

**ŠOLSKI CENTER LJUBLJANA**  
**Srednja strojna in kemijska šola**  
**Aškerčeva 1, 1000 Ljubljana**

## **PROJEKTNO DELO:**

Projektiranje, konstrukcija in izdelava podvozja letala

Avtor: Oskar Štempihar

Mentor: Martin Kavšek

Program: Strojni tehnik

Hotedršica, 21.2.2021

## KAZALO VSEBINE

ZAHVALA .....	3
1. UVOD.....	4
2. TEORETIČNI DEL.....	5
2.1 MODELARSTVO .....	5
2.2 TEHNIČNO RISANJE IN MODELIRANJE.....	5
2.3 3D TISKANJE .....	8
2.4 CNC STRUŽENJE.....	8
2.5 ELEKTRONIKA IN MODELARSTVO.....	9
2.6 IZRAČUN .....	9
3. PRAKTIČEN DEL.....	11
3.1. SESTAVNI DELI .....	11
3.2 SESTAVLJANJE PODVOZJA .....	13
3.2.1. SESTAVA GUME .....	13
3.2.2. PRIVIJAČENJE ŠKARIJ NA GLAVNO NOGO .....	14
3.2.3. 3D KOS.....	15
3.2.4 MEHANSKI DEL .....	15
3.2.5. VGRADITEV PODVOZJA.....	16
3.3 IZDELEK V UPORABI.....	19
4. VIRI .....	20

## ZAHVALA

Najprej bi se rad zahvalil prof. Martinu Kavšku za nasvete in vodenje pri izdelavi seminarske naloge. Nato pa še očetu in Matjažu Brusu, za pomoč pri risanju risb.

## 1. UVOD

Odločil sem se, da bom za zaključno nalogu izdelala podvozje za maketo letala. Za izdelavo maketnega podvozja sem se odločil saj smo v našem podjetju začeli delati projekt makete letala A10 v merilu 1:4, za katerega sem jaz sproektiral in naredil podvozje. Pred začetkom izdelave sem si postavil par tez na katere sem tudi tekom projekta odgovoril. Pri maketah letal je pomemben tudi videz, saj poskušajo izdelati čim bolj podoben videz kot pri pravih letalih. Deli, ki sem jih uporabljal sem jih v večini naredil sam v domačem podjetju in šoli kar pa nisem imel možnosti pa sem jih naročil od ostalih proizvajalcev.

## 2. TEORETIČNI DEL

### 2.1 MODELARSTVO

Modelarstvo je hobi, pri katerem modelarji izdelujejo pomanjšane modele pravih naprav, denimo letal, avtomobilov... Naloga modelarstva je izdelati model, ki oponaša funkcionalne lastnosti objekta, katerega model izdelujemo (leteč model letala, premikajoče se vozilo). Za razliko od maketarstva popolno posnemanje morebitnega originala ni pomembno. Modeli so pogosto namenske konstrukcije, kar pomeni, da so načrti narejeni izrecno za namene izgradnje modela in ne za izgradnjo pomanjšane kopije resnične naprave.

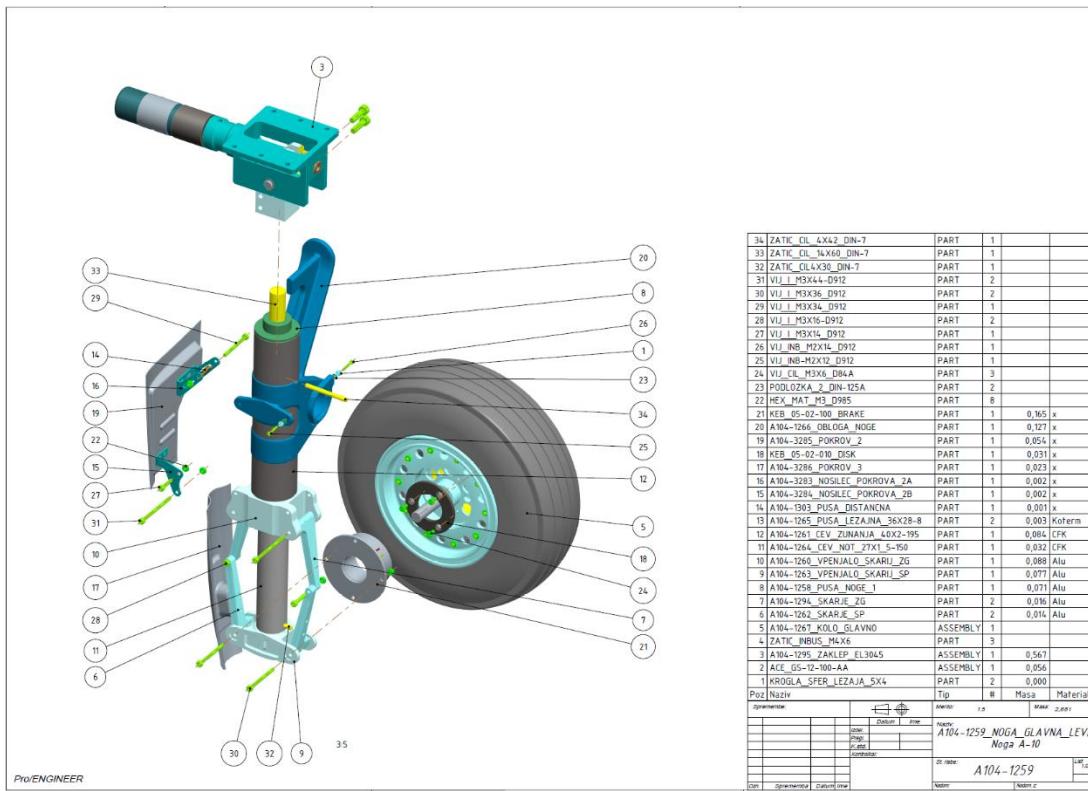


Slika 1- maketa letala

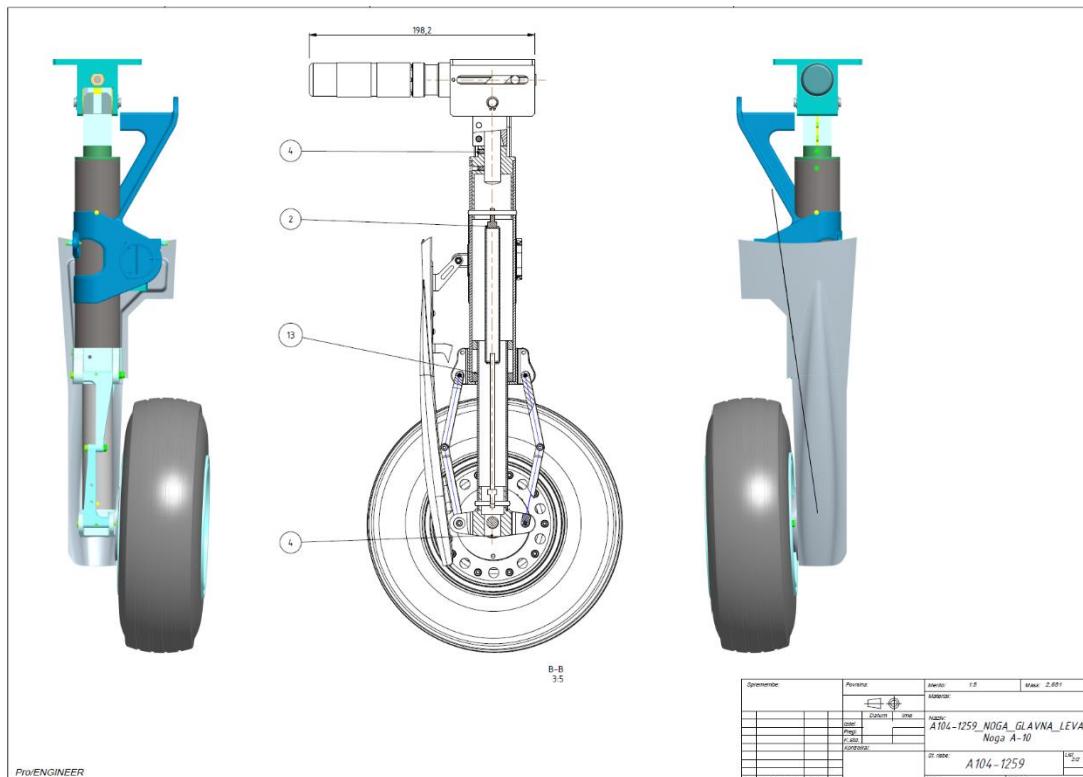
### 2.2 TEHNIČNO RISANJE IN MODELIRANJE

Tehnično risanje je ena od inženirskeih veščin kreiranja in oblikovanja tehničnih elementov na različnih področjih, kot so arhitektura, gradbeništvo, strojništvo, elektrotehnika ... Osnovni principi tehničnega risanja so definirani v standardih: SIST ISO 128, ki določa risarske elemente, načine risanja in poglede na risarski objekt v tehničnih načrtih ter SIST ISO 129, ki določa pravila podajanja dimenzij. Pri risanju moramo upoštevati še množico drugih standardov, ki veljajo za določeno specifično območje. Tehnične risbe pokrivajo

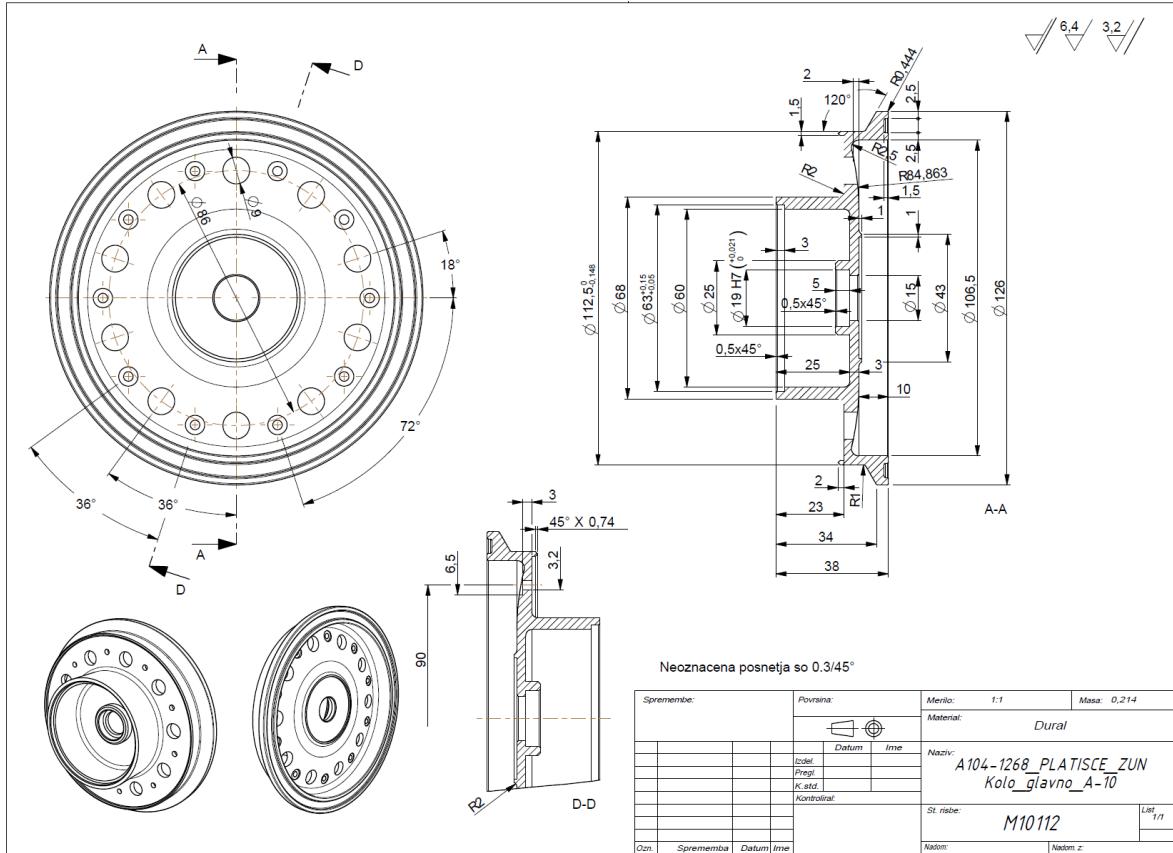
številna področja konstruiranja in oblikovanja izdelkov, naprav in procesov. So podlaga za različne poslovne dejavnosti gospodarskih subjektov in so del tehničnega komuniciranja. Večino tehničnih risb sem narisal v programu Pro Engineer.



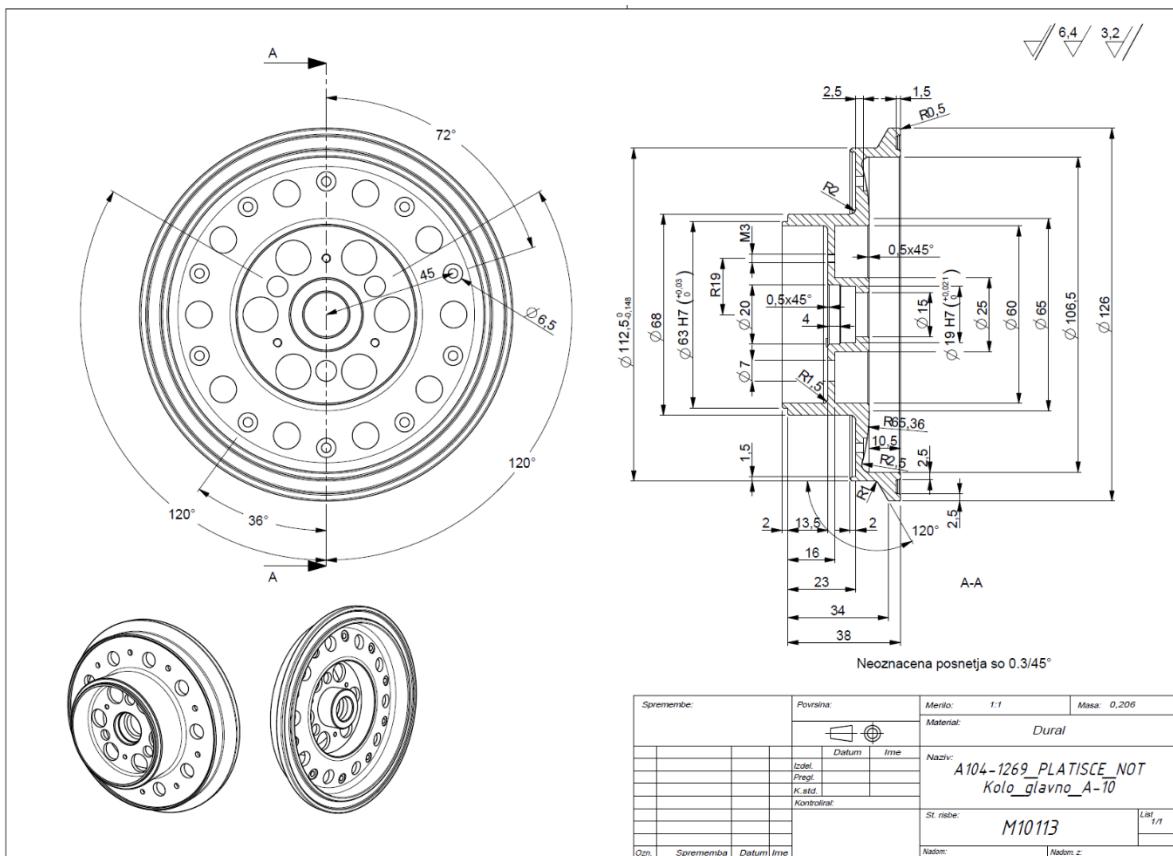
## Slika 2- sestavna risba



### Slika 3- sestavna risba



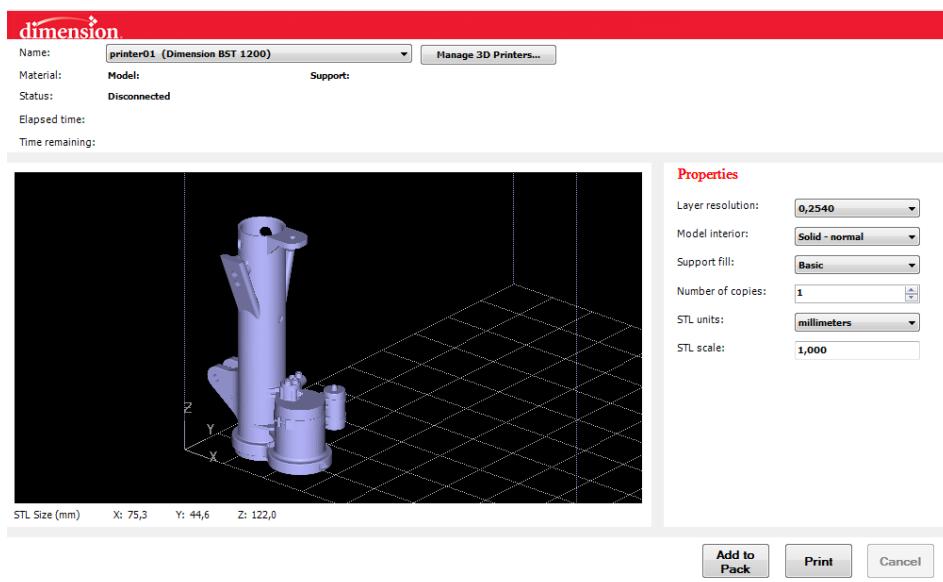
Slika 4- sestavna risba



Slika 5- sestavna risba

## 2.3 3D TISKANJE

3D tiskanje je postopek izdelave trirazsežnih trdnih objektov v katere koli oblike iz digitalnega modela. Za tisk lahko uporabljamo veliko različnih materialov (npr. guma, plastika, papir, poliuretanski materiali, kovine in podobno). V splošnem se materiali po plasteh nanašajo na različne načine, a najpogosteje je nanos topljenega polimera skozi majhno šobo. Polimer je v večini primerov topljiva plastika z ugodnimi lastnostmi za topljenje in hlajenje, kjer se filament stopi in skozi šobo nanese na tiskalno posteljo. Del v katerega "oblečemo" nogo je natisnjen na 3D tiskalniku. Zaradi zelo težkih oblik oz. zelo pomembnih podrobnosti se takega kosa ne more postružiti saj bi bilo delo zelo zahtevno in drago. V Creu se je narisal izdelek in nato vstavil v program CatalystEX, ki sam na podlagi risbe izdel načrt za izdelavo izdelka. Program je sam izračunal koliko podpornega in koliko glavnega materiala potrebuje za izdelavo izdelka. V mojem primeru je porabil 49,70 cm<sup>3</sup> glavnega materiala in 80,77 cm<sup>3</sup> podpornega. Čas ki ga je potreboval, da se je izdelek natisnil pa je bil 9ur in 40min. Ko je bil izdelek končan je potrebno odstraniti podporni material, zato imamo kad z ogrevano tekočino, ki ga topi in ga lažje in hitreje odstranimo.



Slika 6- 3D del v programu

## 2.4 CNC STRUŽENJE

Nekaj izdelkov, ki sem jih uporabil za sestavo podvozja je tudi struženih. Struženje je postopek obdelave, ki služi v glavnem za izdelavo valjastih teles, čeprav je mogoče obdelovati tudi ravne površine. Pri struženju opravlja obdelovanec glavno krožno gibanje in je vpet v glavno pogonsko os stružnice. Podajanje in druga pomožna gibanja, kot nastavljanje globine rezanja in nastavljanje noža za izdelavo posebnih oblik, pa opravlja

razni mehanizma in stružnici. Poznamo tudi stružnice z ganimi orodji z možnostjo vrtanja in rezanja navojev. Programiranje stružnic pa se izvaja ročno z G kodami in s programi CAM.



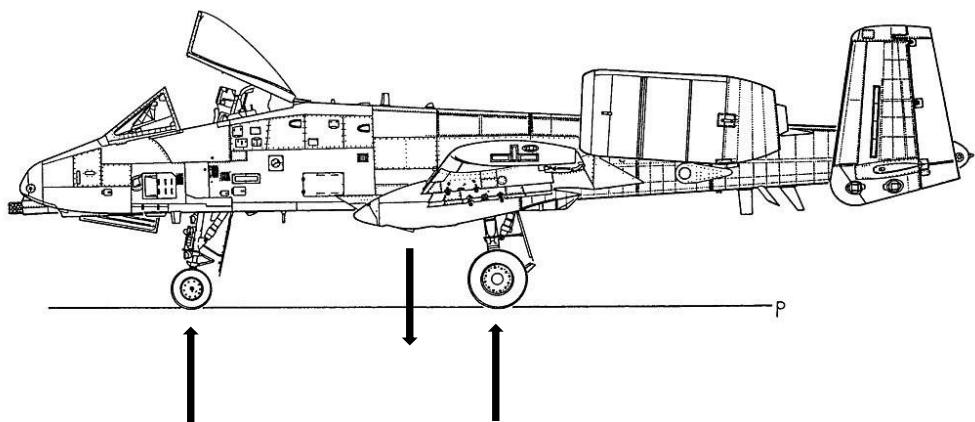
Slika 7- glavna noge

## 2.5 ELEKTRONIKA IN MODELARSTVO

Elektronika je področje elektrotehnike , s poudarkom na električnih napravah, s katerimi krmilimo. Že nekaj let je zelo priljubljeno radijsko vodeno modelarstvo, kjer s pomočjo elektronskih naprav kot so oddajnik, sprejemnik, servo mehanizmi, motorji, kvarčnimi kristali,... modelar brezžično upravlja s svojim modelom.

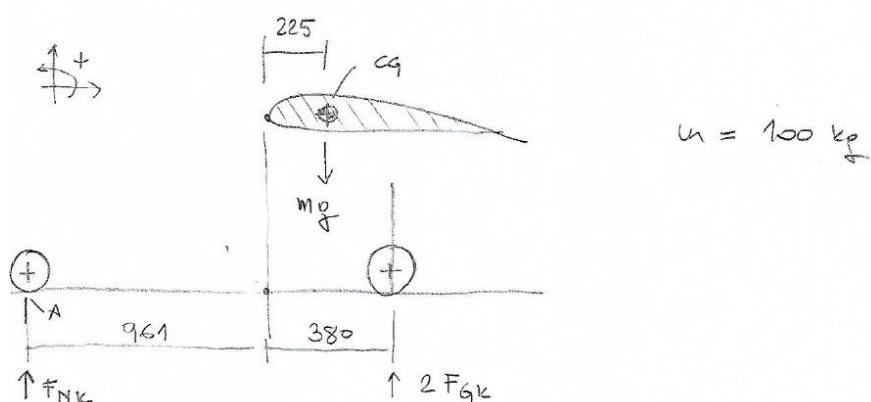
## 2.6 IZRAČUN

Ko ni letalo polno opremljeno tehta približno 80kg, kadar pa ima polno opremo tehta 100kg. Zato je pomembno, da izračunamo kako obremenjena bo sprednja noge, da vidimo ali bo zdržala silo pri pristajanju in se ne bo zlomila.



Slika 8-delovanje sil

12800 N 03 2576 N 1176 V 100 kg leš



$$\sum F_{\text{eq}} = \phi; \quad F_{\text{NK}} + 2 F_{\text{GK}} - m \cdot g = \phi$$

$$F_{\text{NK}} = m \cdot g - 2 F_{\text{GK}}$$

$$\sum M_A = \phi; \quad -m \cdot g \cdot (225 + 961) + 2 F_{\text{GK}} \cdot (961 + 380) = \phi$$

$$F_{\text{GK}} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot g \cdot \frac{225 + 961}{380 + 961} = \\ = \frac{1}{2} \cdot 100 \cdot 9,81 + 0,884 = 433,805 \text{ N}$$

$$F_{\text{NK}} = 100 \cdot 9,81 - 2 \cdot 433,805 = 113,389 \text{ N}$$

Slika 9- izračun sil

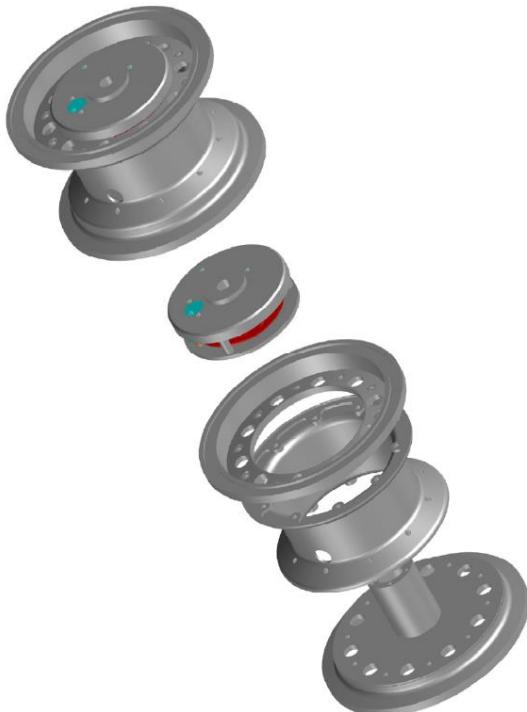
### 3. PRAKTIČEN DEL

#### 3.1. SESTAVNI DELI

Podvozje ni sestavljen samo iz enega dela, vendar je potrebno več kosov, če želimo da bo vse skupaj delovalo. Nekaj delov nisem mogel izdelati sam saj nisem imel pravega orodja za izdelavo, kot so na primer vulkanizacija pnevmatike.

Potreboval sem:

PLATIŠČA:



Slika 10- 3D model platišča

PNEVMATIKA:



Slika 12- vulkaniziran pnevmatika



Slika 11- platišče



Slika 13- rezkana pnevmatika

**MEHANSKI DEL:**



Slika 14- mehanski del



Slika 15- mehanski del

**GLAVNI IN PREDNJA NOGA:**



Slika 16- glavni nogi



Slika 17- prednja noge

## VZMETI IN ŠKARJE:



Slika 18- vzmeti



Slika 19- škarje

## 3.2 SESTAVLJANJE PODVOZJA

Ko sem dobil vse dele, ki sem jih potreboval sem začel sestavljati podvozje.

### 3.2.1. SESTAVA GUME

V gumo je bilo potrebno vstaviti zunanje in notranje platišče ter ga privijačiti z vijaki M3, na drugi strani pa sem uporabil stop matico M3. Stop matica je potrebna saj pride pri pristajanju do tresljajev in zaradi samega premikanja podvozja, bi se lahko navadna matica odvijačila.



Slika 20- sestavljenoto kolo

### 3.2.2. PRIVIJAČENJE ŠKARIJ NA GLAVNO NOGO

Uporabil sem vijke velikosti M2.5 in prav tako kot prej stop matice velikosti M2,5. Ker so bili vijaki predolgi jih je bilo potrebno na koncu odrezati. Škarje služijo kot povezava med spodnjim in zgornjim delom noge. Prav tako pa omogočijo premikanje oz. delovanje noge, ko se zloži v trup. Po končani sestavi sprednje noge je bilo potrebno namestiti gumo. V prednje platišče sem vstavil ležaje, da se bo kolo lažje vrtelo. Ležaj je strojniški element, ki omogoča pritrditev vrtečih delov in hkrati prenaša obremenitve z vrtečih se delov na mirujoči del naprave. Zaradi prevelikega premera osi na katero naj bi nataknil kolo, sem jo moral prej pobrusiti. Os sem vstavil v ročni vrtalni stroj in jo ovil z brusnim papirjem. Tako sem najlažje in najhitreje pobrusil na mero, ki sem jo potreboval, da je ležaj lažje šel gor in ni prišlo do nobene deformacije. Nazadnje sem še privijačil kolo z varovalno matico M4.



Slika 21- montiranje škarji

### 3.2.3. 3D KOS

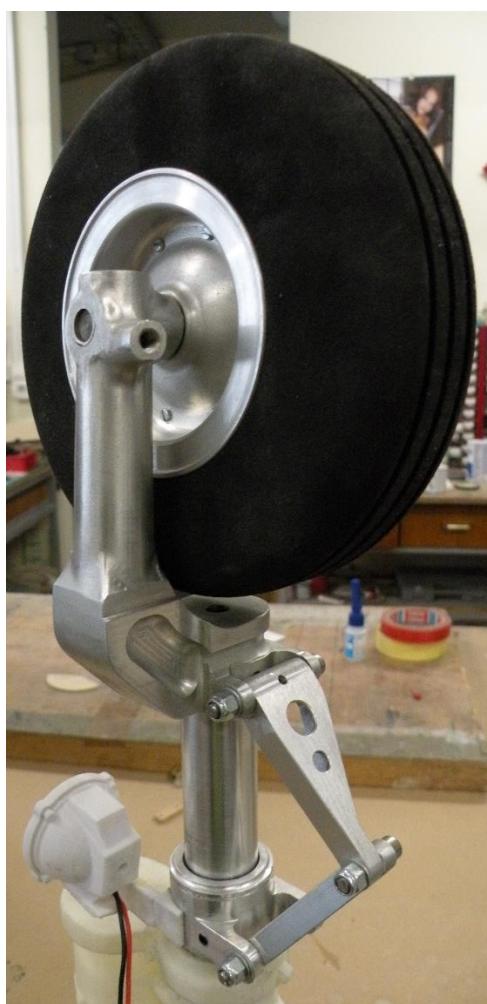
Na sprednji nogi sem zvrtal potrebne izvrtine, tako da so se ujemale z izvrtinam na 3D natisnjem kosu. Nato sem namestil kos na nogo in ga privijačil.

### 3.2.4 MEHANSKI DEL

Ko je bil 3D kos pritrjen na glavno nogu sem na zgornji del pritrdil mehanski del. Ta del omogoča podvozju da se premika oz. uvleči in izvlači. Zaradi prevelike luknje ni prišlo do pravega ujemanja in bi se lahko zgodilo da bi se podvozje premaknilo kadar to nebi bilo primerno, sem od aluminijaste cevi s premerom 10mm odrezal 20mm dolg kos, ki mi je služil za to da je prišlo do pravega tesnjenja med luknjo in čepom.



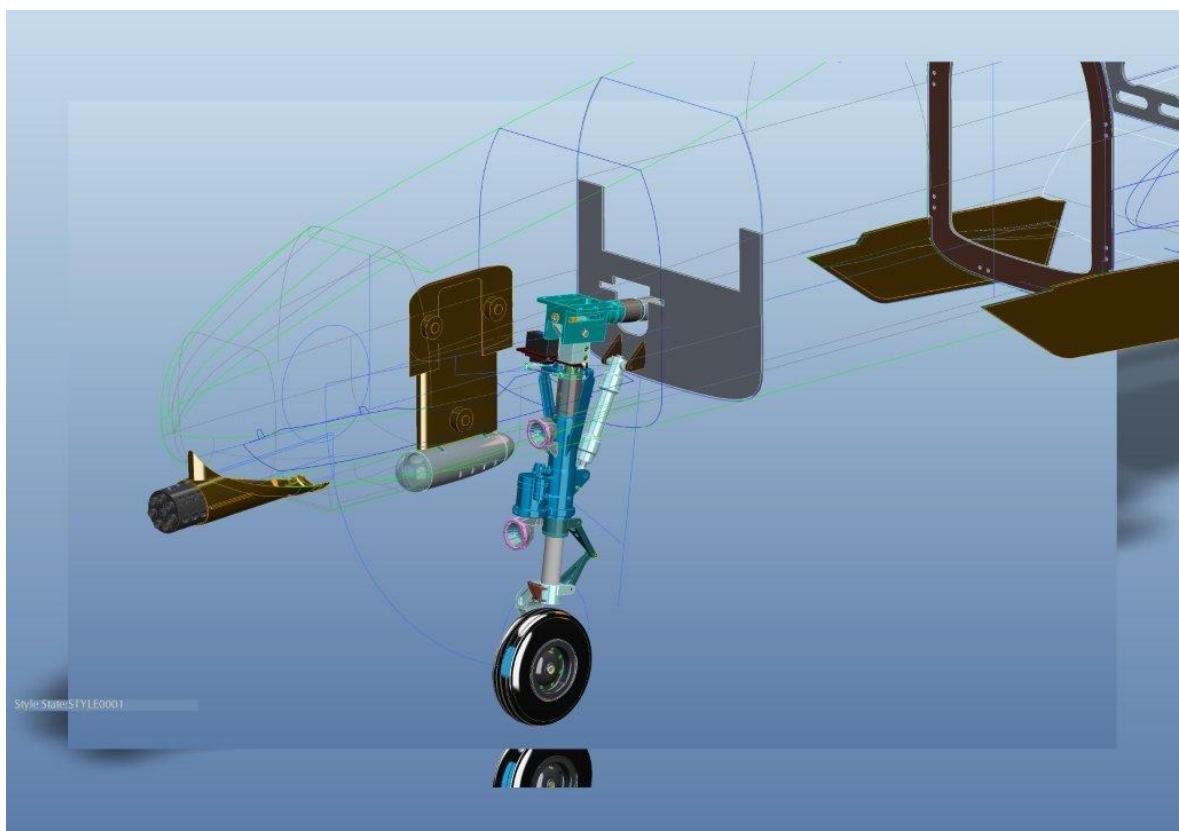
Slika 22- sestavljena prednja noga



Slika 23- sestavljena prednja noga

### 3.2.5. VGRADITEV PODVOZJA

Letalo v katerega sem vgradil podvozje je narejen iz steklenih in karbonski vlaken v povezavi z epoksi smolo. Če želimo izdelati tako letalo potrebujemo kalup, tega namažemo s separatorjem tako da lažje odstranimo izdelek iz kalupa ko je suh. Ko se separator posuši se kalup pobarva z barvo in nato prav tako počaka da se barva posuši. Kalup nato namažemo z epoksi smolo in nanjo položimo tkanino, katero nato ponovno prepojimo s smolo. Ta postopek ponovimo tolikokrat kot je potrebno, da dobimo pravo trdnost oz. da izdelek ustreza predvideni teži.

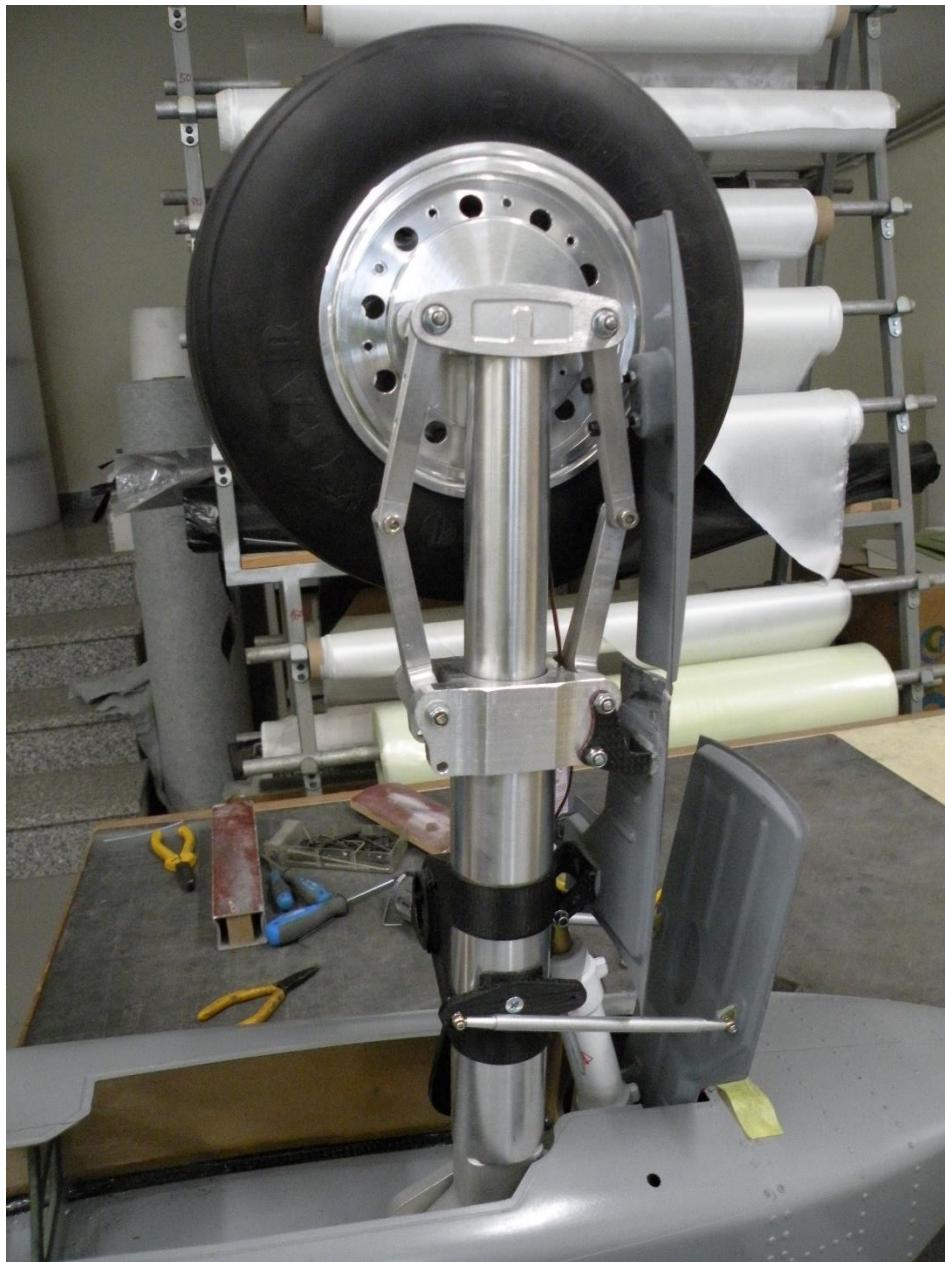


Slika 24- pozicija in pritrditev prednje noge

V trup privijačimo mehaniko podvozja, da je še bolj podobno izgledu pravega letala dodamo še »mock up« cilinder. Vrata na trupu, ki se morajo istočasno odpirati in zapirati s podvozjem sem privijačila na 3D natisnjeni kos, kjer je bilo to predvideno. Nato mehanski del sprednjega pogona priključimo v elektroniko, ki je vgrajena v sprednjem delu trupa, saj tako lažje popravimo oz. spremenimo kakšno stvar. Takrat želimo izvleči ali uvleči podvozje moramo na radijsko voden napravi oz. komandi premakniti tipko, ki je sprogramirana s tem elektronskim delom iz 0 na 1, tako dobi elektronika ukaz za izvlek podvozja. Vrata, ki zapirajo podvozje so razdeljena na dva dela. Prvi del je pritrjen na del podvozja, drugi pa je povezan na servo motor-sekvencer kateri deluje ob odprtju prvih vrat. Ko se podvozje

izvleče se drugi del vrat zapre in nato ponovno odpre ko se želi podvozje uvleči. Kadar se letalo vozi po tleh je potrebno tudi zavijati. Za to da letalo lahko zavija je sprogramiran drug servo motor kateri je vezan na kontrolno ročico na komandi, ki omogoča obračanje levo in desno.

Da dosežemo še bolj popoln maketni videz, lahko dodamo še luč katera se prižge sama ko se podvozje iztegne do konca.



Slika 24- zmontirana glavna noga



Slika 25- zmontirana glavna noga



Slika 26- zmontirana prednja noga

### 3.3 IZDELEK V UPORABI

Pristajalno podvozje je naprava na spodnjem delu letala namenjena pristajanju in vzletanju. Poleg tega služi kot nosilna struktura, ko letalo ne leti ali pa se vozi po tleh. Po navadi imajo podvozja blažilce udarcev, da se manj obremenjuje letalo. Tista letala ki pristajajo na letalonosilki imajo sorazmerno grob pristanek, zato potrebujejo precej bolj ojačano podvozje. Kadar se pritrdi letalo na katapult pa to zahteva ojačano nosno kolo. Imamo dva tipa podvozja uvlačljivo in fiksno. Uvlačljivo se uporablja pri potniških in vojaških letalih, saj so hitrejša in tako se z uvlačitvijo zmanjša zračni upor letala. Fiksno podvozje pa v večini uporabljajo športna letala, saj je lažje za izdelavo, vzdrževanje in bolj trpežno. Najbolj pogosto se uporablja pristajalno podvozje iz koles za letala, ki uporabljajo vzletno/pristajalno stezo. Če letala pristajajo na vodi se uporabljajo plovci, za sneg ali ledene površine pa za to izdelane smučke. Možna je tudi kombinacija dveh npr. plovci z vgrajenimi kolesi.



Slika 27- podvozje pravega letala

#### 4. VIRI

<https://www.historynet.com/the-warplane-nobody-wanted.htm>

<https://www.thedrive.com/the-war-zone/25166/this-a-10-warthog-ground-trainer-still-has-a-tickler-muzzle-device-on-its-cannon>

<https://www.boldmethod.com/blog/lists/2014/08/13-little-known-facts-about-the-a-10-thunderbolt-2/>

Lastni viri