovi se dodjeljuju s obzirom na kvalitetu predanog izvještaja, zadovoljavanje ograničenja, prezentacije letjelice i tima te u konačnici većinu bodova donosi natjecateljski let.

Projektiranje i izrada nove zrakoplovne konstrukcije zahtjevan je multidisciplinarni projekt koji od studenata traži određenu razinu znanja, volje, sposobnosti i truda. Za uspješno obavljanje inženjerskog dijela bilo je potrebno primjeniti znanje iz aerodinamike, mehanike leta, materijala i tehnologije, čvrstoće i mnogih drugih područja koje su članovi projekta stekli tijekom studiranja na fakultetu. Uz to, članovi su morali dodatno učiti i usavršavati znanje iz navedenih područja kako bi podigli projekt na višu razinu i time odskakali među konkurencijom, a potrebnu pomoć i savjete dobili su od bivših natjecatelja, studenata i trenutnih profesora na fakultetu. Osim tehničkog dijela, projekt je zahtjevao i vještine u granama financija, marketinga, organizacije i komunikacija što pokazuje potrebni utrošak ljudske energije kako bi se projekt ove veličine uspješno odradio i priveo kraju.

Hrvatska udruga studenata zrakoplovstva (HUSZ) s projektom je započela u listopadu 2018. godine, a sam projekt sastojao se od nekoliko osnovnih faza:

- konstruiranje
- proizvodnja i testiranje
- marketing i sponzorstva

- izrada izvještaja i tehničke dokumentacije
- natjecanje

Faza konstruiranja sadržavala je konceptualni, preliminarni i završni dio te je bila vremenski i intelektualno najzahtevnija. Proizvodnja je mogla uslijediti tek nakon završetka konstruiranja, a s njom se preklapala faza testiranja. Statičko testiranje nastupilo je onda kada bi određeni element ili sekcija zrakoplova bila završena te spremna za ispitivanje, a testni let bilo je moguće odraditi tek po završetku montaže. Sva ispitivanja i proizvodnju dijelova odradili su studenti Fakulteta strojarstva i brodogradnje u prostorijama fakulteta.

Nadalje, marketing i sponzorstvo započelo je još u siječnju 2019. godine te se preklapalo sa svim fazama projekta, a glavni cilj bio je prikupiti potrebna sredstva za izradu i transport letjelice i studenata do samog natjecanja. Dijelovi izrade tehničke dokumentacije i izvještaja preklapali su se s procesom konstruiranja, ali je većina ipak nastupila pri samom kraju navedenog procesa.

Natjecanju je pristupilo 30 ekipa s područja Europe i Kine, a tim Sveučilišta u Zagrebu ostvario je 14. mjesto u izrazito snažnoj konkurenciji, čiji timovi dolaze s područja bogatih zrakoplovnih i strojarskih industrija. Sama činjenica da se unutar ekipe nije nalazio niti jedan član s prethodnim iskustvom u ovakvom ili sličnom natjecanju pokazuje magnitudu ostvarenog uspjeha te značaj za budućnost zrakoplovstva na sveučilištu, ali i u Hrvatskoj.

U nastavku je prikazan cijeli projekt, od postavljanja ciljeva, preko proračuna i simulacija pa sve do proizvodnje, marketinga i u konačnici i natjecanja.

2. PRELIMINARNO DIMENZIONIRANJE

2.1 KONFIGURACIJA

Prema podacima o sličnim letjelicama, u obzir su uzete sljedeće konfiguracije letjelice:

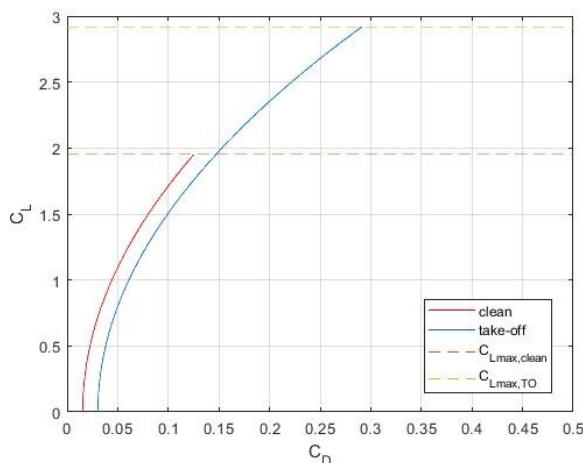
- Krilo: eliptično, pravokutno, trapezno
- Pozicija krila: visokokrilac, srednjekrilac, niskokrilac
- Oblik repa: konvencionalni, T-rep, V-rep

Analizirajući prethodne mogućnosti, konačna konfiguracija je:

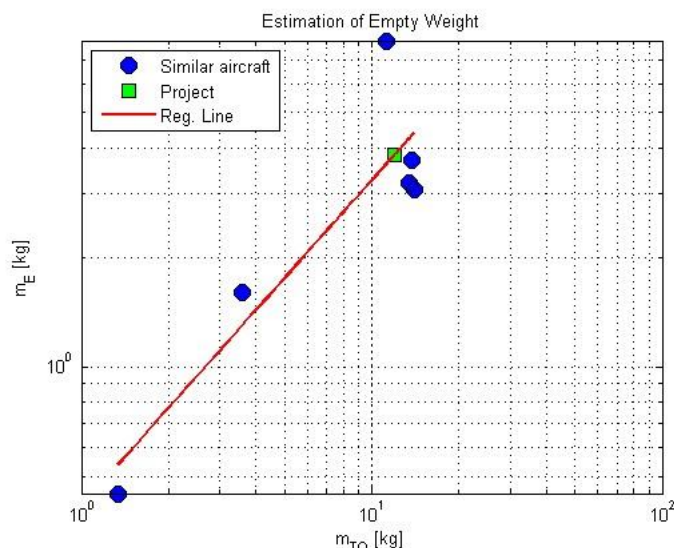
- Pravokutno krilo
- Visokokrilac
- T-rep

2.2 POSTUPAK DIMENZIONIRANJA

Nakon određivanja željenih ciljeva i odabira konfiguracije, slijedi postupak dimenzioniranja letjelice. Prvi korak je određivanje polare i pravca mase. Dijagrami su prikazani slikama 2.1 i 2.2. Oba proračuna rade se prema [3]. Potrebno je istaknuti da dijagram prikazan slikom 2.1 prikazuje polaru za aspektni odnos $AR=13$ (koji je kasnije određen), ali procjena polare napravljena je kao funkcija aspektnog odnosa krila te je kao takav uzet u preliminarnom postupku dimenzioniranja.



Slika 2.1 - Procjena polare za $AR = 13$



Slika 2.2 – Pravac mase prema podacima o sličnim letjelicama

U nastavku u obzir treba uzeti ograničenja letjelice koja su određena pravilima natjecanja.

- Dostupna snaga koju motor i propeler mogu postići [8]
- Duljina piste 60 m i letni prostor 40 m unutar kojeg zrakoplov mora poletjeti i okrenuti se u zraku. [9]
- Prijenosna kutija unutar koje dijelovi zrakoplova moraju biti smješteni. Zrakoplov je modularan, ali zbog same modularnosti potrebno je ostvariti dovoljno čvrste spojeve te proći statički test krila. Zbog navedenih ograničenja, krilo će se sastojati od 5 segmenata s najduljom dopuštenom dimenzijom prijenosne kutije.

Pomoću izraza za polaru te poznatim pravcem $m_{take-off}$ (m_{empty}) uz analizu ograničenja, moguće je razviti postupak dimenzioniranja letjelice. Koristeći programski paket MATLAB analizirane su sve moguće kombinacije površine krila, aspektnog odnosa te mase terete prema bodovima koji se mogu ostvariti tijekom natjecanja.

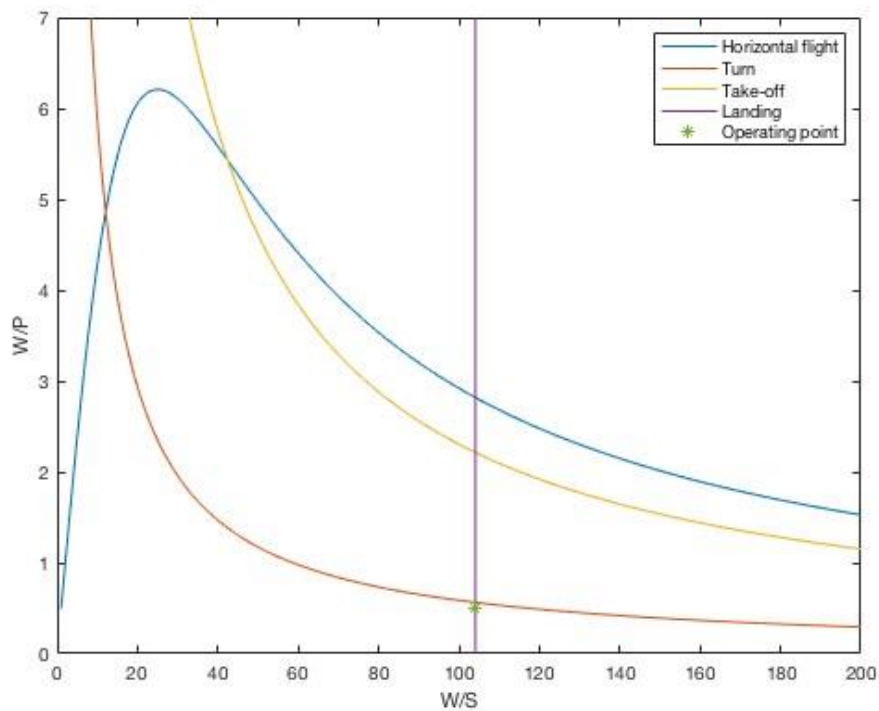
MATLAB skripta imala je sljedeće korake:

1. Polijetanje (potrebna duljina piste),
2. Horizontalni zakret
3. Maksimalna brzina leta
4. Proračun dobivenih bodova prema formulama iz natjecateljskih priručnika
5. Provjera

Konačno, dobiveni su sljedeći parametri:

1. Aspektni odnos $AR=13$
2. Masa tereta $m=6.3\text{ kg}$
3. Površina krila $S=0.94\text{ m}^2$

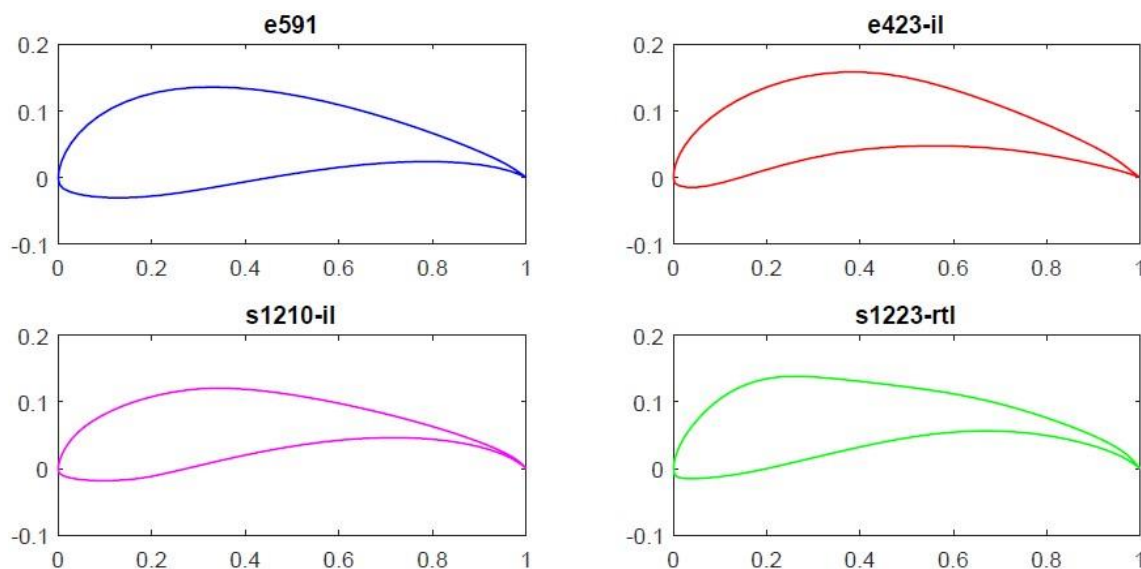
Slika 2.3. prikazuje odgovarajući dijagram za našu letjelicu:



Slika 2.3 - Dijagram letjelice

3. AERODINAMIKA

3.1. ODABIR AEROPROFILA



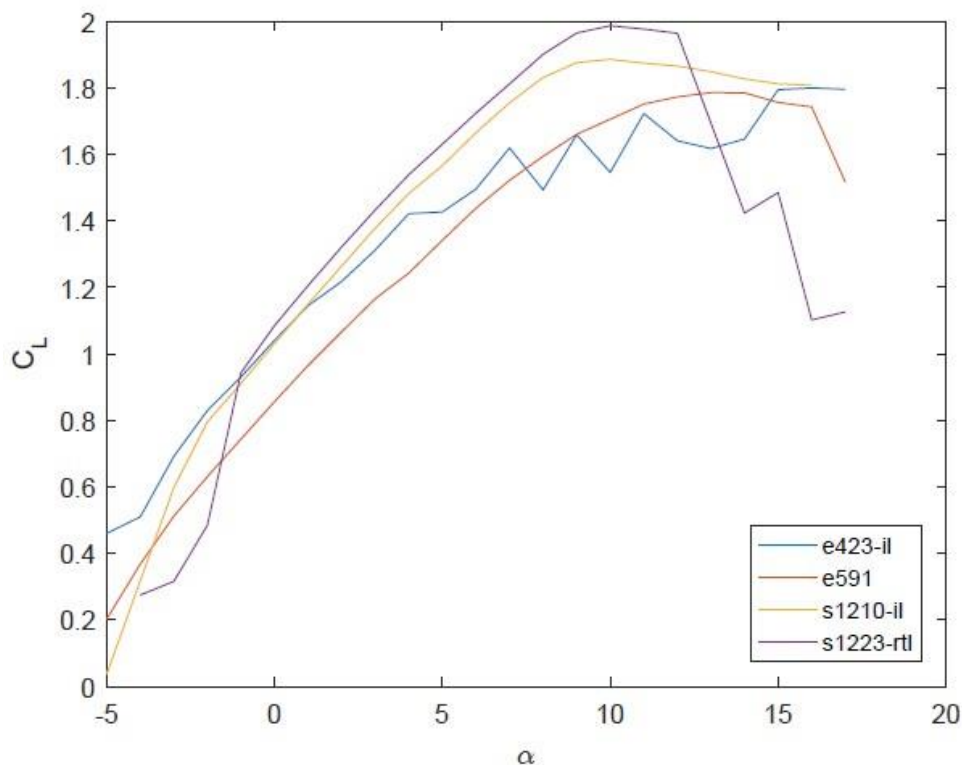
Slika 3.1 – Predloženi aeroprofil

Tijekom određivanja aeroprofila, u obzir su uzeta 4 aeroprofila prikazana slikom 3.1. Sva 4 profila poznata su kao high-lift/low-Re, a u praksi su obično javljaju kod bespilotnih letjelica koji savršeno odgovaraju našoj letjelici. Tijekom letenja s malim iznosima Re, velik iznos viskoznosti može stvoriti odvajanje strujanja zbog nedostatka kinetičke energije zraka. Prema ciljevima projekta, letjelica mora biti sposobna nositi maksimalnu težinu tereta pa su high-lift aeroprofil logičan izbor. No oni stvaraju veći inducirani otpor pa su kao takvi sporiji. Ta činjenica protivi se ciljevima projekta pa se trebalo dodatno razmotriti.

Aeroprofil su analizirani pomoću programskog paketa *XFLR5* za potrebne intervale Reynoldsovog broja i napadnog kuta:

$$\alpha \in [-7^\circ, 17^\circ]$$

Slika___ prikazuje rezultate samo za najmanju vrijednost Reynoldsovog broja, $Re = 1.4 \cdot 10^5$, s pretpostavkom da će veći Reynoldsovi brojevi dati bolje rezultate. Prema njoj, aeroprofil *s1223-rtl* daje najbolje rezultate uzgona pa je odlučeno koristiti njega.



Slika 3.2 - Rezultati aeroprofila za $Re = 1.4 \cdot 10^5$

S dobivenim podacima, moguće je proračunati potrebne maksimalne koeficijente uzgona vezane za maksimalno polijetanje, letenje te slijetanje. Zbog utjecaja horizontalnog stabilizatora, krilo mora proizvoditi veći uzgon prema izrazu:

$$C_{Lmax,wing} = 1.075C_{Lmax,cruise}$$

Koristeći [2] može se odrediti zadovoljava li zadani aeroprofil tražene uvjete.

3.2. ODABIR I DIMENZIONIRANJE ZAKRILACA

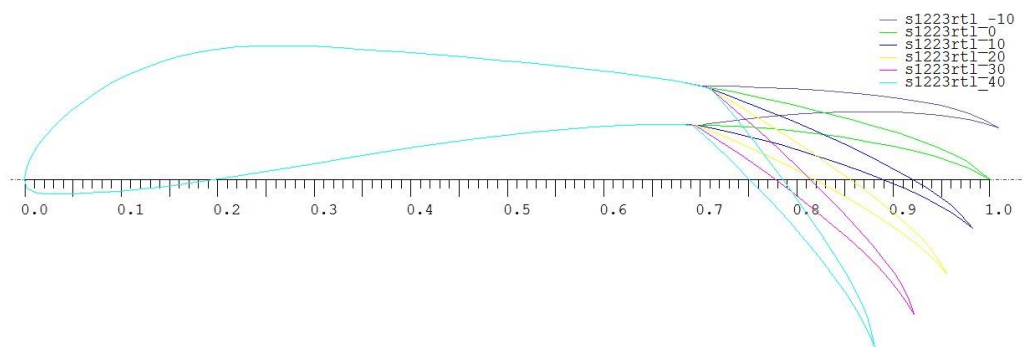
Kako bi se ostvario cilj pojednostavljenja izrade uz istovremeno postizanje velikog uzgona, odlučeno je koristiti flaperone. Korištena su *single-slot* zakrilca, postavljena na 30 % tetive. Povećanje koeficijenta uzgona se određuje prema [2] te su dobivena povećanja:

$$\Delta C_{Lmax,TO} = 1.016$$

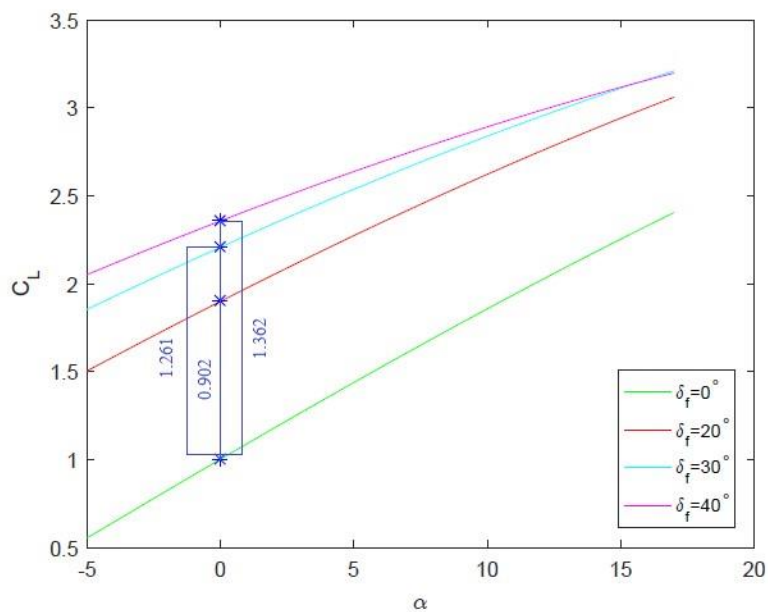
$$\Delta C_{Lmax,landing} = 1.3962$$

3.2.1. Polijetanje

Za analizu krila korišten je programski paket *XFLR5* za različite otklone prikazane slikom 3.3. i brzinu polijetanja prema podacima iz preliminarnog dimenzioniranja.



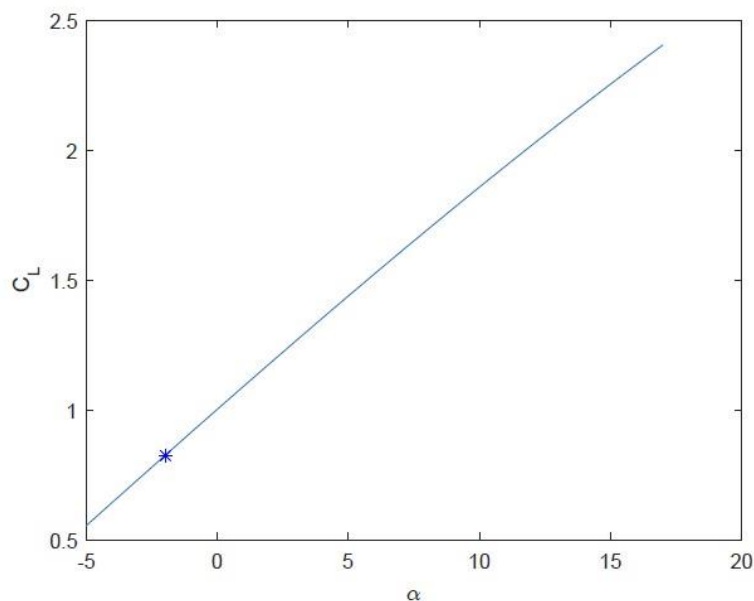
Slika 3.3 - Različiti otkloni flaperona



Slika 3.4 – C_L za različite otklone

Prema slici 3.4, krilo može postići traženo povećanje koeficijenta uzgona za otklon $\delta=20^\circ$ do $\delta=30^\circ$.

3.2.2. Krstarenje

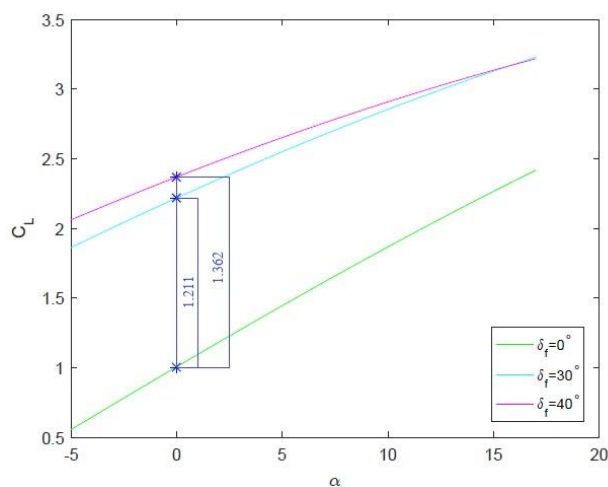


Slika 3.5 - Koeficijent uzgona tijekom krstarenja

Slika 3.5 prikazuje potrebne iznose napadnog kuta tijekom krstarenja kojim se određuje napadni kut $i_w = -2^\circ$.

3.2.3. Slijetanje

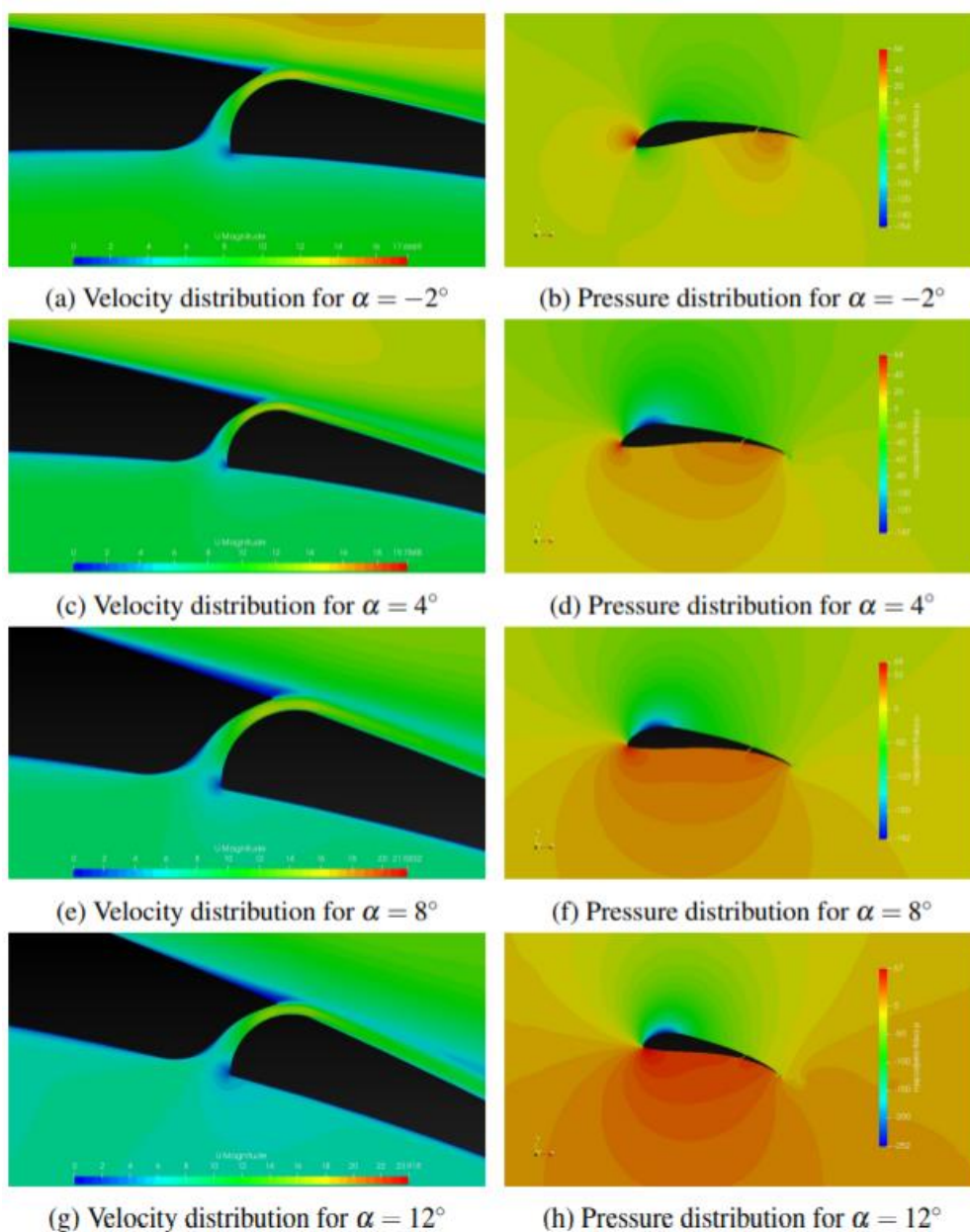
Slično je provedena analiza za slijetanje a rezultati su prikazani slikom 3.6. Potrebno povećanje uzgona može se postići otklonom zakrilca od 40° koji je velik te postoji šansa pojave odvajanje strujanja. Odluka korištenja *single-slot* zakrilca bila je ispravna te je provedena detaljnija analiza.

Slika 3.6 – C_L za različite otklone flaperona

3.3 SINGLE-SLOT ZAKRILCA

Provedena je 2D CFD analiza zadanog aeroprofila pomoću programskog paketa *OpenFOAM*. Cilj simulacije je saznati hoće li procjep uzrokovati recirkulaciju strujanja te hoće li zrak poprimiti dovoljno kinetičke energije kako ne bi došlo do odvajanja strujanja.

Slika 3.6 prikazuje CFD rezultate raspodjele brzina te raspodjele tlaka aeroprofila *s1223-rtl* s procjepom za različite napadne kuteve:



Slika 3.7 - Raspodjele tlaka i brzina za različite napadne kuteve

Procjep će malo smanjiti koeficijent uzgona za zadane napadne kuteve, ali će stabilizirati strujanje za veće napadne kuteve. Dijagram $C_L - \alpha$ prikazuje da krivulja nema nagli pad, već blagi spust.

3.4 REP

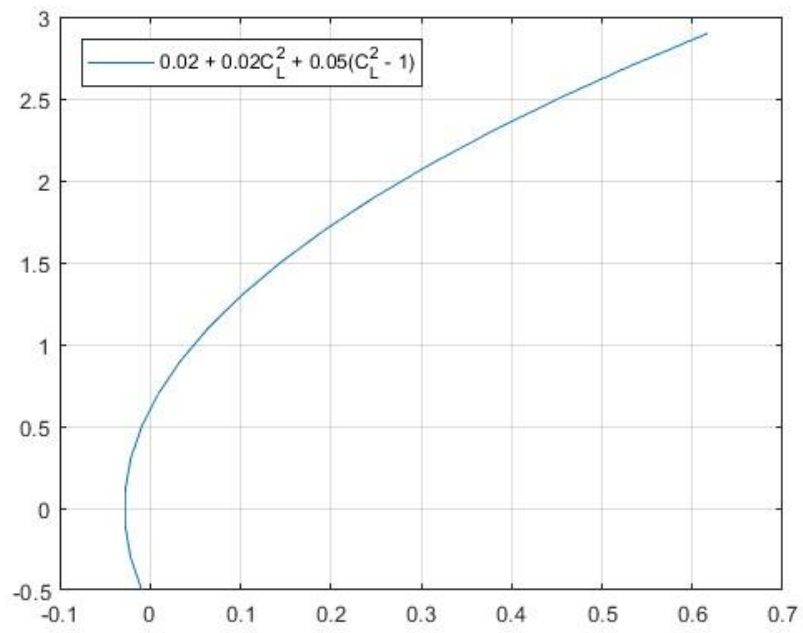
Korištenjem metode više kriterija odabran je T-rep. Potrebno težište izračunato je pomoću dvije iteracije [12]. Prva iteracija temelji se na podacima o sličnim letjelicama prema kojima se može dimenzionirati rep. S novim dimenzijama repa proračunat je novi centar mase. Treća iteracija, kojom se odredila konačna geometrija repa, napravljena je nakon analize stabilnosti koja se spominje kasnije u izvještaju.

3.5 POLARA

Nakon prikupljanja detaljnijih podataka o letjelici, moguće je proračunati točniju polaru. Otpor nultog uzgona proračunat je prema [4] te metodama analitičke aerodinamike [10] i [14], a inducirani otpor proračunat je prema [5]. Tablica 3.1 prikazuje doprinos otporu različitih komponenata, a slika 3.8 prikazuje konačnu polaru.

Tablica 3.1 - Nulti uzgon

Komponenta	C_{D_0}
Krilo	0.0175
Horizontalac	0.0011
Vertikalac	0.0006
Podvozje	0.0012
Kotači	0.0014
Tijelo	0.0007
Ukupno	0.0226

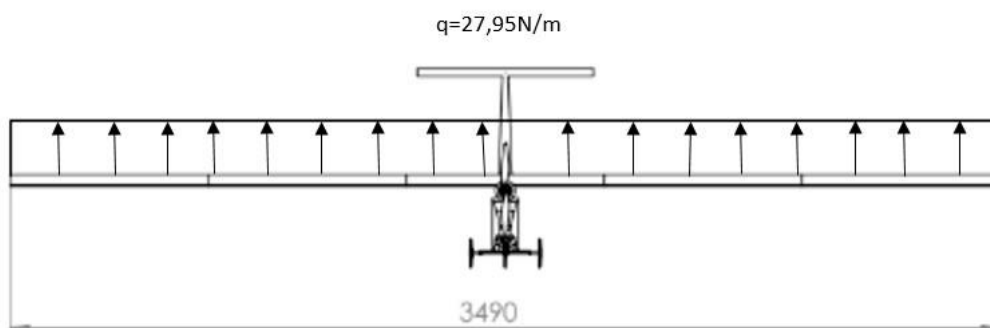


Slika 3.8 - Konačna polara

4. ANALIZA ČVRSTOĆE

4.1 ČVRSTOĆA RAMENJAČE

Analiza čvrstoće ramenjače započinje s pretpostavkom opterećenja krila. Opterećenja dana aerodinamičkom analizom jednoliko su raspoređena duž raspona krila. Ukupna procjenjena masa prema [11] je 9,94 kg. Za taj slučaj krilo je opterećeno na sljedeći način:



Slika 4.1 - Opterećenje krila

Zbog simetrije, moguće je modelirati samo jednu polovicu krila s nepomičnim osloncem na jednom kraju, koji predstavlja spoj krila i trupa. Opterećenje je jednoliko raspoređeno duž raspona, što čini opterećenje jednako jednoj polovici težine koje je ujedno i najveće opterećenje konstrukcije. Najveće opterećenje pomnoženo s faktorom sigurnosti $s = 1.5$ daje krajnje opterećenje koje konstrukcija mora izdržati bez popuštanja. Konačno opterećenje računa se na sljedeći način:

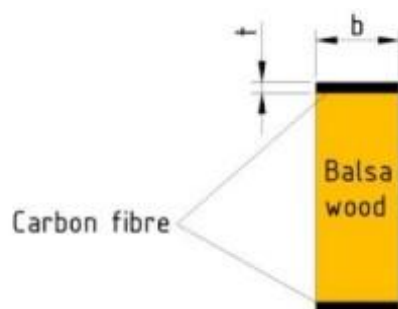
$$F_{ul} = \frac{m}{2} g s = \frac{9,94}{2} \times 9.81 \times 1.5 = 73.135 \text{ N}$$

Ta reakcijska sila uzrokuje savojni moment na kraku 0.8725 m:

$$M = F_{ul} \times 0.8725 = 85.1 \text{ Nm}$$

Ramenjača se nalazi na 19.9 % duljine tetive čija je duljina 0.27 m. Takvo pozicioniranje je poželjno jer je aeroprofil najdeblji u toj točki te je blizak centru. Ramenjača je ograničena visinom od 35 mm.

Sama ramenjača je D-box izvedba gdje je savojno opterećenje preuzeto pravokutnim dijelom. Struk ramenjače izrađen je od balze, a pojas od unidirekcionalnih karbonskih vlakana.. Poprečni presjek prikazan je slikom 4.2. Pojasevi su zalijepljeni za balzu koja je iste duljine. Ramenjača je analizirana metodom konačnih elemenata jer je ključna za čvrstoću krila.



Slika 4.2 - Poprečni presjek ramenjače

4.1.1 Analiza čvrstoće ramenjače

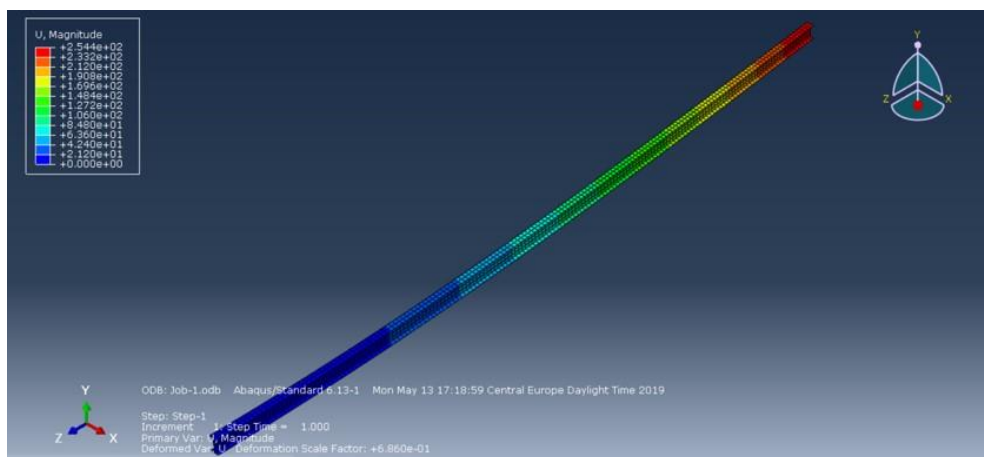
Simulacija ramenjače napravljena je metodom konačnih elemenata uz programski paket Abaqus. Geometrija ramenjače definirana je kao 2D ljuska. Debljina stijenke je primjenjena na kraju, što dobro odgovara višeslojnim kompozitnim materijalima. Nakon geometrije, definiraju se svojstva materijala, orijentacija, opterećenja, rubni uvjeti i mreža konačnih elemenata.

Hashin kriterij je uzet u obzir za lom materijala, kojeg pruža programski paket [12], a svojstva materijala daje proizvođač. Hashin koeficijent mora biti manji od 1. Koeficijent izvijanja pomnožen s opterećenjem daje vrijednost izvijanja. Potrebno je imati koeficijent izvijanja veći od 1. Veličine profila karbonskih vlakana određene su iterativnim postupkom te iznose 20x2 mm.

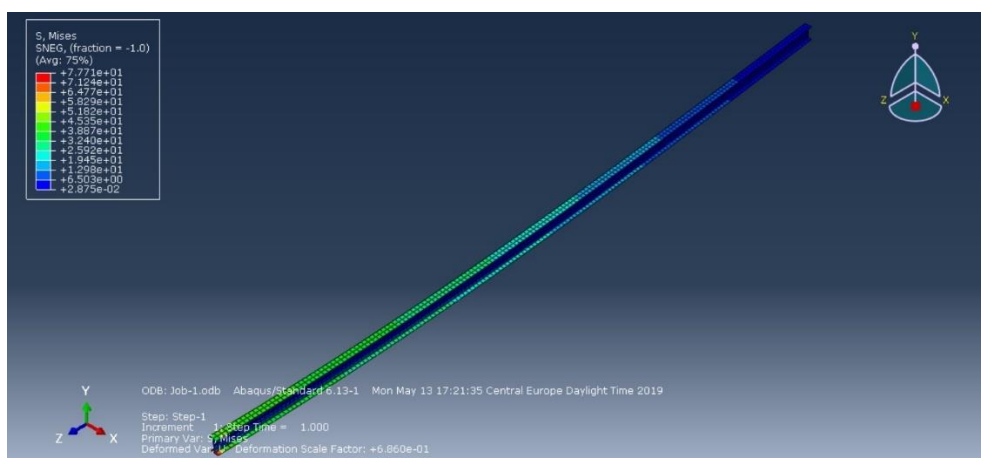
Tablica 4.1 - Vrijednosti parametara

Odabrani profil	Vrijednosti
Poprečni presjek pojasa [mm]	20 x 2
Pomak slobodnog kraja	254
Koeficijent izvijanja	1,7876
Ekvivalentna naprezanja [MPa]	77,71

Pomaci ramenjače prikazani su slikom 4.3, a naprezanja slikom 4.4:



Slika 4.3 - Pomaci [mm]



Slika 4.4 - Ekvivalentna naprezanja [mm]

5. ANALIZA STABILNOSTI

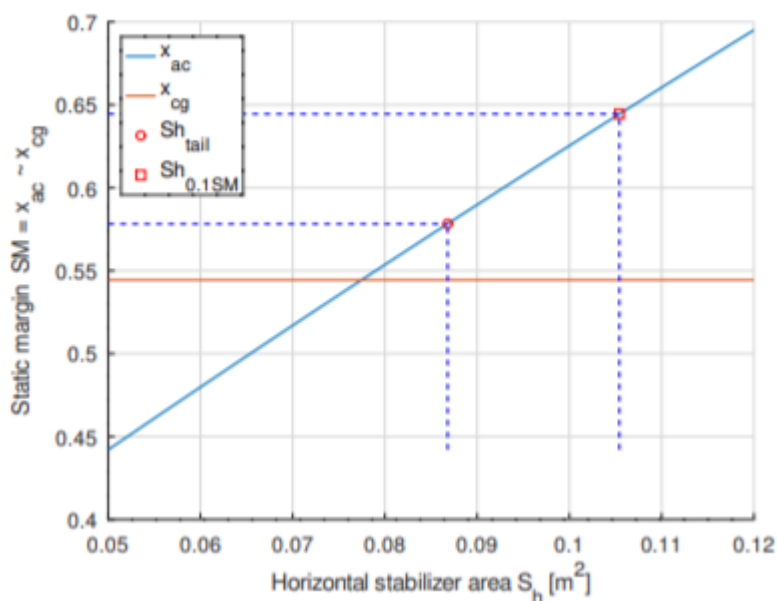
U ovom dijelu analizira se uzdužna i statička stabilnost po pravcu metodom objašnjenom u [2]: Class I za analizu stabilnosti i upravljivosti.

5.1 UZDUŽNA STATIČKA STABILNOST

Kako bi se mogla provjeriti uzdužna stabilnost, pripremljen je x-plot. Sastoji se od pronalaska stope pomaka aerodinamičkog centra kao funkcije površine horizontalnog stabilizatora. Cilj je pronaći potrebnu površinu kako bi se postigla statička margina od 10 % za stabilnu letjelicu. Druga krivulja je pomak težišta kao funkcija površine horizontalnog stabilizatora. Ona je gotovo konstanta jer teret određuje težište.

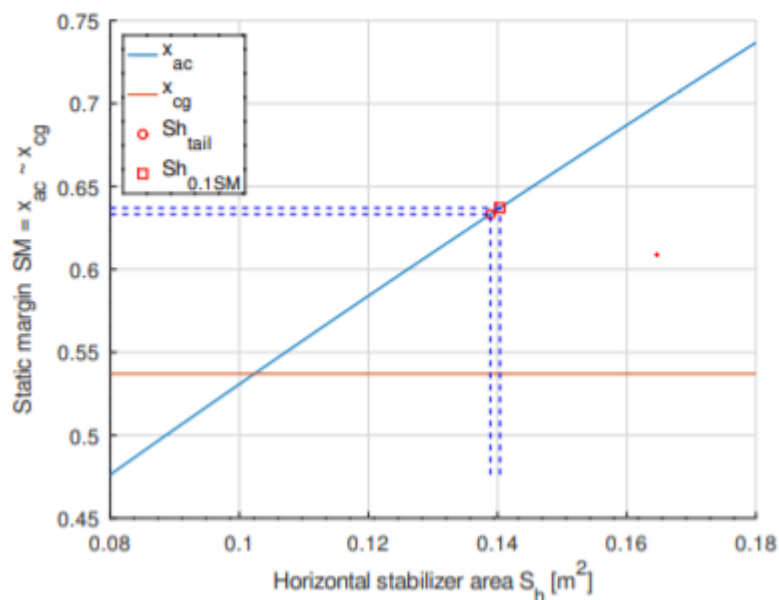
Aerodinamički centar određen je u ovoj analizi. Iako je utjecaj trupa minimalan zbog malog radiusa, uzet je u obzir kao i utjecaj ispiranja krila.

Slika 5.1 prikazuje prvi dobiveni x-plot. Iz njega se vidi da je statička margina pozitivna (uzdužno stabilna), ali je niska, zbog čega se mora mijenjati geometrija horizontalnog stabilizatora.



Slika 5.1 - x-plot, uzdužna statička stabilnost

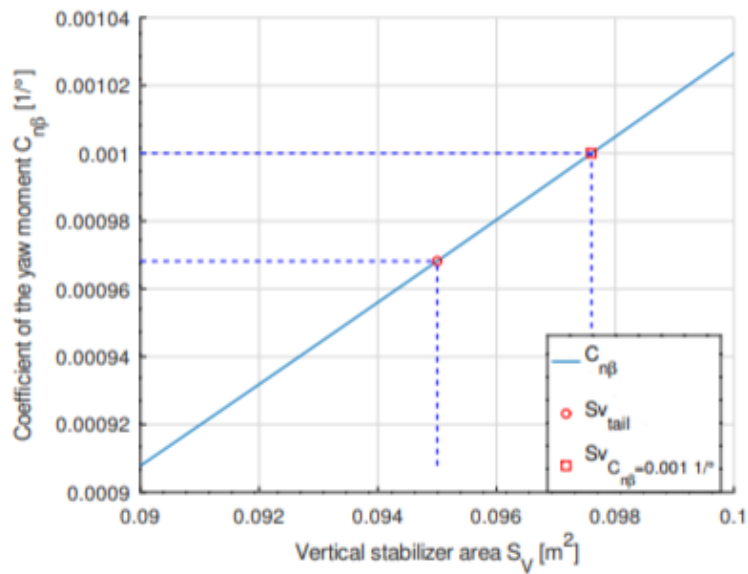
Slika 5.2 prikazuje ispravljeni x-plot uzdužne statičke stabilnosti. Promjenom površine (a time i geometrije horizontalnog stabilizatora) letjelica je stabilna uz statičku marginu od oko 10 % što označava nastavak rada.



Slika 5.2 - Ispravljeni x-plot, uzdužna statička stabilnost

5.2 STATIČKA STABILNOST PO PRAVCU

U ovoj analizi također je pripremljen x-plot. Utjecaj trupa je ovog puta zanemaren, dok je glavni utjecaj imao vertikalni stabilizator. Slika 5.3 prikazuje x-plot s dvije krivulje. Da bi letjelica bila stabilna po pravcu, gradijent momenta propinjana u odnosu na kut klizanja mora biti iznad $0.001 \text{ }^\circ/\text{s}$, kako je prikazano prvom krivuljom. Dijagram prikazuje da letjelica posjeduje dovoljno statičke stabilnosti po pravcu (relativna pogreška oko 2 %). Stoga vertikalni stabilizator ostaje neizmjenjen.



Slika 5.3 - x-plot, statička stabilnost po pravcu

6. IZRADA

Proces izrade počeo je odmah nakon završetka faze projektiranja. Svi dijelovi, montaža i ispitivanja napravljeni su unutar radione prostorija Fakulteta strojarstva i brodogradnje u Zagrebu. Cijeli postupak proizvodnje razvijen je uz pomoć i savjete bivših studenata, članova pobjedničke letjelice HUSZ Tern iz 2015. [6].

Faza izrade mogla bi se podijeliti u nekoliko dijelova:

- priprema radione, nabava materijala i dijelova
- izrada kalupa
- proizvodnja dijelova
- montaža

U prvoj fazi proizvodnje sastavljen je popis, količina i cijena potrebnog materijala i dijelova za izradu letjelice, nakon čega je uslijedila nabavka navedenih predmeta. Materijal i njegova namjena korišteni za izradu letjelice [13] nalaze se u sljedećoj tablici:

Tablica 6.1 - Materijal i namjena

Materijal	Namjena
Karbonska vlakna	Izrada krila, zakrilaca, trupa, konstrukcijskih elemenata
Aramidna vlakna	Izrada kotača
Karbonska ploča	Izrada rebara, ojačanja
Karbonski flah	Izrada dijelova ramenjače
Kompozitna cijev	Upornice koje povezuju podvozje i kotač, osovina za rotaciju zakrilaca
Balza	Bazni materijal za konstrukcijske dijelove, izrada rebara i ramenjača, kutija za segmente letjelice
Epoksidna smola	Matrica za povezivanje karbonskih i aramidnih vlakana

Super-ljepilo	Povezivanje i fiksiranje slabije opterećenih dijelova konstrukcije
Mediapan	Izrada kalupa
Gumica za brtvljenje	Izrada kotača
Mikro-baloni	Ispuna praznog prostora unutar konstrukcije
Airex pjena	Ispuna za krilo i rep
Materijal za vakuumiranje (vreće, upijajuća tkanina, perforirana folija)	Vakuumiranje i očvršćivanje kompozitnih dijelova
Karbonska unidirekionalna vlakna	Ojačanja dijelova konstrukcije opterećenih na savijanje
Čelična osovina	Osovina
Vosak za premaz	Premazivanje kalupa

Paralelno s fazom nabave trajala je faza pripremanja, čišćenja i opremanja radione s potrebnim alatom poput kistova, valjaka, papira za brušenje, zaštitnih rukavica i maskica te ostalih sredstava.

Nakon nabave dijelova i opremanja radione, krenulo se s izradom kalupa za krilo, zakrilce, trup i rep postupkom glodanja te izradom konstrukcijskih dijelova poput rebara, ramenjača i spojnica krila. Iz kalupa se izrađuju segmenti krila, zakrilaca, repa i trupa te se oni povezuju s prethodnim konstrukcijskim elementima. Svi kompozitni elementi i segmenti krila izrađeni su metodom ručne laminacije s epoksidnom smolom kao matricom.

Po završetku izrade svih dijelova i segmenata započeo je postupak montaže i popravka loših dijelova. Cijela konstrukcija trebala je biti lako sklopiva i rasklopiva kako bi bez poteškoća i unutar kratkog vremena stali u kutiju za prijenos segmenata letjelice.

6.1 PODVOZJE

Podvozje je vrlo bitan dio letjelice koji je zadužen za upijanje udarnih opterećenja tijekom slijetanja i zaustavljanja, ali i za transport tereta letjelice. Osnovni konstrukcijski dijelovi podvozja su nosiva ploča, teretna kutija, osovina, kotači, upornice i aerodinamička obloga. Podvozje je povezano s ostatkom letjelice vijčanim spojem s trupom i središnjim segmentom krila.

6.1.1 Nosiva ploča



Slika 6.1 - Model nosive ploče

Nosiva ploča izrađena je ručnom tehnikom laminacije od sendvič konstrukcije čija je baza tanki materijal drvene šperploče koja je obložena smjesom karbonskih vlakana i epoksidne smole. Postupak izrade započinje izradom drvenog kalupa na koji se lijepi zaštitni sloj koji omogućuje bolje odvajanje gotove ploče od kalupa. Postavljeno je nekoliko slojeva karbonskih vlakana i epoksidne smole na koje je smještena drvena šperploča. Na kraju, s druge strane, slijedi još nekoliko slojeva karbonskih vlakana i epoksidne smole.

Zatim slijedi postupak polimerizacije smole i vakuumiranja kako bi dio poprimio konačna svojstva te kako bi se višak smole izlučio kroz sloj perforirane folije i upio u posebnu tkaninu.

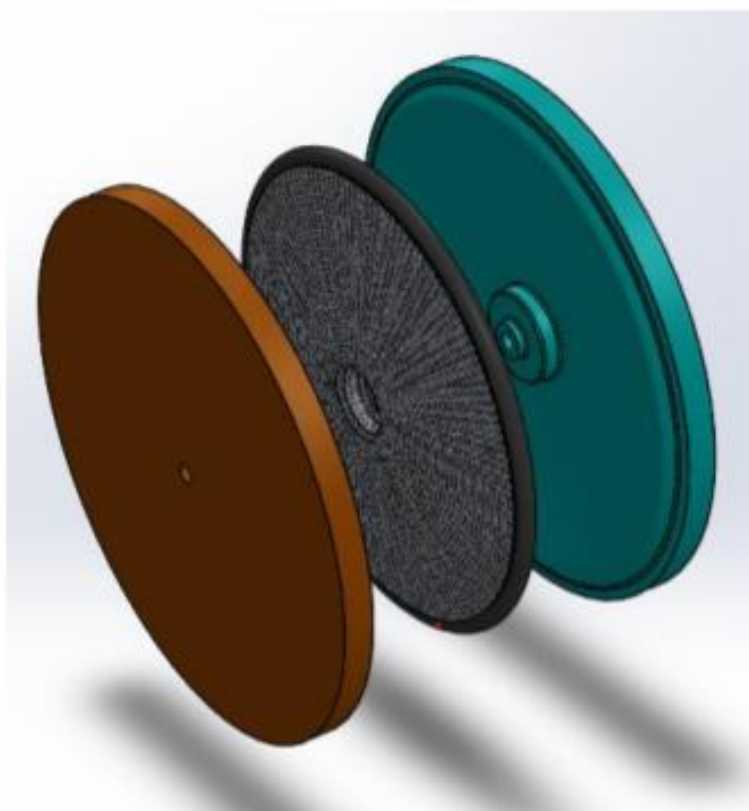
Nadalje, osnovni dio se obrađuje rezanjem i brušenjem na tražene dimenzije te se buše provrti i ugrađuju ojačanja u smislu karbonske ploče



Slika 6.2 - Nosiva ploča nakon vakuumiranja i polimerizacije smole, prije konačne obrade

6.1.2 Kotači, upornice i osovina

Kotači su izrađeni tehnikom ručne laminacije u kalupu. Kalup je prvo premazan slojem odvajača te se na njega nanosi sloj aramidnih vlakana i epoksidne smole. Na vlakna je postavljena perforirana folija i upijajuća tkanina nakon čega je cijeli sustav vakuumiran. Dobivene polovice proizvoda međusobno se povezuju mješavinom smole i mikrobalona koji služe kao punilo. Konačno, na spoju polovica kotača pravi se utor za gumeni prsten koji se kasnije povezuje s kotačem te se unutar kotača umeće valjni ležaj.

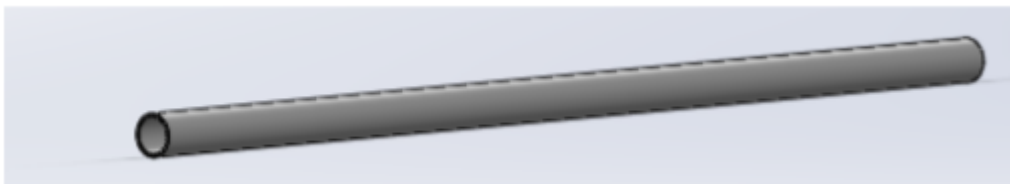


Slika 6.3 - Model kalupa za kotače



Slika 6.4 - Kalup spreman za vakuumiranje

Osovina je izložena najvećim opterećenjima na letjelici zbog čega je korištena osovina izrađena od pune cijevi poboljšanog, legiranog čelika debljine 8 mm na čijim je krajevima urezan navoj M6 za samokočne matice koje drže kotač.



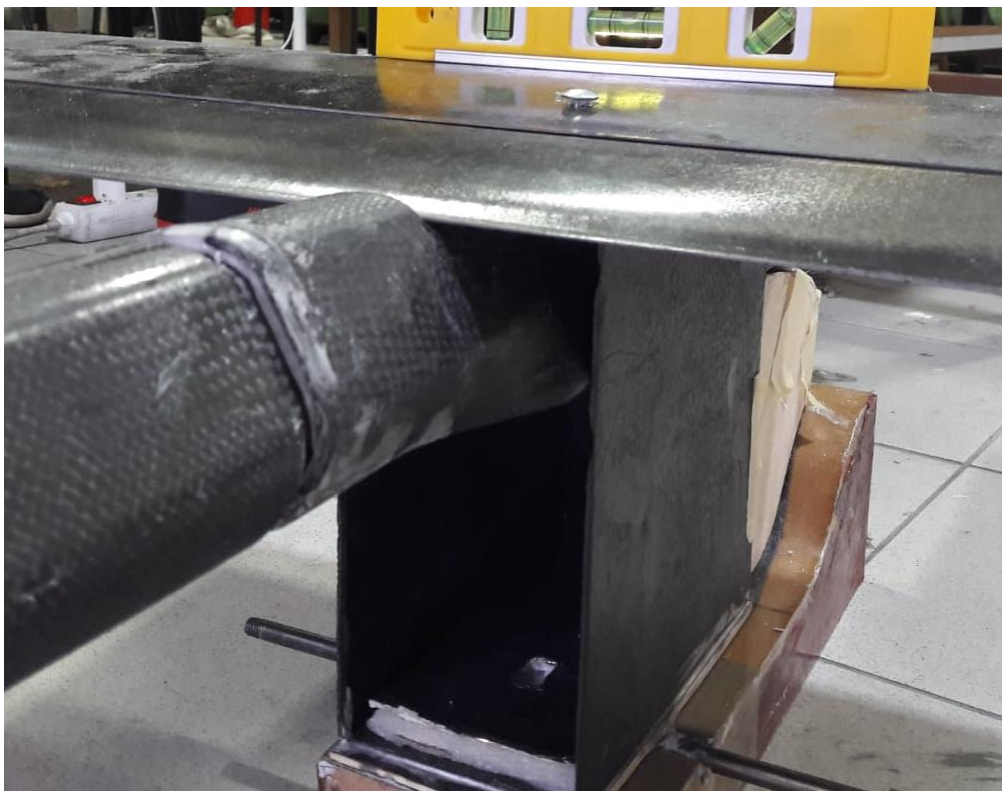
Slika 6.5 - Model osovine

Upornice su izrađene od karbonskih cjevčica malog promjera čija je osnovna uloga stabilizacija prednjeg kotača te prijenos udarnih opterećenja s prednjeg kotača na podvozje.

6.2 TERETNA KUTIJA I AERODINAMIČKA OBLOGA

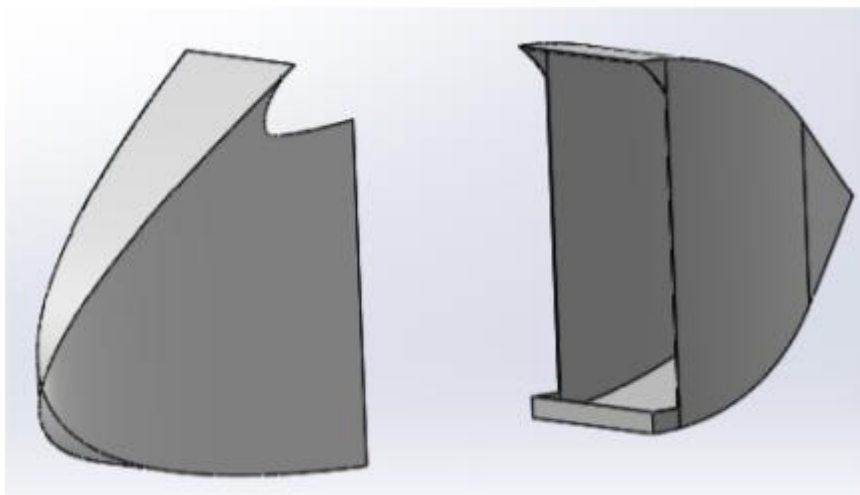
Glavna funkcija teretne kutije je prihvat i osiguranje tereta tijekom faze leta. Ona prenosi sva opterećenja na nosivu ploču i ostatak letjelice.

Kalup za izradu teretne kutije napravljen je od drva na kojeg dolazi sloj zaštitne folije za potrebe odvajanja. Na njega je nanoseno nekoliko slojeva karbonskog platna i epoksidne smole nakon čega je nanosen sloj perforirajuće folije i upijajuće tkanine te je cijeli sustav podložen postupku vakuumiranja. Nakon završetka vakuumiranja teretna kutija obrađena je na potrebne dimenzije.



Slika 6.6 - Spoj teretne kutije i ostatka letjelice

Aerodinamička obloga jedino ima zadaću smanjenja otpora podvozja tijekom leta. Izrađena je od 2 mm debele balze koja je rezana na segmente te naknadno ljepljena u cjelinu te bojana zaštitnim lakom.



Slika 6.7 - Model aerodinamičke obloge podvozja

6.3 KRILO

Krilo je najbitnija aerodinamička površina te je kao takva vrlo osjetljiva na točnost izrade zbog čega joj se pristupilo s većom razinom pažnje. Cijelo krilo podijeljeno je u 5 segmenata, a konstrukcijski, krilo čini ramenjača, rebra i oplata. U daljnjem tekstu detaljnije će se opisati izrada navedenih konstrukcijskih elemenata.

6.3.1 Ramenjača

Ramenjača je glavni nosivi element krila zbog čega je izrađena kao kompozitni, gdje je pojas ramenjače napravljen od unidirekcionalnih karbonskih vlakana što daje određenu savojnu krutost, dok je struk ramenjače izrađen od okomito orijentiranih komada balze koji daju bolja mehanička svojstva. Cijela ramenjača je još ojačana karbonskim flahovima s gornje i donje strane.

Komadi dijelova struka prvo su rezani i brušeni na traženu dimenziju te naposljetku lijepljeni u jedinstvenu cjelinu. Na strukove su zatim nalijepljeni pojasevi ramenjače mješavinom epoksidne smole i mikrobaloana.



Slika 6.8 - Izrada pojaseva ramenjača

Mikrobaloni su dodani u smolu kao punilo koje bi povećalo viskoznost što onemogućuje drvu da upije višak smole te time pogorša svoja mehanička svojstva. Taj postupak služi za optimizaciju mehaničkih svojstava ramenjače uz minimalni doprinos težine. Nakon povezivanja struka i pojasa, na krajevima se pravi dosjed za spojnice krila



Slika 6.9 - Ramenjače prije završne obrade

Po završetku postupka izrade ramenjače slijedi konačna obrada poput brušenja te ojačavanje unidirekcionalnim karbonskim vlaknima.



Slika 6.10 - Povezivanje struka i pojasa ramenjače

6.3.2 Rebra

Rebra su vrlo bitni konstrukcijski elementi unutar torzijske kutije koja prenose opterećenja krila na ramenjaču. Rebra srednjeg segmenta krila dodatno su opterećena jer se preko njih povezuje krilo i ostatak letjelice s podvozjem, povezuju zakrilca s krilom te služe kao oslonac servo motorima za pomicanje zakrilaca pa su kao takvi dodatno ojačani i razlikuju se od ostalih rebara.



Slika 6.11 - Sirovac za izradu dijelova rebara od balze

Nosiva rebra izrađena su rezanjem na CNC stroju od kompozitne ugljik/epoksi ploče kako bi se postigla vrlo visoka točnost. Osim kompozitnih dijelova rebara, izrađeni su i segmenti rebara od balze preciznim rezanjem te naknadnim brušenjem. Konačni sklop nosivog rebra koji je na sebi imao dodatke za povezivanje krila s trupom, servo motora te zakrilca sastojao se od dvije vanjske rebrene ugljik/epoksi ploče te središnjim rebrom od balze. Na taj način osigurala se dovoljna čvrstoća i funkcija nosivog rebra.



Slika 6.12 - Spoj rebra, ramenjače i oplata



Slika 6.13 - Nosači za povezivanje krila i zakrilaca



Slika 6.14 - Model dijelova rebara za CNC obradu

6.3.3 Spojnice krila

Spojnice krila bitan su konstrukcijski element koji povezuje dvije ramenjače segmenata krila, odnosno prenosi opterećenja s jednog na drugi segment. Zahtjeva se visoka čvrstoća uz minimalne deformacije. Zbog toga je spojnica izvedena slično kao i ramenjača. Struk spojnice izrađen je od balze koja je precizno rezana te brušenjem dovedena na traženu dimenziju. Pojas spojnice čine unidirekionalna karbonska vlakna, a cijela spojnica je konačno obložena karbonskim platnom natopljenim u epoksidnu smolu. Zatim je spojnica prešana te naknadno obrađena kako bi se dobila tražena mehanička svojstva. Konačno, finim brušenjem se dobivaju tražene dimenzije te se postiže dovoljna zračnost kako bi spojnica što lakše dosjela unutar ramenjače.



Slika 6.15 - Neobrađena spojnica

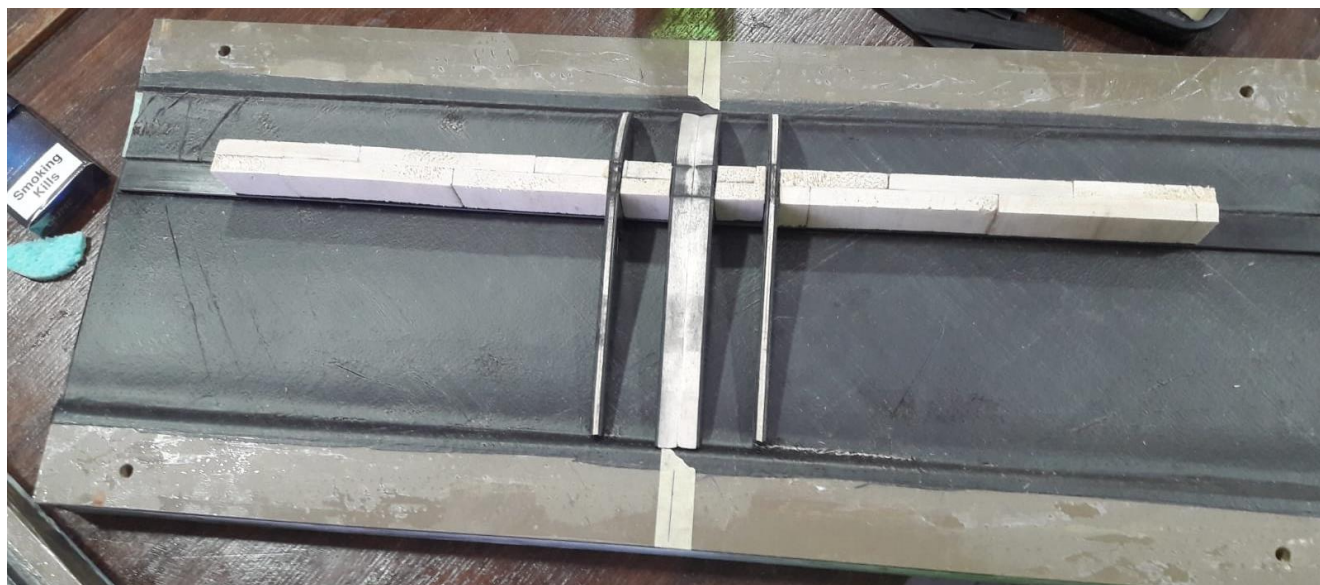


Slika 6.16 - Spoj spojnice i segmenta krila

6.3.4 Oplata

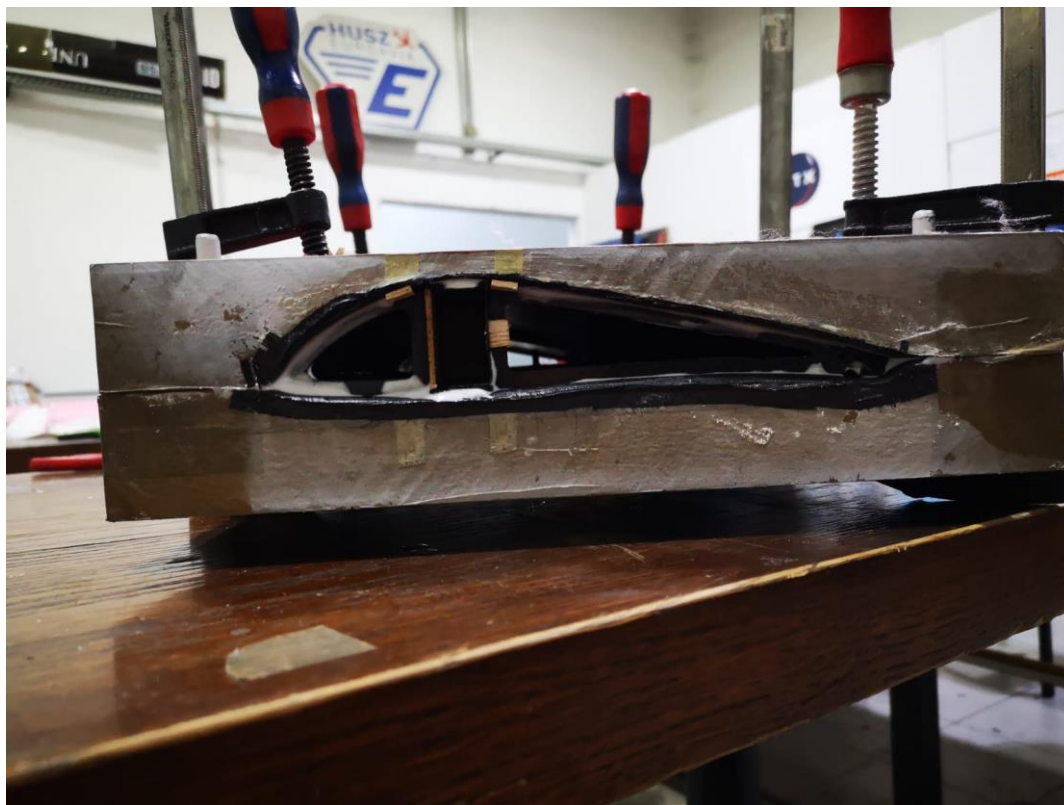
Oplata krila daje aerodinamički oblik krilu i prenosi manja opterećenja. Izrada oplata krila započinje izradom kalupa pomoću glodanjem CNC stroja. Kalupi su izrađeni od mediapana (prešane piljevine) uniformne gustoće kako bi površina oplata bila što glađa i pravilnija. Nakon glodanja, površina kalupa je brušena i polirana brusnim papirima sve do granulacije 1600, nakon čega je obrađena površina premazana voskom slojem PVA odvajачa.

Zatim slijedi nanošenje karbonskog platna pod kutem kako bi se osigurala dobra mehanička svojstva te premaz epoksidne smole. Višak smole se uklanja i nanosi se ispuna izrađena od airex pjene koja poboljšava mehanička svojstva oplata. Konačno, na takav kalup polaže se sloj perforirane folije i upijajuće tkanine te počinje proces vakuumiranja.



Slika 6.17 - Spoj ramenjače, rebara i oplata

Nakon procesa vakuumiranja, u jedan kalup (jedna polovica krila) postavlja se sustav ramenjače i rebara te se na kraju postavlja i drugi kalup, odnosno druga polovica krila te se sve povezuje mješavinom epoksidne smole i mikrobaloana i pritišće stegama.



Slika 6.18 - Postupak povezivanja gornjake i donjake s ramenjačom i rebrima



Slika 6.19 - Konačni izgled segmenta krila



Slika 6.20 - Nanošenje epoksidne smole i airex pjene

6.4 ZAKRILCA

Zakrilce se sastoji od rebara oplata, a proces izrade zakrilca je isti kao i proces izrade krila. Prvo se rade kalupi tehnologijom glodanja nakon čega slijedi brušenje i poliranje te se naposljetku nanosi karbonsko platno i epoksidna smola. Sustav je spreman za vakuumiranje te se po završetku povezuju dvije polovice zakrilca s rebrima čineći jedan segment zakrilca.

Rebra zakrilca također su izrađena CNC rezanjem ugljik/epoksi ploče kako bi se postigla dobra točnost. Na rebru se nalazi provrt kroz koju prolazi osovina koja je zajednička krilu i zakrilcu oko kojeg se čitavo zakrilce rotira.



Slika 6.21 - Rebro zakrilca



Slika 6.22 - Spoj krila i zakrilca

6.5 REP

Osnovni segmenti repa su horizontalni i vertikalni stabilizator koji su konstrukcijski gledano vrlo slični krilu. Sastoje se od ramenjača, rebara i oplata. Struk ramenjače izrađen je od rezanog i naknadno brušenog komada balze, a pojas od unidirekcionalnih karbonskih vlakna. Cijela ramenjača naknadno je ojačana. Rebra su izrađena od precizno izrezanih i brušenih komada balze. Oplata je rađena na isti način kao i krilo i zakrilce.



Slika 6.23 - Rep letjelice



Slika 6.24 - Stražnji pogled na rep



Slika 6.25 - Proces vakuumiranja

6.6 TRUP

Trup letjelice izrađen je od kompozita ugljičnih vlakana i epoksidne smole u izvedbi monocoque ljske. Trup se sastoji od 3 segmenta zbog potreba transporta i pravila natjecanja. Izrađuju se na vrlo sličan način kao i oplata krila, zakrilca i repa gdje se prvo za dvije polovice segmenta trupa izrađuje kalup od mediapana glodanjem na CNC stroju. Kalup se zatim brusi i priprema za daljnji proces. Karbonska tkanina i epoksidna smola nanose se na kalup preko čega se polažu perforirana folija i upijajuća tkanina. Zatim slijedi vakuumiranje nakon čega se polovice monocoque ljske povezuju epoksidnom smolom te u konačnici, nakon očvrnuća smole, dobivamo jedan segment trupa. U prednjem segmentu trupa naknadno se pravi otvor unutar kojeg se smještaju baterije, radijski odašiljač i electromotor potreban za pogon propelera.



Slika 6.26 - Postupak izrade segmenta trupa



Slika 6.27 - Srednji segment trupa

6.7 MONTAŽA I TESTIRANJE

Nakon završetka izrade svih dijelova i njegovih segmenata slijedi prva montaža letjelice te testiranje kvalitete i brzine rastavljanja i sastavljanja segmenata te vaganje svih dijelova letjelice. Otklanjaju se pogreške te se unose dodatna ojačanja i brušenja pojedinih dijelova.



Slika 6.28 - Konačni sklop letjelice



Slika 6.29 - Vaganje segmenata



Slika 6.30 - Transportna kutija

Transportna kutija izrađena je od komada šperploče koje su naknadno lijepljene čineći oblik kutije. Gornji dio kutije čini komad šperploče povezan s kutijom preko šarki čime se omogućuje otvaranje i zatvaranje kutije.

Po završetku izrade dijelova krenulo se i s testiranjem. Od najveće važnosti bilo je statičko testiranje vrhova krila koje simulira najveće moguće opterećenje letjelice.



Slika 6.31 - Statički test

Statički test izveden je na način da se jedan kraj krila opteretio utezima dok je drugi bio neopterećen, nalazeći se na ravnoj površini. Drugi oblik statičkog testa bilo je oslanjanje cijele letjelice samo u dvije točke, odnosno u točkama vrhova krila. Nakon izvođenja testa analizirale su se spojnice te u slučaju loma ili pukotine pravila se nova spojnica ili se popravljala postojeća.

Osim statičkog testiranja spojnica krila, testiralo se i podvozje na način da se opteretilo s utezima, simulirajući teret.

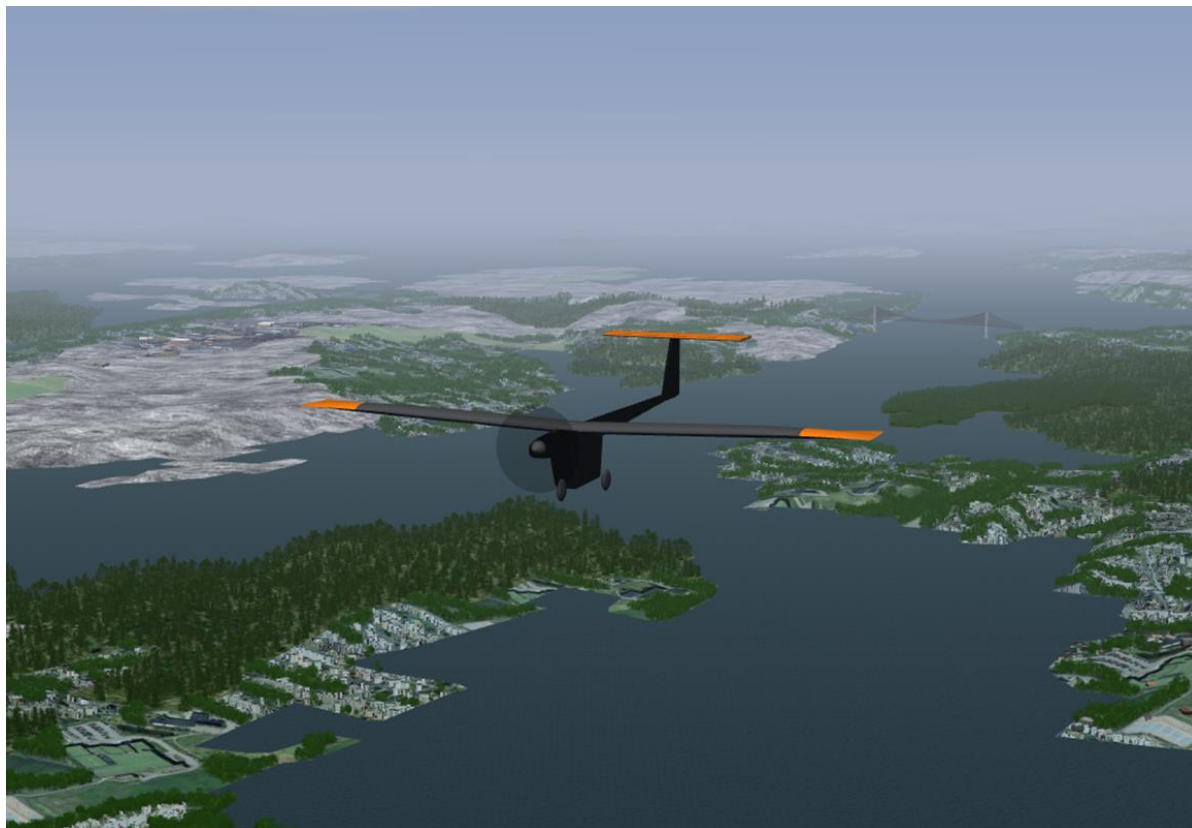
Nakon uspješno obavljenih statičkih testova, krenulo se s testnim letovima.



Slika 6.32 - Fotografija s testnog leta

6.8 SIMULATOR LETA

Dok je tim HUSZ-a radio na proizvodnji dijelova, pilot letjelice Marin Ivanković, u suradnji s tadašnjom studenticom Mirnom Inge Barać, vježbao je letjeti na simulatoru kojeg je studentica razvila u sklopu diplomskog rada [7].

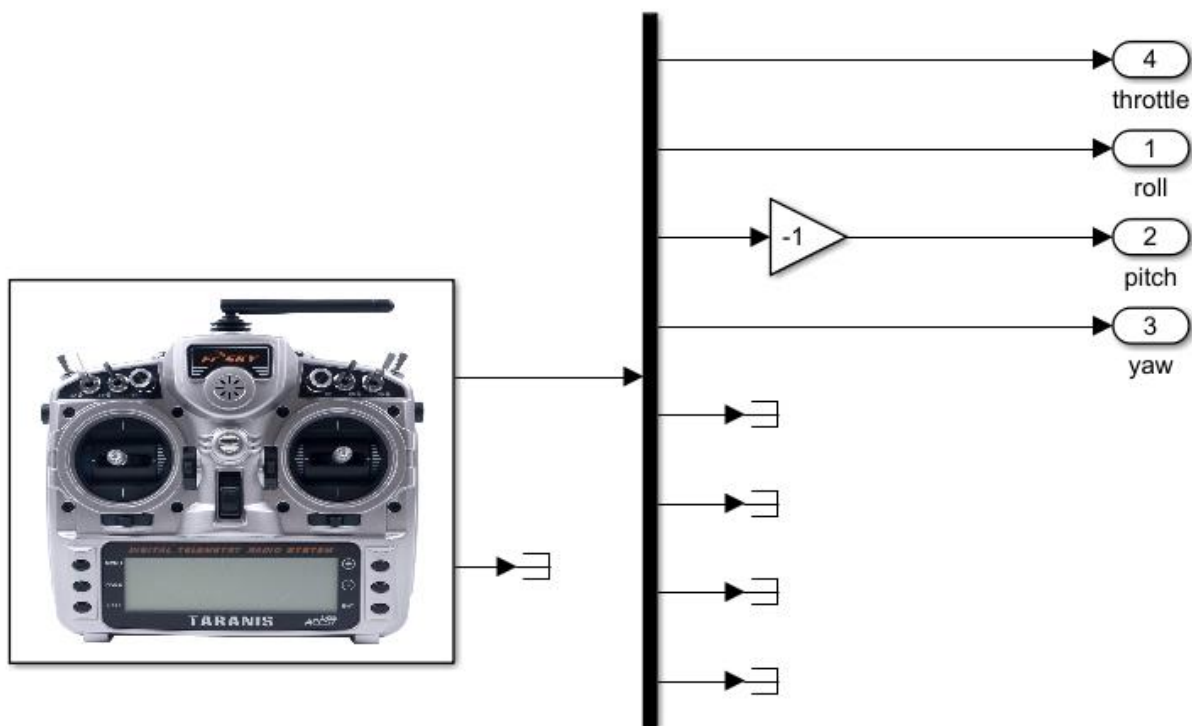


Slika 6.33 - Model letjelice u simulatoru leta

U okviru rada analizirana je dinamička stabilnost i upravljivost letjelice HUSZ Jaeger gdje je zadatak autorice bio odrediti aerodinamičke koeficijente koji su kasnije uspoređivani s podacima iz ovog rada. Proširena je analiza dinamičke stabilnosti i upravljivosti letjelice kako bi se dobila veća razina točnosti, a krajnji rezultat je uvid u moguća poboljšanja letjelice te mogućnost simulacije leta dok je sama letjelica još u proizvodnji. To je omogućilo pilotu letjelice dovoljno vremena za vježbu i upoznavanje letjelice prije samog natjecanja.



Slika 6.34 - Simulator leta



Slika 6.35 - Upravljački blok

7. NATJECANJE

Samo natjecanje sastojalo se od nekoliko faza koje će se u nastavku podijeliti na:

- preliminarni i konačni izvještaj
- prezentacija i tehnički pregled
- letački dio natjecanja

7.1 PRELIMINARNI I KONAČNI IZVJEŠTAJ

Rad na preliminarnom izvještaju započeo je onog trenutka kada se tim natjecatelja okupio i započeo s projektom te je trajao sve do završetka izrade preliminarnog izvještaja koji je u nešto sažetijem obujmu opisao letjelicu s kojom smo se planirali natjecati. On je trebao sadržavati i opisati osnovne ideje te dokaze o početku radova na projektu.

Nakon toga započeo je rad na konačnom izvještaju koji je detaljnije opisao i proračunima, simulacijama i nacrtima potkrijepio osnovne ideje navedene u preliminarnom izvještaju. Dopusnene su manje izmjene, a u osnovi, taj izvještaj je sadržavao uvod, ustroj tima, projektiranje aerodinamike i konstrukcije, predviđene mase tereta te detaljnijih nacrti letjelice.

7.2 PREZENTACIJA I TEHNIČKI PREGLED

Prvi dan natjecanja obuhvatio je pregled letjelica i prezentacije timova. Cilj prezentacije je prikazati iskustvo i znanje stečeno tijekom faza konstruiranja i izrade s publikom. U smislu bodovanja, poseban naglasak su imale sljedeće komponente:

- jasnoća predane informacije
- artikulacija
- stil prezentiranja
- naglašavanje posebnosti letjelice
- poteškoće tijekom rada na letjelici, opisivanje tehnologija i metoda tijekom izrade

Također, unutar prezentacije morao se nalaziti dokaz o mogućnosti leta letjelice, a za prezentaciju je bilo dopušteno maksimalno 15 minuta.

Nakon prezentacija, uslijedio je tehnički pregled letjelica na kojem se provjeravala čvrstoća spojeva i svih komponenti, svi elektronički dijelovi i žice, radio stanica upravljača, čvrstoća teretne kutije te provjera rezervne baterije upravljačkog sustava kako bi letjelica mogla sigurno sletjeti u slučaju otkaza glavnog pogona. Na kraju se provjeravala ispravnost elektromotora i elise te se letjelica ponovno morala smjestiti unutar transportne kutije.



Slika 7.1 - Ekipa HUSZ Jaeger na tehničkom pregledu

7.3 LETAČKI DIO NATJECANJA

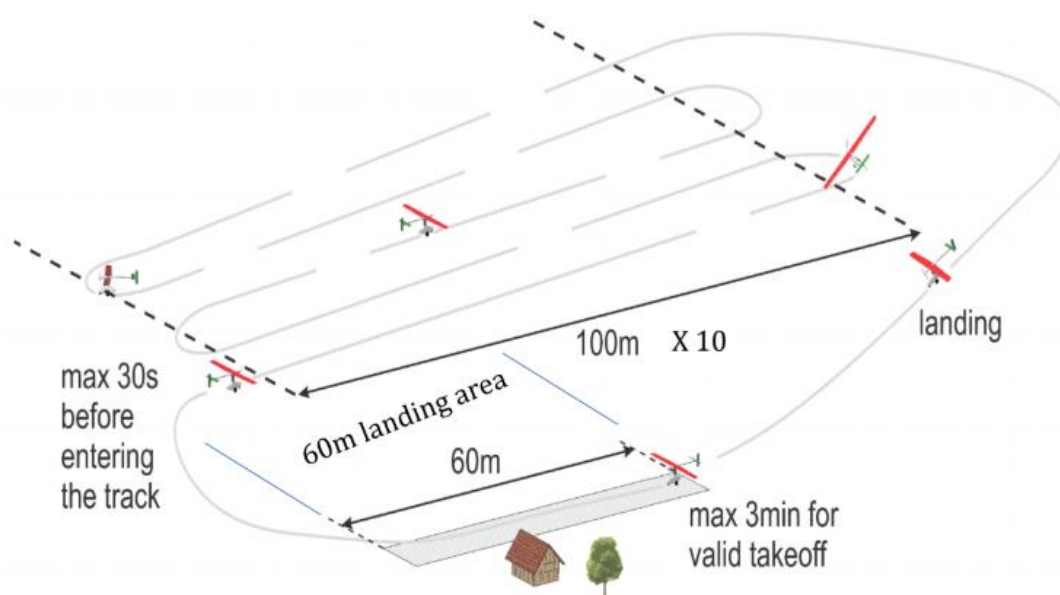
Drugi dan natjecanja označio je početak letačkog dijela. Svaka ekipa imala je na raspolaganju 5 letova od kojih je u konačno bodovanje ulazio samo najbolji let. Dodjeljeni bodovi za let dani su sljedećom jednačinom iz [9]:

$$Ukupni\ bodovi = \left(2000 \cdot \frac{m_{tereta}}{vrijeme\ leta} + a + b + c\right) \cdot d + Vremenski\ bonus$$

Nadalje, dobiveni su dodatni bodovi za uspješno predviđanje mase nošenog tereta te ako se let uspješno završi unutar 120 sekundi.

Prije svakog leta bila je obavezna provjera svih elektroničkih komponenti, provjera sigurnosti spojeva i tereta te statički test gdje je letjelica s teretom bila oslonjena samo u dvije najudaljenije točke na letjelici (vrhovi krila).

Ekipa HUSZ Jaeger uspjela je odraditi tri uspješna leta, dok su druga dva odlučili ne odraditi zbog loših vremenskih uvjeta. Najbolji let donio je timu 215 bodova što je u konačnici bilo dovoljno za osvajanje 14. mjesta u konkurenciji od 30 ekipa.



Slika 7.2 - Obrazac letne faze



Slika 7.3 - Priprema letjelice za let



Slika 7.4 - Ekipa HUSZ Jaeger i letjelica

ZAKLJUČAK

Projekt konceptualnog projektiranja letjelice "HUSZ Jaeger" je uglavnom izrađen po službenoj literaturi za kolegije Osnivanje zrakoplova 1 i Osnivanje zrakoplova 2 ("Roskam J. Airplane design"). Međutim, kako je letjelica "HUSZ Jaeger" letjelica posebne namjene (bespilotna letjelica koja mora ponijeti što veći teret u što kraćem vremenskom periodu na udaljenosti od 1000 m), neke procedure opisane u službenoj literaturi su morale biti promjenjene ili čak zamjenjene nekim novim procedurama. Ta činjenica, odnosno, mala količina literature za projektiranje ovakve vrste letjelica bila je jedan od najvećih izazova prilikom izrade konceptualnog dizajna. Neke probleme smo rješavali uz pomoć studenata koji su već izrađivali letjelicu za ovakav project, neke uz pomoć profesora koji su nas usmjeravali ka modernijim rješenjima za neke procedure, a neke probleme smo riješili smostalno.

Autori ovog rada stekli su neprocjenjivo iskustvo i znanje koje će u budućnosti moći primijeniti na stvarnim, realnim inženjerskim problemima s kojima će se susresti tijekom rada u industriji. Nadalje, nakon ovakvog projekta, moći će pomoći i uputiti mlađe generacije studenata te na taj način proslijediti kulturu i tradiciju osnivanja studentskih projekata.

Uzevši u obzir činjenicu da niti jedan član tima do tada nije imao iskustva na ovakvom ili sličnim natjecanjima te da je većina autora tada bilo na svojoj drugoj godini studija, 14. mjesto odličan je i obećavajuć rezultat za članove Hrvatske udruge studenata zrakoplovstva, Fakultet strojarstva i brodogradnje, ali i za Sveučilište u Zagrebu jer već od prvih godina studija studenti razvijaju praktično znanje i timski rad te prave temelj za ostvarenje budućih tehničkih projekata, a u konačnici, i razvoj nove generacije budućih inženjera zrakoplovstva.

LITERATURA

- [1] Roskam J., *Airplane Design. Part I: Preliminary sizing of airplanes*
- [2] Roskam J., *Airplane Design. Part VI: Preliminary calculation of aerodynamic, thrust and power characteristics*
- [3] Roskam J., *Airplane Design. Part II: Preliminary configuration design and integration of the propulsion systematics*
- [4] Jankovic S., *Flight Mechanics*, Sveucilište u Zagrebu, FSB 2002. (Croatian edition)
- [5] Nicolai L., *Estimating R/C Model Aerodynamics and Performance*, 2009.
- [6] Andrašec, J., Balaško, M., Čulina, J., Knezović, I., Lisjak, N., Pađen, I., Radošević, I. *Projekt letjelice HUSZ Tern*. Zagreb, 2016.
- [7] Barać M.I., *Simulacija leta radio-upravljane letjelice*, FSB, Zagreb, 2019.
- [8] Motor-propeller performance data
<https://www.apcprop.com/technicalinformation/performance-data/>
- [9] *Air Cargo Challenge 2019 Regulations*, Stuttgart, 2018.
- [10] Kesić, P. *Osnove Aerodinamike*. FSB, Zagreb, 2003.
- [11] Barać M., Zubak J., Krišto S., Grlj C.G., Uroda A., Ceilinger P., Tukarić I., Lončarević E., *Osnivanje zrakoplova 2018./2019. Finalni izvještaj*, FSB, Zagreb, 2019.
- [12] <https://abaqus-docs.mit.edu/2017/English/SIMACAEMATRefMap/simamat-c-damageinitfibercomposite.htm>
- [13] Soden, P., Hinton, M. and Kaddour, A: *Lamina properties, lay-up configurations and loading conditions for a range of fibre-reinforced composite laminates*, Composites science and Technology, 1998.
- [14] Karamcheti, Krishnamurty. *Principles of ideal-fluid aerodynamics: Principles of ideal-fluid aerodynamics*. New York [etc.]: Wiley [etc.], 1966.