



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
INSENERITEADUSKOND

Elektrotehnika ja mehhatroonika instituut

Mehitamata õhusõiduki mootoritorude kiirkinnituse arendamine

Development of a Motor Boom Arm Quick-Release Locking
Mechanism for an Unmanned Aerial Vehicle

BAKALAUREUSETÖÖ

MEHHATROONIKA ÕPPEKAVA

Üliõpilane:	Lauri Valdmann
Üliõpilaskood:	142702MAHB62
Juhendaja:	Leo Teder

2017

AUTORIDEKLARATSIOON

Deklareerin, et käesolev lõputöö on minu iseseisva töö tulemus.

Esitatud materjalide põhjal ei ole varem akadeemilist kraadi taotletud.

Lõputöös kasutatud kõik teiste autorite tööd ja seisukohad ning materjalid on varustatud vastavate viidetega.

Töö valmis juhendamisel

“.....” 201.....

Töö autor:

/ allkiri /

Töö vastab bakalaureusetöö/magistritööle esitatud nõuetele

“.....” 201.....

Juhendaja:

/ allkiri /

Lubatud kaitsmisele

“.....”.....201... .

..... õppekava lõputööde kaitsmiskomisjoni esimees:
/ nimi ja allkiri /

BSc LÕPUTÖÖ ÜLESANNE

2017. aasta kevadsemester

Üliõpilane: Lauri Valdmann, 142702MAHB
Õppekava: MAHB02/13
Eriala: Mehhatroonika
Juhendaja: Leo Teder
Konsultandid: Kristjan Tiimus, arendusjuht, 5177186

LÕPUTÖÖ TEEMA:

EST: Mehitamata õhusõiduki mootoritorude kiirkinnituse arendamine

ENG: Development of a Motor Boom Arm Quick-Release Locking Mechanism for an Unmanned Aerial Vehicle

Töös lahendatavad ülesanded ja nende täitmise ajakava:

Nr	Ülesande kirjeldus	Täitmise tähtaeg
1.	Olemasoleva mootoritorude kinnituse analüüs ja vajalike puuduste kaardistamine uue kiirkinnituse loomiseks.	20.03.2017
2.	Esimese versiooni projekteerimine ja prototüübi loomine	28.03.2017
3.	Keretugevduste projekteerimine ja mehaanika testimine	03.04.2017
4.	Lõpliku versiooni mootoritorude kiirkinnituste projekteerimine	28.04.2017
5.	Tähtsamate konstruktsioonikohtade arvutused	20.05.2017
6.	Lõputöö teoreetilise osa vormistamine	22.05.2017

Lahendatavad inseneritehnilised ja majanduslikud probleemid: Uudse mootoritoru kiirkinnitussüsteemi projekteerimine. Tugevusanalüüsi läbiviimine. Kiirkinnitusklambrite integreerimine kopteriga. Tootmistehnoloogia ja CNC programmi loomine detailidele. Majanduslik arvutus.

Täiendavad märkused ja nõuded:

Töö keel: eesti keel

Kaitsmistaotlus esitada hiljemalt: 15.05.2017 **Töö esitamise tähtaeg:** 25.05.2017

Üliõpilane: Lauri Valdmann /allkiri/..... kuupäev: 25.05.2017

Juhendaja: Leo Teder /allkiri/..... kuupäev: 25.05.2017

Sisukord

EESSÕNA	5
1. SISSEJUHATUS	6
2. KOPTERI TUTVUSTUS	8
3. KIIRKINNITUSE NÕUDED JA ÜLDKONSEPTSIOON	10
3.1. Olemasolev lahendus	10
3.2. Olemasolevad lahendused maailmast	11
3.3. Nõuded kiirkinnitusele	12
3.4. Kiirkinnituse üldkontseptsioon	14
4. PROJEKTEERIMINE.....	15
4.1. Üldmudeli loomine	15
4.2. Esialgne versioon	15
4.3. Kere tugevdused	18
4.4. Lõplik versioon.....	18
5. MATERJALI VALIK.....	21
6. TUGEVUSANALÜÜS	22
6.1. Koonusliite tihvti valik	22
6.2. Pindade laagerdus ja määrimine	23
6.3. Vedru valik.....	24
6.4. Tugevusanalüüs	26
7. TOLERANTSIDE MÄÄRAMINE	30
8. TOOTMISTEHNOLOGIA.....	33
9. MAJANDUSLIK ARVUTUS	36
KOKKUVÕTE	37
SUMMARY	38
KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU	39
LISAD	40
Lisa 1: Koonuste kasutuslade tabel	40
Lisa 2: Laagriplastikute võrdlustabel	41
Lisa 3: Hinnakalkulatsiooni tabel	42
Lisa 4: Detailide tööjoonised.....	43

EESSÕNA

Antud bakalaureuse lõputöö „Mehitamata õhusõiduki mootoritorude kiirkinnituse arendamine“ on välja pakutud Threod Systems OÜ arendusjuhi poolt. Põhieesmärk oli välja töötada ja arendada uus mootoritorude kinnituse süsteem, mis on tunduvalt töökindlam ja kasutajatele mugavam kasutada kui eelnevalt kasutuses olev süsteem.

Antud bakalaureuse lõputöö oli kirjutatud Tallinna Tehnikaülikooli elektroenergeetika ja mehhatroonika instituudi assistendi Leo Tederi juhendamisel. Avaldan tänu Threod Systems-i arendusjuhile Kristjan Tiimusele, kes aitas projekteerimisel tekkinud probleeme lahendada ning Leo Tederile lõputöö juhendamise eest.

1. SISSEJUHATUS

Bakalaureusetöö eesmärk on projekteerida KX-4 Interceptor multirootor helikopterile uus mootoritorude kiirkinnitusmehhanism. Kiirkinnituse ülesandeks on tagada töökindel mootoritorude kinnitus ja vastu võtta lennus tulenevad koormused. Varasem mootoritorude kinnitussüsteem oli mitmest kohast probleemne ja eeldas kasutajalt väga täpset koostamisjuhendi jälgimist.

KX-4 Interceptor on multirootor helikopter, millel on neli elektrimootorit ja elektrienergia saamiseks kasutatakse Liitium-ioon või Liitium-Polymer akusid. Mootorid on viidud süsiniktorudega keskraamist eemale, et kasutada saaks suuremaid propellerid ning seeläbi saavutada parem efektiivsus ja lennu stabiilsus. Mootoritorude kiirkinnituse projekteerimine on mahukas töö, mis hõlmab erinevaid probleeme ja kogu disaini tuleb põhjalikult analüüsida.

Uue mootoritorude kiirkinnitusmehhanismi vajadus tekkis sellest, et vana süsteem ei olnud küllalt kasutuskindel ja ei täitnud enda ülesandeid igas olukorras. Vanal süsteemil oli mitmeid puudusi. Pistikud olid integreeritud mootoritorudesse ja valesti käsitsedes võisid väikesed signaalipistikud kõveraks minna. Samuti oli probleeme pistikute väändumisega ja kiirkinnitusmehhanismi korrektse sulgemisega, mistõttu tuli alati üle kontrollida, et kiirkinnitushoob on täielikult suletud. Probleeme oli ka süsiniktorude läbimõõdu ebatäpsusest tuleneva mootoritorude kinnikiilumisega.

Ideed uue kiirkinnitusmehhanismi loomisel on ära kaotada demonteeritavad osad, mootoritorud teha kokkuklapitavad ja ära kaotada pistikud mootoritorude seest. Uue mehhanismi loomisel on kõige olulisem säilitada kopteri raami jäikus ja mass ning muuta süsteem töökindlamaks ja kasutajale mugavamaks.

Käesolev mehhatroonika bakalaureuse lõputöö keskendubki Threod Systems KX-4 Interceptorile uue mootoritoru kiirkinnituslahenduse loomisele, mida saaks hakata kasutama uutel kopteritel.

Ülesanded, mis on püstitatud antud tööks on järgmised:

- Selgitada välja nõudes mootoritorude kiirkinnitustele ja uurida praegu kasutusesolevaid süsteeme
- Projekteerida tingimustele vastav mootoritorude kiirkinnituse süsteem
- Valmistada prototüüp, mida on võimalik realselt testida
- Teha vastavad tugevusarvutused, et kindlustada seadme töö
- Määrata detailide tolerantsid
- Välja mõelda tootmistehnoloogia
- Teha majanduslik arvutus

Töö koosneb seitsmest põhilisest peatükist, millest esimene kirjeldab nõudeid kiirkinnitusele, uurib maailmas kasutusesolevaid süsteeme ja püstitab üldise kontseptsiooni. Teises peatükis selgitatakse projekteeritud süsteeme. Kolmandas peatükis tegeletakse materjalivalikuga. Neljandas peatükis analüüsitakse süsteemi tugevust. Viiendas peatükis määratakse detailidele tolerantsid. Kuuendas

peatükis põhjendatakse tootmistehnoloogia valikut ja seitsmendas peatükis arvutatakse süsteemi maksumust.

2. KOPTERI TUTVUSTUS

Kopter, mille mootoritorude kiirkinnitusmehhanismi antud töö käigus arendatakse on Threod Systemsi poolt loodud KX-4 Interceptor.

Tabel 1. KX-4 Interceptor spetsifikatsioon

Mootorite diagonaal	94 cm
Mass:	5800g (Koos kaameraaluse ja akuga)
Lennuaeg:	<ul style="list-style-type: none">○ 50 minutit (ilma lisaraskuseta)○ 40 minutit (1kg lisaraskusega)
Lennukiirus:	Optimaalne : 8 m/s Maksimum: 14 m/s
Töötemperatuur:	-20 kuni +40 °C
Aku:	22 000 mAh 6S Li-Po või 28 500 mAh 6S Li-ion

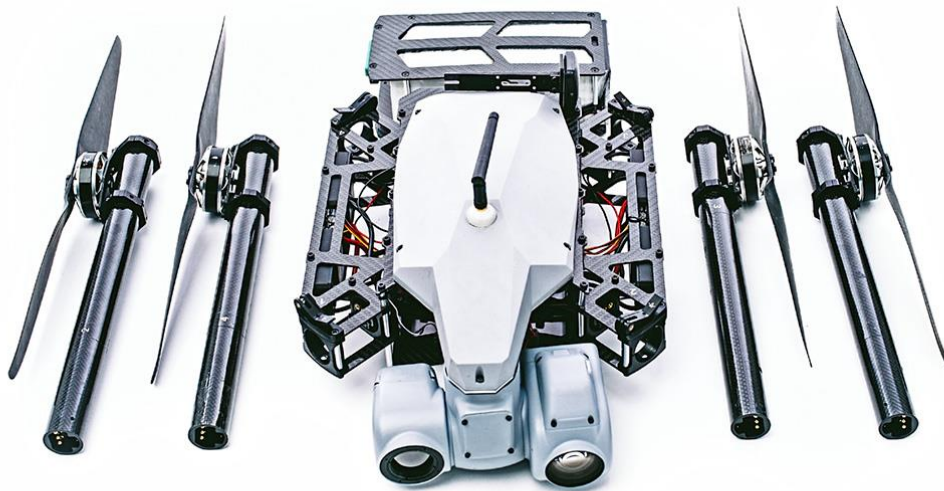


Sele 1. KX-4 Interceptor üldvaade

Interceptor on mõeldud kasutamiseks kiirreageerimisrühmadele, piirivalvele, patrullidele, inimeste otsimiseks ja jälgimiseks. Seetõttu on kopter disainitud nii, et selle lennuvalmis seadmine on võimalik ilma tööriistu kasutamata ja kogu varustuse ülesseadmine võtab aega alla 10 minuti. Kopteri olulised

komponendid nagu autopiloot ja kaameraalus on disainitud vibratsiooni summutavatele alustele. Kogu kopter on projekteeritud võimalikult modulaarseks, mis teeb detailide vahetamise lihtsaks ja kopteri piloodile võimetekohaseks. Kopterile on antud vihmakindlus kuni 3 mm/h ja ta suudab lennata temperatuurivahemikus -20 °C kuni +40 °C. [1]

Sele 3 on näha, et mootoritorud on kopteri põhiraamist eemaldatavad ja transpordi ajaks tuleb need alati eemaldada.



Sele 2. Kopteri mootoritorud on täielikult eemaldatavad

3. KIIRKINNITUSE NÕUDED JA ÜLDKONSEPTSIOON

Mootoritoru kiirkinnituse põhimõte on turvaliselt kinnitada mootoritoru kopteri raami külge. Mootoritoru kiirkinnitused saava lennus ja maandudes kõige suuremat koormust, sest asuvad mootori koormusteljest kõige kaugemal ja kannavad üle kogu kopteri raskust. Mootori koormustelg asub kopteri kere kinnituskohast ligikaudu 280mm kaugusel ja arvestades, et ühe mootori tõmme on üle 1500g, siis tekib kopteri kere kinnituskohale tõsiseltvõetav koormus, mis painutab tervet kopteriraami.

3.1. Olemasolev lahendus

Olemasolevas lahenduses kasutatakse mootoritoruks 30 mm läbimõõduga süsiniktoru, toru seinapaksus on 1 mm. Mootorid on kinnitatud alumiiniumklambritega süsiniktorule ja mootori kiiruseregulaator on paigutatud torusse ventilatsiooniava alla. Toru kopteri kerepoolses otsas on pistikukork, milles sees on 4 jõupistikut (dubleeritud positiivne ja negatiivne akupinge) ja 4 signaalipistikut (dubleeritud kiiruseregulaatori PWM signaalijuhe ning LED toite ja maandusjuhe). Olemasolev mootoritoru lahendus teeb asendamise väga lihtsaks ja see on kindlasti üks suur plusse.

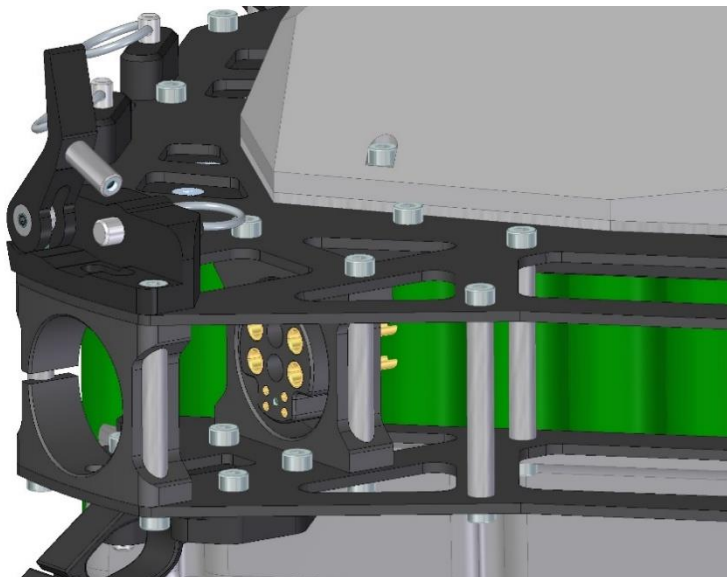


Sele 3. Mootoritoru pistikutekork

Kopteri kerepoolne kinnitus sisaldab endast süsinikplaate, mille vahel on plastikust toruhoidja ja pistikukorpus. Mootoritoru kinnitatakse hoovaga, mis pingutab plastikust hoidjat ja lukustustihvt liigub toru sees olevasse pilusse, mis ei lase mootoritorul pesast välja liikuda. Toruhoidjad asuvad üksteisest 40 mm kaugusel ja on toetatud alumiiniumpukside ja süsinikraamiga, et vähendada jõuõlast tekkivad painet kopteri raamis. Kopteri täismassiga lennates on võimalik näha mõningast läbipainet kopteri raamis, mis on aktsepteeritav kuid põhjustab üleliigset vibratsiooni.

Praeguse mootoritoru suurimaks miinuseks on pistikute töökindlus. Testimise käigus oleme tuvastanud, et ebaõigel käsitlemisel on võimalik signaalipistikud kõveraks lükata ja seetõttu on kõik

olulised pistikud dubleeritud, et vältida õnnetusi. See lisab aga üleliigset massi – ligikaudu 120g kõikide lisajuhtmete ja pistikute pealt. Samuti on võimalik mootoritoru pistikukorpuses väänata ja mootor jätta kaldega, mis põhjustab anomaaliaid autopiloodi töös.



Sele 4. Kopteripoolne mootoritoru kinnitus ja pistikukorpus

Puudused praegu kasutusesolevas süsteemis:

- Signaalipistikute kõverdumine
- Mootoritoru väändumine
- Ebamugav torude ühendamine – pistikud ei taha alati ühenduda
- Lukustushoova ebakorrektnen sulgemine võib põhjustada toru lahtituleku
- Süsiniktoru läbimõõdu erinevuse tõttu tuleb toru otsasid lihvida, et need plastikust hoidja sees liiguksid.
- Külmgaga (-20) ühendamine väga jäik ja tuleb rakendada teatavat jõudu.

3.2. Olemasolevad lahendused maailmast

Ideede suunamiseks olen välja toonud mõned hästi lahendatud kiirkinnituse lahendused maailmast. Paljudel tootjatel ei ole mootoritorud kokkuvolditavad või eemaldatavad, mis teeb raami konstruktsiooni lihtsaks kuid pakendi suuremaks ja transportimise keerulisemaks.

DJI Matrice 200 on Hiina tehnoloogiaettevõtte Dà-Jiāng Innovations Science and Technology Co., Ltd poolt projekteeritud multirootor kopter, mis on mõeldud elektriliinide inspekteerimiseks, otsingu ja päästetöödeks, tuuleturbiinide inspekteerimiseks ja muudeks inspekteerimistöodeks.

Nendes tööalades on samuti nõutud kerge ülesseadmine ja seadme vastupidavus. DJI Matrice 200 kasutab ette ja taha kokkuvolditavaid mootoritorusid, mis pingutatakse ümber mootoritoru oleva

mutriga. See on töökindel lahendus, kuid mootoritorude pikkus ei lase kopterit väga väikeseks pakkida. [2]

Aeryon Skyranger on Kanada UAV ettevõtte, kes on spetsialiseerinud väikeste mehitamata õhusõidukite ja nende alamsüsteemide arendusse. Aeryon Skyranger on mõeldud kasutamiseks taktikalisteks operatsioonideks, konvoi turvamiseks, otsingu- ja päästetöödeks, kaardistamiseks ja inspekteerimiseks. Skyranger kasutab alla volditavaid mootoritorusid, mis teeb kopteri transportimiseks väga kompaktses. [3]

Freefly Systems on ameerika firma, mis disainib, toodab ja arendab mehitamata õhusõidukeid ja kaameravarustust filmitööstusele. Freefly Alta 8 on disainitud filmitööstusele ja pakkimiseks volditakse mootoritorud ümber kopteri perimeetri. Selle lahenduse teeb eriliseks see, et ümmargustele mootoritorudele on antud eriline kuju, mis võimaldab neil kokku voltida. [4]

3.3. Nõuded kiirkinnitusele

Nõuded kiirkinnitusele ja parandusettepanekud kopterile on välja kujunenud paari aasta jooksul saades tagasisidet klientidelt ja prototüüpe testides. Nõuete kaardistamiseks koostas tabeli tähtsuse ja disainikriteeriumite väljaselgitamiseks, millele mootoritorude kiirkinnitus peab vastama ning mida võtan arvesse kiirkinnitust projekteerides.

Tabel 2. Kiirkinnitusele rakendatavad nõuded

Kriteerium	Nõue
Mass	<ul style="list-style-type: none"> ○ Kergem või sama raske kui vana lahendus ○ Kogu süsteemi kaal ligikaudu 400 grammi
Tugevus ja jäikus	<ul style="list-style-type: none"> ○ Peab vastu pidama raskele maandumisele ○ Peab vastu pidama kukkumisele 2 m kõrguselt ○ Ei tohi deformeeruda raskel maandumisel ○ Peab ühtlaselt jaotama koormuse kopteri kerele ○ Lennus ei tohi olla üleliigset painet kopteri raamis ja kiirkinnitussüsteemis
Töötsükli arv	<ul style="list-style-type: none"> ○ Kinni- ja lahtiühendamiste arv >500.

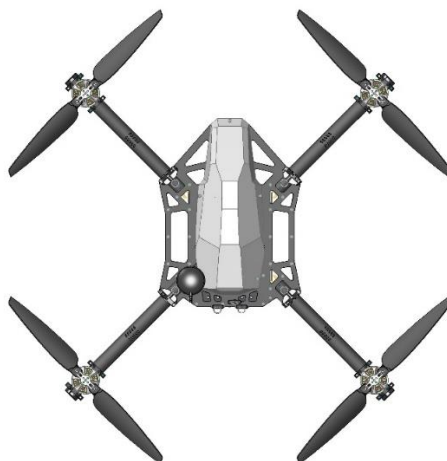
Mootorite ühenduskaablid peavad olema kaitstud.	<ul style="list-style-type: none"> ○ Kinni- ja lahtiühendades ei tohi mootori toitejuhtmestik saada vigastada. ○ Klaaskiud rüü ümber juhtmete
Lihtne kasutada	<ul style="list-style-type: none"> ○ Tööriistade kasutamine peab olema välistatud ○ Kasutajale peab olema lihtsasti arusaadav, et mootoritoru on õieti kinnitatud ○ Ühekordsel ettenäitamisel või kasutusjuhendi läbilugemisel oskab kasutaja seda õigesti kasutada
Ilmastikukindlus	<ul style="list-style-type: none"> ○ Kasutatav temperatuurivahemikul -20° C kuni +50°C. ○ Materjal ei tohi muutuda rabedaks -20 °C juures. ○ Vesi ei tohi pääseda mootoritorude kaudu kopteri sisemusse ○ Liiv ei tohi sattuda kiirkinnituse sisse.
Kokkuklappiv lahendus	<ul style="list-style-type: none"> ○ Kopter peab jääma pärast mootoritorude kokkupakkimist üheks tervikuks. ○ Mootoritorud jäävad kopteri põhiraami külge ○ Puuduvad ärakäidavad osad – kõik detailid jäävad kopteri kokkupakkimist põhiraami külge. ○ Mootoritorude kinnitamiseks ei tule kopteri küljest ühtegi detaili demonteerida.
Tehnoloogiliselt teostatav	<ul style="list-style-type: none"> ○ CNC freespingis freesitav võimalikult väheste seadetega. ○ Detailide omavahelised tolerantsid on lihtsasti teostatavad.

3.4. Kiirkinnituse üldkontseptsioon

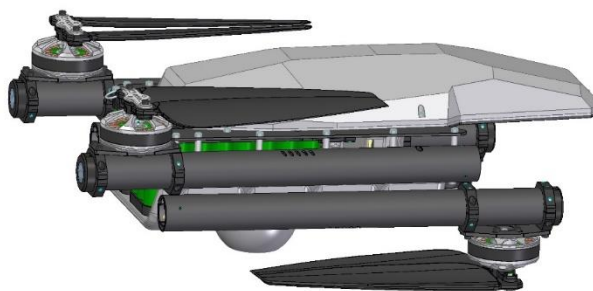
Kiirkinnituse üldpildi loomisel lähtusin mootoritorude lõppasendite määramisega. Mootoritorudel on üks kindel asend – asend kui kopter on lennuvalmis. Selles asendis moodustub pealtvaates rist ja risti igas otspunktis asub mootor. Vajadusel on võimalik seda kujundit muuta, oluline on mitte muuta mootorite omavahelist kaugust ja mootorite raskuskeskme asukohta kopteri kere suhtes. See viiks kopteri tasakaalust välja ning muudaks kopteri aerodünaamikat ja koormaks liialt esimesi või tagumisi mootoreid.

Kontseptsiooni paikapanemise kõige määravamaks kriteeriumiks on pakkimine ning lähtusin sellest, et panna paika esialgne mootoritorude liikumise mehaanika. Ideeks on muuta mootoritorud liigendi abil pakitavaks. Esimesed mootoritorud keeratakse pakkimiseks 135 kraadi tagasi, nii et mootoritorud jäävad paralleelselt kopteri keskraamiga. Tagumised mootoritorud pööravad pakkimiseks kahes tasandis. Pakkimiseks tuleb neid pöörata 180 kraadi, nii et mootor läheb tagurpidi ja liigub kopteri etteossa.

Esimene ja tagumine mootoritoru kinnitus erinevad mehaanikalt üksteiselt kuid lukustussüsteem on mõlemal identne. Torude kiirkinnituse mehaanika kinnitub kopteri keskraami külge poltliitega.



Sele 5. Pealtvaade tööasendis

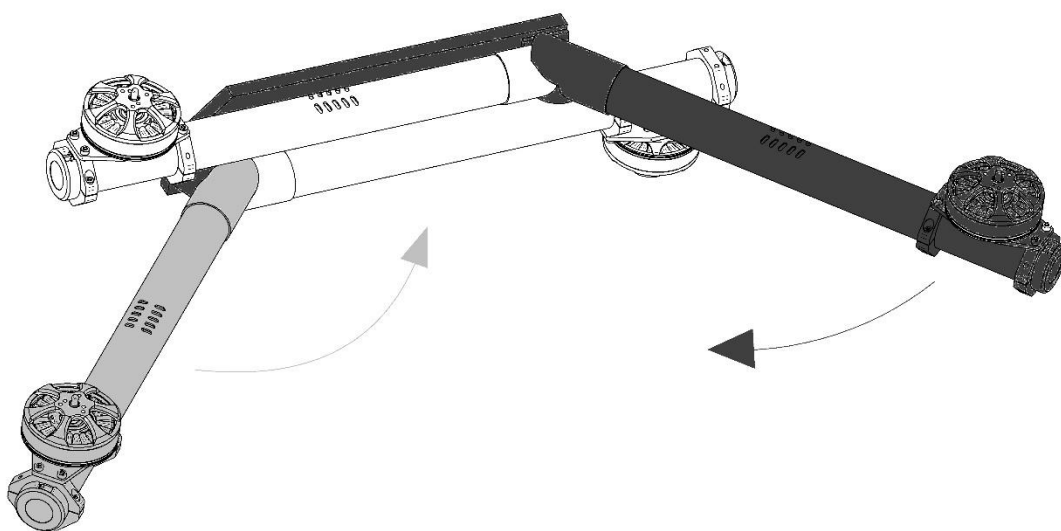


Sele 6. Mootoritorud transpordiasendis

4. PROJEKTEERIMINE

4.1. Üldmudeli loomine

Esialgse mehaanika paikasaamiseks ja edasise projekteerimise lihtsustamiseks koostasin üldmudeli. Üldmudeli abil sai lihtsasti paika sobitada kiirkinnituse asukohta ja mootoritorude liikumise. Oluline oli siinjuures liikumisnurkade paikasaamine. Kopteri mootoritorud moodustavad X kujutise ja kopteri raskuskese peab jääma risti keskele. Esimeste mootoritorude pakkimiseks tuleb neid pöörata 135° kopteri taha. Tagumised mootoritorud liiguvad pakkimiseks esimeste mootoritorude alla ja neid tuleb kokku pöörata 180° . Selgus, et nurk kopteri kere ja mootoritoru vahel peab olema 22.5° , et lahtipakitud asendis oleks tagumiste mootoritorude nurk kere suhtes 45°



Sele 7. Mootoritorude liikumise skeem

4.2. Esialgne versioon

Esialgse versiooni eesmärgiks oli kontseptsiooni testimine ja mehaanika tugevuse hindamine reaalsel mudelil.

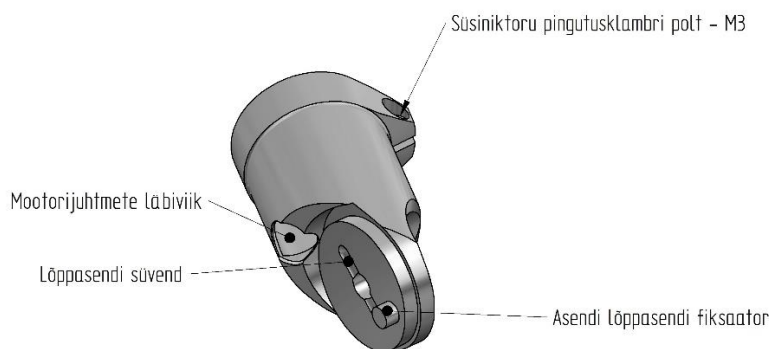
Esialgasel mudelil kasutatakse torude kinnitamiseks kiirkinnitusklambrit, mis kasutab pingutamiseks tsentrist väljas olevat võlli. See süsteem võimaldab väga täpselt ära määrata pingutustugevust. Klambri sulgedes saavutatakse maksimaalne pingutustugevus. Sarnast lahendust kasutatakse ka jalgratta sadula pingutamiseks.

30 mm süsiniktoru kinnitatakse toruklambriga, mis on projekteeritud mootoritoru kiirkinnituse sisse. Toru pingutamiseks kasutatakse M3x12 polti.

Igal kiirkinnitusel on kaks asendit – lennuasend ja transpordiasend. Mõlemas asendis liigub lõppasendifiksaator oma pilus lõppasendisse ja lõppasendi aste vajub oma 2 mm pesasse. Klambri

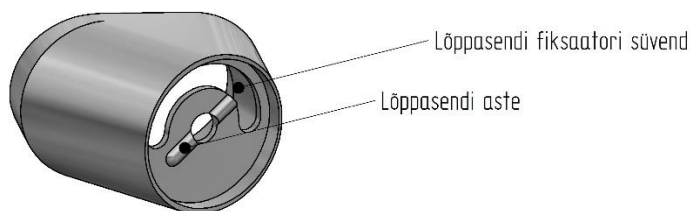
pingutamisel surutakse kaks pinda omavahel kokku ja koormus jaguneb nii lõppasendi fiksaatorile kui ka lõppasendi astmele. Mootoritoru nihkumiseks üle lõppasendi peavad toetuspinnad üksteisest eemale suruma, mis tähendab et suur osa koormusest jaotub ka poldile. Lisaks peab purunema lõppasendi fiksaator. See peaks andma suure tugevusvaru detailide purunemisele.

Kiirkinnitus koosneb kolmest põhiosast: Mootoritoru kinnitus, kerekinnitus ja pingutussüsteem.



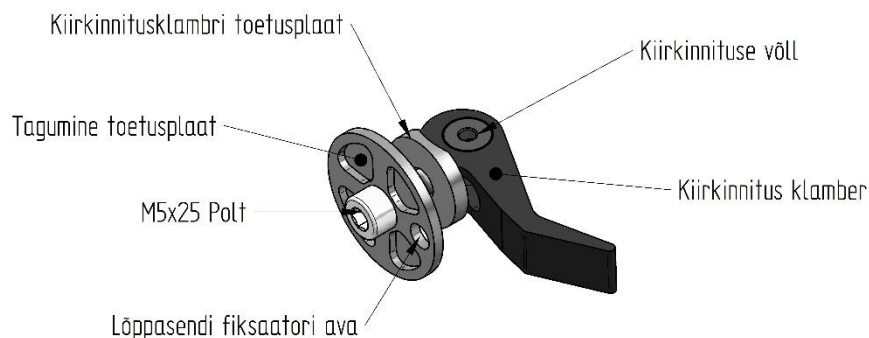
Sele 8. Mootoritoru kinnitus

Mootoritoru kinnitusest väljuvad mootori juhtmed, mis liiguvad kerekinnituse alla, kust nad sisenevad kopteri kereesse. Lõppasendi fiksaator määrab mootoritoru liikumisasendi ning määrab mootoritoru lennu- ja transpordiasendi. Lõppasendi süvend aitab kasutajal veenduda, et mootoritoru on jõudnud õigesse asendisse ja lisaks aitab see lukustusasendit fikseerida. Mootorit hoidev süsiniktoru pingutatakse M3 poldiga, mis pingutab kraed ümber süsiniktoru ja tekitab piisav hõõrdumine, et süsiniktoru ei saaks liikuda.



Sele 9. Tagumine kerekinnitus

Kerekinnitusel on lõppasendi fiksaatori süvend, milles liigub mootoritoru fiksaator. See määrab ära mootoritoru liikumise. Lõppasendi aste töötab ainult kahes mootoritoru asendis – kui mootoritoru on tööasendis ja kui on kokkupakitud asendis. Kui mootoritoru jõuab ühesse neist asenditest, vajub mootoritoru pessa ja võib kiirkinnitusklambri abil fikseerida. Kerekinnitus fikseeritakse kopteri kere külge nelja M3x12 poldiga. Keermed asuvad kerekinnitus detaili sees.



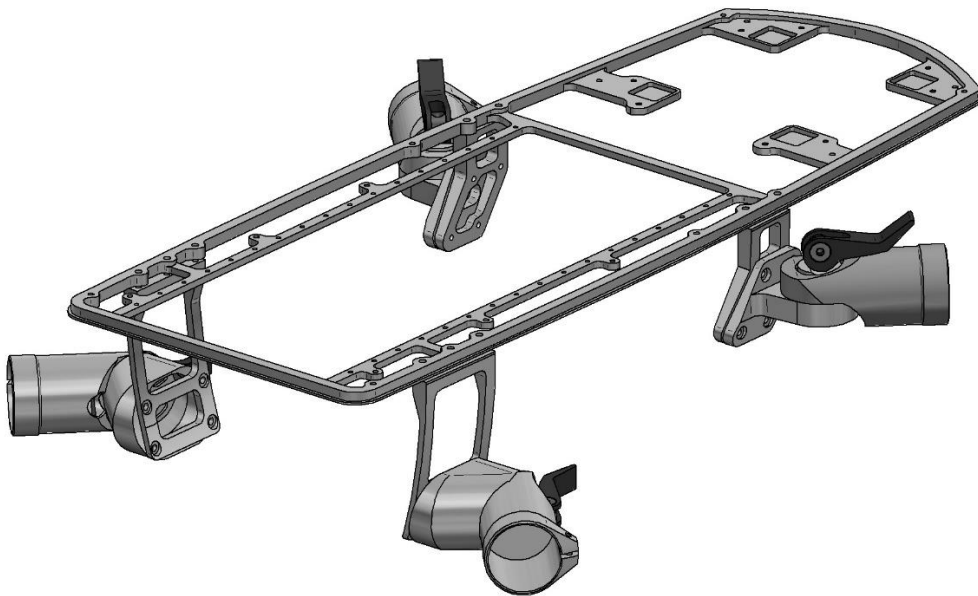
Sele 10. Kiirkinnitusklambri detailid

Kiirkinnitusklambri süsteem koosneb viiest erinevast detailist. Tagumine toetusplaat aitab jaotada survet kerekinnitusele. Kiirkinnitusklambri abiga pingutatakse mootoritoru kinnitus kopteri kerepoolse detaili külge. Pingutamiseks kasutatakse tsentrist väljas olevat võlli, mille abil on väga täpselt paika pandud pingutusaste. Pingutusastet saab reguleerida M5x25 poldiga ja pingutusaste fikseeritakse võllil M4 seadekruviga. Kui kiirkinnitusklamber sulgetakse, saavutatakse koheselt ka õige pingutusaste.

Esialgse versiooni tagumise mootoritoru kiirkinnituse komplekt, valmistatuna 7075 seeria alumiiniumist, kaalub 84 grammi. Kogu kopteri kiirkinnitused kaaluvad kokku ligikaudu 340 grammi. Seetõttu võib väita, et tegemist on väga kerge lahendusega.

4.3. Kere tugevdused

Kopteri mootoritorudest tuleneva koormuse ülekandmiseks kopteri keskraamile tuleb lisada tugevdused kopteri raamile, sest süsinikkorpus on üksi liiga elastne, et koormus vastu võtta. Projekteerisin need kopteri korpuse sisse ning need kannavad koormuse üle kopteri alumiiniumraamile. Mootoritorude kinnituvad nende tugevduste külge poltliite abil. Nende ideeks on lisada jäikust mootoritorudele ja jaotada mootoritorudest tulenev koormus süsinikraami. Mootoritorud otse süsinikkorpusele kinnitades painutaks need korpust ja see mõjutaks nii lennustabiilsust kui ka süsinikkorpuse eluiga.



Sele 11. Kopteri ülemine tugevdusraam ja mootoritorude tugevdused

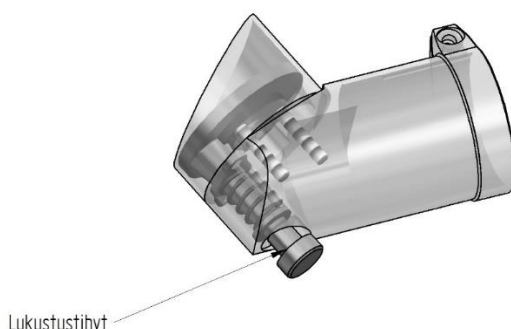
4.4. Lõplik versioon

Pärast esialgse versiooni reaalse mudeli valmimist jäin kontseptsiooniga rahule ja reaalselt mudelit testides, otsustasin teha lõpliku versiooni, kus parandasin ära esialgse versiooni probleemsed kohad. Lisaks muutsin kiirkinnituse kasutamise mugavaks ning ergonomilisemaks.

Uuel versioonil kadus pingutussüsteem ja selle asemel tegin asendi muutmiseks allavajutatava nupu. Kiirkinnitus pingutatakse koostamisel läbi tagumise toetusplaadi kolme poldi abil. Poldid pingutatakse täpsesse asendisse, et asendi muutmise oleks mugav teostada. Asendi muutmise toimub tihvti allavajutamise, kui tihvti koonus lükatakse pesast välja ja liigend saab vabalt liikuda. Tihvti surutakse tagasi koonilisse pesa vedru abil ning kooniline pesa kaotab ära mootoritoru loksumise üles-alla. Kogu liikuv osa libiseb õhukesel plastikplaadil, mis peaks andma mehaanikale

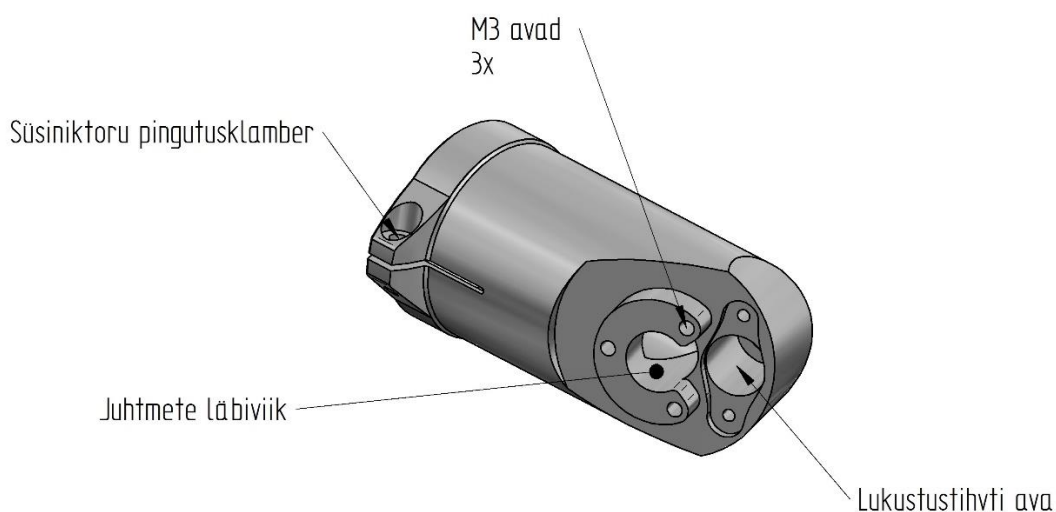
töotsüklite vastupidavuse – väldib teravate servadega metall-metall libisemist ja ühtlustab erinevas temperatuuris mehaanika tööd.

Selles disainis on lahendatud ka eelmise disaini kõige suurem probleem – juhtmete kaitsmine. Eelnevas disainis tulid juhtmed kiirkinnituse seest välja ja liikusid kaarega kopteri kere küljest sisse. Seetõttu said juhtmed igal kokkupakkimisel suurt väänet ja nende eluiga oleks piiratud. Lisaks võisid juhtmed jääda kuskile vahele ja saada mehaanilisi vigastusi. Uues disainis liiguvad juhtmed läbi mootoritoru kiirkinnituse pöörlemisentra, mis tunduvalt vähendab mehaanilist liikumist ja juhtmed on kaitstud väliskeskkonna eest.



Sele 12. Üldine vaade

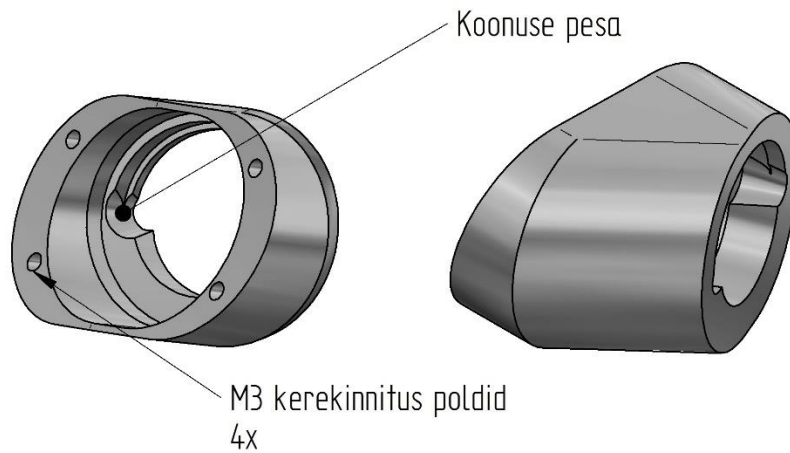
Lõplik versioon koosneb 6-st erinevast isevalmistatud detailist ja 4-st ostutootest. Põhidetailideks on kerekinnitus, mootoritoru liigend, tihvt, tihvti pea, tagumine toetusplaat ja keskmine plastikust vaheplaat.



Sele 13. Mootoritoru kinnitus ja liigendi ülevaade

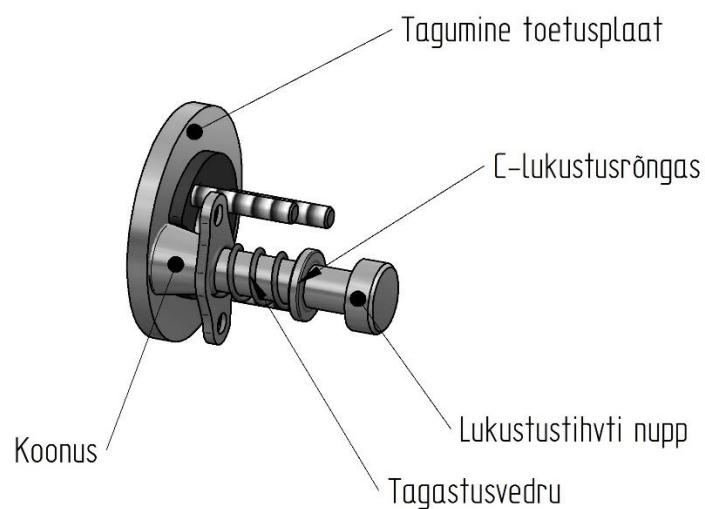
Süsinikust mootoritoru fikseeritakse mootoritoru kinnitusesse sarnaselt nagu esialgses versioonis, kus M3 poldiga pingutatakse kraed ja tekitatakse piisav hõõrdumine, et süsiniktoru ei saaks liikuda.

Mootoritoru kinnituses on kolm M3 poldiava, mis asetsevad võrdsete vahedega ümber detaili pöörlemistsentri ning mille abil pingutatakse kinnitus kerekinnitus detailiga.



Sele 14. Kerekinnituse ülevaade

Kerekinnitus on sarnane esialgsele lahendusele, ainult lõppasendite fikseerimiseks on tehtud koonilised pesad, millesse tihvt vedru abil surutakse. Liikumine on sarnaselt piiratud tihvti süvendiga. Kopteri külge fikseeritakse kinnitus M3 poltidega. Kerekinnitus jälgib kopterikere 3D kujupinda.



Sele 15. Lukustussüsteemi ülevaade

Tihvtil on koonuspind, millega fikseeritakse täpselt lennu- ja transpordiasend ning kaotatakse lõtk detailide mõningasest ebatäpsusest. Tihvt surutakse koonilisse kerekinnituse pesa vedru abil.

5. MATERJALI VALIK

Materjalivaliku lihtsustamiseks koostasin loetelu, kus toon välja kõik olulised parameetrid, millele materjal vastama peab.

- Hea tõmbetugevus
- Korrosioonikindlus
- Hea väsimustugevus
- Madal tihedus
- Mõistlik hind
- Töödeldavus

Kuna antud töös projekteeritud detail läheb õhusõidukile, on kõige määravamaks nõudeks mass. Seetõttu süvenen antud peatükis ainult alumiiniumsulamitele, sest võrreldes terassulamitega tuleks detailide massivahe 2,5 kordne. Lisaks uurisin titaaniumsulamite kasutusvõimalust, kuid kuna titaanium on ligikaudu kaks korda raskem kui alumiinium ja lisaks ka kallim ning raskemini töödeldav, sai titaanium samuti välistatud. [5]

Alumiiniumsulamitest valisin välja kaks varianti, mis on laialdaselt saada. Esimene variant on tunnusnumbriga 6082, margitähisega AlSi1MgMn, mis koosneb Al+0,9% Mg; 1% Si; 0,7% Mn. Tõmbetugevus on 320 Mpa ja materjali kasutatakse üldjuhul transpordivahendite konstruktsioonidetailideks. Mehaaniline töödeldavus on väga hea. [6]

Teine alumiiniumsulami variant on tunnusnumbriga 7075, margitähisega AlZn5,5MgCu ja koosneb Al +5,5% Zn; 1,6% Cu, 2,5% Mg. Tõmbetugevus on 620 Mpa ja on kasutuses lennukikonstruktsioonides. Al-Zn-Cu-sulamitel on Al-sulamitest kõrgeim tugevus. Need on raskemini töödeldavad ja nad on ka madalama korrosioonikindlusega. (materjali ja tehnoloogia valik). Kuna 7075 kõvadus on suurem kui 6082 alumiiniumil, siis on ka mehaaniline töödeldavus mõnevõrra halvem. Samuti on see kuskil 30 % kallim kui 6082. [6]

Antud detailide valmistamiseks otsustasin kasutada 7075 alumiiniumit, sest sellel on tõmbetugevus üle kahe korra suurem, samas massis suurt muutust ei toimu. See on hästi löiketöödeldav. Ainukeseks probleemiks on korrosioonikindluse puudumine, mis tähendab et tükid tuleb pärast löiketöötlust anodeerida.

Anodeerimine on elektrokeemiline protsess, mida kasutatakse metalli pinnale oksiidikihi tekitamiseks. Protsessi käigus eemaldatakse metalli pinnalt naturaalne oksiidikiht ja asendatakse kunstliku oksiidikihiga. Anodeerimine suurendab metallist objektide korrosiooni- ja kulumiskindlust ning tagab parema adhesiooni erinevate kruntvärvide ja liimidega. Peale oksiidikihi kasvatamist on võimalik antud kihile omistada ka erinevaid värvitoone. [7]

6. TUGEVUSANALÜÜS

6.1. Koonusliite tihvti valik

Koonusel on antud disainis mitu ülesannet: lõppasendite täpne fikseerimine, lõtku kaotamine, koormuse ülekandime, mootoritoru asendi lukustamine.

Koonusliiteid kasutatakse pöördemomendi ülekandmiseks, ühendatavate detailide tsentreerimiseks, lõtku või pingu muutmiseks detailide vastastikuse teljesihilise nihutamiseks koostamisel, jätkude tihendamiseks. Neis osutub võimalikuks liikumatute liidete isetsentreerimine, pingu muutmine, koore koostamine-osandamine, liikuvate liidete korral aga kulumise mõju kõrvaldamine. [8]

Koonuse all mõistetakse koonilist pinda ehk kitsamas mõistes koonilist ümarpinda. Koonuse nurk α on koonuse moodustajate vaheline nurk telglõikes. Kaldenurk $\alpha/2$ on koonuse moodustaja ja telje vaheline nurk. Koonilisus C on koonuse kahe ristlõike läbimõõtude vahe ja nende ristlõigete vahelise kauguse suhe. [8]

$$C = \frac{D-d}{L} = 2 \tan \frac{\alpha}{2} \quad (6.1)$$

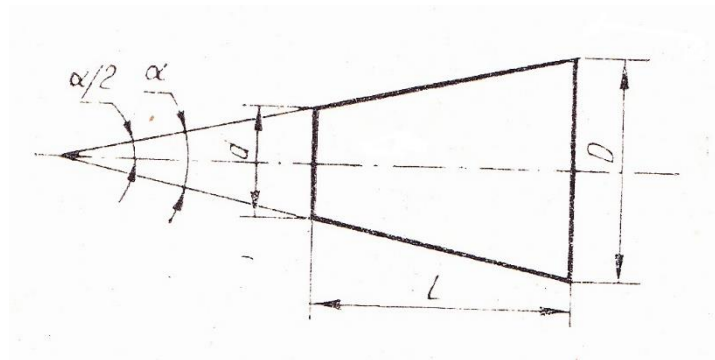
Kus C – koonilisus

D – koonuse laiema otsa ristlõike läbimõõt

d – koonuse kitsama otsa ristlõike läbimõõt

L – koonuse pikkus

$\alpha/2$ – koonuse moodustaja ja telje vaheline nurk



Sele 16. Koonilisuse määramine

Antud ülesande koonusliite valimisel on kõige olulisemaks parameetriks koonilisus. Tabelist (LISA 1) selgub, et antud ülesande täitmiseks sobib kõige paremini 1:5 koonilisusastmega koonus, mida kasutatakse üldjuhul kerglahtivõetavates liidetes. Koonilisusega arvestasin koonuse nurga määramisel ja projekteerimisel

6.2. Pindade laagerdus ja määrimine

Disaini esimese prototüübi katsetamisel tuli välja, et liikuvate kontaktpindade vahel on vajalik laagerdus. Detailid kiilusid ilma määrdeta kinni ja asendi muutmiseks tuli rakendada suuremat jõudu kui lõppkasutajale mugavam oleks. Kuna tavaline kuullaagri kasutamine ei ole otstarbekas, sest nõuab liialt palju ruumi ja detailide projekteerimine liialt keeruline, sai süvenetud alternatiivsetesse määrdemeetoditesse. Oluline ülesanne oli staatilise hõõrdekoefitsiendi võimalikult madalale viimine, et mootoritoru asendi muutmise oleks võimalikult lihtsasti teostatav.

Laagrid on masinaelemendid, mis võimaldavad suhtelist liikumist kahe osa vahel, samas suunates jõudusid ühelt osalt teisele, lubamata liikumist koormuse suunas. [9]

Pöörlevat või õõtsuvat masinadetaili toetav laager võtab vastu sellele detailile rakendatud koormused ja tasakaalustab need reaktsioonidjõududega. Laagri kaudu kandub pöörlevale masinaosale rakendatud koormus seadme kerele, raamile, vundamendile jms. Üldjuhul vajatakse pöörleva detaili toetamiseks kaht liiki laagreid – radiaal ja aksiaallaagreid. Lihtsaim radiaallaager kujundatakse puksina, mis kinnitatakse seadme kere külge. Sobiva kerematerjali korral kasutatakse laagrina seadme kereesse puuritud ja korralikult viimistletud ava. Laagritele toetuvat võlli- või teljeotsa nimetatakse tapiks. Harilikult valitakse tapi läbimõõt veidi väiksem võlli omast. Tekkinud õlgmik ehk tugiääris toetud radiaallaagri otspinnal, mis täidab sel juhul tugilaagri ülesannet. Elementaarhõõrdejõudude õla ja seega ka kogu hõõrdemomendi vähendamiseks on otstarbekam toetada tugilaagritele võlli otspind. Toetumine laagritele orienteerib pöörleva detaili ruumis. [9]

Liugelaagri eelised üle rullilaagri:

- Madalam maksumus
- Lihtne korpuse ja võlli disain
- Kompaktne
- Vaikne töö
- Mitte väga tundlik tolmu ja mustuse suhtes
- Väiksem tõenäosus väsimustõrgetele
- Väiksem tõenäosus murenemist tulenevatele riketele, kui kasutatakse väikese amplituudiga, tsüklilise liikumise korral
- Kerge kaaluga
- Lihtne vahetada ja hooldada

Kõige lihtsamad laagerdused kasutavad libisevate pindade vahel määrdeainet, et vähendada hõõrdumist, võimsuse kadu ja hajutada soojust. [10]

Hõõrdekoefitsient kahe alumiiniumdetaili vahel, kui pinnad on puhtad ja kuivad on $1.05 - 1.35 \mu_s$. Kui kontaktpinnad määrda õli või määrdeainega, on võimalik saavutada hõõrdekoefitsient $0.3 \mu_s$ [11]

See on üle 3 kordne erinevus, mis tähendab et määritud pinnal libiseb detail 3 korda väiksema rakendatud jõuga. Lisades kontaktpinna ühtlustamiseks ning teravate servadega metallpindade

omavahelise hõõrdumise vältimiseks plastikust plaadi, aitab see veelgi vähendada hõõrdekoefitsient.

Teine võimalus on kasutada isemäärduvaid plastikut kontaktpindade vahel. Metall-metall kontaktpindade määrimisel määrdeainega tekib probleem, et määre hakkab ligi tõmbama tolmu ja mustust ning hakkab ajapikku pesast välja immitsema. Toote kasutajale on see ebamugav, sest ta võib enda käsi ja riideid määrda.

Isemäärduvate plastikute eelised traditsiooniliste metalllaagerduste ees: [12]

- Madalad hoolduskulud – kulude kokkuhoid
- Ilma vedela määrdeta – ei kogu tolmu
- Suure efektiivsusega – keemilised kahjustused ja temperatuuri tolerants
- Kerge kaaluga
- Korrosiooni ja rooste vastupidavus
- Paindlikud disainivõimalused – väga head omadused lineaarsetel, võnkuvatel ja pöörlevatel rakendustel.

Sobiliku plastiku määramisel lähtusin põhikriteeriumitest: hõõrdekoefitsient, hind, survetugevus.

Valiku tegemisel lähtusin tabelist, mis on välja toodud LISA 2.

Graafiku järgi otsustasin kasutada POM-C materjali, kuna see on üldiselt heade näitajatega, seda on lihtne mehaaniliselt töödelda ning ta on suhteliselt odav.

6.3. Vedru valik

Vedru on kasutusel tihti surumiseks koonilisse pessa, mis lukustab mootoritoru asendi.

Vedrusid võib üldjuhul defineerida kui struktuuri või seadet, milles ilmneb koormamisel elastne deformatsioon ja koormuse eemaldamisel taastab see enda esialgse kuju. Enamikel rakendustes soovitakse saada lineaarset vedrujäikust. Kuna iga reaalne materjal omab mingisugust elastusmoodulit, siis iga masinaelement käitub mingil määral vedru või leevendina. [10]

Üldiselt kasutatakse vedru terminit elastsetel seadetest, mis on spetsiaalselt konfigureeritud vastu võtma soovitud jõudusid või jõumomente, pakkuda paindlikust või potentsiaalse energia vabastamiseks. Vedru konfiguratsioonide, mis annavad soovitud käitumise, kuuluvad spiraalselt keerdunud traat, mis on pingestatud piki spiraali telge. [10]

Spiraalvedrud on kõige levinumad vedrutüübid. Spiraalvedrut on võimalik kasutada survekoormuste toetamiseks (vedru surub), tõmbekoormusteks (vedru tõmbab) või väändmomendi vastuvõtmiseks (keerdumine). [10]

Vedrud on loodud töötama üle pika aja ilma oluliste muutusteta mõõtmetes, nihetes või vedru vastupanus. Vedru kõige tavalisemad purunemise põhjused on liigne paindumine, väsimus, korrosiooni, murenemine, liigne materjali roomamine, termiline lõdvestumine, elastse deformatsiooni ületamine. Selgituseks, et kui vedru on painutatud täiskoormused, siis koormuse kogusuma ei tohi ületada materjali voolavuspiiri. Kui see ületatakse, toimub plastne deformatsioon ja vedru ei võta peale koormuse eemaldamist enam esialgset kuju. [10]

Vedru võimekus on otseselt seotud materjaliga. Vedru materialil peab olema suur tugevus, kõrge vastupidavus, hea roomavustugevus, vastupidavus väsimusele ja mõnel juhul ka korrosioonikindlus ja temperatuurikindlus. Materjalid, mis vastavad nendele kriteeriumitele on süsinikteras, legeerteras, roostevaba teras. [10]

Antud ülesandes on oluline välja selgitada, kui suure jõuga on vedru suuteline tihvi suruma koonusesse, et lukustada mootoritoru asend. Samuti aitab sama arvutus välja selgitada, kui suurt jõudu peab kasutaja rakendama tihvtile, et muuta mootoritoru asendit. Kasutusel on tavaline survele töötav spiraalvedru.

Sobiva vedru leidmiseks kasutasin lehekülge: <http://www.acxesspring.com/spring-force-constant-calculator.html>. Lehekülje suureks eeliseks võimalus kõik olulised parameetrid kohe ära määrata ja lisaks saab õige vedru kohe ära tellida ning ei pea kuskilt neid eraldi otsima hakkama.

Sobiv vedru: **AC1500-9500-6.000-MW-14.000-C-N-MM**

Tabel 3. Tihvti lukustusvedru andmed

Vedru jäikus (vedru konstant), k:	24.485 N/mm
Maksimaalne koormus, F_{max} :	85.697 N
Vedru suurim tööpikkus, L_b	5.5 mm
Koormatud vedru pikkus:	5.8 mm
Vedutraadi läbimõõt, d:	1.5 mm
Vedru välisläbimõõt, $D_{väli}$:	9.5 mm
Vedru siseläbimõõt, D_{sise} :	6.5 mm
Koormamata vedru pikkus, L_{vaba} :	14.0 mm
Aktiivsete vedruspiraalide arv	4
Materjal:	Music Wire ASTM A228

6.4. Tugevusanalüüs

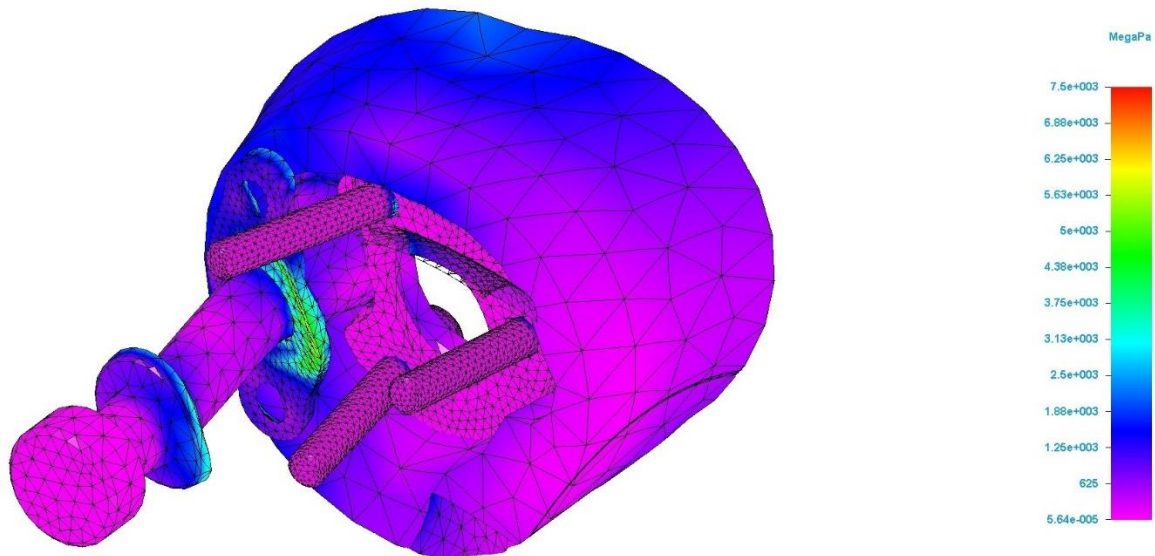
On inseneri vastutada, et kõik projekteeritud ja valmistatud tooted töötaksid ohutult ja tõrgeteta. On oluline veenduda, et konstruktsioon oleks piisavalt tugev, et ohutult taluda kõiki koormusi ja piisavalt jäik, et vältida lubamatuid deformatsioone. Seetõttu tuleb teha detailidele tugevusanalüüs, et välja selgitada, kas konstruktsioon on piisavalt tugev, et vastu pidada võimalikele maksimaalsetele koormustele. Maksimaalsete koormuste arvutamisel arvestan ainult õhus mõjuvaid jõudusid. [13]

Tugevusanalüüsi ülesandeid on kolme liiki:

1. Dimensioneerimine, kus on teada materjal, koormused ja geomeetria ning on vaja leida detailile mõõtmed
2. Tugevus- ja jäikuskontroll, kus on teada materjal, koormused, geomeetria ja mõõtmed ning on vaja leida, kas detail on piisavalt tugev ja kas jäikus on tagatud.
3. Lubatava koormuse leidmine, kus on teada materjal, koormusskeem, geomeetria ja mõõtmed ning vaja on leida koormuse suurim väärtus.

Tugevusanalüüsi juures on oluline, et iga konstruktsioon saaks optimeeritud nende otstarbest ja tööolukorrast lähtuvalt. Optimeerides detaile saavutatakse kaalusääst ja kulude kokkuhoid. [13]

Esiteks tuleb antud detailidele läheneda analüütiliselt, sest tegemist on väga keerukate detailidega ning seetõttu on väga keeruline arvutada iga detaili maksimaalseid lubatud koormusi. Esmalt kasutan 3D modelleerimistarvara, et leida leida kõige nõrgemad detailid.



Sele 17. Detailide FEA analüüs pingele.

Selgus, et kõige tõenäolisem on purunema tihvt või poldid, mis hoiavad mootoritoru kiirkinnitust. Väga suurt rolli mängib rakendatava jõu suund.

Tihvti arvutus on suhteliselt lihtne ja tihvtile mõjuv maksimaalne koormus tuleneb otseselt mootoritoru poolt rakendatavast jõuolast. Tihvti pesa analüüsidest võib väita, et tihvt puruneb löikava koormuse mõjul, ehk tihvti teljega risti mõjuva põikkoormuse toimetel. Keskmise mootori poolt tekitatud tõstejõud mootori tsentris on ligikaudu 2200g. Hindan maksimaalseks koormuseks 4000g, mis võib mõjuda mootori tsentris.

$$F = 4 \times 9,81 = 39,24 \text{ N}$$



Sele 18. Koormusskeem

Skeemist jäeldub, et tihvtile mõjuv maksimaalne löikejõud on kangi teisele otsale mõjuva jõu ja jõuõla korrutisega.

$$F_1 \cdot l_1 = F_2 \cdot l_2 \tag{6.1}$$

Kus F_1 on kangi ühele otsale mõjuv jõud,

l_1 on kangi ühe poole jõu rakenduspunkti ja kangi toetuspunkti vaheline kaugus,

F_2 on kangi teisele otsale mõjuv jõud,

l_2 on kangi teise poole jõu rakenduspunkti ja kangi toetuspunkti vaheline kaugus.

Eelnevast valemist saame tuletada uue valemi, et leida kangi teisele otsale mõjuva jõu.

$$F_2 = \frac{F_1 \cdot l_1}{l_2} \quad (6.2)$$

Asendades jooniselt arvud valemisse, leiame kangi teisele otsale mõjuva jõu.

$$F_2 = \frac{39,25 \cdot 0,27}{0,012} = 882,9 \text{ N}$$

Tihvti tugevusarvutusel löikele on ohtlikeim sisejõud põikjõud Q ning koormamisel tihvtis tekkiva löikejõu väärtused ei tohi ületada lubatavat nihkepinget. [13]

Esiteks leian lubatud nihkepinge, ohutusteguriks valisin 3, sest tegemist on muutliku või väheteada koormus- ja pingetingimusega. Esialgseks materjaliks valisin tavalise E295 konstruktsiooniterase, mille piirpinge nihkele on $\sigma_{lim} = 390 \text{ N/mm}^2$.

$$\tau_{s,allow} = \frac{\tau_{sB}}{v} \quad (6.3)$$

Kus $\tau_{s,allow}$ on lubatud nihkepinge

τ_{sB} on nihketugevus

v on ohutustegur

Asendades valemisse 6.3 E295 konstruktsiooniterase piirpinge nihkel ja ohutusteguri 3, saame:

$$\tau_{s,allow} = \frac{390 \text{ N/mm}^2}{3} = 130 \text{ N/mm}^2$$

Seejärel arvutasin tihvti ristlõikepindala kõige peenema koha pealt.

$$S = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \quad (6.4)$$

Kus S on silindri ristlõikepindala

π on pi arv

d on ristlõike diameeter

Asendades valemisse 6.4 tihvti minimaalse diameetri (6 mm), saame:

$$S = \frac{\pi \cdot (6 \text{ mm})^2}{4} = 28.3 \text{ mm}^2$$

Arvutan lubatud maksimaalse nihkejõu.

$$F_{allow} = S \cdot \tau_{s,allow} \quad (6.5)$$

Kus F_{allow} on lubatud nihkejõud

S on sildindri ristlõikepindala

$\tau_{s,allow}$ on lubatud nihkepinge

Asendades valemisse 6.5 eelnevalt arvutatud tulemused, saame lubatud nihkepingeks.

$$F_{allow} = 28.3 \text{ mm}^2 \cdot 130 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} = 3679 \text{ N}$$

Sellest järeldub, et tihvt on piisavalt tugev ning lisaks tugevusvarule ületab maksimaalse lubatava koormusega tekkiva nihkejõu nelja kordselt. Samas tekib siin nüüd küsimus, et kas tihvt ei ole üledimensioneeritud. Üle 4 kg tekkiv koormus mootoritoru otsale tekib ainult raskel maandumisel ning kuna on teada, et tihvt on vähetõenäoline purunema, läheb ilmselt kuskilt mujalt midagi katki, mida on keerulisem vahetada. Selle tagajärjel võib olla kahju palju suurem ning kopter tuleb saata remonti. Seetõttu tuleks tihvti arvutus teha üks kord uuesti ning mõne pehmema materjaliga, näiteks alumiiniumiga.

6061 seeria alumiiniumi nihkepinge on 207 N/mm². [14]

Arvutan valemiga 6.3 lubatud nihkepinge

$$\tau_{s,allow} = \frac{\tau_{sB}}{\nu} = \frac{207 \text{ N/mm}^2}{3} = 69 \text{ N/mm}^2$$

Arvutan uuesti lubatud maksimaalse nihkejõu.

$$F_{allow} = S \cdot \tau_{s,allow} = 28.3 \text{ mm}^2 \cdot 69 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} = 1952,7 \text{ N}$$

See maksimaalse nihkejõu tulemus on ligikaudu kaks korda suurem kui tihvtile hinnatud maksimaalne mõjuv jõud. Kuna antud tugevusarvutuses on väga palju määramatusi, võib selle tulemusena rahule jääda.

7. TOLERANTSIDE MÄÄRAMINE

Antud töös on oluline, et osad mõõtmed oleks tolereeritud, et detail sobituks teiste detailidega. Tähtsamad tolerantsid tuleb ka joonisele märkida, et CAM insener oskaks arvestada nõutavate tolerantsidega ning masina vastavat seadistada.

Detailid sobituvad kokku istuga. Istuks nimetatakse detailide liikuvuse astet liites, see tähendab kui hästi või halvasti nad üksteise suhtes liiguvad. [15]

Istusid liigitatakse:

- Liikuvad ehk garanteeritud lõtkuga
- Liikumatud ehk garanteeritud pinguga
- Siirdeistud

Liikuva istu puhul on võll enne koostamist alati avast väiksem, pinguga istu puhul aga suurem. Siirdeistu puhul on liidetavate detailide piirhälbed valitud nii valitud, et osa liiteid tuleb lõtkuga ja osa pinguga – see sõltub siis liidetavate detailide tegelikest mõõtmetest. [15]

Kuna antud töös on oluline, et detailid liiguksid vabalt ja et neid oleks mugav käega liigutada, tuleb kasutada liikuvat ehk garanteeritud lõtkuga istu.

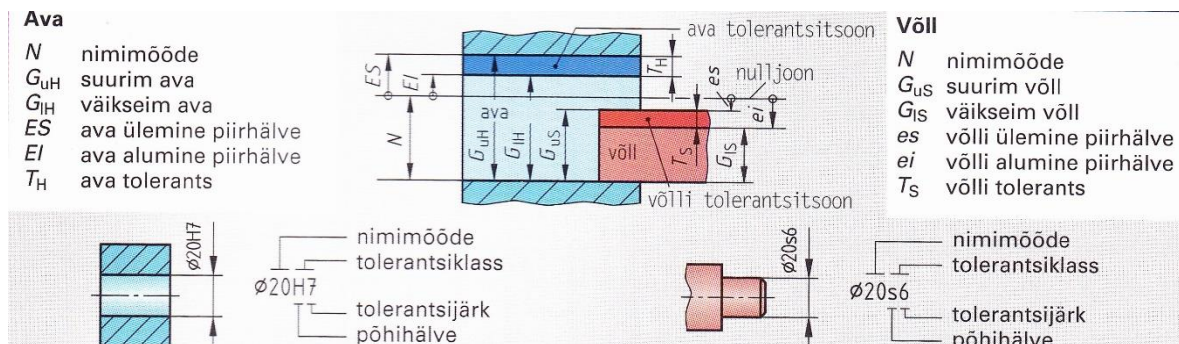
Antud töös on vaja määrata tolerantsid kolmele detailile. Esiteks on vaja määrata mootoritoru liigendi tolerants ja teiseks on vaja määrata tihvti tolerantsid koos koonuse tolerantsiga.

Alustasin mootoritoru liigendi tolereerimisega.

Liigendi võlli ja pesa nimidiameeter on 20,50 mm. Vajalik on lõtkist, sobiva lõtkistu leidmiseks kasutan soovitustabelit sobiva lõtkistu leidmiseks. Sobivaks lõtkistuks valisin avale H8/e8 ja võllile E9/h9. See peaks tagama kiirkinnitusühenduse vaba liikumise suures temperatuurivahemiku ja piisav lõtk peaks lubama kergesti liidet koostada. Samuti on see lihtsasti saavutatav ning ei nõu freesimisel väga suurt täpsust.

Istu arvutus $\varnothing 20,50$ H8/e8

Ava $\varnothing 20,50$ H8 tulemid



Sele 19. Tolerantside ja istude süsteemi selgitus

$$G_{uH} = N + ES \quad (7.1)$$

Kus G_{uH} suurim ava,
N on nimimõõde,
ES on ava ülemine piirhälve.

Arvutan suurima ava:

$$G_{uH} = 20,50 \text{ mm} + 0,033 \text{ mm} = 20,533 \text{ mm}$$

$$G_{IH} = N + EI \quad (7.2)$$

Kus G_{IH} on väikseim ava,
N on nimimõõde,
EI on ava alumine piirhälve.

Arvutan väikseima ava:

$$G_{IH} = 20,50 \text{ mm} + 0 \text{ mm} = 20,500 \text{ mm}$$

$$G_{US} = N + es \quad (7.3)$$

Kus G_{US} on suurim võll,
N on võlli nimimõõde,
Es on võlli ülemine piirhälve.

Arvutan suurima võlli:

$$G_{US} = 20,50 \text{ mm} + (-0,040 \text{ mm}) = 20,460 \text{ mm}$$

$$G_{IS} = N + ei \quad (7.4)$$

Kus G_{IS} on väikseim võll,
N on võlli nimimõõde,
Ei on võlli alumine piirhälve.

Arvutan väikseima võlli:

$$G_{IS} = 20,50 \text{ mm} + (-0,073 \text{ mm}) = 20,427 \text{ mm}$$

Nüüd kus mul on leitud suurim ja väikseim ava ning võll, saan leida suurima ja vähima lõtku antud istul.

$$F_{Cmax} = G_{uH} - G_{IS} \quad (7.5)$$

Kus F_{Cmax} suurim lõtk.

Arvutan suurima lõtku:

$$F_{Cmax} = 20,533 - 20,427 = 0,106 \text{ mm}$$

$$F_{Cmin} = G_{IH} - G_{us} \quad (7.6)$$

Kus F_{Cmin} on vähim lõtk

Arvutan vähima lõtku:

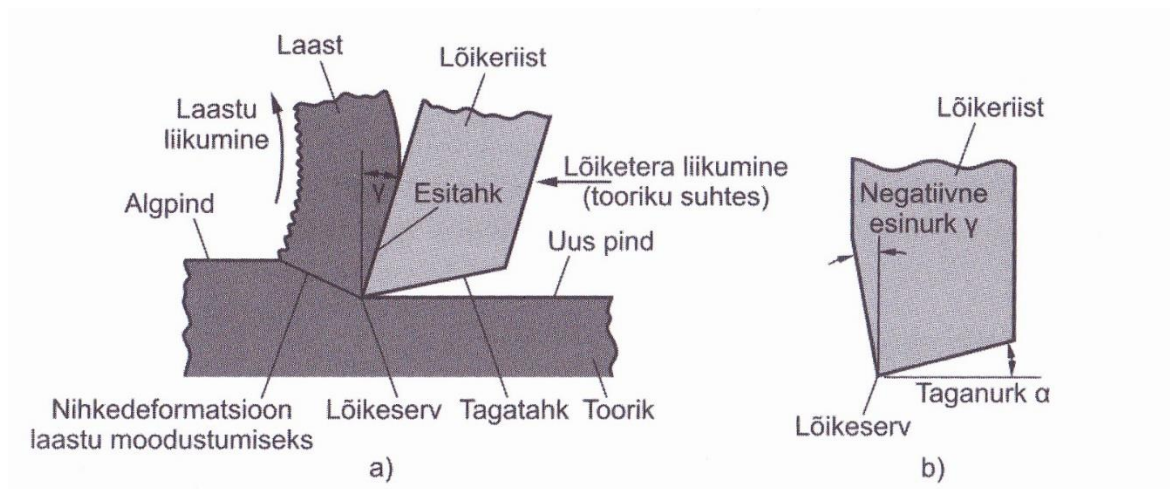
$$F_{Cmin} = 20,500 - 20,460 \text{ mm} = 0,04 \text{ mm}$$

Antud piirhälbed tuleb kanda detailide joonisele ja CAM insener sisestab vastavad piirhälbed ka masinkoodi, mille järgi masin need detailid valmistab.

8. TOOTMISTEHNOLOGIA

Üldnõuetest tuli välja, et kõik detailid peavad olema CNC freespingis freesitavad, mistõttu tuli osa detaile mõningal määral ümber projekteerida. Lähtusin asjaolust, et detailid oleksid freesitavad 4-teljes, mis vähendab seadete arvu ja lühendab tunduvalt tootmiseks kuluvat aega.

Lõiketöötlus on töötlemisviis, mille puhul soovitava kuju, mõõtmete ja pinnakvaliteediga detail saadakse toorikult materjalikihi mahalõikamisega. Lõiketöötlusel toimub materjali eraldamine valdavalt deformeerimisega nihkel. Tekkinud laast juhatakse eemale, mille tulemusena moodustub uus pind. Protsessi kirjeldab joonis:



Sele 20. Lõiketöötluse skeem ristlõikes: a - teriku esinurk γ on positiivne; b - teriku esinurk γ on negatiivne

Lõiketöötlus on üks tähtsamaid valmistusprotsesse, mille tulemusena valmib suurem osa masinate ja aparatuuride osadest. Lõiketöötluse eelised on:

- Töödeldavate materjalide mitmekesisus.
- Detailide kuju ja geomeetria suur mitmekesisus.
- Mõõtmete täpsus
- Hea pinnakvaliteet
- Majanduslik põhjendus.

Lõiketöötluse puudused:

- Lõiketöötlusega tekivad jäätmed laastu kujul
- Töötusaeg sageli pikem kui alternatiivsetel valmistusprotsessidel kasutades
- Suured kulutused seadmetele, energiale, tööjõule
- Ebasoovitavad kaasmõjud nagu töödeldud pinna karestumisest tingitud suurenenud kõvadus ja sisepinged.

Üldjuhul teostatakse lõiketöötlust pärast selliseid valmistusprotsesse nagu valu ja survetöötlus, kusjuures detailidele antakse lõplik geomeetria, mõõtmed ja pinnakvaliteet. [16]

Arvjuhtimisseadmel (CNC) toimub funktsioonide täitmine ja masina tööriista liikumine eelprogrammeeritud kindla süsteemiga programmi alusel. NC (numerical control) masinad on tüüpilised mehhatrooniasüsteemid, sisaldades tööpinke, millel on mehaaniline osa ja programmiga juhitud elektrooniline osa. [17]

Detailide tootmine arvprogrammjuhtimisega masinal on pikk protsess ja koosneb mitmest erinevast etapist. Töö algab enamasti mudeli projekteerimisega CAD (computer aided design) raalprojekteerimis keskkonnas. Pärast detaili geomeetria modelleerimist tehakse CAPP (computer Aided Process Planning) analüüs. Analüüsi käigus selgitatakse välja vajalikud masinad, tööriistad, detaili kinnitused, lõikeparameetrid, töötlemise järjekord. Kuna protsessi planeerimine on väga keeruline ja nõuab iga detaili puhul eraldi lähenemist, siis protsessi planeerimine toimub enamasti oskused-teadmised loogikale. [17]

CAM (computer aided manufacturing) täidetakse lõppfaasis, et genereerida programm detaili loomiseks. Selles etapis luuakse tööriista liikumise töörajad, kasutades tööriistu ja informatsiooni, mis koguti eelmises CAPP etapis. Töörajade loomisel jälgitakse tööriista liikumiskiirusi, lõikemetoodikaid, tööaega, tööriista vahetusi ja masina võimekust. Oluline on programm efektiivselt koostada, et vähendada tühja liikumist, tööriistavahetuste arvu ning detail võimalikult kiiresti ja kvaliteetselt valmis teha. [17]

Masinaoperaatori töö on toorik pinki fikseerida ja masina seadistamine. NC süsteem loeb ja tõlgendab programmi osa mälust ja kontrollib pingi telgede liikumist. NC süsteem genereerib juhiseid asukoha ja kiiruse kohta ning liigutab vastavalt juhistele servomootoreid, põhinedes sealjuures eelgenereeritud programmile. Servomootori pöörlemisega muundatakse kuul-kruvi pöördliikumine lineaarseks liikumiseks. Lineaarse tera või tooriku liikumisega ja freesitakse detailile vajalik kuju. [17]

CNC juhtimisprogrammi koostamiseks kasutasin Autodesk Fusion 360 tarkvara, millel on ka 4-telje sünkroonfreesimise võimekus. Neljandat telge kasutasin põhiliselt ainult indekseerimiseks, mis tegi programmi koostamise tunduvalt lihtsamaks. Toorik kinnitatakse 4-telje kruustangi ja freesitakse kõik pinnad, lisaks on antud detailil lisaks 3D kujupinnad, mis tuleb väikese kõrvaleastega freesida.

Kuna tegemist on suhteliselt keerukate 4-telje detailidega, on freesimisel oluline jälgida, et detail oleks kogu aeg piisavalt toetatud. Toe kadumisel hakkab detail vibreerima ja rikub detaili pinnakvaliteedi või halvemal juhul tuleb üldse lahti ja võib tera ära lõhkuda.

Detailile freesimisprogrammi koostamist alustasin uue seade loomisest. Vaatasin üle pingis olevad freesid ning üritasin võimalikult palju operatsioone teha vastavate freesidega, et ei peaks kõiki freese ära vahetama. Programmi koostamisel lähtusin asjaolust, et detailil oleks kogu aeg piisav tugi ja suure diameetriga freesiga tühjaksloiked tegin kõige esimesena. Iga pinnale tehti must ja puhastöötlus, et saavutada võimalikult hea pinnakvaliteet. Kuna detail freesitakse neljandas teljes suhteliselt lähedal kruustangidele, on oluline programmis õieti sisse kanda freeside tegelikud pikkused. See aitab simuleerimisel välistada tööriistatsangi sattumise liialt lähedale neljanda telje kruustangidele. Pärast esialgse programmi loomist optimeerisin programmi, et minimeerida liikumist,

kui frees realselt ei freesi. Esimese proovidetaili freesimise järel sai programmi veelkord optimeeritud ning suurendatud teatud kohtades löikekiirusi.

Ühe komplekti mootoritorude kiirkinnituste freesimiseks pärast programmi optimeerimist kulus ligikaudu 1 tund. Realselt on võimalik löikekiirusi veelgi suurendada, et detaile veel kiiremini toota.

Detailid freesimiseks kasutasin Haas TM-2 freespinki. Tegemist on Haasi madalama taseme pingiga, mis ei ole mõeldud otseseks seeriatootmiseks. Seda kategoriseeritakse kui „toolroom mill“ ehk freesid asuvad koos tööriistavahetiga samas töökeskkonnas. Haas TM-2 töölaua liikumisulatus on X-teljes 1015 mm, Y-teljes 406 mm ja Z-teljes 406 mm. Spindel on tal õhkjahutusega 5.6 kW 6000 rpm servomootoriga, mis võimaldab jäika keerrestamist. Tööriistavahetis on kohti 10-le tööriistale. Lisaks on pingile installeeritud neljas pöördtelg, mis on varustatud õhkpiduriga. [18]



Sele 21. Tagumise parema mootoritoru kinnitus koos kerekinnitusega.

9. MAJANDUSLIK ARVUTUS

Antud lõputöös valminud detailid on kõik töödeldavad CNC frees- või treipingis. Põhiline hind tuleneb masina tööajast ja tooriku hinnast.

Maksumuse arvutamiseks koostas tabeli, mis on toodud LISA 3

Iga detaili hind on sõltuvuses kogusest, sest mida suurem on kogus, seda vähem peab masinat vahepeal ringi seadistama ja masin seisab ainult tooriku vahetamise ajal.

Toon välja ainult tagumiste mootoritorude kiirkinnituste maksumuse.

Tabel 4. Ühe komplekti mootori kiirkinnitusdetailide maksumus

Detail	Kogus	Hind	Hind kokku	Allikas
Kerekinnitus	1	45 €	45 €	Arvutustabel
Mootoritoru kinnitus/liigend	1	57 €	57 €	Arvutustabel
Tagumine toetusplaat	1	19 €	19 €	Arvutustabel
Plastikust vaheplaat	1	17 €	17 €	Arvutustabel
Tihvti völli	1	27 €	27 €	Arvutustabel
Tihvti nupp	1	13 €	13 €	Arvutustabel
C-clip	1	0,1 €	0,1 €	Baltic Bolt
Vedru	1	1,2 €	1,2 €	Acess Spring
D912 M3x20 polt	3	0,16 €	0,48 €	Baltic Bolt
D7991 M3x5 polt	1	0,12 €	0,12 €	Baltic Bolt

Maksumus ligikaudne 179.9 €. (maksumus arvutatud detailide ühekordsel valmistamisel).

Ühe komplekti mootoritoru kiirkinnituse hind on samas suurusjärgus nagu sai eeldatud. Detailide reaalsel tootmisel läheb hind alla. CNC hinnakalkulatsioon on koostatud hetkel ühe detaili freesimiseks, ning kui ühte detaili tuleks valmistada suurema seeriana, langeb ka hind, ses väheneb seadistamisele kuluv aeg.

KOKKUVÖTE

Bakalaureusetöö tulemusena projekteerisin mehitamata õhusõidukile KX-4 Interceptor uude mootoritorude kiirkinnituse süsteemi, mis muutis kopteri mehaanika tugevamaks ja töökindlamaks ning kasutajale lihtsamini kasutatavaks ja transporditavaks.

Kõige töömahukamaks osaks oli süsteemi projekteerimine, sest selgeks tuli teha kontseptsiooni toimimine, mis tähendas reaalse prototüübi loomist ja selle katsetamist. Testimisel tulid välja mõned puudused ning need sai kõrvaldatud lõplikus tooteversioonis. Projekteerimisel sai rõhku pandud kaalu optimeerimisele, säilitades konstruktsioonide piisav tugevus, jäikus ja vastupidavus.

Mehaaniliselt oli suurimaks probleemiks jäikuse ja tugevuse tagamine süsteemis ning kogu kiirkinnitussüsteemi integreerimine kopteriga, millega tuli kiirkinnituse kerepoolse detaili projekteerimisel arvestada. Veenduda tuli mehaanika vastupidavusele õhus tekkivatele koormustele ning hinnata süsteemi eluiga koormustsüklitele.

Tootmistehnoloogiaks valitud arvprogrammjuhtimisega freesimine võimaldas projekteerida geomeetriliselt keerulise konstruktsiooni, millel on nõutud täpsed tolerantsid. Keerulise geomeetria freesimise tegi võimalikuks nelja teljega freespingi olemasolu.

Projekteeritud süsteem loob lahendusi paljudele varasematele probleemidele mootoritoru kiirkinnitussüsteemis. Oluliselt vähenes raami läbipaindumine ning sellest tulenevalt ka vibratsioon kopteri raamis. Kopteri pakkimine transpordiks muutus tunduvalt kiiremaks ja lisaks pakuvad kokkupakitud mootoritorud kaitset kaameraalusele. Uus süsteem muutis kopteri mehaaniliselt vastupidavaks, uus süsteem koosneb alumiinidetailidest, mis on tunduvalt jäigemad ja vastupidavamad kui plastikosad. Kadusid ühenduspistikud ning mootorijuhtmed on välise keskkonna eest kaitstud kiirkinnituse sees.. Kopteri üldist massi mootoritorude kiirkinnituste arvelt suudeti vähendada 300 grammi võrra.

Töö autori hinnangul on projekteeritud süsteem oluline edasimineku KX-4 arendustöös ning sellest arenes välja täiesti eraldi arendus uuele kopteriraamile. Uuel kopteril on kõrvaldatud paljud puudused ja on lisatud paljusid uuenduslikke elemente, mis aitavad püsida ülemaailmses tihedas konkurents.

SUMMARY

This bachelor thesis resulted in designing a innovative quick release motor tube locking mechanism for KX-4 Interceptor multicopter, which made the helicopter mechanics stronger and more reliable. New desing is easier to use and highly transportable.

The most labor-intensive part was designing the new system, as it was essential to make sure that this concept will work, which meant that real prototype had to be made and tested. During testing few problems had to be solved and those were eliminated in the final versioon of the product. The design emphasis was place on optimizing the weight, while maintaining adequate structural strenght, stiffness and durability.

Mechanically the biggest probleem was the rigidity and strength of the entire system and integrating new quick release system with helicopter main frame, which determined the shape of the quick release body mount. Mechanics durability had to be evaluted to withstand the loads and estimate the lifetime to load cycles.

All the designed parts are engineered to be machined with computer numerical controlled milling machine. It allowed to design geometrically complex structures, which has the required precise tolerances. The complex geometry of the milling operations were possible thanks to the presence of four-axis milling machine.

The designed system will create new solutions to many of the earlier problems of the motor boom arms quick release mechanism. Airframe deflection was significantly reduced which resulted in less vibration in the copter airframe. Helicopter packing for transport became much faster and folded motor boom arms proovides additional protection to camera gimbal. The new system made the helicopter mechanically more durable. New design parts are made out of aircraft aluminum, which is considerably more rigid and durable than the plastic parts used in the older versioon. Motor power wires are running through the motor boom arm quick release mechanism and are fully protected from the external environment. New designed helped to reduce helicopter weight by 300 grams.

The author believes the designed system to be an important step forward in KX-4 multicopter development work and it evolved into a completely separate development on a new multicopter airframe. The new helicopter has overcome many of the shortcomings and has many new innovative elements that help to stay in tough global competition.

KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU

1. Threod Systemsi kodulehekülg [WWW]
<http://threod.com/products/kx-4-multirotor/kx-4-multirotor-description> (10.04.2017)
2. Dà-Jiāng Innovations Science and Technology Co., Ltd kodulehekülg [WWW]
<http://www.dji.com/matrice-200-series> (22.04.2017)
3. Aeryon Skyranger kodulehekülg [WWW]
<https://www.aeryon.com/aeryon-skyranger> (22.04.2017)
4. Freefly Systems kodulehekülg [WWW]
<http://freeflysystems.com/alta-8> (22.04.2017)
5. Titanium Processing Center kodulehekülg [WWW]
<http://blog.titaniumprocessingcenter.com/2013/06/titanium-vs-aluminum.html> (12.05.2017)
6. Mehaanikainseneri käsiraamat / üldtoimetaja P. Kulu. Tallinn : TTÜ Kirjastus, 2012.
7. Vemo PK OÜ kodulehekülg [WWW]
<http://www.vemo.ee/teenused/anodeerimine/> (12.05.2017)
8. Lahtivõetavad liited / V. Strižak. Tallinn : Kirjastus „Valgus“, 1984.
9. Laagrid / M. Ajaots., L. Järvpõld. Tallinn : Kirjastus „Valgus“, 1985.
10. Mechanical Design of Machine Elements and Machines / J.A.Collins., H.R. Busbhy., G.H. Staab., The Ohio State University : Second Edition
11. Engineeringtoolbox kodulehekülg - hõrdekoefitsient [WWW]
http://www.engineeringtoolbox.com/friction-coefficients-d_778.html (12.05.2017)
12. Tristar Plastic Bearing Design Guide [WWW]
<https://www.kmsbearings.com/materials/plastic-bearing-materials.html> (12.05.2017)
13. Tugevusanalüüsi alused / P. Põdra. Tallinn : Tallinna Tehnikaülikooli mehhatroonikainstituut, 2004.
14. Aluminum 6061-T6 Datasheet [WWW]
http://www.matweb.com/search/datasheet_print.aspx?matguid=1b8c06d0ca7c456694c7777d9e10be5b (13.05.2017)
15. Tolerantsid ja istud / M. Purde. Tallinn : Tallinna Tehnikakõrgkool, 2005.
16. Materjalitehnika – Konstruktsioonimaterjalide tehnoloogia / P. Kulu., J. Kübarsepp., A. Laansoo., R. Veinthal., Tallinn : TTÜ Kirjastus, 2015.
17. Theory and Design of CNC Systems / S.-H. Suh., S.-K. Kang., D.-H. Chung., I. Stroud., Springer-Verlag London Limited. 2008.
18. Haas Automation, Inc – Haas TM-2 [WWW]
<https://baq.haascnc.com/quote/Vertical-Mills/Toolroom/TM-2> (13.05.2017)

LISAD

Lisa 1: Koonuste kasutusosalade tabel

Tabel 1.2

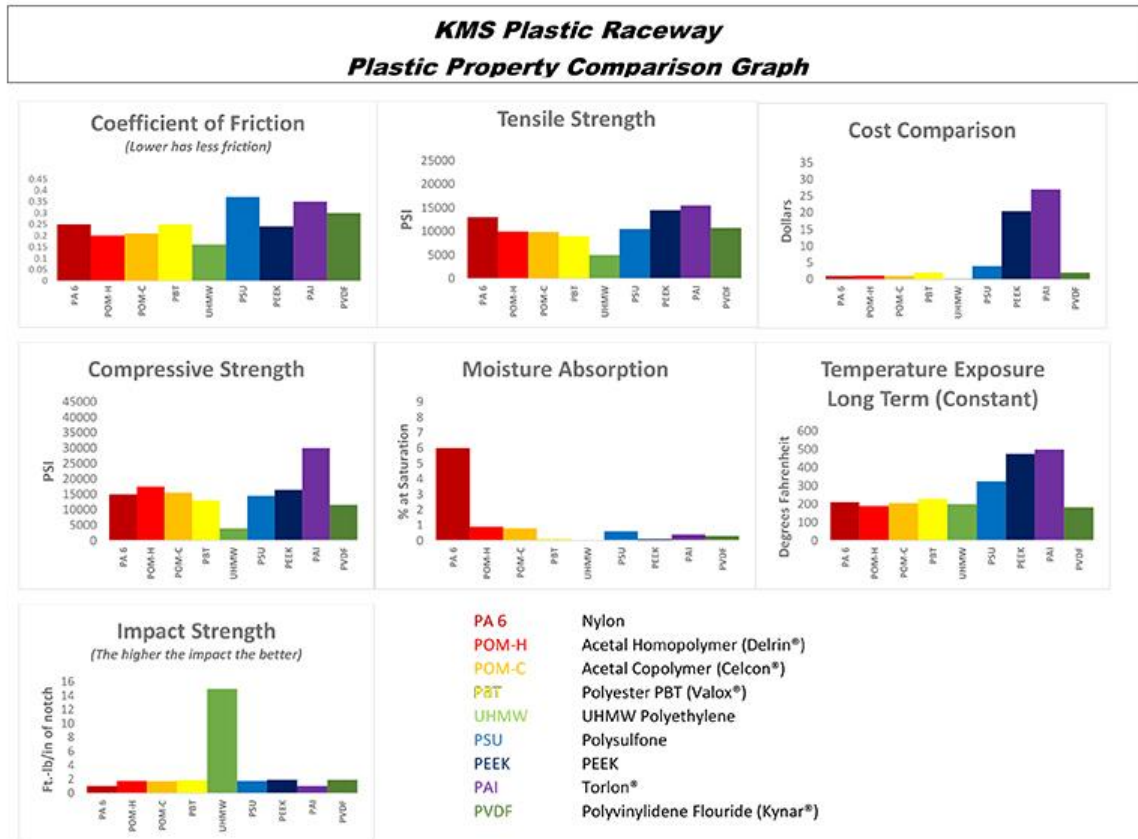
Koonuste kasutusosalad

Koonilisus	Kasutusala
1:500, 1:200	Koonustornid
1:100	Koonustornid; raskelt koormatud koonustihvtid, näiteks kepsutihvtid; korkkaliibrisabad
1:50	Koonustihvtid; korkkaliibrisabad
1:30	Avad otsapandavate hõõritsate ja avardite jaoks; metallilõikepinkide koonilised spindlikaelad
1:20	Tööriistakoonused; koonusavadesse paigutatavate poltide varvad; sõidurataste rummud ja puksid ning põllutöömasinate sõidurataste koonusteljed
Morse koonused	
Morse 0 1:19,212	Tööriistakoonused; metallilõikepinkide spindliotsad
Morse 1 1:20,047	
Morse 2 1:20,020	
Morse 3 1:19,922	
Morse 4 1:19,254	
Morse 5 1:19,002	
1:15	Koonilistele võllidele istatud hammas- ja rihmarataste avad
1:12	Kuul- ja rull-laagrite kinnituspuksid
1:10	Elektrimasinate võlliotsad
1:8	Põllutöömasinate koonilised teljed, rattavõllid, võllikud, tutsid
1:7	Kraanid; raskete metallilõikepinkide tööriistakoonused; lihvspindlite otsad
1:5	Kerglahtivõetavad liited; hõõrdsidurid; autode võlliotsad seadiste kinnitamiseks; lihvspindlite otste väliskoonused
1:1,866	Haarats- e. pihtpuksid (tsangid)
1:1,207	Neetide peitpead
1:0,866	Tsentriavad; metallilõikepinkide tsentrid; kruvide ja neetide peitpead
1:0,652	Poltide ja neetide peitpead; kuni 10-mm läbimõõduga tööriista-väliscentrid
1:0,500	Kruvide ja neetide peitpead; sisepõlemismootorite klapid
1:0,289	Tsentriava kaitsekoonus; sisepõlemismootorite klapid

Lisa 2: Laagriplastikute võrdlustabel

Laagriplastikute võrdluseks ja sobilikku valimiseks kasutasin KMS plastiklaagritootja võrdlustabelit.

<https://www.kmsbearings.com/materials/plastic-bearing-materials.html>



Sele 23. Laagriplastikute võrdlustabel

Lisa 3: Hinnakalkulatsiooni tabel

CNC detailide hindade arvutamiseks koostas tabeli, kus arvestasin alumiiniumtooriku hinnaga, tooriku lõikamise ajaga, freesimise ajaga ja seadistamis ajaga. Hinna sisse ei ole arvestatud aega, mis kulub lõikefailide loomiseks.

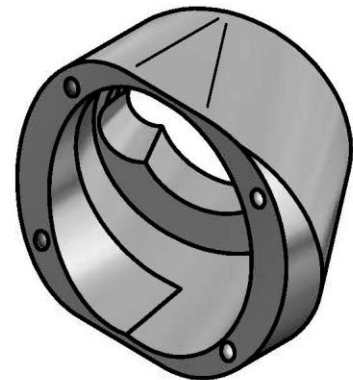
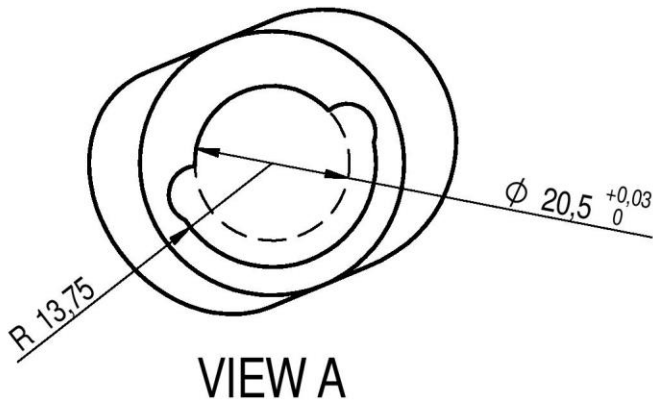
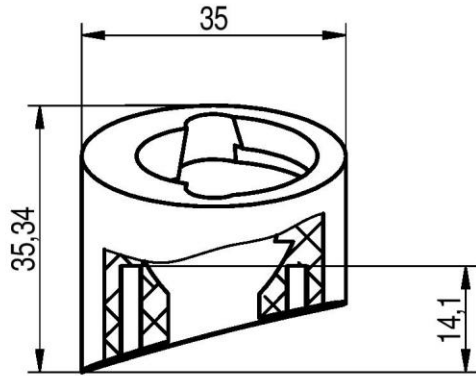
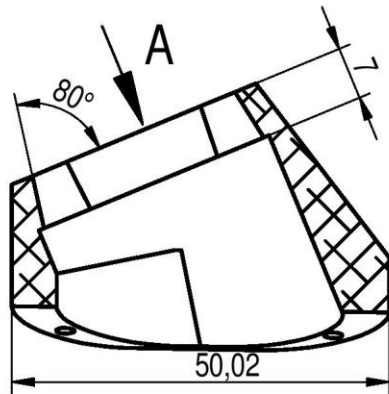
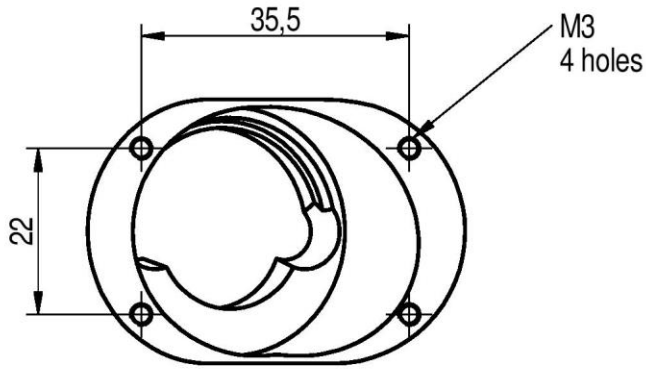
Tabel 5. CNC detailine hinnaarvutuse tabel

Alumiinium 7075 kg hind (€)	16.5
Tooriku lõikamine (h)	30
Freesimise tunnihind (€)	60

Ajaline kulu				
Detail:	Tooriku mass (kg)	Tooriku lõikamine (h)	Freesimise aeg (h)	Seadistamise aeg (h)
Kerekinnitus	0.25	0.1	0.42	0.2
Mootoritoru kinnitus/liigend	0.4	0.1	0.58	0.2
Tagumine toetusplaat	0.1	0.02	0.07	0.2
Tihvti völli	0.1	0.01	0.22	0.2
Tihvti nupp	0.01	0.01	0.02	0.2
Plastikust vaheplaat/laager	-	0.01	0.06	0.2

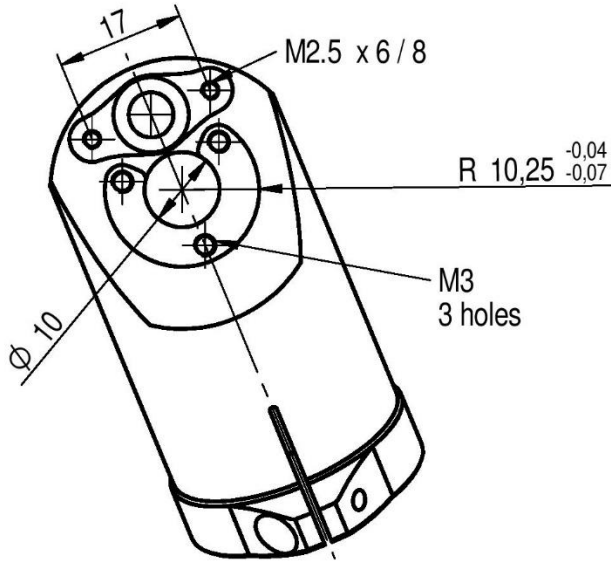
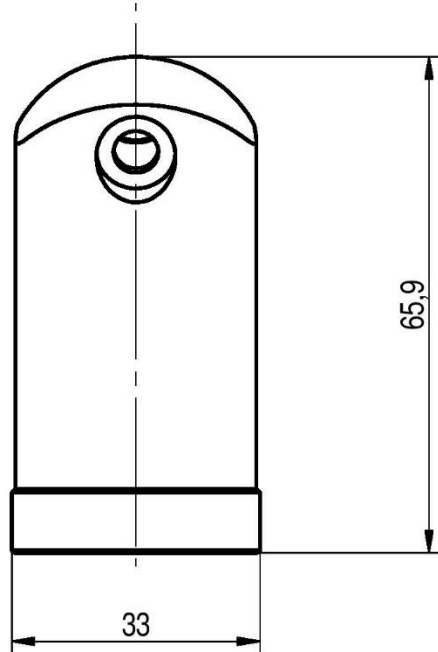
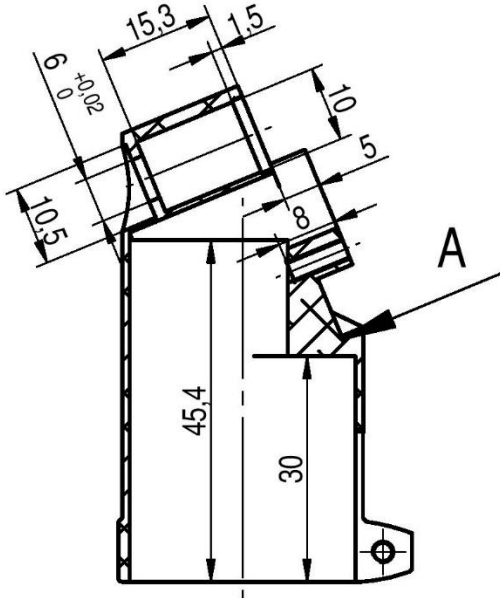
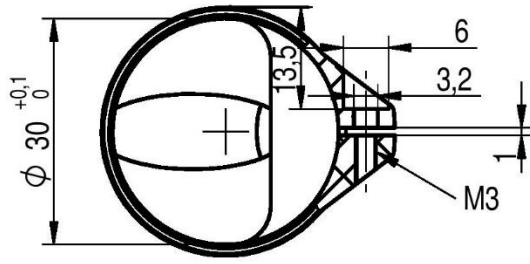
Detailide maksumus					
Detail:	Tooriku hind (€)	Lõikamise hind (€)	Freesimise hind (€)	Seadistamise hind (€)	Hind kokku (€)
Kerekinnitus	4.125	3	25.2	12	44.325
Mootoritoru kinnitus/liigend	6.6	3	34.8	12	56.4
Tagumine toetusplaat	1.65	0.6	4.2	12	18.45
Tihvti völli	1.65	0.3	13.2	12	27.15
Tihvti nupp	0.165	0.3	1.2	12	13.665
Plastikust vaheplaat/laager	1	0.3	3.6	12	16.9

Lisa 4: Detailide tööjoonised



This document is confidential and property of Thread Systems and may not be reproduced, used or disclosed to others without written approval

 First Angle Projection Dimensions: mm Scale: 1:1		undimensioned corners ISO 13715 		dimensions & angles DIN ISO 2768- m part1				fillets & chamfers (45°) from 0.1 0.2 0.4 1 to 0.2 0.4 1 - tol. ±0.02 ±0.04 ±0.08 ±0.15				straightness, flatness & perpendicularity DIN ISO 2768- m part2		symmetry from 0 10 50 200 to 10 50 200 - tol. ±0.05 ±0.1 ±0.2 ±0.5			
Rev	comments	name	date	material				weight									
1	Initial release	drawn Lauri	05.24.2017	Aluminum, 7075-T6				32.614 g									
		checked		title													
		approved		Rear frame connection V1.1													
surface finish, notes				A4	dwg no.				sheet 1 of 1								
1.	(✓)			file name: Rear frame connection V1.1 approved.dft													
2.	Anodized black			surface area: 7357.77 mm^2													
3.																	



VIEW A



This document is confidential and property of Thread Systems and may not be reproduced, used or disclosed to others without written approval

 First Angle Projection Dimensions: mm Scale: 1:1		undimensioned corners ISO 13715 ± 0.1 ± 0.2		dimensions & angles DIN ISO 2768-m part1		fillets & chamfers (45°) from 0.1 0.2 0.4 1 to 0.2 0.4 1 - tol. ± 0.02 ± 0.04 ± 0.08 ± 0.15				straightness, flatness & perpendicularity DIN ISO 2768-m part2		symmetry from 0 10 50 200 to 10 50 200 - tol. ± 0.05 ± 0.1 ± 0.2 ± 0.5			
Rev	comments	name	date	material				weight							
		drawn	05.24.2017	Aluminum, 7075-T6				38.139 g							
		checked		title											
		approved		Rear boom arm connection V1.1											
surface finish, notes				A4	dwg no.				sheet 1						
1.	(✓)			file name: Rear boom arm connection V1.1.dft					of 1						
2.	Black anodized							surface area: 13180.47 mm ²							
3.															

