

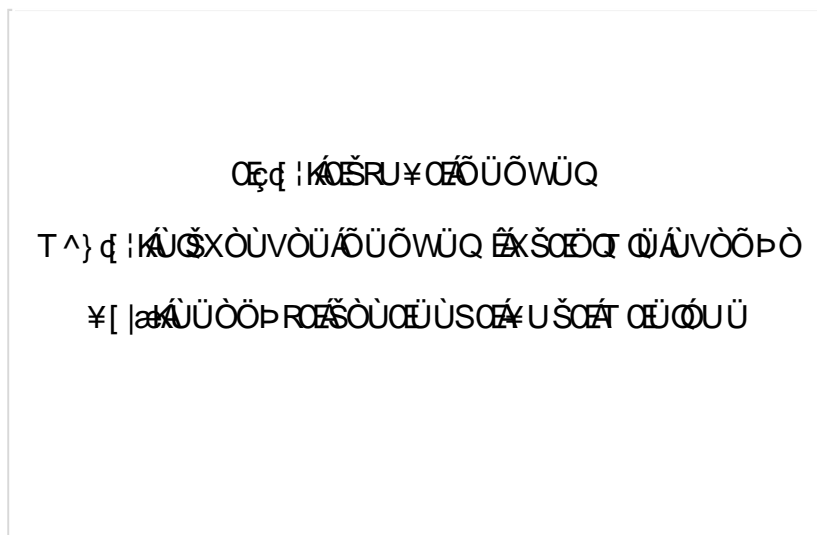
»Mladi za napredek Maribora 2014«

31. Srečanje

VPLIV CNC OBDELAVE IN UPORABE SODOBNIH MATERIALOV NA LETALNE LASTNOSTI JADRALNEGA MODELA LETALA IZ LESA

Raziskovalno področje: Lesarstvo

Raziskovalna naloga



Datum: 13. 2. 2014

1 KAZALA

1.1 Kazalo vsebine

1	KAZALA.....	2
1.1	Kazalo vsebine	2
1.2	Kazalo slik.....	3
1.3	Kazalo tabel.....	5
2	POVZETEK.....	6
3	UVOD	7
3.1	Cilji	7
3.2	Hipoteze.....	7
4	ZGODOVINA KATEGORIJE F5J.....	8
5	PRAVILA KATEGORIJE F5J-400	10
6	OPREMA MODELA	11
7	MATERIALI ZA IZDELAVO MODELA.....	13
7.1	Balza	13
7.2	Karbonska tkanina.....	14
8.1	CNC stroj.....	15
8.2	Laserski CNC stroj.....	16
9	IZDELAVA MODELOV	17
9.1	Osnovne smernice za izdelavo modelov	17
9.2	Izdelava načrtov – projektiranje	18
9.3	Načrt lesenega modela	19
9.4	Načrt kompozitnega modela	20
9.5	Izdelava lesenega modela	24
9.6	Izdelava kompozitnega modela.....	29
9.7	Montaža opreme v trup in končno sestavljanje.....	32
9.8	Stroškovnik pri izdelavi lesenega modela.....	35
9.9	Stroškovnik pri izdelavi kompozitnega modela	36
10	TESTIRANJE MODELOV	37
10.1	Merjenje in izračun skladnosti modelov	37
10.2	Testiranje modelov na vzletišču	37
10.3	Rezultati testiranj.....	39

12	ZAKLJUČEK	42
13	VIRI	44

1.2 Kazalo slik

Slika 1:	Motor SPEED 400 z reduktorjem	9
Slika 2:	Model modelarja iz Ljubljane iz leta 2005.....	9
Slika 3:	Motor tipa 400	11
Slika 4:	Regulator motorja.....	11
Slika 5:	Servomotor za smer in višino	12
Slika 6:	Baterija tipa LiPo, kapacitete 740Mah	12
Slika 7:	RV sprejemnik Hitec Optima 6 2.4GHz	12
Slika 8:	Različni rezi balze	13
Slika 9:	Tekstura balze tipa A.....	13
Slika 10:	Fina karbonska tkanina.....	14
Slika 11:	Kroglično vijačno vreteno in matica	15
Slika 12:	CNC Stroj	15
Slika 13:	Laserski CNC stroj znamke HyperCUT.....	16
Slika 14:	Načrt lesenega modela.....	19
Slika 15:	Načrt kompozitnega modela.....	20
Slika 16:	Prerez krila pri lesenem modelu	21
Slika 17:	Prerez krila pri kompozitnem modelu	22
Slika 18:	Furnir balze	23
Slika 19:	Karbonske letvice	23
Slika 20:	Karbonska tkanina.....	23
Slika 21:	Steklena tkanina	23

Slika 22: Rohacell.....	23
Slika 23: Trikotna letev iz balze	23
Slika 24: Priprava delovne površine	24
Slika 25: Lepljenje reber.....	25
Slika 26: Končan segment krila.....	26
Slika 27: Končani stranski deli (uške) krila.....	26
Slika 28: Izdelava centropšana oz. srednjega segmenta krila	27
Slika 29: Izdelan smerni (vertikalni) stabilizator	27
Slika 30: Izdelan višinski (horizontalni) stabilizator	28
Slika 31: Končani vsi segmenti krila in repne površine	28
Slika 32: Lasersko izrezovanje reber	29
Slika 33: Lepljenje karbonskih letvic na pokončno balzo	29
Slika 34: Lepljenje reber k remenjači	30
Slika 35: Pomerjanje polnila za D-BOX	30
Slika 36: Izrezana steklena tkanina pripravljena na laminiranje na rohacell.....	31
Slika 37: Prekrivanje modela s termo folijo	31
Slika 38: Nosilec motorja	32
Slika 39: Mizica za servomotorje	32
Slika 40: Vgrajen motor Speed 400 v trup modela	32
Slika 41: Urejene povezave krmil pri kompozitnem modelu	33
Slika 42: Urejene povezave krmil pri lesenem modelu	33
Slika 43: Končan lesen model	34
Slika 44: Končan kompozitni model	34
Slika 45: Višinomer	38
Slika 46: Slika modela v letu	43

1.3 Kazalo tabel

Tabela 1: Rezultati testiranja lesenega modela	39
Tabela 2: Rezultati testiranja kompozitnega modela	39
Tabela 3: Graf leta lesenega modela	40
Tabela 4: Graf leta kompozitnega modela	40

2 POVZETEK

Za raziskovalno nalogo iz lesarstva sem se odločil, ker me zanima delo z lesom in letalsko modelarstvo. Odločil sem se, da izdelam dva letalska modela kategorije F5J-400. En model sem izdelal popolnoma iz lesa, drugega pa v kombinaciji lesa in kompozitnih materialov. Ugotavljal sem, ali kompozitni model, ki je tudi dražji, leti bolje od lesenega modela in tudi na kakšno višino se povzpne po 30 sekundah s pomočjo motorja. Ko sem oba modela preizkušal, sem s pomočjo višinomera odčital propadanje modela v letu, s kakšno hitrostjo se vzpenja s pomočjo motorja in koliko višine izgubi po določenem času. V nalogi sem predstavil še zgodovino F5J-400 kategorije na Slovenskem, izdelavo obeh modelov in CNC stroj. Na koncu sem prišel do zanimivih ugotovitev, ki sem jih pridobil s pomočjo raziskovanja in preizkušanja.

3 UVOD

Z radijsko vodenim letalskim modelarstvom se ukvarjam že 7 let, v zadnjih letih pa sem tudi tekmoval v kategoriji F5J (jadralni modeli z elektromotorjem). Ker morajo biti modeli, s katerimi tekmuje v tej kategoriji konkurenčni in v koraku z časom, bom v tej raziskovalni nalogi raziskoval, ali je smotrno modele izdelovati s pomočjo CNC tehnologije in sodobnih materialov kot so ogljikova in steklena vlakna, ali pa je čisto dovolj, če modele izdelujemo ročno in izključno iz lesa.

V zadnjih letih se opaža upad modelarske mladine, saj lahko konkurenčni letalski modeli stanejo tudi do 1000, 2000€. Ker je seveda to za večino mlajših tekmovalcev in za njihove starše prevelik strošek, mladi velikokrat prenehajo z modelarstvom zaradi nekonkurenčnosti modelov in neizkušenosti z večjimi modeli ali pa sploh ne vedo kako začeti, saj nimajo zadostnih finančnih sredstev.

V tej raziskovalni nalogi bom predstavil dva načina gradnje modelov, enega cenejšega in bolj primerne za začetnike, ter drugega bolj primerne za izkušene modelarje in seveda posledično dražjega.

3.1 Cilji

Cilj te raziskovalne naloge je ugotoviti, ali se res splača graditi modele iz najnovejših materialov in ali potem ti modeli res letijo izdatno bolje, da bi se jih splačalo graditi. Uporabljal bom znanja iz lesarstva, pa tudi strojništva, obdelave kompozitnih materialov, elektrotehnike in še kaj. Izdelava modela letala te kategorije zahteva veliko mero potrpežljivosti, različnega znanja oblikovanja materialov in seveda prostega časa. Po končani izdelavi pa sledi tudi poizkus, pri katerem ugotavljam, ali dražji in bolj dovršen model res izgublja manj višine v normalnem letu, kakšna je hitrost vzpenjanja z elektromotorjem in kakšna je odzivnost modela pri samem letenju.

3.2 Hipoteze

- Za izdelavo modela iz kompozitnih materialov je potrebnega več časa in znanja.
- Model iz kompozitnih materialov leti bolje in ima manjše propadanje v letu.
- Popolnoma lesen model je cenejši za izdelavo.

4 ZGODOVINA KATEGORIJE F5J

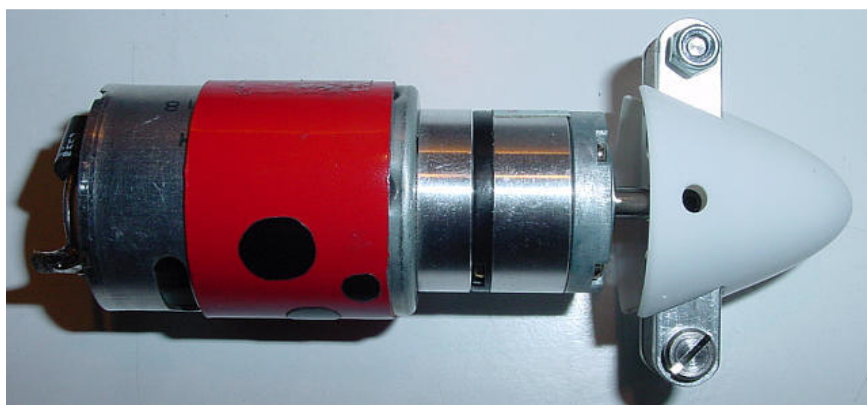
V Sloveniji se je kategorija F5J razvijala že pred letom 2004, ko so modelarji iz različnih klubov po Sloveniji predstavili idejo, da bi imeli skozi celotno leto tekme v okviru slovenskega pokala. Že na začetku so bili pravilniki podobni današnjim, razlika je bila le v tem, da so poleg motorja uporabljali še reduktor, ki je omogočal lažje in hitrejše vzpenjanje modela pri startu. Zaradi reduktorja je bila razlika v nabiranju višine proti današnjim modelom 60-70% večja. Tako se je formirala skupina 30 tekmovalcev, ki so z letom 2005 začeli s slovenskim pokalom. Skozi celotno leto so imeli okoli deset tekem, nekaj tekem pa je bilo tudi v tujini, na Slovaškem in na Madžarskem.

Do leta 2008 so tekmovanja potekala redno, potem pa je kategorija skorajda zamrla, saj se je pojavila nova kategorija z večjimi modeli, ki je bila bolj zanimiva za starejše in bolj izkušene modelarje. To se je zgodilo zato, ker so se na modelarskem trgu pojavili novi akumulatorji tipa LiPo, ki so bili izdatno lažji od NiMH akumulatorjev, ki so jih modelarji uporabljali v svojih modelih. Nove baterije, novi pogoni in uporaba novih materialov so omogočili izdelavo velikih modelov z razponom kril do štirih metrov, ki pa so bili posledično temu tudi nekajkrat dražji, kot manjši modeli s katerimi se je do tedaj tekmovalo. Predvsem mladi modelarji niso želeli prestopiti v novejšo kategorijo zaradi pomanjkanja izkušenj in tudi prevelikega finančnega zalogaja. Za mlajše modelarje so v letu 2008 organizirali tekmovanja v podobni kategoriji, le da so uporabljali brezkrtačne motorje do določene teže in LiPo celice. Poimenovali so jo F5J-400 kategorija. Zaradi nenehnega spreminjanja pravilnikov in s tem tudi motorjev, je zanimanje za t.i. manjšo F5J kategorijo popolnoma izginilo v letu 2010. V naslednjih letih so modelarji tekmovali samo z večjimi modeli. Zaradi precejšnjega zanimanja so modelarji iz Slovenije in tudi drugih držav strmeli k temu, da bi se F5J kategorija pridružila mednarodni letalski zvezi FAI.

Z letom 2012 se je zanimanje za kategorijo F5J-400 spet pojavilo pri modelarjih iz Litije, ki so s pomočjo še nekaterih starejših modelarjev, ki so že na začetku tekmovali v tej kategoriji, organizirali srečanja oz. manjša tekmovanja na tamkajšnjem modelarskem letališču. Udeležba je bila zadovoljiva in sklenili so, da zopet obudijo kategorijo, vendar tako, da bodo postavili pravilnik, ki bo enostaven in se ga ne bo spreminjalo vsako leto. Tako so lahko tudi mlajši modelarji spet tekmovali, saj je bila ta kategorija kot nalašč za uvod v bolj zahtevne kategorije letalskega modelarstva. Modelarji iz Litije so se povezali s hrvaškimi modelarji, pri katerih je

bila ta kategorija vedno popularna in jih povabili, da bi skupaj organizirali ciklus tekmovanj v obeh državah.

Z letom 2013 so modelarji začeli z organiziranjem slovensko-hrvaškega pokala, ki se je odvijal v obeh državah skozi vso leto. Kategorija je privabila več kot 35 tekmovalcev iz obeh držav, ki so se srečevali na tekmah na Ptuj, v Litiji, Domžalah, Zaprešiču, Osijeku in v ostalih mestih obeh držav, kjer je bila kategorija razvita. Zadnja tekma za pokal v letu 2013 se je odvijala v Litiji, kjer so tudi podelili nagrade skupnim zmagovalcem.



Slika 1: Motor SPEED 400 z reduktorjem (Vir: modelarji.com, 15. 12. 2013)



Slika 2: Model modelarja iz Ljubljane iz leta 2005. (Vir: modelarji.com, 15. 12. 2013)

5 PRAVILA KATEGORIJE F5J-400

- Minimalna teža modela 350g.
- Minimalna krilna obremenitev $12\text{g}/\text{dm}^2$.
- Maksimalno 2 servo motorja (smer, višina).
- Motor tipa SPEED 400 6V, brez feritnega obroča, brez modifikacij.
- Elisa velikosti 6x3".
- Premer nosa trupa modela 30mm.
- Uporaba reduktorja je prepovedana.
- Pristanek se točkuje s točkami od 100 do 0, kjer je 1m odstopanja od točke minus 5 točk.
- Delovni čas motorja 30 sekund.
- Skupen delovni čas enega turnusa 10 minut.
- Pristanki izven predpisanega delovnega časa se kaznujejo z neveljavnim poskusom.
- Na tekmovanju se leti 7 turnusov po 10 minut.

6 OPREMA MODELA

Oprema v letalskih modelih kategorije F5J ne igra ključne vloge pri izdelavi in na tekmovanjih. To je zelo dobrodošlo, saj modelarji več časa namenijo konstrukciji in izdelavi samega letala in ne toliko izbiri opreme. Vsi modeli morajo biti opremljeni enako, da ne pride do prevelikih odstopanj v vzpenjanju modela na tekmovanjih. Ker so pobudniki te kategorije želeli, da bi lahko v tej kategoriji tekmovali tudi začetniki, so v pravilniku predpisali takšne motorje, ki nimajo velike moči in so zelo poceni. Poleg motorja moramo v model vgraditi še regulator vrtljajev, s katerim prilagajamo moč motorja, servomotorja, ki premikata krmilne površine na modelu in baterijo, ki daje vsem komponentam potrebno energijo.



Slika 3: Motor tipa 400 (Vir: ruberkon.com, 5. 1. 2014)



Slika 4: Regulator motorja (Vir: rcuniverse.com, 5. 1. 2014)



Slika 5: Servomotor za smer in višino (Vir: servocity.com, 5. 1. 2014)



Slika 6: Baterija tipa LiPo, kapacitete 740MAh (Vir: der-schweighofer.at, 5. 1. 2014)



Slika 7: RV sprejemnik Hitec Optima 6 2.4GHz (asaceletricas.com, 5. 1. 2014)

7 MATERIALI ZA IZDELAVO MODELA

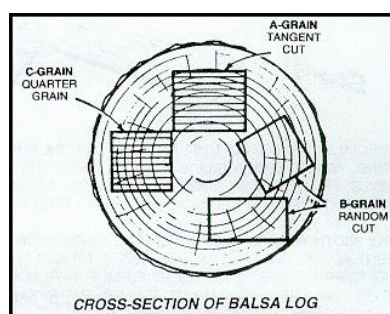
Pri izdelavi modela uporabljamo veliko različnih materialov. Primaren material je vsekakor les balze. Pri sodobnejšem modelu se v veliki meri uporablja tudi z epoksidno smolo laminirana karbonska tkanina, ki daje krilu in trupu letala dodatno trdnost. Edina slabost karbonske tkanine je v tem, da v kombinaciji z epoksidnimi smolami škodi zdravju, če vdihavamo njen prah pri brušenju, saj je lahko rakotvorna in škodi našim dihalom. Pri delu z njo moramo obvezno nositi masko, ki zaščiti naša dihala. Poleg teh dveh materialov se uporablja še rohacell, ki ga uporabljamo za izdelavo repnih površin modela, vitroplast, s katerega izdelamo krmilne ročice in zaščitno steno elektromotorja in kevlarsko vrstico, s katero še dodatno utrdimo remenjačo, oziroma nosilni del krila.

7.1 Balza

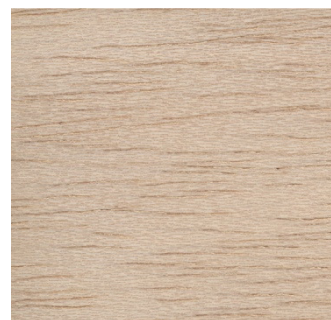
Balza je les, ki je najbolj znan po tem, da ima zelo nizko (najnižjo) gostoto. Zaradi zelo dobre plovnosti so jo v preteklosti uporabljali za izdelavo boj in rešilnih obročev. Uporabljajo jo tudi v letalski industriji, in sicer za izdelavo predelnih sten v nekaterih potniških letalih.

V modelarstvu je zaradi nizke gostote in dobrih mehanskih lastnosti priljubljen konstrukcijski material za izdelavo modelov letal in čolnov. Uporablja se v obliki furnirja, debelega od 0,8 pa do 10mm. Pri izbiri in nakupu furnirja balze moramo biti pozorni predvsem na to, kako je bil furnir rezan, saj to potem določa trdoto lesa. Poznamo:

- A-grain balzo, ki je najlažja, lahko jo najboljše oblikujemo, upogibamo.
- B-grain balzo, ki je kombinacija obeh drugih tipov.
- C-grain balzo, ki je najtežja, vendar najtrša (vidni prerezani parenhimski trakovi).



Slika 8: Različni rezi balze
(Vir: modelarji.com, 13. 1. 2014)



Slika 9: Tekstura balze tipa A
(Vir: airfieldmodels.com, 13. 1. 2014)

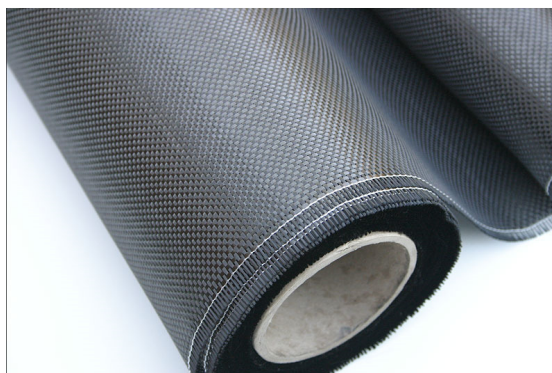
7.2 Karbonska tkanina

Karbonska tkanina je sestavljena iz ogljikovih vlaken, ki so prepletena v platno. Uvrščamo jo v skupino kompozitnih materialov, saj ji moramo dodati dodatna polnila oziroma smole, da dobimo končni produkt. Ima zelo dobre mehanske lastnosti, saj je zelo trdna, odporna je na različne obremenitve ter obrabo in lahko jo oblikujemo v poljubne oblike s pomočjo epoksidnih smol. Velikokrat je predstavljena kot kompozit prihodnosti, saj ima boljše lastnosti kot drugi materiali na tržišču, vendar pa je v tem trenutku uporaba zelo omejena zaradi visoke cene materiala. Potreba po ogljikovih vlaknih v industriji je vedno večja, zato se večja tudi karbonska industrija, ki predeluje in izdeluje vlakna v polizdelke in izdelke.

Pri pridobivanju karbonskih vlaken se uporabljata dva postopka, in sicer postopek PITCH in PAN (poliakrilonitril). Pri prvem postopku je končni produkt slabši, saj so mehanske lastnosti slabe, vlakna so težja in zato se ne uporabljajo v konstrukcijah, ki so kritično obremenjene. Pri postopku PAN imajo vlakna izredne mehanske lastnosti, so lažja in imajo daljšo življenjsko dobo. Ta vlakna so tudi najbolj razširjena po svetu. Letno se po celem svetu proizvede približno 4.67 milijonov ton poliakrilonitrila, od tega se približno 60% porabi za izdelavo akrilnih vlaken.

Pri izdelavi PAN vlaken so značilne 4 faze izdelave:

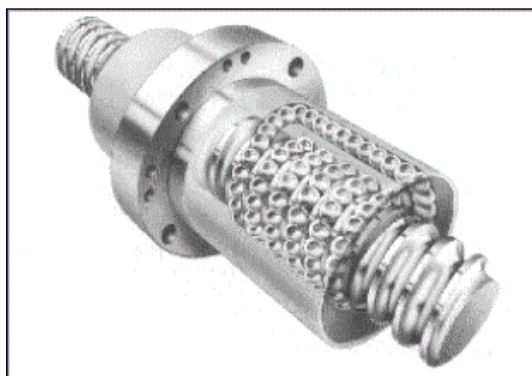
- **oksidacija** (vlakna se segreje na 300°C).
- **karbonizacija** (vlakna se segreje na 3000°C, poliakrilonitril se spremeni v ogljik).
- **obdelava površin** (oblikujejo se vezi na površini vlaken, da se zagotovi ustrezna kohezija med vlaknom in smolo pri nadaljnji obdelavi).
- **izdelava v ustreznih merah** (karbonska vlakna se v končni fazi oblikuje glede na uporabo ter prevleče z različnimi smolami, najpogosteje z epoksi smolo).



Slika 10: Fina karbonska tkanina (Vir: carbonfibergear.com, 15. 1. 2014)

8.1 CNC stroj

CNC (Control numerical computer) stroj je sestavljen iz dveh delov: stroja, na katerem se izvaja obdelava delov in CNC krmilnika, ki to obdelavo krmili. CNC program, ki vsebuje natančen popis poteka obdelave na stroju, predstavlja vhodne informacije, ki jih CNC krmilnik potrebuje za krmiljenje obdelave. Je neke vrste avtomatski stroj, ki ga lahko prosto programiramo. Je zelo fleksibilen, saj ga je možno hitro preurediti in zamenjati program. Zato je primeren za malo- ali srednjeseerijske proizvodnje. Največja prednost CNC stroja pa je seveda v tem, da je vsa obdelava, ki jo izvajamo na stroju, do tisočinke milimetra natančna. Novejši CNC stroji imajo tudi veliko dodatkov, npr. stroj si lahko avtomatsko izbira orodja za obdelavo, večina novejših strojev ima kroglično vijačno vreteno, ki omogoča manj trenja pri mehanskih delih stroja, pri določenih strojih lahko dodamo tudi eno os, tako da nam CNC potem omogoča obdelavo po štirih oseh. (Vir: <http://www2.sts.si/arhiv/cncpro/mehanski.htm>)



Slika 11: Kroglično vijačno vreteno in matica (Vir: <http://www2.sts.si/arhiv/cncpro/cncstr.htm>, 15. 1. 2014)



Slika 12: CNC Stroj (Vir: <http://alt.machines-for-wood.com/en/Fweeke.html>, 15. 1. 2014)

8.2 Laserski CNC stroj

Ker so bili materiali, ki sem jih moral izdelati s pomočjo CNC stroja pri svojem projektu razmeroma tanki (rebra za krilo), sem lahko vse potrebne dele za izdelavo izrezal s pomočjo laserskega CNC stroja. Stroj deluje po enakem principu kot drugi CNC stroji, vendar je namesto rezalnega orodja v stroju nameščen močan laserski žarek, ki s pomočjo stekla pridobi na moči in tako reže oziroma gravira material. Pri delu moramo nositi zaščitna očala, saj nam lahko močan žarek močno poškoduje vid. Delo na tem stroju poteka tako, da si načrt oz. program predhodno pripravimo v računalniškem programu CorelDRAW. Potem ta program skopiramo na računalnik povezan s strojem, od tam pa ga samo vnesemo v stroj. Predhodno moramo na stroju nastaviti moč, saj hočemo da je optimalna, saj nam lahko stroj material preveč žge, ali pa ga sploh ne prereže po celotni debelini.



Slika 13: Laserski CNC stroj znamke HyperCUT (Vir: hypercut.si, 18. 1. 2014)

9 IZDELAVA MODELOV

9.1 Osnovne smernice za izdelavo modelov

Pred izdelavo modelov sem se odločil za naslednje smernice:

A) Skupne smernice:

- oba modela imata enake dimenzije kril in krmilnih površin,
- oba modela imata enak profil krila,
- oba modela imata enak kupljen trup izdelan iz steklenih vlaken in kevlarske tkanine - takšni trupi so na tržišču že skoraj 10 let in so cenovno zelo ugodni,
- oba modela imata povsem enako elektroniko (motor, servo motorji, regulator, elisa).

B) Smernice pri izdelavi lesenega modela:

- krilo se izdelava v celoti iz lesa (balza, smrekove letvice) in se prekrije s termo folijo,
- repne površine se izdelajo v celoti iz lesa (balza) in se prekrijejo s termo folijo,
- krmilne povezave se izvedejo z jekleno žico v PVC cevi (bovdnu).

C) Smernice pri izdelavi delno kompozitnega modela:

- krilo se izdelava delno iz lesa (balza) – zadnji del, delno pa iz karbonskih vlaken (prednji del krila – imenovan D-BOX) in karbonskih palčk (zadnja zaključna letev). Glavni nosilec krila se izdelava iz pokončne balze, ki se spodaj in zgoraj ojača s karbonsko letvico in vse skupaj poveže še s kevlarsko vrvico. Krilo se prekrije s termo folijo,
- repne površine se izdelajo iz rohacella in se ojačajo s steklenimi vlakni, krmilne površine se nežno pobarvajo z barvo na vodni osnovi zaradi boljše vidljivosti v zraku,
- krmilne povezave se izvedejo s pomočjo vzmeti in kevlarske vrvice.

9.2 Izdelava načrtov – projektiranje

Načrta obeh letal sem izdelal s pomočjo programa AutoCad 2013. Razpon krila je 2 metra. Krilo ima dvakratni vlom (11 in 9 stopinj) in se sestavi iz petih delov (centroplan in dvakrat dvojna uška). Pri projektiranju krila je potrebno paziti na samo površino le-tega, da bi na koncu presegli predpisano minimalno obremenitev krila.

Za profil krila sem izbral profil oznake HN 1033A, ki ga večina samograditeljev in poznavalcev priporoča kot najbolj primerne za to kategorijo letal. Tudi sam sem ga uporabil pri številnih modelih lastne izdelave, saj se je izkazal za zelo vsestranski profil.

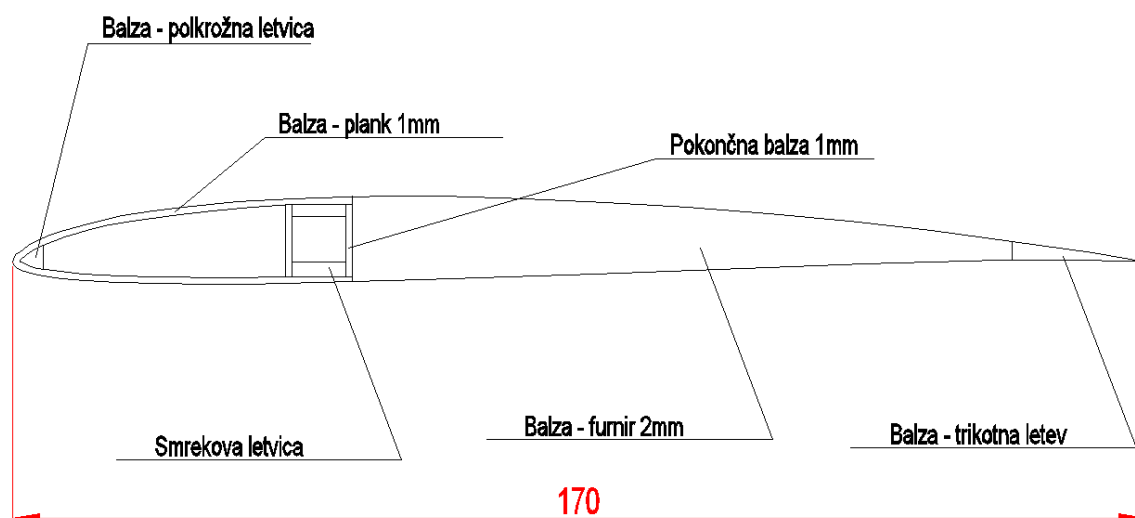
Načrti reber se izdelajo s pomočjo programa PROFILI V2. V program vnesemo naslednje podatke:

- izbrani profil reber,
- dolžina segmenta krila (npr. centroplana),
- širina krila na začetku in na koncu segmenta,
- razdalja med posameznimi rebri,
- velikost (širina) zadnje zaključne letvice,
- položaj in velikost glavnega nosilca krila (remenjača),
- debelina in položaj »planka« oz. pokrivanja prednjega dela krila.

Po vnosu navedenih podatkov nam program izriše rebra po posameznih segmentih krila. Te izrise uporabimo pri ročnem izrezu reber, lahko pa podatke uvozimo v program za izrez na CNC laserskem stroju.

Krmilne površine sem narisal v programu AutoCad 2013 na osnovi priporočljivih površin, samo obliko pa sem si zamislil sam. Repne površine za lesen model so projektirane za izdelavo iz balznih letvic, za kompozitni model pa so polne in enakih dimenzij, kot pri lesenem modelu.

Prerez in sestava krila pri lesenem modelu.



Slika 16: Prerez krila pri lesenem modelu

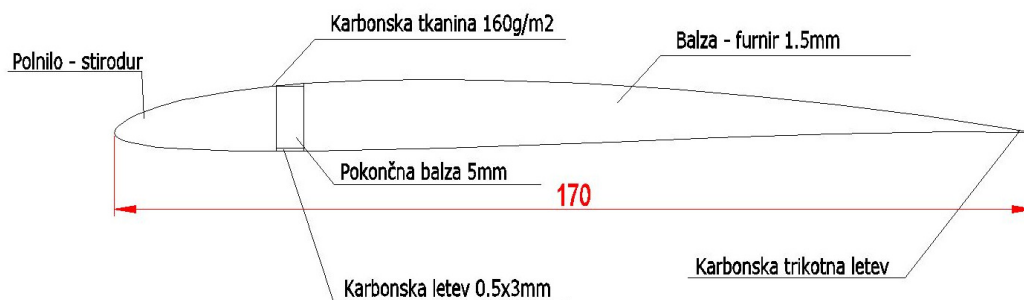
Pri izdelavi lesenega krila se uporabijo naslednji materiali:

- smrekova letvica dim. (ŠxVxD) 8x2x1000mm za glavni nosilec krila 4 kom
- srednje trda balza dim. 100x2x1000mm za izdelavo reber 2 kom
- polkrožna trda balza dim. 8x6x1000mm za prednji (nosni del) krila 4 kom
- mehka balza dim. 100x1x1000mm za pokrivanje prednjega dela 2 kom
- mehka balza dim. 100x0,5x1000m za vertikalno ojačitev glavnega nosilca krila 1 kom
- trikotna letev iz srednje mehke balze dim. 25x5x1000mm za zaključno letev 2 kom

Pri izdelavi repnih površin pri lesenem modelu se uporabijo naslednji materiali:

- srednje trda balza dim. 100x5x500mm za izdelavo višinskega krila 1 kom
- mehka balza dim. 100x5x500mm za izdelavo smernega krila 1 kom

Prerez in sestava krila pri kompozitnem modelu.



Slika 17: Prerez krila pri kompozitnem modelu

Pri izdelavi kompozitnega krila se uporabijo naslednji materiali:

- balza dim. (ŠxVxD) 100x56x1000mm za glavni nosilec krila 2 kom
- srednje trda balza dim. 100x2x1000mm za izdelavo zadnjega dela reber 2 kom
- karbonska letvica dim. 5x1x1000mm za ojačitev glavnega nosilca krila 4 kom
- karbonska letvica dim. 5x1x1000mm kot zaključna letev krila 2 kom
- stirodur dim. 100x15x1000mm kot polnilo pri prednjem delu krila (D-BOX) 2 kom
- karbonska tkanina 80g dim. 500x1000mm za prednji del krila (D-BOX) 1 kom
- kevlarska vrvica deb. 0,5 mm za ojačitev glavnega nosilca krila 10 m
- karbonska vlakna za izdelavo trakov dim. 2x0,1x15mm za prekrivanje reber in povezavo le-teh s prednjim delom 15 m
- epoksi smola s trdilcem 1 kg

Pri izdelavi repnih površin pri kompozitnem modelu se uporabijo naslednji materiali:

- rohacell dim. 150x5x500mm za izdelavo višinskega krmila 1 kom
- rohacell dim. 150x5x300mm za izdelavo smernega krmila 1 kom
- steklena tkanina 25g dim. 500x1000mm za prevleko krmilnih površin 1 kom



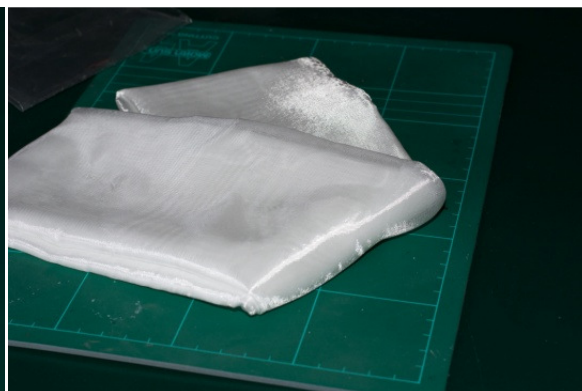
Slika 18: Furnir balze



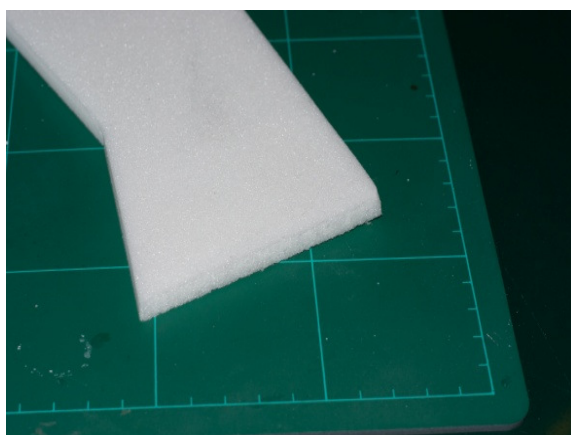
Slika 19: Karbonske letvice



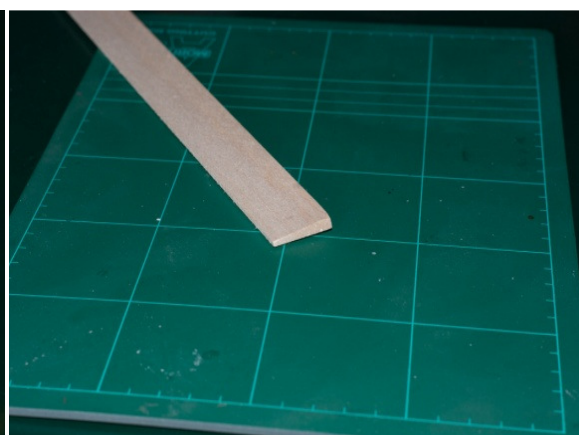
Slika 20: Karbonska tkanina



Slika 21: Steklena tkanina



Slika 22: Rohacell



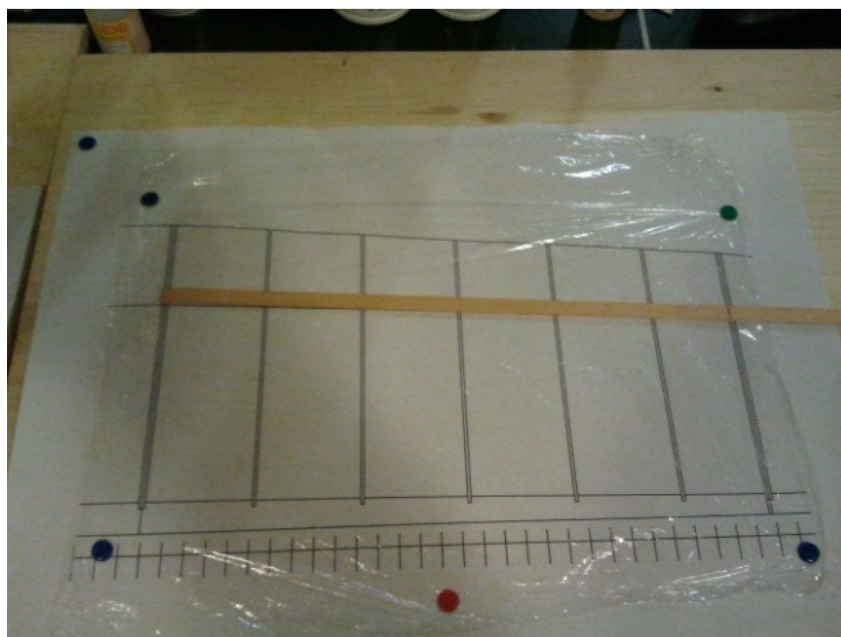
Slika 23: Trikotna letev iz balze

9.5 Izdelava lesenega modela

Najprej sem se lotil izdelave krila modela. Krilo je sestavljeno iz petih segmentov – sredinskega dela (centroplan) in dveh stranski delov na vsaki strani (uške). Tako po segmentih ga tudi izdelamo.

Načrt reber, ki smo ga dobili s programom Profili V2 s pomočjo indiga skopiramo na balzo debeline 2 mm. Rebra v grobem izrežemo z lok žagico oz. z modelarskim nožem. Potem jih obdelamo ročno z brusnim papirjem ali na brusnem stroju. Posebej pazljivi moramo biti pri vseh utorih, da pozneje pri sestavljanju nimamo težav.

Pred sestavljanjem si pripravimo montirno desko (smrekova deska debeline 2 cm) na katero pričvrstimo načrt posameznega segmenta krila, le-tega pa še prekrijemo s folijo za živila.



Slika 24: Priprava delovne površine

Pripravimo si tudi zaključno trikotno letev in prednjo polkrožno letev – odrežemo ju na pravo dolžino in s pomočjo načrta na montirni deski označimo vse utore in jih izrežemo.

Sestavljanje začnemo tako, da najprej pričvrstimo spodnjo smrekovo letvico, zaključno trikotno letev in prednjo polkrožno letev. Potem začnemo z lepljenjem posameznih reber. Lepimo z belim mizarskim (PVAC) lepilom.



Slika 25: Lepljenje reber

Posebej moramo biti pozorni pri prvem in zadnjem rebri v segmentu krila, saj ju moramo vlepiti pod kotom zaradi vloma krila.

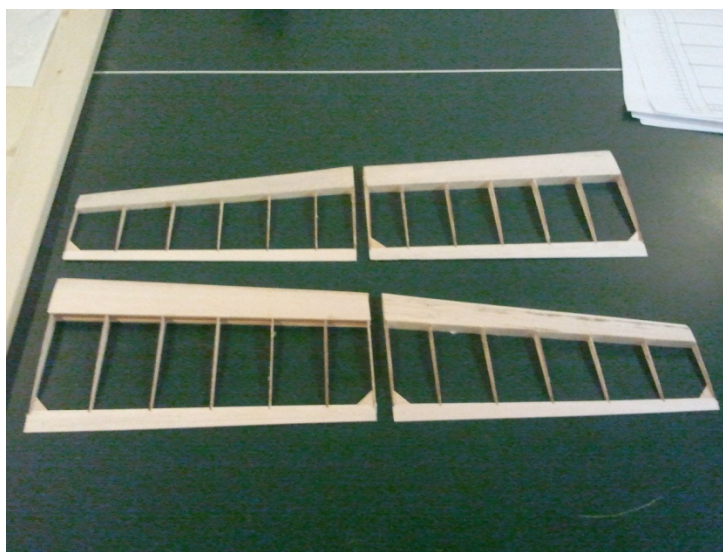
Ko zalepimo vsa rebra, zalepimo še zgornjo smrekovo letev kot glavni nosilec.

Med rebra potem vertikalno na smrekovi letvi zalepimo še ojačitev glavnega nosilca iz 1 mm balze. Nastalo konstrukcijo pregledamo, po potrebi pobrusimo odvečno lepilo in zalepimo še prevleko (plank) iz 1mm balzinega furnirja.



Slika 26: Končan segment krila

Ko izdelamo vse štiri segmente stranskih delov krila, jih po potrebi pobrusimo, da ustrezajo izbranemu profilu in dobimo segmente pripravljene za sestavljanje stranskih delov krila.



Slika 27: Končani stranski deli (uške) krila

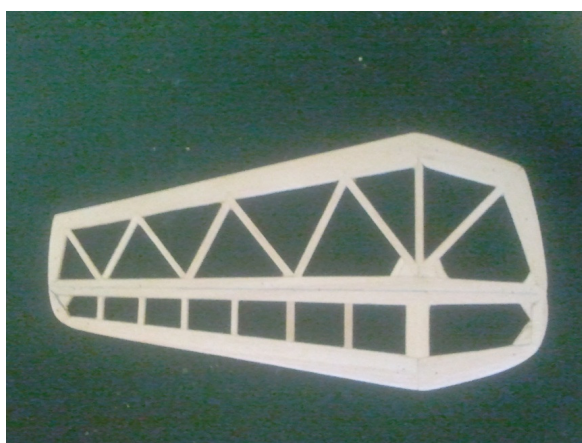
Na enak način kot stranske dele krila, izdelamo tudi centroplan. Pri tem moramo v sredino vlepiti še ojačitev iz javorjevega lesa, kjer se bodo nahajale luknje za pritrjevanje krila na trup letala.



Slika 28: Izdelava centropлана oz. srednjega segmenta krila

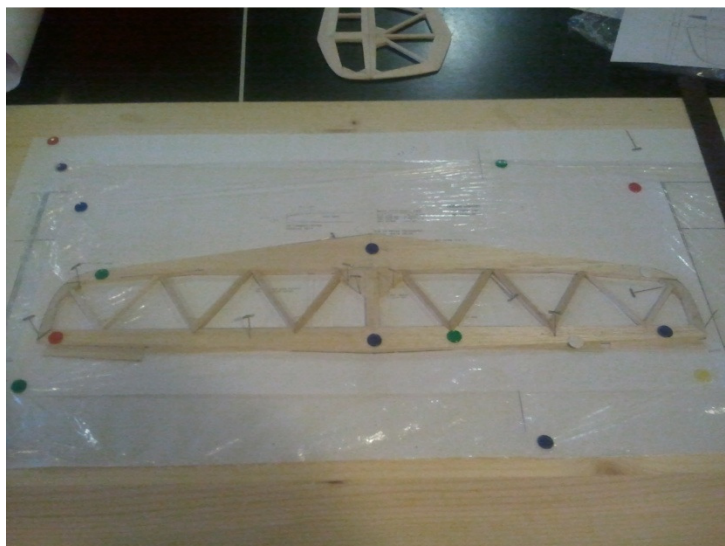
Ko imamo izdelane in pripravljene vse segmente krila, jih na pripravljene površini sestavimo pod potrebnimi koti in zalepimo z mizarskim lepilom.

Horizontalni in vertikalni stabilizator izdelamo enako kot krilo na montirni deski. Smerni stabilizator izdelamo iz 5mm debele balze, iz katere izrežemo načrtu primerne široke letvice. Ko imamo smerno krmilo izdelano, ga pobrusimo, da dobimo želeni profil. Na koncu vlepimo še povezovalni element iz vitroplasta.



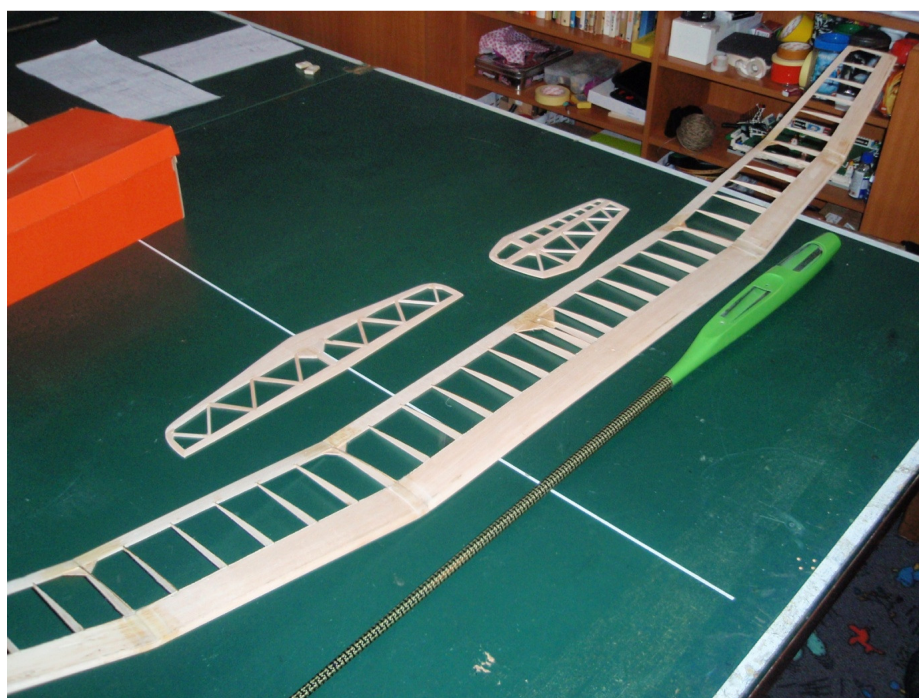
Slika 29: Izdelan smerni (vertikalni) stabilizator

Višinsko krmilo izdelamo iz 5mm debele balze na enak način, kot smerno krmilo. Na koncu ga pobrusimo na želeni profil. Na spodnji strani mu prilepimo in pričvrstimo še element z osjo, preko katerega pričvrstimo na trup.



Slika 30: Izdelan višinski (horizontalni) stabilizator

Tako imamo izdelane vse elemente za leseni model.



Slika 31: Končani vsi segmenti krila in repne površine

Krilo in krmilne površine na koncu pokrijemo s termo folijo, s pomočjo likalnika.

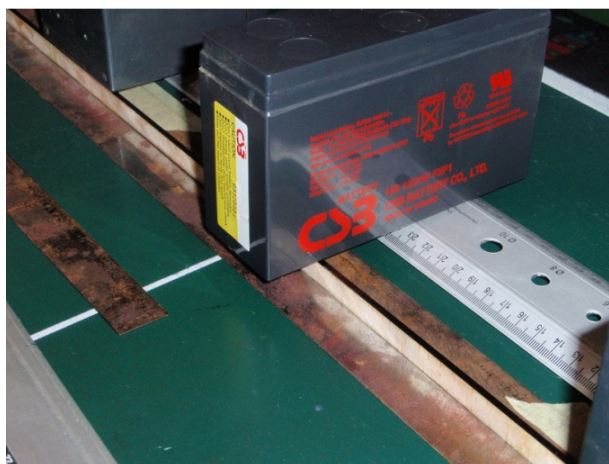
9.6 Izdelava kompozitnega modela

Izdelavo kompozitnega modela začnemo na CNC laserskem stroju, s pomočjo katerega izrežemo glavni nosilec krila iz 5mm balze in rebra za krilo iz 1,5mm balze.



Slika 32: Lasersko izrezovanje reber

Glavni nosilec krila (remenjačo), ki je tudi iz petih segmentov potem ojačamo z karbonsko letvico debeline 0,5mm. Balzo in karbonsko letvico zlepimo z epoksi smolo. To lepljenje zahteva več časa, saj se epoksi suši najmanj 24 ur.



Slika 33: Lepljenje karbonskih letvic na pokončno balzo

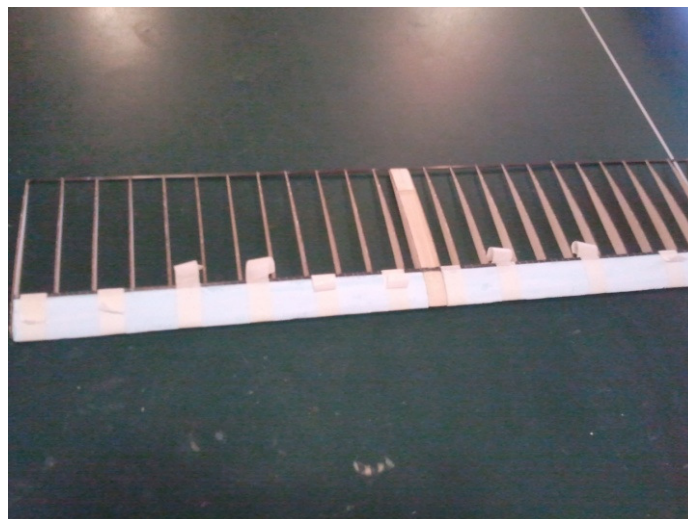
Posamezne segmente krila – zadnji del od glavnega nosilca do zaključne letvice izdelamo na enak način kot smo izdelovali segmente pri lesenem modelu: na načrt pričvrstimo glavni nosilec in karbonsko zaključno letev, med le-te pa potem s sekundnim lepilom vlepimo rebra.



Slika 34: Lepljenje reber k remenjači

Glavni nosilec ojačamo še s kevlarsko vrvico, ki jo ovijemo okoli nosilca.

Prednji del krila (polnilo) izdelamo iz stirodurja ali rohacella, ki ga pobrusimo, da dobimo ustrežni profil in ga prilepimo h glavnemu nosilcu.



Slika 35: Pomerjanje polnila za D-BOX

Čez glaven nosilec in polnilo zalepimo karbonsko tkanino, ki jo predhodno obdelamo z epoksi smolo, da dobimo tako imenovani D-BOX. Ko imamo končane vse segmente krila jih sestavimo in zalepimo, da dobimo celotno krilo.

Horizontalni in vertikalni stabilizator pri tem modelu izdelamo iz rohacella debeline 5 mm. Površine so iz enega dela – »polne«. Po izrezu površine pobrusimo do želenih profilov in jih prekrijemo s stekleno tkanino in epoksi smolo.



Slika 36: Izrezana steklena tkanina pripravljena za laminiranje na rohacell

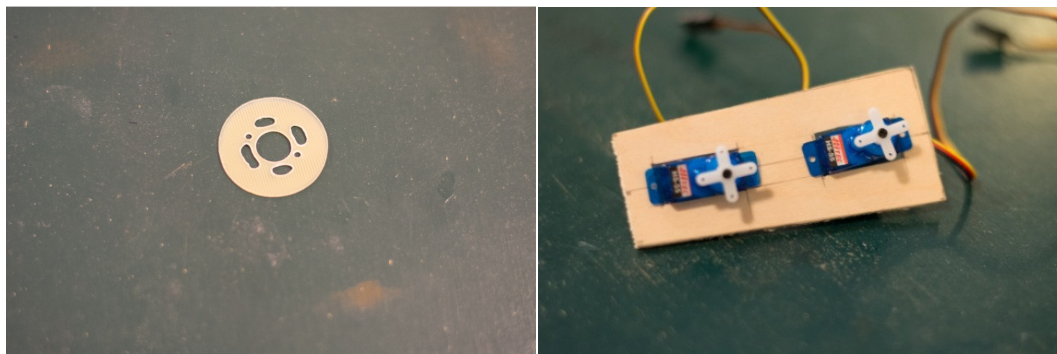
Po sušenju površine še fino pobrusimo in izrežemo potrebne utore, da dobimo gibljivost krmilnih površin. Vlepimo še povezovalne elemente iz vitroplasta. Krmilne površine narahlo pobarvamo z živimi barvami zaradi boljše vidljivosti v fazi letenja. Pri tem modelu prekrijemo s termo folijo samo krilo.



Slika 37: Prekrivanje modela s termo folijo

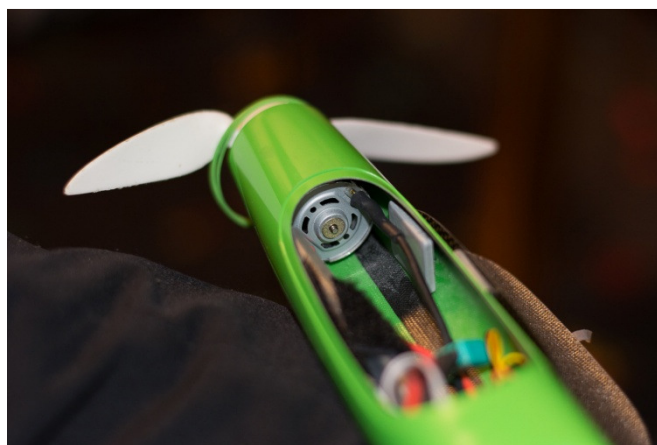
9.7 Montaža opreme v trup in končno sestavljanje

Pri obeh modelih vgradimo na isti način motor, regulator vrtljajev in servomotorje. Motor pričvrstimo na model s pomočjo elementa iz vitroplasta, ki ga zalepimo v trup, servomotorje pa montiramo s pomočjo mizice iz vezane plošče.



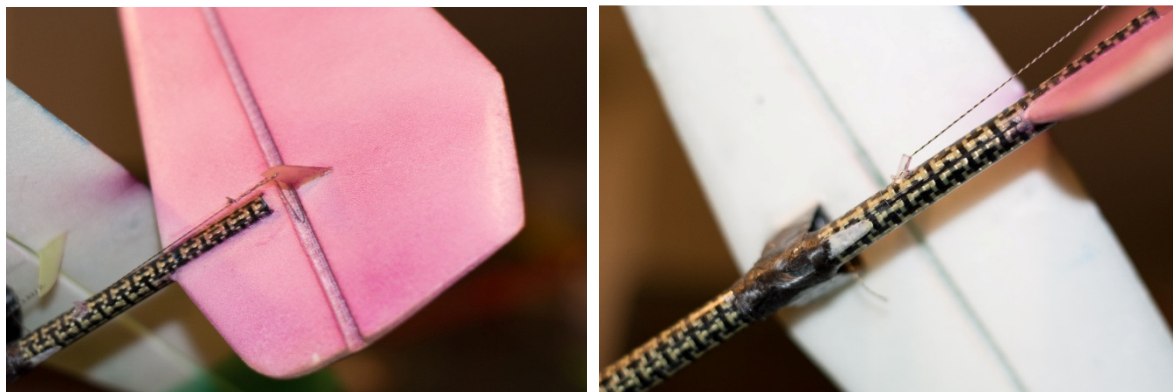
Slika 38: Nosilec motorja

Slika 39: Mizica za servomotorje

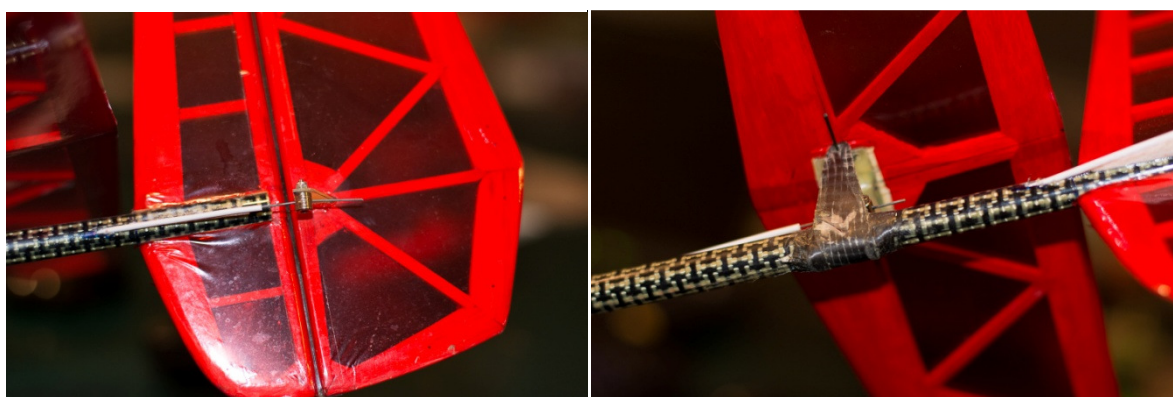


Slika 40: Vgrajen motor Speed 400 v trup modela

Montaža smernega krila je zelo podobna pri obeh modelih: palčko trupa izrežemo in vanjo zalepimo prednji del krmila. V smerno krilo iz rohacella predhodno vgradimo vzmet, s pomočjo katere se bo model krmilil po smeri. Pri lesenem smernem krilu naredimo povezavo z jekleno žico. Enako naredimo z višinskim krilom.



Slika 41: Urejene povezave krmil pri kompozitnem modelu



Slika 42: Urejene povezave krmil pri lesenem modelu

Ko izdelamo vse povezave krmil, nam ostane še barvanje repnih površin. Potem lahko popravimo manjše vizualne napake, ki so nastale med obdelavo, priporočljivo je pregledati krilo, saj smo lahko spregledali kakšno napako, ki bi lahko bila nevarna pri letu. Na koncu lahko še enkrat z vročino obdelamo termo folijo, da se še enkrat napne in tako omogoči še boljši profil po celotni površini krila. Modela tudi stehtamo in jima določimo težišče, ki je približno pri 1/3 krila, merjeno od prednjega roba krila.

Tako je izdelava modelov končana.



Slika 43: Končan lesen model



Slika 44: Končan kompozitni model

9.8 Stroškovnik pri izdelavi lesenega modela

1. Smrekova letvica dim. 8x2x1000 mm	4 kom	2,00 €
2. Srednje trda balza dim. 100x2x1000 mm	3 kom	3,90 €
3. Polkrožna trda balza dim. 8x6x1000 mm	2 kom	1,40 €
4. Trikotna letev dim. 25x5x1000 mm	2 kom	5,00 €
5. Mehka balza dim. 100x0,5x1000 mm	5 kom	5,00 €
6. Mehka balza dim. 100x1x1000 mm	1 kom	1,00 €
7. Srednje trda balza dim. 100x5x1000 mm	1 kom	1,70 €
8. Vitroplast plošča dim. 100x2x100 mm	1 kom	6,50 €
9. Jeklena žica deb. 0,8 mm x 1200 mm	2 kom	0,50 €
10. PVC vijak fi 4mm s PVC matico	2 kom	1,50 €
11. Termo folija ORALIGHT dim 500x2000 mm	1 kom	20,00 €
12. Trup letala	1 kom	25,00 €
13. Motor Speed 400	1 kom	7,90 €
14. Servo motor Hitec HS-55	2 kom	23,00 €
15. Regulator motorja	1 kom	12,00 €
16. Baterija LiPo 740mAh	1 kom	12,00 €
17. Elisa s spinnerjem	1 kom	13,50 €
18. Razni drobni material (vezana plošča, javor,...)		8,00 €
19. Razna lepila in mase		5,00 €
Skupaj:		154,90 €

9.9 Stroškovnik pri izdelavi kompozitnega modela

1.	Trda balza dim. 100x5x1000 mm	1 kom	1,70 €
2.	Srednje trda balza dim. 100x1,5x1000 mm	2 kom	1,10 €
3.	Karbonska letvica dim. 5x0,5x1000 mm	4 kom	7,60 €
4.	Karbonska letvica dim. 5x1x1000 mm	2 kom	2,40 €
5.	Stirodur dim. 100x15x1000 mm	1 kom	3,00 €
6.	Karbonska tkanina 160g dim. 500x1000 mm	1 kom	18,90 €
7.	Kevlarska vrvica deb. 0,5 mm	10 m	7,00 €
8.	Vitroplast plošča dim. 100x2x100 mm	1 kom	6,50 €
9.	Rohacell dim. 500x5x500 mm	1 kom	30,00 €
10.	Steklena tkanina 25g dim. 500x1000 mm	1 kom	5,50 €
11.	Epoksi smola s trdilcem 0,5 kg + 0,28 kg	1 kom	12,00 €
12.	PVC vijak fi 4mm s PVC matico	2 kom	1,50 €
13.	Termo folija ORALIGHT dim. 500x2000 mm	1 kom	20,00 €
14.	Trup letala	1 kom	25,00 €
15.	Motor Speed 400	1 kom	7,90 €
16.	Servo motor Hitec HS-55	2 kom	23,00 €
17.	Regulator motorja	1 kom	12,00 €
18.	Baterija LiPo 740mAh	1 kom	12,00 €
19.	Elisa s spinnerjem	1 kom	13,50 €
20.	Razni drobni material (vezana plošča, javor,...)		8,00 €
21.	Razna lepila in mase		5,00 €
<hr/>			
	Skupaj:		223,60 €
<hr/>			

10 TESTIRANJE MODELOV

10.1 Merjenje in izračun skladnosti modelov

Pred odhodom na letališče sem oba modela izmeril, stehtal in izračunal krilno obremenitev pri obeh modelih.

S pomočjo programa za projektiranje AutoCad sem izračunal, da znaša površina glavnega krila in vertikalnega stabilizatorja pri obeh modelih $32,65 \text{ dm}^2$.

S tehtanjem sem dobil naslednje teže modelov:

- leseni model tehta: 427 g

- kompozitni model tehta: 477 g

Iz navedenega sem izračunal krilno obremenitev modelov:

- leseni model: krilna obremenitev = $\frac{427\text{g}}{32,65\text{dm}^2} = 13,07 \text{ g/dm}^2$

- kompozitni model: krilna obremenitev = $\frac{477\text{g}}{32,65\text{dm}^2} = 14,61 \text{ g/dm}^2$

Po teh izračunih oba modela ustrezata pravilom za tekmovanje v kategoriji F5J-400, saj oba modela presegata minimalno obremenitev 12 g/dm^2 .

10.2 Testiranje modelov na vzletišču

Za testiranje modelov sem si izbral zimski dan z malo vetra. Ker sem testiral dva modela, so morali biti pogoji v zraku skozi cel poizkus enaki. Najboljše je, če se na teren, kjer bomo testirali modela, odpravimo zgodaj zjutraj. Za teren sem uporabil klubsko vzletišče, saj ta teren poznam in tudi vem za določene predele (npr. gozd), kjer lahko v zraku nastajajo turbulence ali kakšni drugi pojavi, ki bi lahko vplivali na modela med letom.

Ker sta bila modela nedavno izdelana in z njima še nisem nikoli letel, ju je bilo nujno potrebno zregulirati in jima nastaviti težišče. To dosežemo tako, da model močneje vržemo iz roke in opazujemo, kako se model obnaša v letu. Če model takoj po metu izgubi vzgon in se

začne strmo vzpenjati in potem padati, pomeni, da imamo težišče preveč nazaj in je potrebno model obtežiti v nosu trupa. Če pa model takoj po metu pridobi na hitrosti in začne leteti proti tlom, moramo modelu dodati težo na zadnjem delu. Model ima pravilno nastavljeno težišče takrat, kadar leti v enaki višini oz. z manjšim propadanjem. Če smo opazili, da začne model po metu iz roke zavijati levo ali desno, moramo na RV napravi to s pomočjo "trimerjev" popraviti. Ko sem bil zadovoljen z letenjem obeh modelov, sem prešel na poizkus.

Odločil sem se, da bom z vsakim modelom naredil štiri lete, ki bodo trajali največ 4 minute. Za vzpenjanje modela sem uporabil 30 sekund motorja. Po končanem letu sem na višinomeru, ki je bil med letom v modelu, odčital kako dolgo je bil model v zraku, s kakšno hitrostjo je propadal in s kakšno hitrostjo se je vzpenjal v fazi vzpenjanja z motorjem. Ker v modelu uporabljamo regulator vrtljajev, ki je v skladu s pravilnikom za F5J-400 kategorijo, nam regulator avtomatsko izklopi motor po tridesetih sekundah, tako da nam ni treba še dodatno paziti na čas pri fazi vzpenjanja.

Poskus je trajal več kot dve uri, saj je bilo potrebno med vsakim letom polniti baterije, da sem za vsak polet zagotovil enako vzpenjanje modela.

Model sem s pomočjo motorja po 30 sekundah spravil na določeno višino, potem pa sem letel tako, da je bil model skoraj ves let obrnjen pravokotno na veter. Smer vetra sem vseskozi kontroliral s pomočjo vetrne vreče, ki se nahaja na vzletišču. Med letom sem poskušal čim manj vplivati na let modela s pomočjo RV naprave, saj nam vsak premik krmilnih površin poveča propadanje. Največkrat sem moral model popravljati po smeri, saj je letalo dokaj lahko in ga veter konstantno obrača po smeri.



Slika 45: Višinomer (Vir: rc-electronics.org, 20. 1. 2014)

10.3 Rezultati testiranja

S pomočjo višinomera sem pridobil podatke, ki sem jih obdelal v naslednjih tabelah:

Leseni model:

Tabela 1: Rezultati testiranja lesenega modela

Poizkus številka	Višina po 30 s uporabe motorja m	Hitrost vzpenjanja m/s	Višina po 2 minutah letenja m	Hitrost propadanja m/s
1	81,00	2,68	22,70	0,4858
2	84,00	2,69	20,20	0,5317
3	88,80	2,88	24,00	0,5400
4	86,20	2,80	26,80	0,4950
Povprečje	85	2,76	23,42	0,51

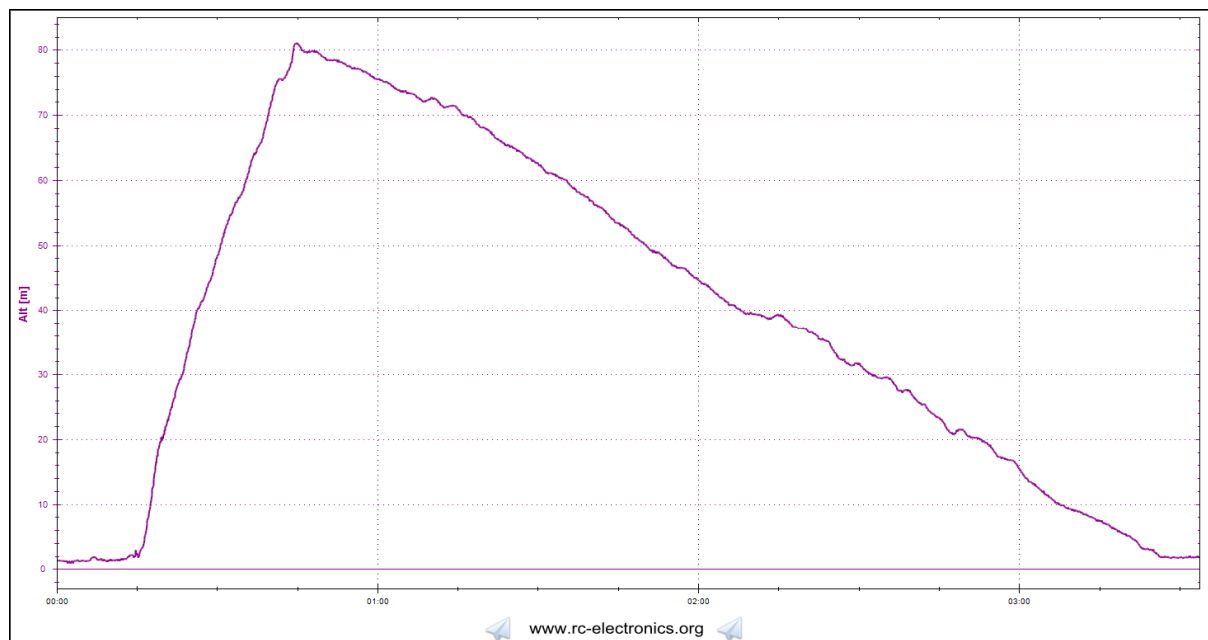
Kompozitni model:

Tabela 2: Rezultati testiranja kompozitnega modela

Poizkus številka	Višina po 30 s uporabe motorja m	Hitrost vzpenjanja m/s	Višina po 2 minutah letenja m	Hitrost propadanja m/s
1	63,30	1,98	1,40	0,5158
2	64,90	2,10	5,70	0,4933
3	68,80	2,20	4,60	0,5350
4	70,20	2,27	7,20	0,5250
Povprečje	66,8	2,13	4,72	0,51

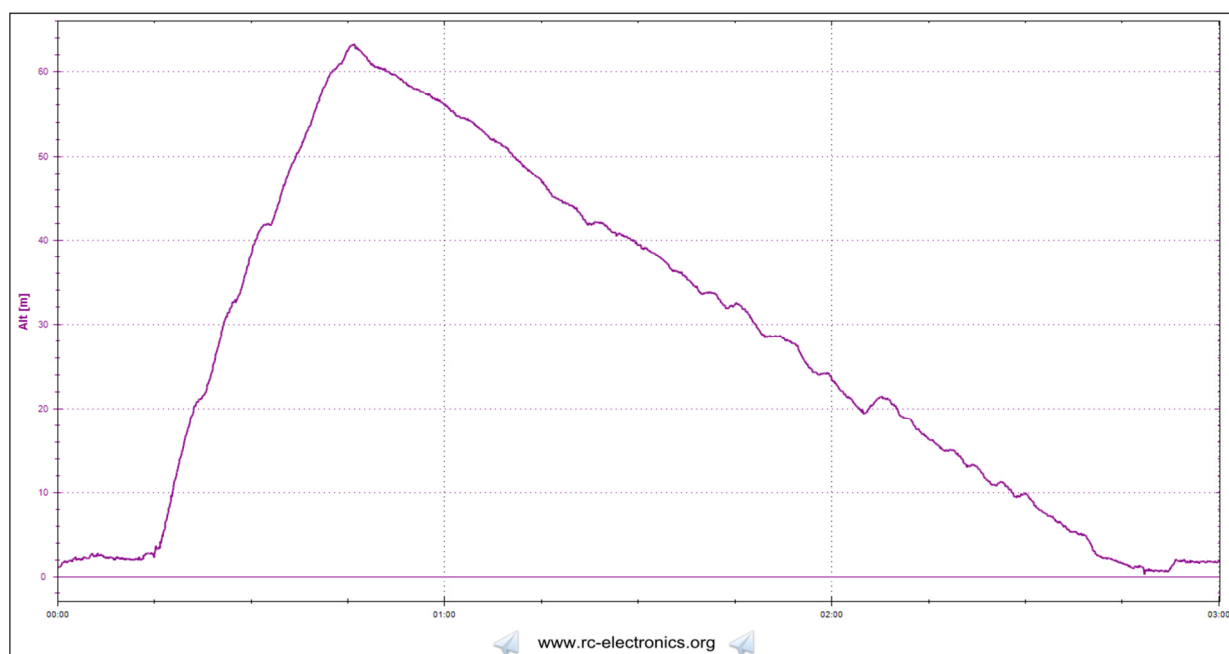
Eden izmed štirih grafov leta lesenega modela:

Tabela 3: Graf leta lesenega modela



Eden izmed štirih grafov leta kompozitnega modela:

Tabela 4: Graf leta kompozitnega modela



11 RAZPRAVA

Prva pomembna ugotovitev, ki izhaja iz meritev in testiranja je, da je kompozitni model težji od lesenega. To pripisujem temu, da imam pri izdelavi lesenih modelov več izkušenj kot pri delu s kompozitnimi materiali, pa tudi sama teža uporabljenih materialov je večja. Na težo pri kompozitnem modelu po mojem mnenju vpliva predvsem:

- večje število reber pri glavnem krilu: rebra so na razdalji 2,5 cm, pri lesenem pa na razdalji 3,5 cm;
- D-BOX sestavljen iz polnila (stirodur) in karbonske tkanine je vsekakor težji od prednjih delov reber, polkrožne letvice in planka pri lesenem modelu, ki so vsi iz balze;
- repne površine po polne in dodatno okrepljene z epoksi smolo in stekleno tkanino, kar je tudi težje od lahkih balzinih letvic in termo folije pri lesenem modelu.

Po drugi strani pa je krilo pri kompozitnem modelu dosti trdnejše, kar nam pride zelo prav na tekmovanjih, ko se pojavi močna *termika* in moramo model hitro spraviti iz velike višine. Leseni model nam zaradi krhkosti krila tega ne dopušča, tako da moramo na tekmovanju ves čas paziti, da nam *termika* preveč ne dvigne modela. Ob prehitrem spuščanju se velikokrat zgodi, da se lesena krila zlomijo. (Opomba)

Druga ugotovitev iz testiranja je, da teža modela izredno vpliva na samo dviganje modela ob uporabi elektromotorja. Kompoziten model, ki je za približno 12% težji od lesenega, se povzpne kar 21% manj kot leseni model. Ta rezultat pripisujem sami omejenosti moči motorja oziroma vleku motorja, ki očitno pada glede na obremenitev. Iz tega sledi, da je pred izbiro načina izdelave in izbire materialov, potrebno preučiti tudi parametre delovanja motorja.

Tretja ugotovitev iz testiranja je, da je propadanje pri obeh modelih skoraj identično, približno 0,5m/s. To pomeni, da sama teža modela ne vpliva na propadanje modela oziroma vpliva minimalno. Po mojem mnenju na propadanje vpliva predvsem izbira profila krila in repnih površin. Pri tem je gotovo v prednosti kompozitni model, ki ima sicer enak profil kot leseni model, vendar pa je ta izdelan bolj natančno (CNC izrez), poleg tega pa je zaradi karbonske obloge bolj enakomeren po celi površini.

1. Termika: Izraz, ki se v letalstvu uporablja za vzgonski oz. termični veter.

12 ZAKLJUČEK

Pri izdelavi raziskovalne naloge sem užival, saj je modelarstvo moj največji hobi in me tudi znova in znova navdušuje. Menim, da sem z izdelavo teh modelov poglobil svoje znanje iz obdelave kompozitnih materialov in seveda tudi obdelave lesa. Ne smem pozabiti na uporabo CNC stroja, s katerim se v zadnjih letih veliko srečujem in tudi širim svoje znanje, tako v šoli, kot tudi v svojem hobiju. Menim, da si večina podjetij v lesarski stroki delo brez CNC stroja težko predstavlja, saj lahko izdelamo identične izdelke do milimetra natančno. Upam, da bom lahko svoje zanimive ugotovitve in rezultate prenesel na svoje klubske kolege, kot tudi na druge tekmovalce v tej kategoriji.

Pred in tudi med samo izdelavo se mi je porajalo vprašanje, koliko ur bo potrebnih za izdelavo modelov in ali bo težje izdelati kompozitni model kot lesen model. Vsekakor je bilo za izdelavo obeh modelov namenjenih dosti več ur, kot je bilo predvideno. Prišel sem do zaključka, da je za kompozitni model potrebnih večje število ur, saj je krilo sestavljeno iz več reber kot pri lesenem modelu, poleg tega pa delo s kompoziti zahteva svoj čas in pripravo. Tako sem moral prvo hipotezo potrditi. Deloma mi je bila izdelava lesenega modela lažja zaradi dejstva, ker sem že naredil veliko lesenih modelov in imam tako več izkušenj z obdelavo lesa. Če bi se še enkrat odločil za izdelavo obeh modelov, bi ju vsekakor spet izdelal doma, le da bi pri kompozitnem modelu namesto polnila pri D-BOXu, uporabil drug način gradnje s pomočjo vakumiranja. Tako bi model tehtal precej manj, vendar pa bi bil dražji, saj bi moral izdelati namenske kalupe za prednjo stran krila.

Druga hipoteza, ki sem si jo zastavil, je bila, da model iz kompozitnih materialov leti bolje in ima manjše propadanje kot lesen model. To hipotezo sem zavrgel, saj sem lahko iz grafov odčital, da imata modela skoraj identično propadanje, vendar pa ima lesen model po tridesetih sekundah večjo višino po vzpenjanju z motorjem. Menim, da bi lahko s pomočjo drugačne, vendar dražje izdelave izdelal kompoziten model z manjšo težo, saj bi bila potem krilna obremenitev manjša in posledično bi model letel bolje – seveda s pravilno izbiro krilnih profilov.

Tretjo hipotezo sem potrdil, saj sem po izdelavi naredil stroškovnik izdelave. Ko sem primerjal stroške obeh modelov, je bilo razvidno, da je lesen model stal približno 70€ manj.

Na koncu sem ugotovil, da bi začetnikom v tej kategoriji modelarstva za začetek vsekakor predlagal lesene modele, saj so lažji za izdelavo, poleg tega pa ne letijo dosti slabše kot kompozitni modeli. Seveda se vse to spremeni, če vložimo v izdelavo kompozitnih modelov po tisoče evrov, da si izdelamo kalupe iz aluminija na CNC stroju itd. Po mojem mnenju bi morali modelarji mlade še bolj nagovarjati, da bi začeli tekmovati v podobnih kategorijah kot je F5J-400, saj je to ravno praviša kategorija za začetek v tekmovalnem modelarstvu, poleg tega pa ni pretirano draga. Navsezadnje se mladi in tudi starejši modelarji največ naučijo prav na takšnih tekmovanjih.

Na koncu raziskovalne naloge bi zapisal še nekaj o **družbeni odgovornosti**. V raziskovalni nalogi sem za vzpenjanje modelov pri poizkusih uporabljal elektro motorje. Ti so po mojem mnenju družbeno odgovorna izbira, saj ne škodujejo okolju in ne povzročajo izpušnih plinov, kot npr. motorji z notranjim izgorevanjem. Ti motorji, ki jih modelarji še vedno množično uporabljajo predvsem na akrobatskih modelih, vsekakor niso družbeno sprejemljivi, saj škodujejo okolju zaradi izpušnih plinov in neprijetnega hrupa. Navsezadnje škodujejo tudi modelarju samemu, zaradi goriva, ki vsebuje nitrometan. Upam, da bodo motorji z notranjim izgorevanjem v prihodnosti popolnoma izginili iz modelarskega tržišča.



Slika 46: Slika modela v letu

13 VIRI

Nahum, A. (1992). *Letala*. Murska Sobota: Pomurska založba.

Osnove CNC strojev. Pridobljeno 13. 1. 2014 iz <http://www2.sts.si/arhiv/cncpro/cncstr.htm>

Petek, B. (1946). *Letalsko modelarstvo-jadralni modeli*. Maribor: Mladinska knjiga.

Pravila kategorije F5J-400. Pridobljeno 4. 1. 2013 iz <http://forum.modelarji.com/>

Rudnik, A. (2013). *Zgradba in lastnosti lesa balze izbranega slovenskega trgovca*. Dipl. delo.