

Reino Silm

**YAMAHA YZF-R6
SISEPÕLEMISMOTORIGA
MOOTORRATTA ELEKTRILISEKS
ÜMBEREHITUSEKS VAJALIKE
KOMPONENTIDE PROJEKTEERIMINE
NING LOOMINE**

LÕPUTÖÖ

Tehnikainstituut

Autotehnika

Juhendaja: Arvi Anton

Tallinn 2025

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks

Mina, Reino Silm

annan Tallinna Tehnikakõrgkoolile (edaspidi kõrgkool) tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose

YZF-R6 Sisepõlemismootoriga mootorratta elektriliseks ümberehituseks vajalike komponentide projekteerimine ning loomine

- 1) reprodutseerimiseks eesmärgiga seda säilitada ja teha üldsusele kättesaadavaks Tallinna Tehnikakõrgkooli digiarhiivi DSpace kaudu;
- 2) reprodutseerimiseks pärast piirangu lõppu juhul, kui instituudi direktori korraldusega on kehtestatud lõputöö avaldamisele tähtajaline piirang.

Olen teadlik, et nimetatud õigused jäävad alles ka autorile ja kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest tulenevaid ega muid õigusi.

Autorideklaratsioon

Mina, Reino Silm

tõendan, et lõputöö on minu kirjutatud. Töö koostamisel kasutatud teiste autorite, sh juhendaja ja iseenda varasematele teostele on viidatud õiguspäraselt.

Kõik isiklikud ja varalised autoriõigused käesoleva lõputöö osas kuuluvad autori/te/le ainuisikuliselt ning need on kaitstud autoriõiguse seadusega.

(allkirjastatud digitaalselt)

Juhendaja Arvi Anton

Töö vastab lõputööle esitatavatele nõuetele.

(allkirjastatud digitaalselt)

Lõputöö on kaitsmisele lubatud instituudi direktori korraldusega.

SISUKORD

SISSEJUHATUS	5
1 TÖÖ EESMÄRK	7
1.1 Idee kirjeldamine	8
1.2 Idee lahendus.....	8
2 NÕUDED SÕIDUKI ÜMBEREHITUSEKS.....	9
3 KASUTATAVAD ELEKTRILISED KOMPONENDID	11
3.1 Elektrimootorite võrdlus	12
3.2 Aku valik.....	14
3.3 Kulud ja komponentide kvaliteet	14
4 PROJEKTEERITUD KOMPONENDID	15
4.1 Akupaki kaitseraami projekteerimine	16
4.2 Mootorratta raami 3D skaneerimine.....	17
4.3 Akupaki kaitseraami materjali valik	19
4.4 FEM analüüs akupaki kaitseraamile	19
4.5 Akupaki kaitseraami valmistamine.....	23
4.6 Akupaki hoidik	24
4.7 Akupaki hoidiku valmistamine.....	25
4.8 FEM analüüs akupaki hoidikule.....	26
4.9 Akupaki kinnitusalus.....	28
4.10 Akupaki toetustala	29
4.11 Akupaki kaitseraami koost vajalike komponentidega.....	29
5 KIIGE MODIFITSEERIMINE NING KINNITUSTE LOOMINE	31
5.1 Kinnituste projekteerimine	32
5.2 Kinnitusplaatide loomine	33
6 VÕRDLUS SAMA MUDELI SISEPÕLEMISMOOTORIGA MOOTORRATTAGA	34
6.1 Mootorrataste andmete võrdlus.....	34
6.2 Mootorratta ümberehituse tulemus.....	34
7 KOMPLEKTI TOOTMINE	36
7.1 Tootmisega seotud kulutused	36
7.2 Komponentide hinnad	37
KOKKUVÕTE	38
SUMMARY.....	39
VIIDATUD ALLIKAD.....	40
LISAD	42
Lisa 1. Akupaki_kaitseraami_joonis_01	43

Lisa 2. Akupaki_hoidik_02	44
Lisa 3. Akupaki_hoidiku_alus_03	45
Lisa 4. Akupaki_ülemine_tugi_04	46
Lisa 5. Rummumootori_kinnitus_05	47

SISSEJUHATUS

Elektrifitseerimine on muutunud populaarseks teemaks transpordisektoris ning autotööstuses, kuna elektrilised jõuallikad pakuvad võimalust vähendada fossiilkütuste kasutamist, kasutada ära roheenergiast saadud energiat transpordiks ning seetõttu vähendada kahjulikke keskkonnamõjusid. Samuti on trend taaskasutusele, kus pöördprojekteerimise tulemusena on võimalik vanast luua midagi uut ja huvitavat ning rakendada seda igapäevases maailmas. Selline lähenemine on jätkusuutlik ning aitab oluliselt vähendada ressursside raiskamist. Samuti soodustab elektrifitseerimine ülemaailmset liikumist taastuenergia kasutamise suurendamise suunas. Päikese-, tuule- ja veejõul toodetud elektri kasutamine igapäevases liikluskeskkonnas loob võimaluse taastuvatest allikatest saadud energia tõhusaks rakendamiseks.

Käesoleva töö eesmärgiks on projekteerida ning luua Yamaha YZF-R6 sisepõlemismootoriga mootorratta baasil elektriliseks ümberehituseks vajalikud komponendid, et oleks võimalik efektiivselt ning turvaliselt peale paigaldada elektriajamiga liikumiseks vajalikud komponendid. Ümberehituse tulemusena loodud komponentide põhjal on võimalik elektriajamis olevatest komponentides sõltuvalt viia sisse muudatusi, et kinnitada ning kaitsta elektrilisi komponente. Töö pakub lahendusi, mis võimaldavad edaspidi läbi viia elektriajamist sõltuvalt täiustusi või asendusi ning seab baasi mootorratta elektriliseks ümberehituseks valmistavate komponentide loomisele ja nende integreerimisele olemasolevale mootorratta raamile.

Töös oleva mootorratta elektriliseks ümberehituseks vajalikud tehnoloogilised lahendused nõudsid põhjalikku planeerimist ja innovaatilist lähenemist. Elektriajamite ja akupakkide projekteerimisel tuleb arvestada mootorratta kaalujaotuse, komponentide paiknemise ja elektrisüsteemide integreerimisega. Näiteks peaks akupakk olema turvaliselt kinnitatud ning pakkuma kaitset välistegurite mõjude eest. Need väljakutsed pakuvad võimaluse leida optimaalseid lahendusi elektriajami integreerimiseks töös käsitletud mootorrattale.

Projekti raames on valmistatud vajalikud kinnitused, toetused ning kaitsed elektriajamis olevatele komponentidele. Loodud komponentide projekteerimisel on arvestatud mootorratta altpärase konstruktsiooniga kui ka akupaki ning elektriajamiga kaasnevaid tegureid sõltuvalt spetsifikatsioonide muudatustest ning elektriajamis olevate komponentide ohutusest. Töö autor on lõputöös kirjeldanud komponentide projekteerimise, koostamise ja tootmise protsesse ning annab ülevaate ümberehituse kõigis toimunud tegevustele. Tähtsaimatele koostus olevatele komponentidele ning detailidele on koostatud FEM analüüsid. Analüüsitud on mootorratta akupaki raamile

mõjuvaid kokkupõrgetest tingitud jõude ning samuti ka akupaki hoidikule mõjuvaid jõude aku kinnitamisel.

Lisaks kirjeldatakse töö käigus kasutatud materjalide ja tootmistehnoloogiate valikuid, et tagada loodud komponentide vastupidavus ning töökindlus. Töö tulemusena valmib terviklik lahendus, mida saab kasutada Yamaha YZF-R6 mootorratta elektriajamiga ühilduvuseks ning mida on võimalik kohandada ka sarnaste mudelite puhul. See lähenemine toetab jätkusuutlikkust, pikendades mootorratta elutsüklit ning muutes selle keskkonnasõbralikumaks.

Käesolevas töös on kirjeldatud ka ümberehituseks vastavaid seaduseid ning ümberehitusega kaasnevaid Euroopa direktiive tüübikinnituse saamiseks ning mootorratta ametlikuks registreerimiseks. Välja on toodud ka koostude ning komponentide materiaalsed maksumused koos nende tootmisefektiivsuse ja kulude parendamiseks ning edasisteks arendusteks vajalikud soovitusel, mis parendaks tööprotsesse ning töös kasutavaid tehnoloogiaid.

1 TÖÖ EESMÄRK

Lõputöö eesmärgiks on luua vajalikud komponendid ning lahendused varasemalt sise põlemismootori jõuga liikunud mootorrattale muutmaks selle elektri jõu peal liikuvaks ning valmis projekteerida erinevate komponentide kinnitused ning koostud nende turvaliseks ning optimaalseks kinnitamiseks Yamaha YZF-R6 mudeli baasil. Pildil on näidatud ümberehituseks käsitletava mootorratta projekt algstaadiumis (Sele 1).



Sele 1. Projektis käsitletav Yamaha YZF-R6 mootorratas

Projekteeritud koostud ning detailid võimaldavad kinnitada erinevaid elektrilise ajamiga kaasnevaid komponente mootorratta külge. Valmistatud koostud ning detailid on üles ehitatud modulaarsena, kus kooste ning detaile on võimalik omavahel muuta sõltuvalt elektriliste komponentide teguritest ning mootorratta mudelist ja karakteristikutest. See pakub mitmekesisust ning paindlikkust sõltuvalt erinevatest mootorratta või elektriliste komponentide variatsioonidest. Kooste ning detaile on võimalik Yamaha YZF-R6 baasil ümber projekteerida sõltuvalt erinevatest teguritest pakkudes universaalsust.

Erinevate variatsioonide vajadus sõltub erinevatest mootorratta mudelitest, elektriliste komponentide suurustest ning kinnitustest. Samuti ka karakteristikutest seoses mootorrattale ja selle komponentidele mõjuvatest jõududest. Mootorratta sõiduomadusi on säilitatud võimalikult ligilähedaselt originaalsele sise põlemismootoriga mudelile. Töö tulemusena on võimalik toota modulaarne komplekt, mida saab vastavalt vajadusele muuta, et muuta vana, rikkis või ka töötav mootorratas elektrijamiga sõitvaks ning pakkuda huvilisele võimalust osta valmis komplekt kõige vajalikega elektriliste komponentide kinnitamiseks.

1.1 Idee kirjeldamine

On võimalik osta elektrikomponendid valmis komplektidena, kuhu kuuluvad kõik elektriajamiga seotud komponendid. Probleemiks on, et puudub ning ei pakuta võimalust osta nende komponentide kinnitamiseks kõike vajalikku. Varasemalt sisepõlemismootoriga mootorratta ümberehitamine elektriajami jõul liikuvaks tekib probleem, et kinnitamiseks vajalikud komponendid tuleb ise projekteerida ning luua. Konversioonist huvitatud inimene ei pruugi omada piisavalt teadmisi, oskusi või ettevõtmise tahet protsessi käigus elektriliste komponentide kinnitamiseks ning võib tekkida probleeme ohutusega, läbimõtlemaotusega, aja planeerimisega ning muude sarnaste probleemidega tarbija jaoks. Ohutusega seotud probleemid tekivad koostude ning detailide tugevustes või kvaliteedis. Mootori, aku, kontrolleri või juhtmestiku kinnitamine peab olema läbi mõeldud ning liitiumioonakude puhul peab mõtlema selle maksimaalsele kaitse tagamisele ka kokkupõrke või õnnetuse korral. On ka mitmeid muid tegureid seotud ohutusega, nagu tuleohutus, niiskuse või vee mõju elektrilistele komponentidele, koostude ning detailide tugevused mõjuvate jõudude näol või inimese enda ohutus elektriliste komponentidega kokku puutudes.

1.2 Idee lahendus

Puudulike komponentide ning detailide probleemi lahenduseks on pakkuda huvilisele võimalust osta valmis komplekt kõikide vajalike komponentidega ning detailidega oma mootorrattale, mida nad soovivad konverteerida sisepõlemismootoriga mootorrattast elektriajamil liikuvaks mootorrattaks. Komplekt on modulaarne, see pakub võimalust erinevate detailide projekteerimiseks ning kinnitamiseks tootja jaoks baasmudeli näitel, et luua vastavalt vajadusele vastavate mõõtmete ning parameetritega komplekt elektriajami ning sellega kaasneva kinnitamiseks. Toote huviline või tarbija on isik, kes soovib oma mootorrattale konversiooni elektriliseks läbi viia. Põhjusteks võivad olla vana mootorratta restaureerimine ning soov minna üle elektriajamile, luua omaale ökonoomne ning heitgaasidest vaba mootorratas, sisepõlemismootori rikke korral pakkuda huvitavat alternatiivi uue jõuallika jaoks või lihtsalt asjast huvitatud inimestele pakkuda võimalust konversiooniks. Nende komponentide tootmine ning müük pakuks tarbijale märkimisväärselt ajalist kokkuhoidu ning mugavust. Esmane lahendus on koostatud mootorratta Yamaha YZF-R6 baasil, kasutades originaalset mootorratta raami, veermiku, pidurite, vedrustuse komponente, jms. Kõik muud elektriajamiga seotud komponendid on projekteeritud ning valmistatud ise, pidades silmas maksimaalset turvalisust ning mootorratta sõiduomadusi ning karakteristikuid võimalikult vähe muutes, välja arvatud elektriajamiga kaasnevate komponentide teguritega.

2 NÕUDED SÕIDUKI ÜMBEREHITUSEKS

Töös käsitletud sõiduk kuulub L3e-A2 keskmise võimsusega mootorratta kategooriasse. L3e-A2 suurim püsiniivõimsus või kasulik võimsus on kuni 35 kW. Võimsuse/massi suhe kuni 0,2 kW/kg ning ei ole saadud sõidukist, millel on rohkem kui kaks korda võimsam mootor. [1]

Töös käsitletud mootorratta ümberehituse registreerimise kohta kehtib auto, mootorratta, mopeedi ja nende haagiste tüübikinnituse, üksiksõiduki kinnituse ja ümberehituse tingimused, nõuded ja kord. Välja on toodud vajalikud paragrahvid ümberehitatud mootorrattale tüübikinnituse saamiseks. [2]

01.07.2011 jõustunud seaduse § 1 olev reguleerimisala ning kohandamisala määrus reguleerib teeliikluses osaleva auto, mootorratta, mopeedi ning nende haagiste ja sõiduki osade seadmete, süsteemide ning varustuse tüübikinnitust. [2]

§ 3 reguleerib tüübikinnituse teostamisest, kus tüübikinnitust teostab Transpordiamet. Tüübikatsetust teostab tehniline teenindus, mis on Transpordiameti poolt tunnustatud. Ekspertiisi teostab tehnilise kõrgharidusega ning vähemalt kaheaastase praktilise inseneritöö kogemusega sõidukiala ekspert, kes on Transpordiameti poolt tunnustatud. Riiklikuks tüübikinnituseks vajalikud direktiivid on toodud välja 2007/46EÜ IV ja XI lisas ning 2002/24EÜ I lisas ning määruse lisades 3, 6 ja 8. Elektriajamiga sõidukitele, millel puudub sisepõlemismootor ei kehti kehtestatud heitmete ja müra nõuded. [2], [3]

§ 4 kirjeldab tüübikinnituseks vajalikku menetlust Transpordiametis. Tüübikinnituseks vajalikku kontrolli või ekspertiisi teostab Transpordiamet ise nende poolt tunnustatud eksperdi või tehnilise teenistuse poolt. Võimaluse korral teostab tüübikinnitust Transpordiamet ise. Kasutuskõlblikkuse hindamise aluseks koostatakse akt, mille aluseks on esitatud faktid. Nõuetele vastava toote või sõiduki puhul omistab Transpordiamet selle tüübikinnituse. Tüübikinnituse nõuete mittetäitmisel keeldub Transpordiamet tüübikinnituse omistamisest. L kategooria sõiduki tüübivastavuse tunnistus peab olema direktiivi 2002/24/EÜ kohane. Sõiduki või toote muudatuste korral tuleb Transpordiametile esitada dokumentatsiooni muudetud leheküljed, mis näitavad muudatuste sisu. Transpordiamet vormistab esitatud muudatuste põhjal tüübikinnituse tunnistuse laienduse. Transpordiameti nõudel uueks kontrollimiseks või katsetusteks informeeritakse sellest valmistajat, ametlikku esindajat või sissetoojat. Tekkinud kulud ning riigilõivud tasub tüübikinnituse taotleja. [2], [3]

§ 5 reguleerib riiklikku tüübikinnitust. Riiklikku tüübikinnituse saamiseks tuleb esitada valmistajal, ametlikul esindajal või sissetoojal lõikes 8 ning 9 ettenähtud dokumendid.

Dokumentides on esitletud avaldus, direktiivi 2007/46/EÜ IV ja XI lisas, direktiivi 2002/24/EÜ I lisas ning käesoleva määruse lisades 3, 6 ja 8 toodud nõuete täitmist tõendavad nõuetekohased dokumendid. Vajaduse korral juhendid, fotod, joonised, skeemid, arvutused jms sõiduki kohta. L kategooria sõiduki ja selle toodete riiklikul tüübikinnitusel rakendatakse direktiivi 2002/24/EÜ II peatükis toodud menetlust. [2], [3]

§ 10 reguleerib nõudeid sõiduki ümberehituseks ja kinnituseks. Ümberehitatud sõiduk peab vastama kehtivatele tehnonõuetele ning neid rakendatakse sõltuvalt esmaregistreerimise ajast. Ümberehituseks tuleb esitleda Transpordiametile avalduse, registreerimistunnistuse ning ümberehituse sisu kirjeldavad dokumendid. Pärast ümberehituse teostamist kontrollib Transpordiamet või tema volitatud ekspert sõiduki vastavust kehtivatele tehnonõuetele. Kui kontrollimise käigus tuvastatakse, et sõiduk vastab nõuetele, vormistatakse ümberehitus vastavalt § 5 lõike 1 punktis 2 sätestatule. [2], [3]

3 KASUTATAVAD ELEKTRILISED KOMPONENDID

Elektriliste komponentide valimisel lähtusin elektrimootori võimsusest, kättesaadavusest ning hinnast. Osutunud edasimüüja poolt pakutav komplekt hõlmas endas kõiki vajalikke elektrilisi komponente töös käsitletava mootorratta elektriajami jõul liikuma muutmiseks.

Komplekti kuuluvad järgnevad elektrilised komponendid:

- QS Motor 72 V rummumootor võimsusega 12 kW;
- SiAECOSYS programmeeritav kontrollerr;
- 72 V 100 Ah akupakk;
- näidikuplokk;
- lülitid;
- juhtmestik.

Töösse lisatud pildi peal on näha kõik kinnitamist vajavad elektriajami komponendid mootorratta külge koos juhtmestikuga. Komponendid on hangitud komplektina ning kõik elektriajamil liikumiseks vajalik on pildil (Sele 2).



Sele 2. Töös käsitletud elektrilised komponendid

Rummumootori valiku kasuks osutus suuresti ka kasutatava ruumi kokkuhoid, et oleks võimalik projekteerida parajate dimensioonidega akupakk mootorratta raami sisse, kus varasemalt asetses sisepõlemismootor. Rummumootori kasutusele võtmise eeliseks oli see, et aku ning mootor ei pea paiknema lähestikku ning sai keskenduda akupaki mahutavuse suuruse peale. Samuti väheneb komponentide eraldi paiknemise tõttu

omavaheline termiliste mõjude efekt. Rummumootori jõul liikumiseks ei ole vaja kasutada konventsionaalset ülekannet. Ülekannete, nagu keti või rihma puhul nõuaks komponentide paiknemine lisa projekteerimist. Konvensiaalne elektrimootor välisnuut võlliga oleks eeldanud ülekande projekteerimist ning seetõttu tekiksid ka ülekande tõttu mehaanilised kaod. Töös käsitletava rummumootor ühildub kaablitega kontrolleri väljundite külge. Selline meetod pakub universaalset lahendust kuna mootori toimimiseks on vaja kaablite ning pistikute ühendumist, mille pikkus saab vastavalt vajadusele olla varieeruv.

3.1 Elektrimootorite võrdlus

Töö autor on võrrelnud töös kasutatavat QS Motor mudeli 273 rummumootorit ning QS Motor mudeli QSD165D-50 keskveomootorit nende parameetrite ning projekteerimisel arvestavate teguritega. Rummumootori kasutus tugines põhiliselt maksimaalse akupaki suuruse projekteerimise eesmärgist. Tänu mootori paiknemisele rummu sees, elimineeris see vajaduse uue jõuülekande projekteerimiseks ning minimaliseeris termomõjudest tulenevad mõjud mootori, aku ning kontrolleri vahel. Keskveomootorit välisnuut võlliga rakendamisel projektis oleksin pidanud projekteerima antud mudeli näitel väiksema aku, muutma kontrolleri asukohta projekteeritava aku kinnitusalus suhtes ning projekteerima ka sobiva ülekande ning mootori kinnitused. Juhtmestiku kinnitamine ning juhtmete vedamine sellisel juhul oleks ülekandest liikuvate mehaaniliste komponentide tõttu häiritud ning see oleks juhtmestiku paigutust mõjutanud. Tehnilistest parameetritest on rummumootori ametlik kaal 42kg, kuid praktiliselt kaaludes peale toote tellimist ning kohaletoimetamist osutus see koos rehvinga olema 31,4 kg. Antud elektriliste komponentide karakteristikud ning parameetrid ei ole dokumentatsioonide ning ametliku tehnilise informatsiooniga füüsiliselt olevate komponentidega mõningates aspektides kooskõlas. Seetõttu oli vaja projekteerimisel paika pandud andmeid korrigeerida ning ise järgi kontrollida tehnilised parameetrid. Seda kõike selleks, et tulemus oleks võimalikult lähedane projekteeritule. Pildil olev mootor on 12 kW QS Motor 273 rummumootor (Sele 3). [4]



Sele 3. QS Motor 273 12 kW rummumootor [5]

Keskveomootori kasutus oleks hulgaliselt muutnud mootorratta kaalu kergemaks võrreldes rummumootoriga ning samuti võimsuse ja kaalu suhet. Muutunud oleks ka massikeskme asukoht. Rummumootori velje suurus on 17 tolli ning on 6 tolli lai. Velg on kiigega mootorratta raami külge kinnitatud ning asub raamist eemal. Rummumootor ei sega ruumi jaotust akupaki raami sees. Keskveomootori laius on 340 mm, kõrgus 340 mm ning pikkuseks on 360 mm. Selliste mõõtmetega mootor oleks mõjutanud projekteeritava aku dimensioone, kui mootor oleks samuti paigutatud akupaki kaitseraami sisse. Samuti oleks keskveomootori paigutus sõltunud ka ülekandega seotud paiknemisest ning muude komponentide paigutus oleks seetõttu piiratud. Keskveomootor on püsimagnetiga sünkroonmootor ning rummumootor on harjadeta alalisvoolumootor. Pildil olev mootor on QSD165D-50 keskveomootor, mida on töös võrreldud rummumootoriga (Sele 4).



Sele 4. QS Motor QSD165D-50 keskveomootor [4]

Rummumootori üheks eeliseks on ka see, et mootorit ennast on võimalik varieeruvalt pidurdada ning pidurdusjõudu ka seadistada. Muidugi on vajalik ka konventsionaalne pidurisüsteem kuid keskveomootoriga toimuks elektrilise mootoriga pidurdamine läbi ülekande. See tekitaks mehaanilistele komponentidele lisakoormuseid. Mõlemad mootorid on õhkjahutusega. Projekteerimisel osutus rummumootor praktiliseks lahenduseks, kuna polnud vaja projekteerida ülekannet. See andis vabaduse akupaki kaitseraami sisse komponendid vabamalt paigutada jättes ka ruumi varuks. Tabelisse on välja toodud mootorite omavaheline üldiste parameetrite võrdlus (Tabel 1). [4], [5]

Tabel 1. Elektrimootorite võrdlus [4], [5]

Tehniline näitaja	QS Motor rummumootor	QS Motor keskveomootor
Võimsus, kW	12	10
Kaal, kg	42	13,5
Mootori tüüp	PMSM	BLDC
Nominaalne pinge, V	48-96	72
Paigutus	Ratta sees (taga)	Mootorratta raamis (keskel)

3.2 Aku valik

Aku mõõtmete valik oli projekti üks algsemaid staadiumeid. Projekteeritud aku osutus olema kõige optimaalseima suurusega antud mudeli baasil olevale mootorratta raamile. Tingimusteks oli, et aku ei oleks liialt raske, kuid samas, et oleks võimalikult ära kasutada vaba ruumi täiel mahul, et akul oleks ka mahtuvust. Kriteeriumiks oli see, et aku mõõtmelt mahuks mootorratta enda raami vahele. Samuti, et see ei muudaks liialt mootorratta massikeskme asukohta või mootorratta esteetikat. Paigutuse osas on aku projekteeritud võimalikult lähedale originaalse mootorratta sisepõlemismootori asukohale. Akuks on 72 V 100 Ah liitiumioonaku. Akupaki korpuse mõõtmeks sai projekteeritud 160 mm lai, 230 mm pikk ning 460 mm kõrge. Selliste mõõtmetega mahtus aku mootorratta raami sisse murevabalt ning oli vaja projekteerida akupaki kaitseraam ning aku hoidik. Aku on ümbritsetud metallist kestaga, mis kaitseb liitiumioon akupakke väliste tegurite, deformatsioonide ning mõjuvate jõudude eest. Aku on toodetud Dongguan Zhongda Electronic Technology poolt ning kaalub 34 kg.

3.3 Kulud ja komponentide kvaliteet

Kogu komplekt elektriliste komponentidega maksis kokku 2668 eurot. Hind sisaldab ka transpordikuluseid. Soetatud komponendid polnud ootuspärased ning tekkis palju küsimusi komponentide kvaliteedis ning andmete õigsuses. Saadetud tehnilised manuaalid ja andmelehed ei vastanud ootustele ning info oli napp või puudus täielikult. Eskiisid ja skeemid elektrilistest komponentide paiknemisest olid tootja poolt väga alguspärased ning ei olnud korrektsed. Komplektis kaasneva juhtmestikuga pidi läbi viima muudatusi, et tagada nende vee- ja töökindlus. Juhtmestiku komplektiga kaasnevate komponentide kvaliteet ei olnud rahuldav ning samuti puudus veekindlus. Aku ning mootori kvaliteet oli rahuldav. Mootori osas leidub tehnilist informatsiooni kuid aku kohta on info üsna puudulik ning ametlikku tehnilist informatsiooni ostuga kaasa ei tulnud.

4 PROJEKTEERITUD KOMPONENDID

Projekteeritud komponendid ning valmistatud detailid peavad tagama elektriliste komponentide kaitse ning nende kinnitamise valmiduse. Projekteerima pidi elektrilise rummumootori kinnituse, akupaki kaitseraami koos kinnitamise võimalusega ning samuti ka kontrolleri kinnitused. Projekteerimisel on võetud arvesse ka komponentide võimalikult optimaalset paigutust mootorratta raami suhtes ning esteetilisust. On arvestatud ka komponentide passivsete koormustega ning võimalike uuenduste ja võimalike vajalike lisakomponentide lisamisega.

Komponendid on projekteeritud ühenduma läbi poltliidete. Projekteerimisel on akupaki hoidik loodud tagamaks aku vahetuse võimaluse. Aku toetub akupaki hoidikule ning akut hoiab kinni kinnitusrihm. Kinnitusrihma eemaldamisel on võimalik aku akupaki hoidikust välja võtta ning paigutada samade dimensioonidega aku. See tagab võimaluse tühja aku korral selle kiireks asendamiseks täis laetud akuga. Juhtmestiku efektiivseks paigutamiseks on projekteeritud komponentide ümber piisavalt ruumi, et elektrilised komponendid seoses juhtmestikuga ei paikneks üksteisele liiga lähedal. Samuti, et oleks selge ülevaade komponentide paiknemisest ning paigutamisel nende ühendamise mugavusest. Kogu koost toetub akupaki kaitseraamile, kus läbi kinnituste ühendub kaitseraam akupaki kinnitusplaadile. Plaadi külge kinnitub omakorda akupaki hoidik, kuhu toetub akupakk. Mootori kinnitamiseks on loodud kiigele vajalikud adapterid ning puksid, et rummumootor oleks kinnitatud kiige suhtes keskele ning kinnitatud turvaliselt. Pildil on näidatud kõik vajalikud komponendid elektriliseks ümberehitamiseks (Sele 5).

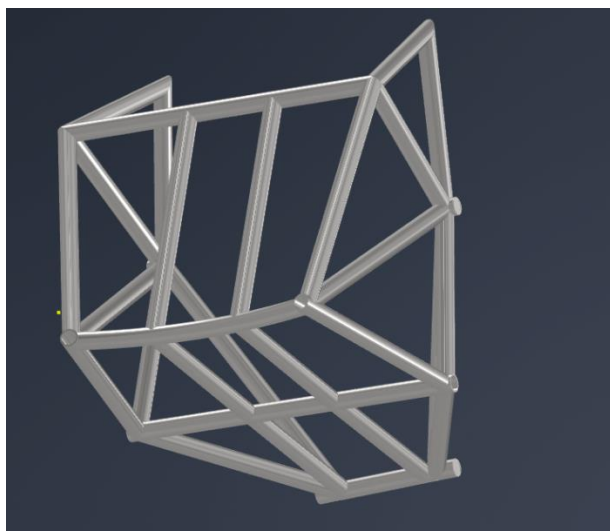


Sele 5. Elektriliseks ümberehituseks vajalikud komponendid ja detailid

4.1 Akupaki kaitseraami projekteerimine

Kaitseraami projekteerimine nõudis töö puhul enim tähelepanu ning ajalist ressursi. Algandmeteks oli mootorratta Yamaha YZF-R6 mootorratta raami kinnituskohad ning raami üldised mõõtmed. Projekteerimise esimeseks etapiks oli aku mõõtmete paika panek, sest kaitseraam on planeeritud akupaki mõõtmete järgi vastavaks. Kaitseraami projekteerides oli tingimusteks aku maksimaalne kaitse kokkupõrgetele ning ühilduvus mootorratta raamiga, et aku füüsiliselt koos komponentidega sinna vahele mahuks. Kaitseraami üldiste mõõtmete saamiseks ning optimaalsete dimensioonidega akupaki projekteerimiseks on kasutatud traati. Traadiga on loodud esialgne akupaki kaitseraami kujund ning oli füüsiliselt nähtav kujutis. Peale traadist prototüübi loomist oli võimalik leida sobilikud aku dimensioonid ning traadist raami vastavalt korrigeerida sobivaks, et aku mahuks nii akupaki kaitseraami kui mootorratta enda raami vahele. Samuti, et akut oleks ka võimalik vajadusel eemaldada. Traadist näidisraami loomine andis ka ülevaate akupaki kaitseraami suurusest. Tehtud etappide läbi sai ülevaate komponentide paiknemisest ning dimensioonidest, mille põhjal oli võimalik valida sobilikud komponendid ning projekteerida kinnituseks vastavad lahendused. Vajalik etapp oli siiski võimalikult täpsete mõõtmete ning dimensioonide jaoks mootorratta raami 3D skaneerimine, et edaspidine projekteerimine oleks võimalikult efektiivne. Projekteerimisel pidi ka arvesse võtma aku positsiooni sõltuvalt mootorratta raamist. Aku positsioon ning kaal mõjutab mootorratta massikeskme kõrgust. Aku on paigutatud võimalikult lähedale sisepõlemismootori asukohale, et vältida mootorratta juhitavuse liigset muutumist. Visioon akupaki kaitseraami kujundusest ja struktuurist tuli KTM ning Ducati mudelitelt baseeruvast võreraamist, mille metoodikaga on need kerged ning struktuuriliselt vastupidavad. [6]

Raami projekteerimisel 3D modelleerimise tarkvaras sai paika pandud raami gabariidid, et aku kaitseraam ei ulatuks mootorratta raamist külgedelt väljapoole. Aku kaitseraami kõrguse määras eelnevalt paiknenud sisepõlemismootori alumised kinnituskohad, millest aku kaitseraam allapoole ei ulatunud. Raamis torude paiknemine tagab risti ning pikisuunas mõjuvatele löökjõududele maksimaalne tugevuse ning võimalikult vähese deformatsiooni. Akupaki kaitseraam peab tagama akupaki maksimaalse kaitse, et akupakk kokkupõrke või deformatsiooni korral ei saaks viga. Loogika toruraami koostamisel oli tekitada harud kinnituskohadest väljapoole, et löökjõu korral kanduks löögienergia edasi ka mootorratta enda raami. Sellisele loogikale põhinedes oli võimalik projekteerida raam, kus olid torud omavahel ühenduses (Sele 6).



Sele 6. Projekteeritud akupaki kaitseraam

Metoodika baseerus sõrestiku struktuurile. Akupaki kaitseraam on mõeldud kinnituma läbi poltliite mootorratta raamiga. Projekteeritud kaitseraami torude paksus on 1,5 mm ning on 20 mm diameetriga ning materjaliks on DC01 süsinikteras.

4.2 Mootorratta raami 3D skaneerimine

Akupaki kaitseraami projekteerimiseks oli vajalik saada võimalikult täpne 3D mudel mootorratta raamist 3D modelleerimise tarkvarasse. See tagas võimalikult täpse ning efektiivse kinnituskohtade määramise ja lihtsustas edaspidist projekteerimist. Samuti oli visuaalselt nähtav ühilduvus akupaki kaitseraami ning mootorratta raami vahel. Pildil on näha 3D skaneerimise protsess (Sele 7).



Sele 7. 3D skaneerimise protsess

3D skaneerimiseks kasutatav 3D skanner oli Creaform Go!SCAN Spark käsiskanneriga, mis on valge valguse skanner. Skaneeritud on ka mootorratta kiik, eesmised amordid ning ka istmeraam. Pildil on näidatud skaneerimise protsessi jaoks valmis olevad detailid (Sele 8).



Sele 8. Skaneeritavad mootorratta detailid

Skaneerimine aitas projekteerimisel kaasa ning akupaki kaitseraami dimensioonid ning kinnituskohad sai määratud läbi skaneeritud detaili 3D modelleerimise tarkvaras. Skaneerimise üheks tulemuseks oli ka vajalike komponentide projekteerimisel kohene visuaalne tagasiside, kuidas detailid ning üldine koos omavahel kokku sobivad. See andis visiooni mootorratta esteetilisusest (Sele 9).



Sele 9. 3D skaneeritud mootorrattas 3D modelleerimise tarkvaras

4.3 Akupaki kaitseraami materjali valik

Esialgne plaan aku kaitseraami torude materjali valikuks oli 6061 alumiinium. 6061-T6 alumiiniumi tõmbetugevuseks on 290 MPa ning voolavuspiiriks 241 MPa. [7] Toruraami struktuuri koostamisel ning sellele FEM analüüside tulemusena pakkus süsinikteras parema tulemuse. 6061 Alumiiniumi kasutus oleks osutunud töödeldavuse suhtes keerukamaks ning terasega võrreldes kulukamaks. Alumiiniumi TIG keevitusmeetodiga oleks kaitseraami koostamine nõudnud suuremat panust töövõtete suhtes võrreldes MAG keevitusviisiga terase puhul ning oleks nõudnud rohkem piiratud ressursse. Seetõttu osutus valitud materjaliks DC01 teras madala süsinikusisaldusega. DC01 süsinikterase tõmbetugevuseks on 280 MPa ning voolavuspiiriks 270-410 MPa. [8]

DC01 süsinikterase kasutus võimaldas lihtsustada töödeldavust ning pakkus paremat struktuurset tugevust koostu suurenenud kaalu arvelt. Teras kasutusele võtmine aitas kaasa tootekulude vähendamisele ning edaspidise töötlemise lihtsustamist. Omasin ka ise piisavalt kogemust, et keevitada raam kokku ning seetõttu hoidsin kokku kulusid rahaliselt ning ajaliselt projekti raames.

4.4 FEM analüüs akupaki kaitseraamile

FEM analüüs raamile on viidud kooskõlla eluliste stsenaariumitega, kus toimub kokkupõrge ning ka mootorratta ümberpaiskumine määratud kiiruse pealt tabamaks kujutletavat objekti. FEM analüüsiks kasutasin Autodesk Inventor pingeanalüüsi tarkvara.

Analüüsi teostuseks on vajalik arvutada kokkupõrkel raamile mõjuv jõud. Mootorratta liikumiskiiruseks on võetud linnakiirus 50 km/h ehk 13,9 m/s, kuna seal on suurim oht ümberpaiskumisel või kokkupõrke korral kahju tekitamiseks ümbritseva keskkonnaga aku deformatsiooni ning võimaliku süttimise korral. Mootorratta mass on 120 kg. Kokkupõrke ajaks on määratud 30 millisekundit.

Akupaki kaitseraami kokkupõrkel mõjuvat keskmist jõudu F on võimalik välja arvutada järgneva valemiga (1) [9]:

$$F_{avg} = \frac{m * v}{t} \quad (1)$$

kus F_{avg} – mõjuv keskmine jõud, N

m – mootorratta mass, kg

v – kiirus, m/s

t – kokkupõrke aeg, s

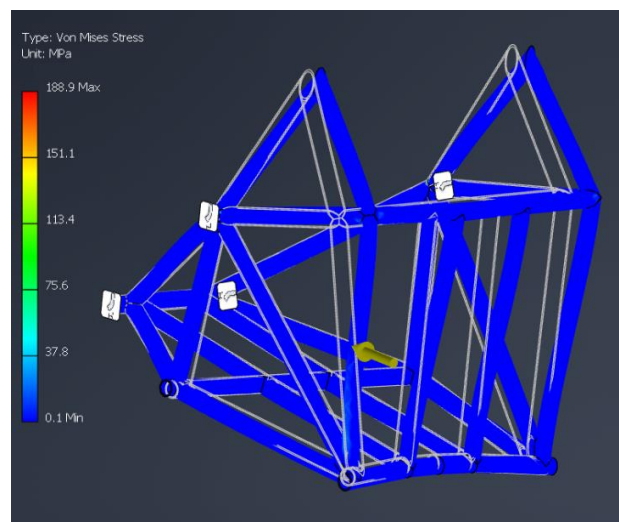
Kasutades valitud parameetreid on võimalik arvutada välja kokkupõrkel mõjuv jõud kujutletava objektiga akupaki kaitseraamile.

$$F_{avg} = \frac{120 * 13,9}{0,03} = 55600 \text{ N}$$

Raamile keskmine rakenduv jõud antud parameetritega on 55,600 N, ehk 5669,6 kg. Saadud valemi tulemina on võimalik läbi viia akupaki kaitseraamiga seonduvad pingeanalüüsi, et saada teada akupaki kaitseraami deformatsioonid ning pinged.

Analüüsi ülesehituseks on kinnitatud raam neljast punktist liikumatuks. Liikumatud punktid on akupaki raamil asetsevad kinnituskohad mootorratta raamiga. Jäigalt kinnitatud punktide tõttu ei ole võimalik määrata löökjõudude ülekandumist mootorratta raamile. Analüüs simuleerib jäigalt kinnitatud akupaki kaitseraami vastupidavust kokkupõrkele.

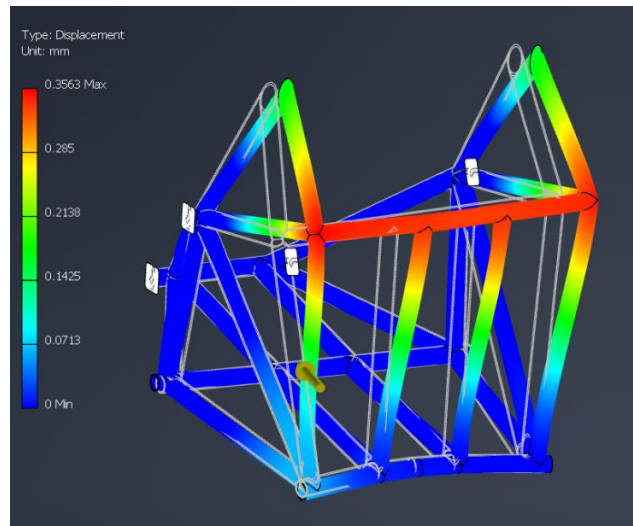
Järgnev FEM analüüs simuleerib kokkupõrget akupaki kaitseraami eesmise parempoolse külgmise toru kontaktil. Analüüsis on kollase noolega märgitud alale rakendatud 55600 N suurust jõudu (Sele 10).



Sele 10. Akupaki kaitseraami eesmise külje kokkupõrke analüüsi pinged

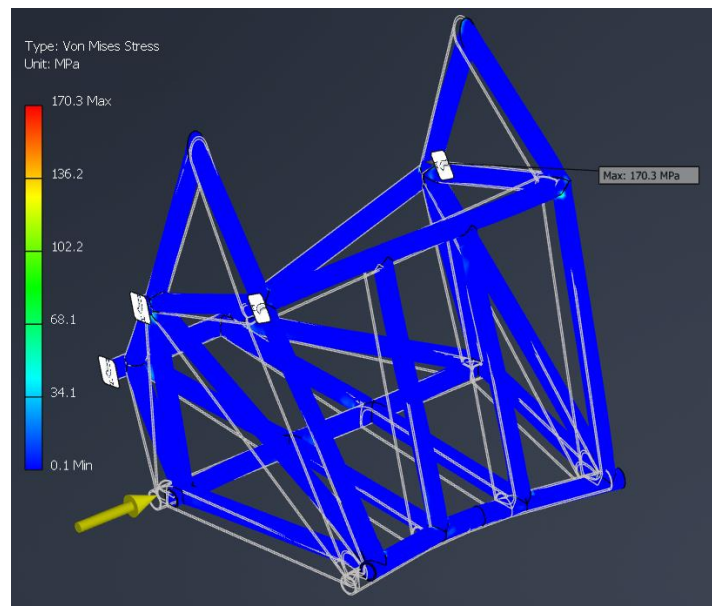
FEM analüüsi tulemusena on 55600 N suuruse jõu rakendamisel eesmisele külgmisele torule maksimaalne pinge 188,9 MPa, mis jääb alla süsinikterase DC01 tõmbetugevuse ja voolavuspiiri [8]. Kõige suurim pinge asus kinnituskohdade juures.

Akupaki kaitseraami eesmisele külje torule on rakendatud 55600 N suurust jõudu ning analüüsi tulemusena oli maksimaalne deformatsioon 0,37 mm (Sele 11).



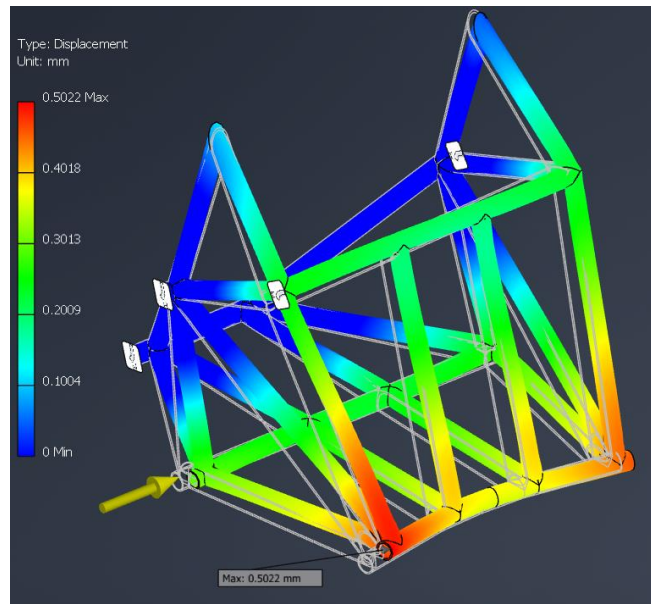
Sele 11. Akupaki kaitseraami eesmise külje kokkupõrke analüüsi deformatsioonid

Akupaki kaitseraami külgmise kokkupõrke analüüsimiseks rakendame samuti 55600 N suurust jõudu. See simuleerib külgmist kokkupõrget kontaktil akupaki kaitseraami alumise risti paigutatud toruga. Maksimaalseks pingeks osutus 170,3 MPa analüüsis jäigalt kinnitatud kinnituskoha juures (Sele 12 Sele 12).



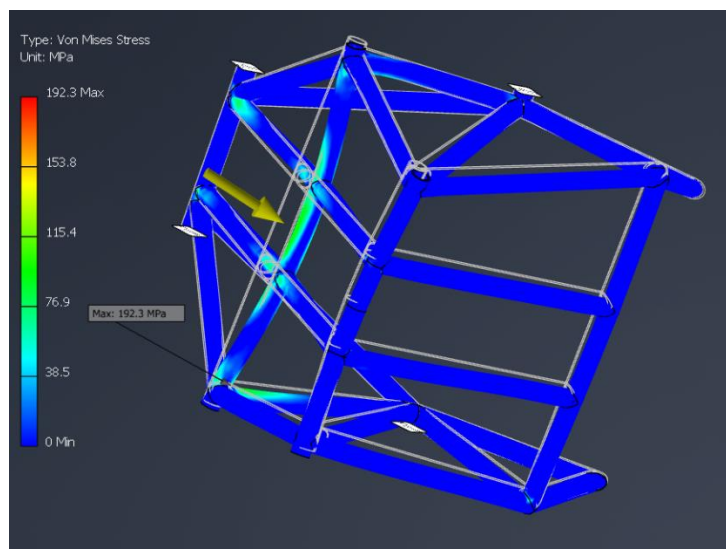
Sele 12. Akupaki kaitseraami külgmise kokkupõrke analüüsi pinged

Akupaki kaitseraami külgmise kokkupõrke maksimaalne deformatsioon 55600 N suuruse jõu rakendamisel pildil kollase noole suunas oli 0,5 mm. Kõige suurim nihe asus akupaki kaitseraami eesmise otsas. Seda seetõttu, et seal asuv punkt asub kinnituskohadest kõige kaugemal (Sele 13).



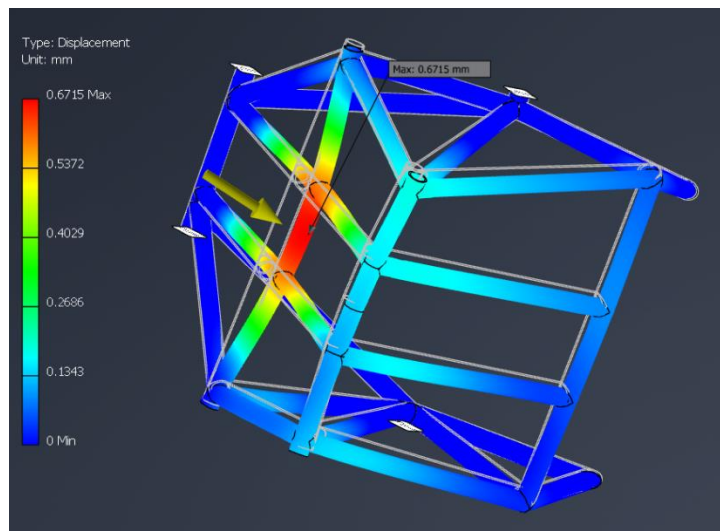
Sele 13. Akupaki kaitseraami külgmise kokkupõrke analüüsi deformatsioonid

Mootorratta ümberpaiskumisel on risk, et see võib külili paiskununa mootorratta põhjaga tabada mingit objekti. Seetõttu on vaja ka analüüsida kaitseraami põhja. Olukorra simuleerimiseks rakendatud jõud on 55600 N. Maksimaalne pinge oli 192,3 MPa (Sele 14).



Sele 14. Akupaki kaitseraami põhjale mõjuva jõu analüüsi pinged

Akupaki kaitseraami põhjale 55600 N jõu rakendamisel oli analüüsi akupaki raami põhjal risti asuva toru maksimaalne deformatsioon 0.67 mm (Sele 15).



Sele 15. Akupaki kaitseraami põhjale mõjuva jõu analüüsi deformatsioonid

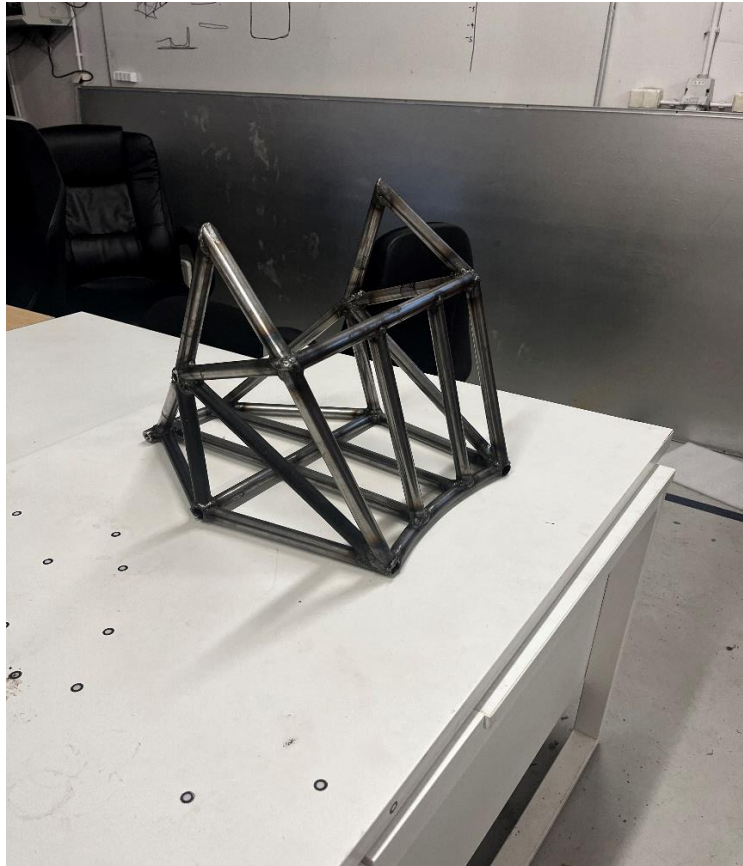
Analüüside tulemusena ei ületanud pinged DC01 süsinikterase tõmbetugevust ning voolavuspiiri. Analüüsist saab järeldada, et raam peab kujutletud kokkupõrgete ning ümberpaiskumise korral vastu. Deformatsioonid ning pinged ei mõjuta koostu üldist struktuuri ning tugevust ja täidab oma eesmärgi maksimaalselt akupakki kaitsta mootorratta õnnetusse sattumise korral.

4.5 Akupaki kaitseraami valmistamine

Peale raami projekteerimist ning vajalike analüüside tegemist tuli akupaki raam füüsiliselt valmistada. Kuna toruraam on projekteeritud kasutades 3D modelleerimise tarkvara, siis oli võimalik projekteeritud torude failid saata laserlõikusesse. Laserlõigatud torud tulid parajaks lõigatud otstega, mis tarkvaras sai projekteeritud, et nende omavaheline liitmine oleks lihtsustatud. Laserlõikuses valminud torud tagasid ka ajalise kokkuhoiu, kuna keerukate lõigetega otste valmistamine käepäraste lahendustega ei oleks olnud tõhus. Edaspidiste raamide tootmisel oleks mõistlik ning efektiivne kasutada rohkem laserlõikuse tehnoloogiat.

Raami torude omavaheline liitmine teostati MAG keevitusviisiga, kus esialgselt liideti torud keevispunktidega omavahel kokku. Peale raami koostamist läbi sellise metoodika oli vajalik ka veenduda struktuuri täpsuses ning sobilikkuses enne torude vahelisi lõplikuid keevisõmblusi. Peale raami kokku keevitamist oli vaja positsioneerida täpsed kinnituskohad, kuna torude paiknemise ebatäpsusest ning keevitusest tingitud soojusega kõverdumine mõjutas kinnituskohade täpset tulemust projekteeritud kohast. Seetõttu tuli akupaki kaitseraam positsioneerida mootorratta raami kinnituskohade juurde, et oleks võimalik teha vajalikud märkmed projekteeritud kinnituskohade alale. Peale kinnituskohade märkimist oli võimalik puurida vastavad avad, et sinna asetada

keermehülsid ning need akupaki kaitseraamiga kokku ühildada läbi keevisliite. Sellest tingituna on võimalik akupaki kaitseraami ning mootorratta raami omavahel läbi poltliite ühendada (Sele 16).



Sele 16. Koostatud ning kokku keevitatud akupaki kaitseraam

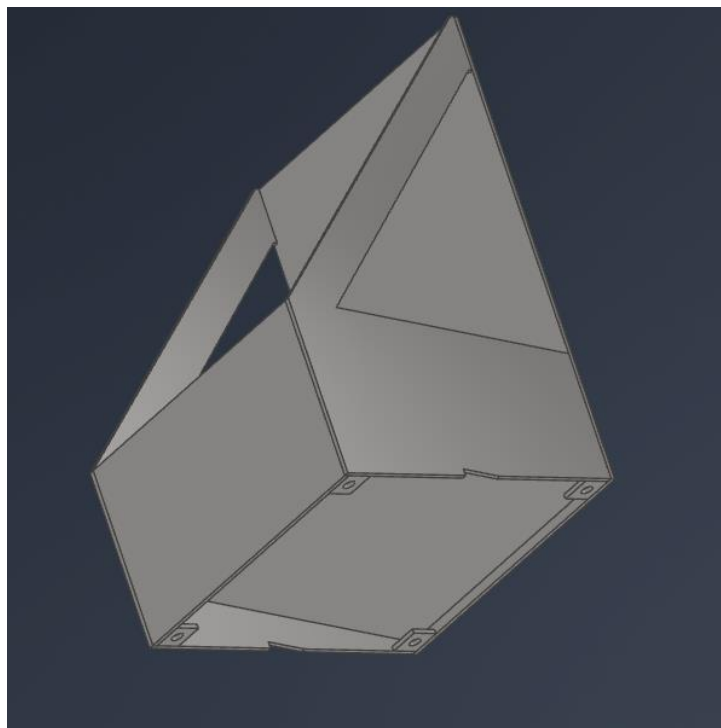
Akupaki kaitseraami külge on keevisliitega ühendatud ka eesmised aku kaitseraam kinnitused ja akupaki hoidiku aluse kinnitused. Viimaks sai töödeldud keevisliiteid visuaalselt esteetilisemaks ning samuti korrosiooni kaitseks on akupaki kaitseraam ka pulbervärvitud.

4.6 Akupaki hoidik

Akupaki hoidik on projekteeritud kinnitamaks akupakki statsionaarsena raami suhtes. Akupaki hoidiku külge kinnitub ka kontrolleri. Kontrolleri kinnitub neljast nurgast läbi poltliite akupaki hoidiku tagumisele küljele keevitatud keermepukside külge. Akupaki hoidiku ülesanne on pehmentada vibratsioone, hoida akupakki turvaliselt kinnitatuna ning pakkuda lisakaitset kokkupõrke ning välitegurite eest. Akupaki hoidik kinnitub akupaki aluse külge neljast nurgast läbi poltliite, kuhu igasse nurka on keevitatud avadega detailid koos mutritega. Akupaki hoidiku kontakt akuga on pehmentatud kasutades pehmentustepi. Teip on paigutatud igale seesmisele akupaki hoidiku küljele.

Pehmendusteibi ülesanne on pehendada akule mõjuvaid vibratsioone ning tihendada akupakk akupaki hoidikuga ning hoida akupakki paigal.

Akupakki hoiab akupaki hoidiku suhtes kinni 25 mm laiusega kinnitusrihm kiirkinnitusega, mis on paigutatud akupaki hoidiku alt läbi spetsiaalsete avade hoidiku alumiste külgede servadel. Kinnitusrihm kinnitub kokku akupaki pealt, mis võimaldab seda mugavalt lahti võtta pealt poolt läbi kiirkinnituse ning hoiab akupaki korpust pingestatuna akupaki hoidiku alumise plaadi küljes. Kinnitusrihmaga kinnitatud akupakk tagab selle liikumatuse hoidiku suhtes ning mootorratta ümberpaiskumise puhul akupaki hoidikust eraldumist. Akupaki hoidik on projekteeritud akupaki aluse suhtes kaldu. See oli vajalik selleks, et oleks akupakki võimalik mootorratta raami seest välja võtta, ilma, et mootorratta raam akupakile ette jääks. Samuti on mugavam võtta akupakk hoidiku seest välja, sest akupakki välja tõstes on võimalik toetuda akupaki hoidiku sisemisele küljele, mis suunab akupakki ja lihtsustab akupaki välja tõstmise protsessi. Pildil on näidatud projekteeritud akupaki mudel 3D modelleerimise tarkvaras (Sele 17).



Sele 17. Akupaki hoidik 3D modelleerimise tarkvaras

4.7 Akupaki hoidiku valmistamine

Akupaki hoidiku valmistamiseks on kasutatud 3 mm paksust DC01 süsinikterast. Akupaki hoidik on projekteeritud 3D modelleerimise tarkvaras ning seejärel loodud füüsilisel kujul. Projekti raames tootmiskulude vähendamiseks teostas töö autor metallitööd akupaki hoidiku koostamisel ise lehtmestallist. Lehtmestallist välja lõigatud detailid keevitati

omavahel kokku kasutades MAG keevitusviisi. Esialgne etapp oli keevitada akupaki hoidiku pikima külje külge alusplaat täisnurkse nurga alla ning seejärel kinnitada ning keevitada ülejäänud küljed. Selline meetodika tagas täpse projekteeritud kalde akupaki hoidiku alusplaadile akupaki kinnituseluse suhtes. Akupaki hoidiku kinnitustele on keevitatud kinni mutrid ning seejärel kinnitused keevitatud hoidiku alumiste nurkade külge. Kuna akupaki hoidik kinnitub akupaki kinnituselusele, siis pole füüsiliselt võimalik mutrit pealt poolt kinni hoida, et polt kinnitada läbi akupaki kinnituselusele. Seetõttu oli vaja mutrid keevitada kinnitusplaatide külge kinni, et need ringi ei liiguks poltide keeramisel.

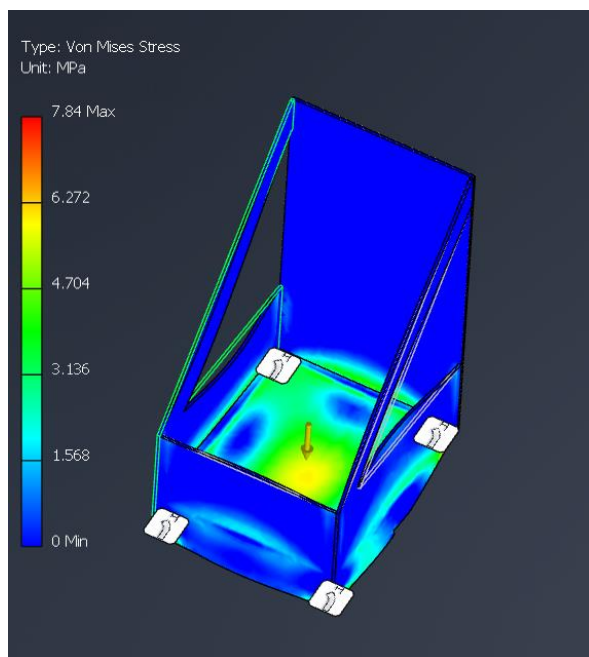
Kontrolleri kinnituseks on kasutatud keermepukse, mis on keevitatud akupaki pikima külje tagumisele küljele. Keermepuksid tekitavad akupaki hoidiku külje suhtes distantssi, et kontrolleri tulenev soojus ei mõjutaks akupakki. Keermepuksid eraldavad kontrolleri ning akupaki hoidiku, et tekiks õhuvahe. Akupaki hoidiku külje ning kontrolleri vaheline distantss pakub võimalust projekteerida ka vajadusel lisajahutuse võimalused, seda näiteks vesijahutuse näol.

Metoodika pakub võimalust akupaki kinnituse koostu projekteeritud mõõtmete variatsiooniks baasmudeli näitel. Akupaki hoidiku mõõtmete variatsioonide korral paikuvad akupaki hoidiku kinnituskohad kinnituseluse suhtes mujal. Seetõttu tuleks ka akupaki kinnituseluse avad akupaki hoidiku kinnitamiseks positsioneerida akupaki hoidiku kinnituste suhtes.

4.8 FEM analüüs akupaki hoidikule

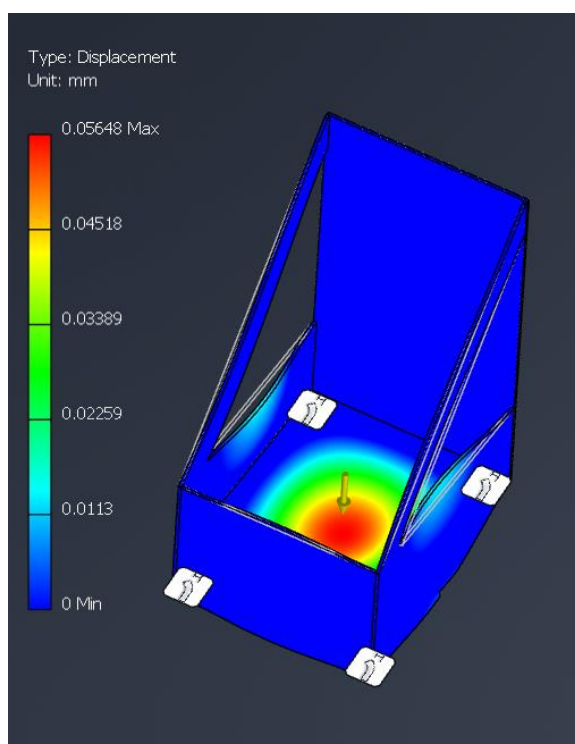
FEM analüüsid akupaki hoidikule määravad ära akupakist tingituna passiivse koormuse akupaki hoidiku põhjale ning samuti deformatsiooni korral mõjuvad materjali pinged akupaki hoidiku koostule.

Esialgne FEM analüüs akupaki hoidikule näitab akupaki toetumist selle põhjal oleva plaadiga. See annab ülevaate akupaki toetumisel hoidiku põhjaga tekkivatest pingetest, mis mõjuvad sellele passiivselt. Akupaki kaaluks on 34 kg, ehk peame rakendama hoidiku alusele 333 N suurust jõudu. Analüüsi tulemusena oli maksimaalne DC01 süsinikterasest hoidiku koostu pinge 7,8 MPa. Saab järeldada, et akupaki paigutamine hoidiku sisse ei ohusta konstruktsioonilist tugevust ning ei tekita materjalile ülemääraseid pingeid (Sele 18).



Sele 18. Pinge akupaki hoidikule rakenduva aku koormuse puhul analüüsis

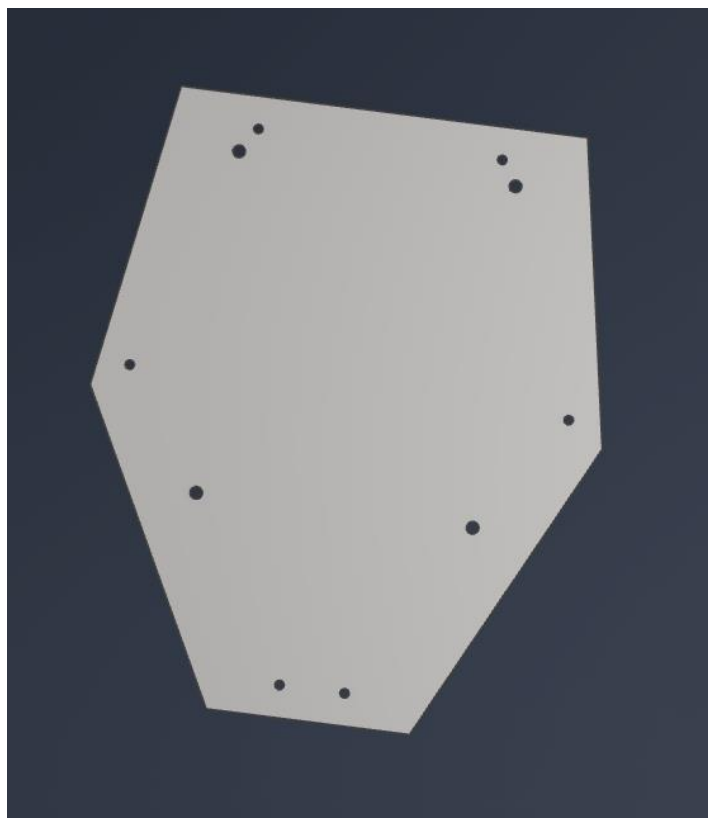
Analüüsi tulemusena maksimaalne deformatsioon akupaki kaalu rakendamisel hoidiku põhjaga osutus olema 0,05 mm. See ei mõjuta akupaki hoidiku funktsionaalset töökindlust ega põhjusta olulist deformatsiooni, mis võiks mõjutada akupaki stabiilsust või kinnitust (Sele 19 Sele 19).



Sele 19. Deformatsioon akupaki hoidikule rakenduva aku koormuse puhul analüüsis

4.9 Akupaki kinnitusalus

Akupaki kinnitusalus kinnitab akupaki hoidiku akupaki kaitseraamiga. Akupaki kinnitusalus on projekteeritud jäljendamaks akupaki kaitseraami välimisi kontuure, lähtudes esteetilisest põhimõttest (Sele 20).

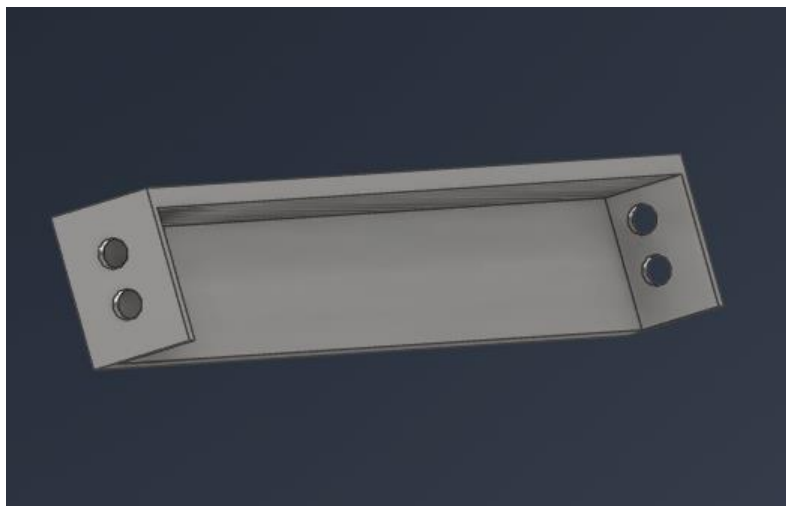


Sele 20. Akupaki kinnitusalus 3D modelleerimise tarkvaras

Akupaki kinnitusalus ühendab kokku omavahel projekteeritud komponendid. Komponentide erinevate variatsioonide suhtes on võimalik muuta projekteeritavad avad kinnitusalus suhtes, et projekteeritud komponendid omavahel kinnitada. Kinnitusalus on loodud 3 mm paksusest DC01 süsinikterasest. Alus on süsinikterase lehtmetallist välja lõigatud ning on puuritud vastavad avad projekteeritud komponentide kinnituste järgi. Akupaki kinnitusalus pakub lisa struktuurset tugevust ning ka kaitset sõiduteelt pärineva tolmu, pori ning ka esemete löökidest põhjustatud kahjustuste eest. Samuti kaitseb kinnitusalus ka akupaki hoidikule kinnituvat kontrolleri ning sellele kinnituvaid juhtmeid. Kinnituste avade ümber on paigutatud ka pehmedusteid, et minimaliseerida värvikihi maha hõõrdumist sõitmise tekkivate vibratsioonide tõttu ning vältida otsest kontakti värvitud pindade vahel.

4.10 Akupaki toestustala

Akupaki toestustala ülesandeks on toestata akupakki ning vähendada selle pikisuunas liikumist. See asetseb akupaki kaitseraami ülemiste torude peal ning kinnitub poltliitega akupaki kaitseraami külge keevitatud kinnitusplaatide läbi. Toestustala kinnituskohtade avade sisemistele külgedele on keevitatud mutrid, et detaili oleks mugavam kinnitada ning eemaldada. Kaitseraamile keevitatud kinnitusplaatide läbi on võimalik akupaki toestustala nende vahele suunata ning need liita läbi poltliidete toestustala sisemistel külgedel olevate paika keevitatud mutritega. Toestustala kontaktpinnal akupaki korpusega on paigutatud pehmendusteip, mis vähendab akule mõjuvaid vibratsioone ning tihendab akupaki kesta projekteeritud detailide vahel. Toestustala on valmistatud süsinikterasest olevast nurgaprofiiliga 4 mm paksusest materjalist (Sele 21).



Sele 21. Akupaki toestustala 3D modelleerimise tarkvaras

4.11 Akupaki kaitseraami koost vajalike komponentidega

Akupaki kaitseraami koostu kuuluvad mitmed komponendid, et kinnitada elektriajamiga seonduvad komponendid. Kogu akupaki kaitseraami koost tagab elektriliste komponentide kaitse välitegurite ning deformatsioonide eest, nende efektiivse ning turvalise kinnitamise ning lisab mootorrattale struktuurset tugevust.

Akupaki kaitseraami koostu kuuluvad järgnevad komponendid:

- kaitseraam;
- akupaki hoidik;
- kinnitusalus;
- akupaki toestustala.

Terve koos on mootorratta raamist tervikuna eemaldatav läbi poltliidete. Koostus on samuti iga komponent individuaalselt eemaldatav. Pildil on välja toodud akupaki kaitseraami koost koos vajalike komponentidega omavahel kokku ühendatuna koos aku ning kontrolleri paigutusega (Sele 22).



Sele 22. Akupaki kaitseraami koost koos vajalike komponentidega

Elektriliste komponentide variatsioonide korral on võimalik komponente muuta ning vahetada vastavalt soovile ning vajadustele sõltuvalt elektrilistest komponentidest. Olemasolevate komponentide baasil on võimalik viia läbi muudatusi, et projekteerida elektriliste komponentide kinnituste või mõõtmete variatsioonide korral sobilik komponent. Variatsioonide alla kuuluvad akupakkide erinevad dimensioonid, kontrolleri kinnituskohad, muude elektriliste komponentide ning juhtmestikust sõltuv paigutus. Tabelis on välja toodud Yamaha YZF-R6 baasil projekteeritud akupaki kaitseraami koostu komponentide massid (Tabel 2).

Tabel 2. Akupaki kaitseraami koostu komponentide massid

Komponent	Mass, kg
Kaitseraam	5,65
Akupaki hoidik	5,35
Kinnitusalus	2,2
Akupaki toestustala	1

5 KIIGE MODIFITSEERIMINE NING KINNITUSTE LOOMINE

Rummumootori mõlemalt küljelt ulatuvad välja jäigalt kinnitatud keermestatud teljed. Konventsionaalse mootorratta tagumise ratta kinnituseks kasutatakse tagumist võlli, mis on eemaldatav. Sellist meetodit kasutati ka Yamaha YZF-R6 mudelil. Tagumise ratta võlli eemaldamisel on võimalik tagumine mootorratta ratas kiige küljest eemaldada. Kuna rummumootori telgi ei olnud võimalik sobitada kiige olemasolevatest kinnitusavadest läbi, siis oli vajalik modifitseerida tagumist mootorratta kiike ning muuta selle kinnituskohad rummumootori jaoks sobivaks. Vajalik modifikatsioon kiigele oli lõigata kinnitusavadele rummumootori telgede laiused vahed sisse, et oleks võimalik rummumootor kinnituskohade juurde paigutada. Pildil on näha kiige kinnituskohade juurde paigutatud rummumootorit (Sele 23).



Sele 23. Kiige kinnituskohade vahele paigutatud rummumootor

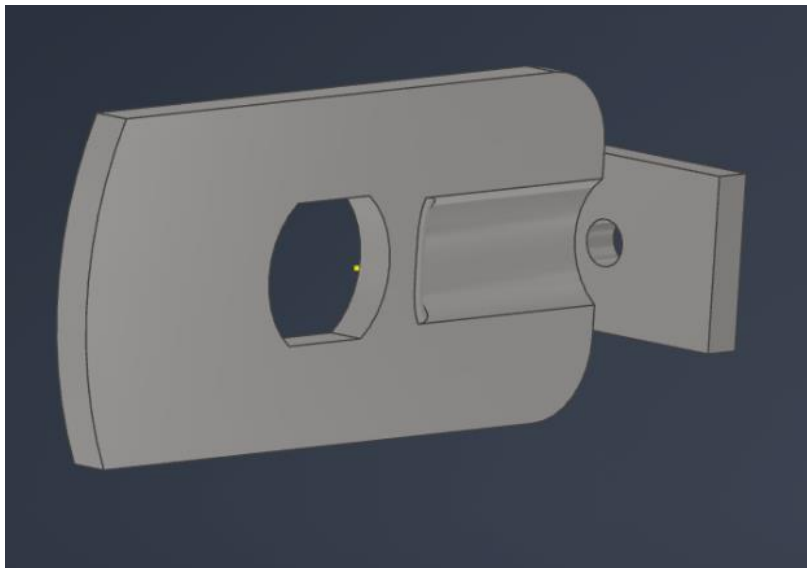
Rummumootori ostuga olid komplektiga kaasas adapterid rummumootori kinnitamiseks. Need adapterid ei sobinud mõõtudel ja kuna kiige rattavõlli kinnitusavadest oli rummumootori telgede mõõtudega vahed sisse lõigatud, siis ei olnud rummumootor kiige külge turvaliselt kinnitatud. Komplektiga kaasnevat adapteritega oleks rummumootorit kinni hoidnud mutrite pöördemoment kiige kinnituskohade tasapindadele toetuvate adapterite pindala suurus. Sellest ei piisanud, kuna see polnud piisavalt turvaline lahendus, sest ebakorrektselt kinnitatud mutrite korral ning muude mõjutavate faktorite tulemina võib rummumootor kiige küljest sõidu ajal eralduda. Seetõttu oli vajalik projekteerida lisakinnitused rummumootori kinnitamiseks mootorratta kiige külge.

5.1 Kinnituste projekteerimine

Rummumootori kinnituste jaoks oli vaja võtta vajalikud mõõtmed, et detailid kataksid pindalalt kinnituskoha tasapinnad terves ulatuses ning puutuksid kokku kiige kinnituskoha süvendis olevate külgedega. See oli vajalik selleks, et kinnitused ei liiguks ega vibreeriks kiirendamisel ja pidurdamisel tekkivate pöördemomentidega ning hoiaksid ratast võimalikult stabiilsena. Kinnituste kinnitamiseks kiige külge on kasutatud varasemalt olemas olevaid keermestatud avasid, mis olid eelnevalt ratta tsentreerimiseks ning keti pingutamiseks mõeldud. Kinnitamiseks oli kinnitusele vaja projekteerida täisnurkse nurga all olevat plaati, mille läbi oleks kinnitamine võimalik läbi poltliite.

Keermestatud avade tõttu ei olnud vajadust kiike rohkem modifitseerida ning oli võimalik kasutada maksimaalselt ära olemasolevaid lahendusi. Rummumootori kinnitused on projekteeritud kinnituma läbi poltliite kiige külge.

Rummumootori teljed ulatuvad läbi kinnituste avade ning neid on võimalik mutritega kinni keerata. Loogika seisneb selles, et algselt paigutatakse rummumootor kiige kinnituskohade avade juurde. Seejärel asetatakse völli otsa kinnitused ning need kinnitatakse poltliitega. Ratta tsentreerimiseks on lõigatud rummumootori völli serva ning projekteeritud kinnituste toetuspindade vahele distantspuksid, mis asetsevad ümber rummumootori völli. Rummumootori kinnitused on projekteeritud 5 mm paksusest roostevabast terasest (Sele 24).



Sele 24. Rummumootori kinnitusplaat 3D modelleerimise tarkvaras

5.2 Kinnitusplaatide loomine

Kinnitusplaadid (Sele 25) on projekteeritud kasutades 3D modelleerimise tarkvara ning need on lõigatud lasertehnoloogia abil. Kinnitusplaatide väliskülgedele kinnituskohtade juurde on freesitud süvendid kinnitusplaadi kinnitamiseks läbi poltliite. Süvendi freesimise tagas sisemise kuuskandiga poldi vaba liikumise ning võimaldas kinnitada kinnitusplaadid läbi poltliite. Projekteeritud kinnitusplaadi 5 mm materjali paksuse tõttu ei olnud võimalik läbi avade ilma töötlemiseta polte kiige küljes olevate keermestatud avadega liita nende asukoha tõttu. Lisaplaadi kinnitamine kinnitusplaadile toimus läbi roostevaba TIG keevitusprotsessi. Peale kinnitusplaadi paigutamist kiige süvendisse oli võimalik kindlaks teha lisaplaadile puuritavad avad kiige külge kinnituvate asukohtade suhtes.



Sele 25. Valminud rummumootori kinnitusplaadid koos distantspuksidega

6 VÖRDLUS SAMA MUDELI SISEPÕLEMISMOOTORIGA MOOTORRATTAGA

Töös käsitletava mootorratta ümberehitusest tingituna on muudetud mootorratta baas spetsifikatsioone ning karakteristikuid. Muudatused mõjutavad mootorratta sõiduomadusi ning selle dünaamikat, kasutust ja üldist toimivust. Võrreldud on originaalse sise põlemismootoriga 1999. aasta Yamaha YZF-R6 baas mudeli spetsifikatsioonid elektriliseks liikumiseks konverteeritud sama mudeli baasil oleva mootorratta andmeid. Võrreldud andmed annavad ülevaate elektrilise ajamiga liikuva mootorratta konversioonist tingitud muudatustest.

6.1 Mootorrataste andmete võrdlus

Võrdluse jaoks vajalikud Yamaha YZF-R6 baasandmed pärinevad spetsifikatsioonide andmebaasist. Elektriajami jõul liikuva sama mudeli mootorratta andmed tulenevad selle projekteeritud olemusest ning mõõdetud tulemustest. Tabelis on välja toodud mootorrataste põhilised erinevused (Tabel 3).

Tabel 3. Võrdlus elektriajami jõul liikuva sama mudeli sise põlemismootoriga mootorrattaga [5], [10]

Spetsifikatsioonid	Sise põlemismootoriga mootorratas	Elektriajamiga mootorratas
Mootori võimsus	87,5 kW	12 kW
Mootori vääne	92,3 Nm	200 Nm
Jahutussüsteem	Vesijahutus	Õhkjahutus
Mootor	Sise põlemismootor	Elektriline rummumootor
Ülekanne	Ketiajam	Otse mootorist
Tagumise ratta mõõt	180/55 ZR17	190/55 ZR17
Kaal	169 kg	120 kg
Tippkiirus	260 km/h	140 km/h
Käikude arv	6	1
Energiaallikas	Bensiin	Elekter
Emissioonid	16.0 CO ₂ g/km	0

6.2 Mootorratta ümberehituse tulemus

Mootorratta ümberehituse tulemusena on konverteeritud Yamaha YZF-R6 mootorratas elektriajamiga liikuvaks. Sellest tulenevalt on muudetud mootorratta spetsifikatsioone ning

olemust. Muudatused mõjutavad mootorratta sõiduomadusi ning sõitja hoiakuid ja käitumist mootorrattaga. Sellest tingituna võib kaasneda riske harjumuspäraste sõiduvõtete ja käitumismustrite muutmisega. Elektriajami omadused, nagu sõidumugavus, kiirendus ning äkiline pöördemoment võrreldes sisepõlemismootoriga võib kaasa tuua ebaharjumuspärasusi ning muuta sõitja käitumist vastavalt. Pildil on näha valminud Yamaha YZF-R6 mudeli baasil elektriliseks ümberehitatud mootorratas koos toodetud komponentidega (Sele 26).



Sele 26. Elektriliseks ümber ehitatud Yamaha YZF-R6 mootorratas

7 KOMPLEKTI TOOTMINE

Mootorratta Yamaha YZF-R6 elektriliseks ümberehituseks vajalike komponentide projekteerimine ning tootmine nõudis mitmeid ressursse. Enim kulunud ressurss oli aeg, mis oli piiratud. Ajaliseks kokkuhoiuks olid laserlõikuse tehnoloogia abil välja lõigatud akupaki kaitseraami torud ning rummumootori kinnitused. Laserlõikuses valminud detailid ei hoidnud ainult ajaliselt kokku, vaid vähendasid võimalikke vigade tekkimist seoses ebatäpsete töötulemustega. Nende komponentide keerukuse ning täpsuse tõttu hoidis see ajaliselt märkimisväärselt kokku suurenenud tootmiskulu arvelt. Muud koostus olevad komponendid olid valmistatud käsitööna kasutades elektritööriistu ning erinevaid töövõtteid. Töömahult oli keevitamine kõige aeganõudvaim ning nõudis suurt täpsust detailide korrektse paigutuse suhtes. Kasutatud on TIG ja MAG keevitusviise. Keevitusprotsessi käigus tuli arvestada erinevate materjalide omadustega. Enim rahalist ressursi kulus vahendite ning materjalide peale.

Tootmise lihtsustamiseks ning ajakulu vähendamiseks on tõhus lahendus rakendada laserlõikuse tehnoloogiat koostus olevate komponentide detailide lõikuseks. See hõlbustaks tootmise tempot ning parendaks komponentide täpsust projekteeritule.

Variatsioonide korral on tänu modulaarsele koostule võimalik sisse viia muudatusi komponentidele üksteisest sõltuvalt. Näiteks järgnevate toodetud akupaki kaitseraamide puhul ei ole vaja samale mudelile baseeruva mootorratta korral kaitseraami ümber projekteerida. Kuid aku mõõtmete muutumise või kontrolleri kinnituste positsioonide erinevuse puhul tuleb viia läbi muudatusi koostus olevatele projekteeritud komponentidele. Akupaki kaitseraam ei ole muudatustest otseselt sõltuv ning neid on võimalik ette toota, et edasise protsessi käigus soovitud komponendid kaasata. Selline lähenemine tagab tootmisesse paindlikkuse ja viib erinevaid tööetappe sujuvamat kooskõlla.

7.1 Tootmisega seotud kulutused

Tootmisega seotud kulutused olid põhiliselt ajalised ning rahalised. Antud tööprotsessi käigus oli võimalik teha üldine järeldus kulunud ressurssidest. Kuna ümberehituseks vajalike komponentide projekteerimine ning tööde etapid ei olnud koheselt ajaliselt viimistletud, kulus tootmise peale rohkem aega. Saadud ajalised tulemused on seetõttu ligilähedased. Kõikide komponentide ning detailide 3D modelleerimise tarkvaraga teostamise peale kulus kokku ligikaudu 3 nädalat, millest üle poole ajast kulus akupaki raami projekteerimisele ning mudeli valmistamisele tarkvaras. Projekteerimise peale kulunud aja sisse on arvestatud ka mõõtmised ning eskiiside ja prototüüpidega katsetamised. Komponentide tootmise ning valmistamise peale kulus enim aega.

Elektrijõul liikuv mootorratas valmis peale projekteerimist 2 kuuga ning hõlmas endas laialdaselt koostus olevate komponentide metallitöid ning keevitamist. Tegeleda tuli ka mootorrattaga seotud kõrvaliste toimingutega, nagu komponentide demontaaž ning montaaž ja muude elektriliseks ümberehituseks mittevajalike detailide loomise või modifitseerimisega.

7.2 Komponentide hinnad

Komponentide hinnaarvestuses ei ole kajastatud tööde teostamise maksumust, kuna tööprotsess saaks olla efektiivsem ning mõningate etappide lõpptulemused saavutada hulgaliselt varem, kui seda oli projekti loomise käigus. Tabelis on hinnaliselt välja toodud iga komponendi materiaalne maksumus ning kasutatavate tootmistehnoloogiate korral on hind juurde arvestatud tabelis näidatud tulemusele (Tabel 4).

Tabel 4. Komponentide materjalide ning teenuste maksumus [11], [12]

Komponendid	Hind, €
Akupaki kaitseraami laserlõigatud 1,5 x 20 mm torud DC01 süsinikterasest	182,43
Akupaki hoidik DC01 süsinikterasest 3 mm läbimõõduga lehtmetallist	21,08
Akupaki kinnitusalus DC01 süsinikterasest 3 mm läbimõõduga lehtmetallist	9,37
Rummumootori laserlõigatud kinnitused roostevabast terasest 5 mm läbimõõduga	59
Akupaki nurgaprofiiliga toestustala 4 mm läbimõõduga S235 süsinikterasest	1,57
Kinnitusrihm	4,27
Liivapritsi ja pulbervärvimise teenus	150

Komponentide tootmise lõppmaksumusele lisandub ka defineerimata töökuulu, kuluvahendite hind, kasutatavate tööriistade ning tehnoloogiate maksumus, elekter ning jms. tootmisprotsessiga kaasnevad summad. Komponentide materjalide ning teenuste maksumus kokku osutus 427,72€.

KOKKUVÕTE

Lõputöö eesmärgiks oli luua Yamaha YZF-R6 mootorratta mudeli näitel sisepõlemismootoriga mootorratta elektriliseks ümberehituseks vajalikud komponendid. Töö tulemusena on loodud ning analüüsitud vajalikud komponendid elektriajami turvaliseks ning efektiivseks kinnitamiseks mootorratta raamiga. Töö käigus oli kirjeldatud tootmistehnoloogiate kasutust, lahendusi komponentide kinnitamiseks kui ka paiknemiseks ja materjalide valikuid ning omadusi.

Töö hõlmas komponentide projekteerimise ning tootmise protsesse. Töös olevad meetodikad tõstsid esile koostu lahenduste paindlikkuse ja kohandatavuse, mis võimaldaksid neid komponente projekteerida sarnaselt ka teiste mootorrattamudelite elektrifitseerimisel või elektriliste komponentide variatsioonidel. Töös oli välja toodud ka seadused mootorratta ümberehituse ametlikuks registreerimiseks ning samuti ka komponentide ja koostude materiaalsed hinnad koos kasutatavate tehnoloogiatega.

Töös oli kirjeldatud meetodikad ning lähenemised ümberehituseks vajalike komponentide tootmiseks. Samuti oli võrreldud ka erinevaid elektrilisi lahendusi ning meetodeid. Ümberehitusest tingitud muudatuste tõttu oli toodud välja ka sama mudeli sisepõlemismootoriga mootorratta ja elektriliseks ümber ehitatud mootorratta spetsifikatsioonid. Projekteeritud kooste ning detaile oli analüüsitud nendele mõjuvate jõudude näitel.

Lõputöö pakkus terviklikku ülevaadet mootorratta elektrifitseerimise protsessist, alates komponentide projekteerimisest kuni nende analüüsimiseni. Loodud lahendused ja meetodikad loovad tugeva aluse töös valminud elektrilise Yamaha YZF-R6 mootorratta ning ka samuti teiste mootorrattatüüpide elektriliseks ümberehituseks. Töös loodud mootorrattas tagab jätkusuutlikkuse ning kaasaegsete energialahenduste integreerimist transpordivahendite moderniseerimiseks.

SUMMARY

The objective of the thesis was to create the components necessary for converting an internal combustion engine motorcycle into an electric motorcycle, using the Yamaha YZF-R6 model as an example. As a result of the work, components required for securely and efficiently mounting the electric drive to the motorcycle frame were designed and analyzed. The thesis described the use of manufacturing technologies, solutions for component mounting and placement, as well as the selection and properties of materials.

The thesis included the processes of designing and manufacturing components. The methodologies presented in the work highlighted the flexibility and adaptability of assembly solutions, enabling the design of similar components for the electrification of other motorcycle models or for variations in electric components. The study also outlined the legal requirements for the official registration of motorcycle conversions, as well as the material costs of components and assemblies along with the technologies used.

The thesis detailed the methodologies and approaches for manufacturing the components required for the conversion. It also compared various electric solutions and methods. Due to the changes of the conversion, the specifications of the same model with an internal combustion engine were compared to an electric motorcycle. The designed assemblies and components were analyzed based on the forces set in the analysis.

The thesis offered a comprehensive overview of the process of motorcycle electrification, from designing components to analyzing them. The solutions and methodologies developed provide a strong foundation for the electrification of the Yamaha YZF-R6 motorcycle, but as well as for the electrification of other makes and models of motorcycles. The motorcycle developed in the study ensures sustainability and the integration of modern energy solutions for the modernization of transportation vehicles.

VIIDATUD ALLIKAD

- [1] Transpordiamet, „Sõidukite ja masinate kategooriad,” 22 5 2023. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.transpordiamet.ee/soidukite-ja-masinate-kategooriad>. [Kasutatud 9 12 2024].
- [2] M.-. j. kommunikatsiooniminister, „Riigiteataja,” 3 6 2011. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.riigiteataja.ee/akt/123082019006?leiaKehtiv>. [Kasutatud 4 12 2024].
- [3] E. P. j. nõukogu, „Eur-Lex,” 5 9 2007. [Võrgumaterjal]. Available: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/et/TXT/?uri=CELEX%3A32007L0046>. [Kasutatud 4 12 2024].
- [4] cnqsmotor, „QS Motor,” Electric motor manufacturer, [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.cnqsmotor.com/product/qs-10-kw-motor-qsd165d-50-10000w-mid-drive-motor-for-sur-ron-light-bee/>. [Kasutatud 16 12 2024].
- [5] cnqsmotor, „QS Motor,” Electric motor manufacturer, [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.cnqsmotor.com/product/motorcycle-hub-motor-qs-motor-12000w-17x6-0inch-273-e-motorcycle-hub-motor/>. [Kasutatud 16 12 2024].
- [6] KTM, „KTM,” [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.ktm.com/en-int/tech-guide/chromium-molybdenum-steel-trellisframe.html>. [Kasutatud 26 12 2024].
- [7] F. perforating, „6061 Aluminium Alloy,” [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.fergusonperf.com/the-perforating-process/material-information/specialized-aluminum/6061-aluminium-alloy/>. [Kasutatud 27 12 24].
- [8] Steelnumber, „DC01,” [Võrgumaterjal]. Available: https://www.steelnumber.com/en/steel_composition_eu.php?name_id=199. [Kasutatud 27 12 24].
- [9] R. Dhari, „Impact Energy Calculator,” [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.omnicalculator.com/physics/impact-energy>. [Kasutatud 5 1 2025].
- [10] Motorcyclespecs, „Motorcyclespecs Yamaha YZF-600 R6,” [Võrgumaterjal]. Available: https://www.motorcyclespecs.co.za/model/yamaha/yamaha_r6%2099.htm. [Kasutatud 5 1 2025].
- [11] Metallikeskus, „Leht 3x1500x5050 DC01,” [Võrgumaterjal]. Available: <https://metallikeskus.ee/toode/leht-3x1500x5050-dc01/>. [Kasutatud 7 1 2025].

[12] Metall24, „Nurkraud,“ [Võrgumaterjal]. Available:
<https://www.metall24.ee/tooted/nurkraud>. [Kasutatud 7 1 2025].

LISAD

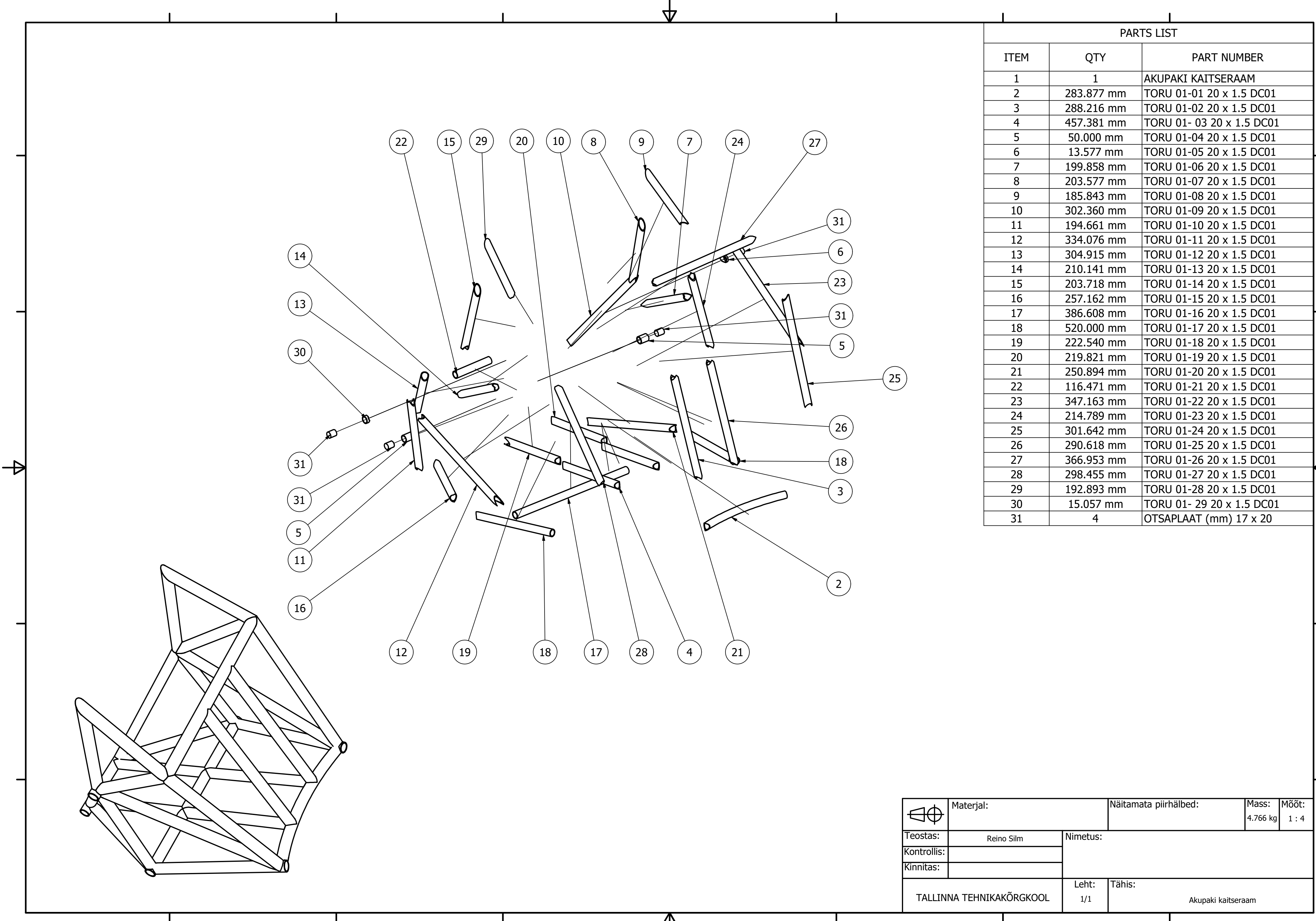
Lisa 1. Akupaki_kaitseraami_joonis_01

Lisa 2. Akupaki_hoidik_02

Lisa 3. Akupaki_hoidiku_alus_03

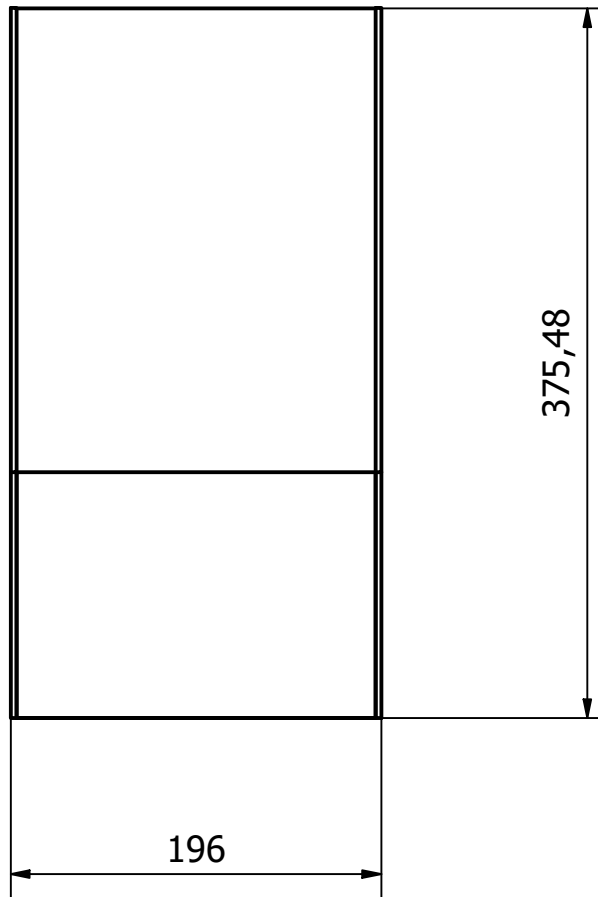
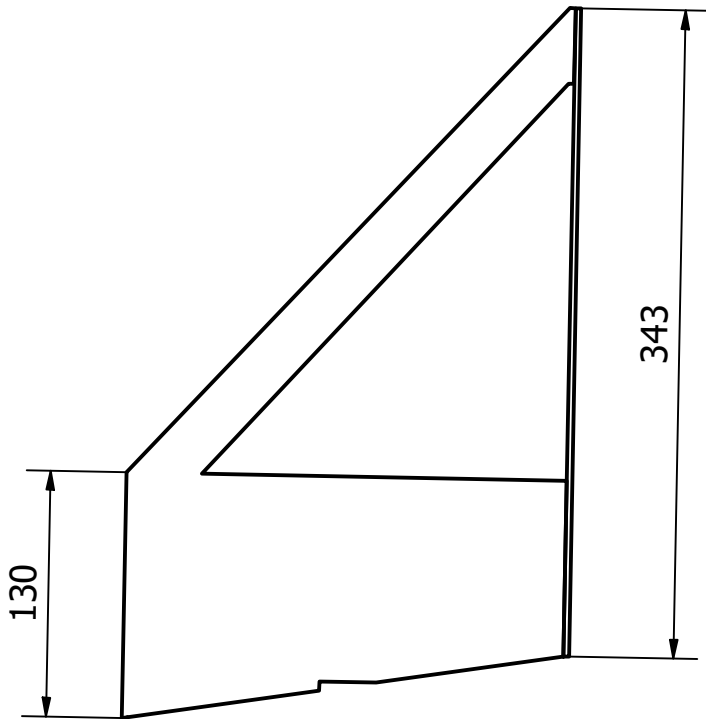
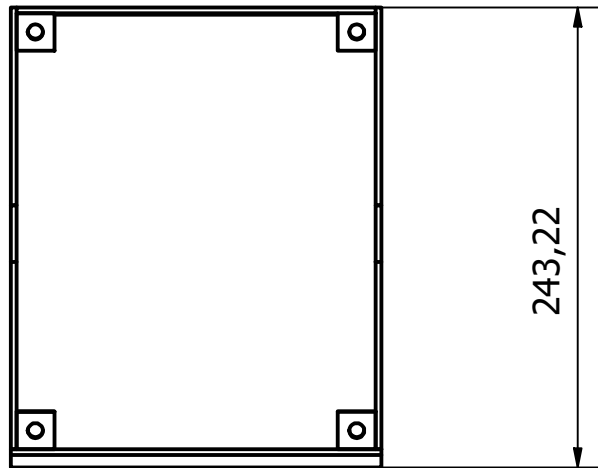
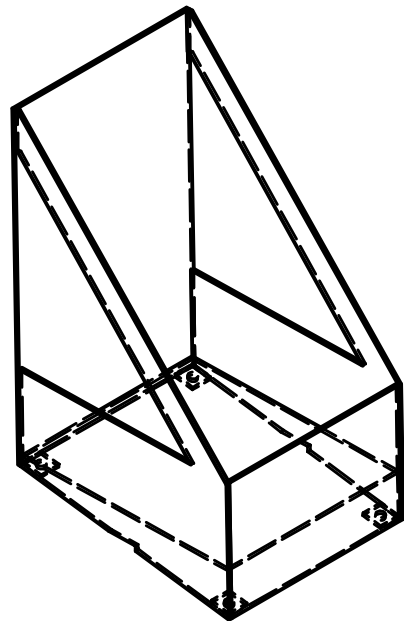
Lisa 4. Akupaki_ülemine_tugi_04

Lisa 5. Rummumootori_kinnitus_05

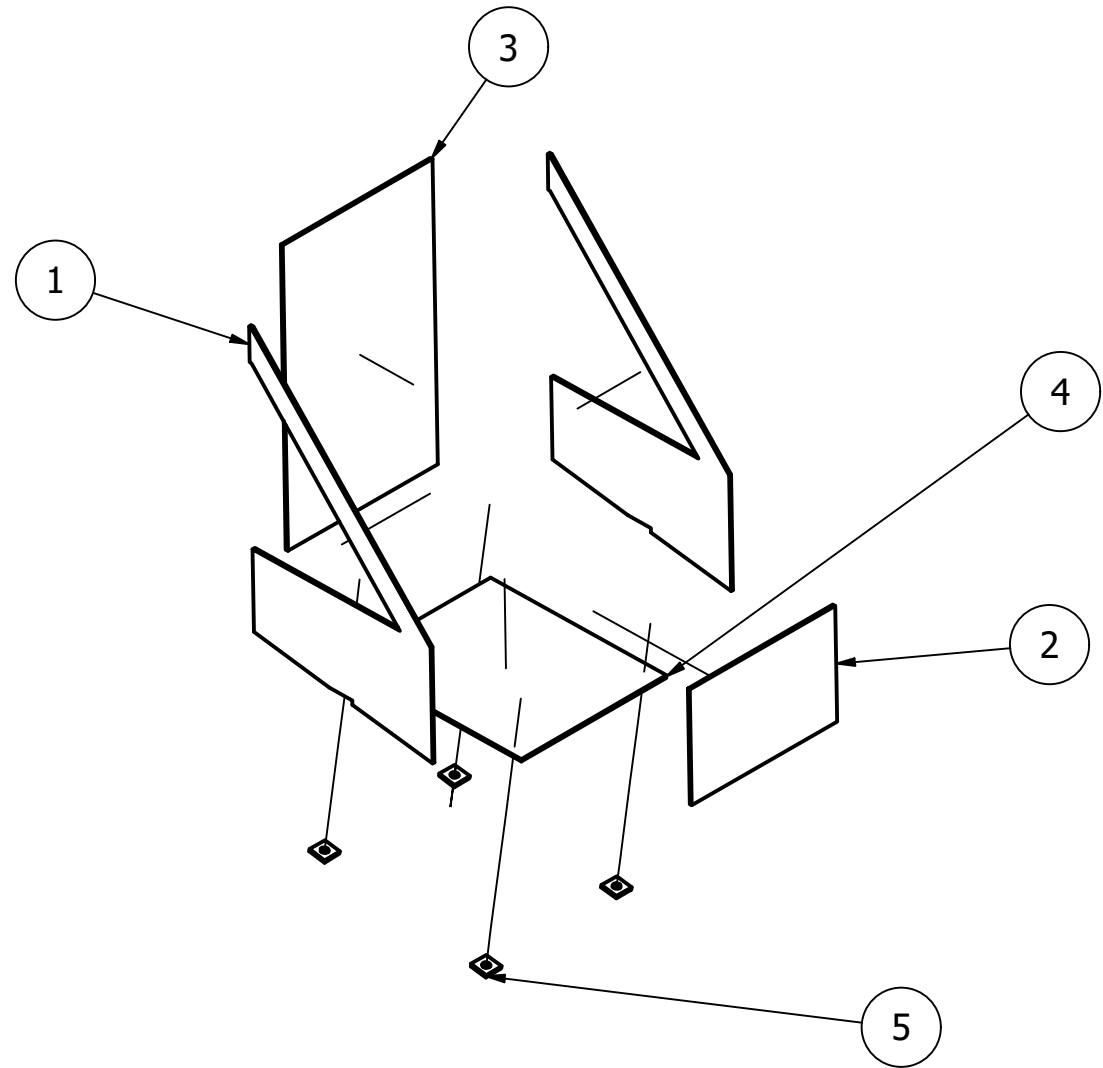


PARTS LIST		
ITEM	QTY	PART NUMBER
1	1	AKUPAKI KAITSERAAAM
2	283.877 mm	TORU 01-01 20 x 1.5 DC01
3	288.216 mm	TORU 01-02 20 x 1.5 DC01
4	457.381 mm	TORU 01- 03 20 x 1.5 DC01
5	50.000 mm	TORU 01-04 20 x 1.5 DC01
6	13.577 mm	TORU 01-05 20 x 1.5 DC01
7	199.858 mm	TORU 01-06 20 x 1.5 DC01
8	203.577 mm	TORU 01-07 20 x 1.5 DC01
9	185.843 mm	TORU 01-08 20 x 1.5 DC01
10	302.360 mm	TORU 01-09 20 x 1.5 DC01
11	194.661 mm	TORU 01-10 20 x 1.5 DC01
12	334.076 mm	TORU 01-11 20 x 1.5 DC01
13	304.915 mm	TORU 01-12 20 x 1.5 DC01
14	210.141 mm	TORU 01-13 20 x 1.5 DC01
15	203.718 mm	TORU 01-14 20 x 1.5 DC01
16	257.162 mm	TORU 01-15 20 x 1.5 DC01
17	386.608 mm	TORU 01-16 20 x 1.5 DC01
18	520.000 mm	TORU 01-17 20 x 1.5 DC01
19	222.540 mm	TORU 01-18 20 x 1.5 DC01
20	219.821 mm	TORU 01-19 20 x 1.5 DC01
21	250.894 mm	TORU 01-20 20 x 1.5 DC01
22	116.471 mm	TORU 01-21 20 x 1.5 DC01
23	347.163 mm	TORU 01-22 20 x 1.5 DC01
24	214.789 mm	TORU 01-23 20 x 1.5 DC01
25	301.642 mm	TORU 01-24 20 x 1.5 DC01
26	290.618 mm	TORU 01-25 20 x 1.5 DC01
27	366.953 mm	TORU 01-26 20 x 1.5 DC01
28	298.455 mm	TORU 01-27 20 x 1.5 DC01
29	192.893 mm	TORU 01-28 20 x 1.5 DC01
30	15.057 mm	TORU 01- 29 20 x 1.5 DC01
31	4	OTSAPLAAT (mm) 17 x 20

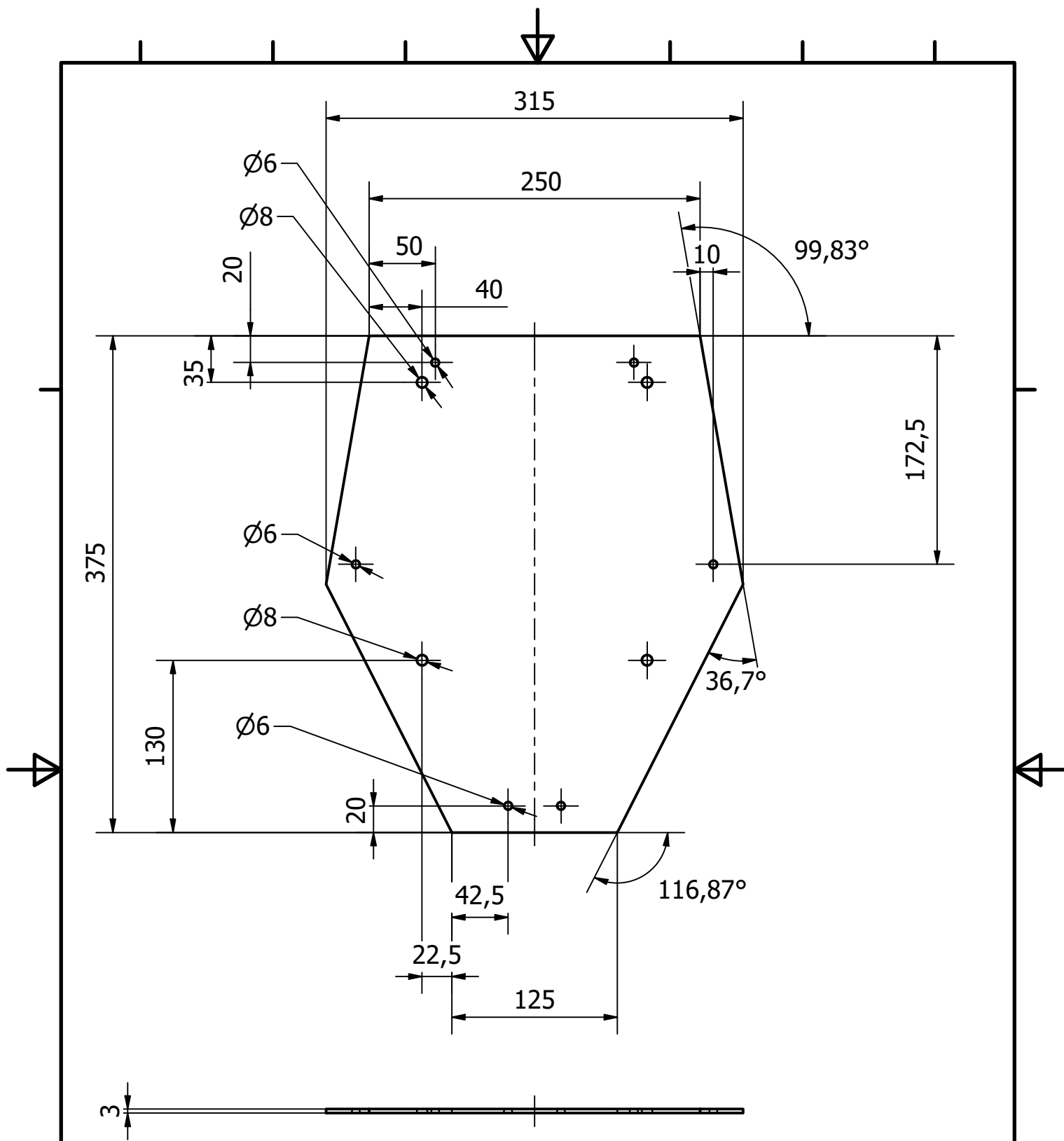
	Materjal:		Näitamata piirhälbed:	Mass: 4.766 kg	Mõõt: 1 : 4
	Teostas:	Reino Silm	Nimetus:		
	Kontrollis:				
	Kinnitas:				
TALLINNA TEHNIKAKÕRGKOO			Leht: 1/1	Tähis: Akupaki kaitseraam	



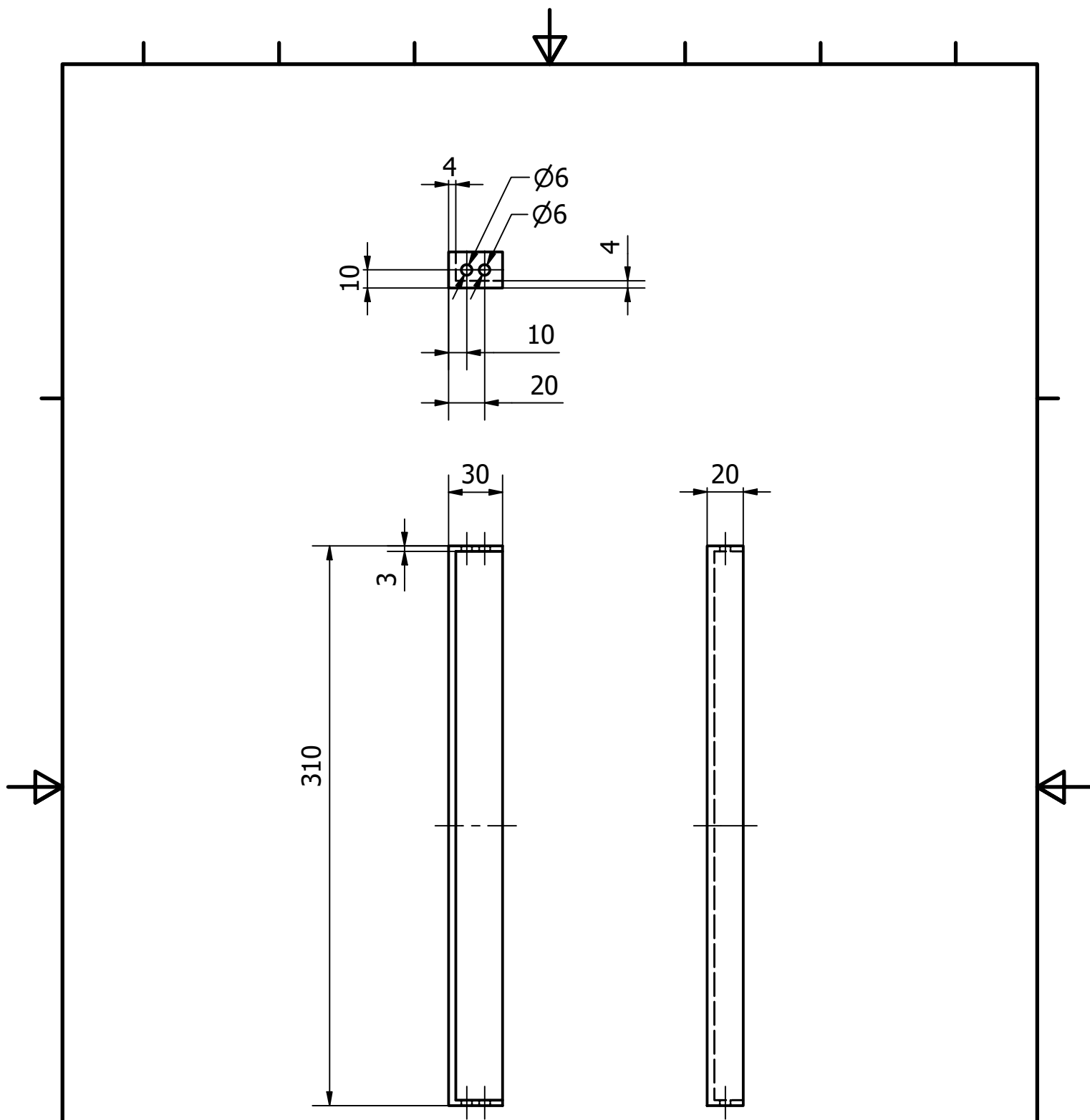
PARTS LIST			
ITEM	QTY	PART NUMBER	DESCRIPTION
1	2	aku_hoidik_külg 02-01	Akupaki külgmine plaat
2	1	aku_hoidik_eesmine 02-02	Akupaki eesmise otsa plaat
3	1	aku_hoidik_tagumine 02-03	Akupaki tagumise otsa plaat
4	1	aku_hoidik_põhi 02-04	Akupaki põhjaplaat
5	4	aku_hoidik_kinnitus 02-05	Akupaki hoidiku kinnitus



	Materjal:	Näitamata piirhálbed:	Mass: 4.867 kg	Mõõt: 1 : 4
Teostas:	Reino Silm	Akupaki hoidik		
Kontrollis:	Arvi Anton			
Kinnitas:				
TALLINNA TEHNIKAKÕRNGKOOL		Leht: 1/1	Tähis: akupaki_hoidik_02	



	Materjal: Steel, Carbon	Näitamata piirhälbed:	Mass: 2.210 kg	Mõõt: 1 : 4
Teostas:	Reino Silm	Nimetus: Akupaki hoidiku alus		
Kontrollis:	Arvi Anton			
Kinnitas:				
TALLINNA TEHNIKAKÕRGKOOOL		Leht: 1/1	Tähis: akupaki_hoidiku_alus_03	



	Materjal: Steel, Carbon		Näitamata piirhälbed:	Mass: 0.465 kg	Mõõt: 1 : 3
Teostas:	Reino Silm	Nimetus: Akupaki korpuse ülemine toetala			
Kontrollis:	Arvi Anton				
Kinnitas:					
TALLINNA TEHNIKAKÕRGKOOL		Leht: 1/1	Tähis: akupaki_ülemine_tugi_04		

