



Jaagup Abel

3D-PRINTERIGA LASTEAUTO KORPUSE LOOMINE

LÕPUTÖÖ

Tehnoloogia ja ringmajanduse instituut

Tootmine ja tootmiskorraldus

Juhendaja: Andrei Rudz

Tallinn 2023

Mina, Jaagup Abel, tõendan, et lõputöö on minu/meie kirjutatud. Töö koostamisel kasutatud teiste autorite, sh juhendaja teostele on viidatud õiguspäraselt.

Kõik isiklikud ja varalised autoriõigused käesoleva lõputöö osas kuuluvad autorile ainuisikuliselt ning need on kaitstud autoriõiguse seadusega.

Juhendaja Andrei Rudz (allkirjastatud digitaalselt)

Lõputöö on kaitsmisele lubatud tehnoloogia ja ringmajanduse instituudi direktori korraldusega.

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks

Mina, Jaagup Abel, sünnikuupäev: 28.04.1998, annan Tallinna Tehnikakõrgkoolile (edaspidi kõrgkool) tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose „3D-printeriga lasteauto korpuse loomine“.

1. reprodutseerimiseks paberkandjal kõrgkooli raamatukogus avaldamise ja säilitamise eesmärgil;
2. elektroonseks avaldamiseks kõrgkooli repositooriumi kaudu;
3. kui lõputöö avaldamisele on instituudi direktori korraldusega kehtestatud tähtajaline piirang, lõputöö avaldada pärast piirangu lõppemist.

Olen teadlik, et nimetatud õigused jäävad alles ka autorile ja kinnitan, et:

1. lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest tulenevaid ega muid õigusi;
2. PDF-failina esitatud töö vastab täielikult kirjalikult esitatud tööle.

Tallinnas (allkirjastatud digitaalselt, kuupäev digiallkirjas)

SISUKORD

LÜHENDID	5
SISSEJUHATUS.....	6
1 ELEKTRILINE LASTEAUTO.....	8
1.1 Laste elektriautode ajalugu.....	8
1.2 Turuülevaade	10
1.3 Näiteid lasteautode modifitseerimisest.....	12
1.4 Mazda RX-7 Rocket Bunny	13
1.4.1 Mazda RX-7 ajalugu	13
1.4.2 Mazda RX-7 Rocket Bunny komplekt	14
2 PROTOTÜÜBI VALMISTAMISE LAHENDUS.....	16
2.1 Printimistehnoloogia.....	18
2.1.1 Sulatatud hõõgniidi valmistamine ehk FDM (<i>fused deposition modeling</i>).....	18
2.1.2 Stereolitograafia ehk SLA (<i>stereolithography</i>).....	20
2.1.3 Selektiivne laserpaagutamine ehk SLS (<i>selective laser sintering</i>).....	21
2.2 Materjalitehnoloogia.....	21
2.2.1 Materjalide omadused ja hinnad	22
2.2.2 Skaneerimistehnoloogia	24
2.2.3 Skaneerimise valik	25
2.3 Lahenduste pakkumine	26
3 PROJEKTEERIMINE.....	27
3.1 Mudeli leidmine.....	27
3.2 Universaalne põhi ja sisemine korpus	29
3.2.1 Universaalne põhi.....	29
3.2.2 I raam.....	30
3.2.3 II raam	31
3.2.4 Sisu.....	31
3.3 Põhiosa ehk korpuse 3D-mudeli loomine.....	32
4 PRINTIMINE JA JÄRELTÖÖTLUS	37
4.1 Detailide printimine	37
4.2 Korpuse järeltöötlus.....	39
4.3 Uue auto võrdlus vana doonorautoga	43
4.4 Tasuvusjärelused	43

4.4.1	Uue lasteauto korpuse projekteerimisele ja printimisele kulunud aeg	43
4.4.2	Uuele lasteautole mudelile seni kulunud summad	43
4.4.3	Järeldus	44
4.5	Tulevikuetaapid	44
4.5.1	Edasiarenduse võimalused	45
KOKKUVÕTE		46
SUMMARY		48
VIIDATUD ALLIKAD		50
LISAD		56
Lisa 1. Modelleerimisele kulunud aeg		57
Lisa 2. Printimisele kulunud aeg ja materjalikogus iga detaili kohta		58
Lisa 3. Rahalise kulu tabel		60

LÜHENDID

- ABS – akrüülnitriil-butadieenstüreen (*acrylonitrile butadiene styrene*)
- DAE – digitaalsete varade vahetus (*digital asset exchange*)
- FDM – sulatatud sadestumise modelleerimine (*fused deposition modeling*)
- PC – polükarbonaat (*polycarbonate*)
- PEI – polüeeterimiid (*polyetherimide*)
- PET – polüetüleentereftalaat (*polyethylene terephthalate*)
- PETG – polüetüleentereftalaatglükool (*polyethylene terephthalate glycol*)
- PLA – polüpiimhape/polülaktiid (*polylactic acid*)
- SLA – stereolitograafia (*stereolithography*)
- SLS – selektiivne laserpaagutamine (*selective laser sintering*)
- STL – standardne kolmnurga keel (*standard triangle language*)
- TPU – termoplastne polüüretaan (*thermoplastic polyurethane*)

SISSEJUHATUS

Elektrilisi lasteaautosid on toodetud üle 40 aasta [1]. Tänapäeval toodetakse lasteaautosid erinevates suurustes – alates väikelastele mõeldud miniatuursetest sõidukitest mootorrataste ja kartide näol suuremate ja täpsemate mudeliteni, nagu veoautod ja traktorid. Tööstuslikult toodetud elektrilise lasteauto peamiseks elementideks on aku, mootor ja raadio, mis annavad sõidukile reaalse auto sarnase väljanägemise ja käitumise. Lisaks on võimalik paigaldada näiteks kaugjuhtimissüsteem, mis muudab lasteauto juhtimise lapsevanema ja lapse jaoks mugavamaks ning turvalisemaks.

Lõputöö käigus viiakse läbi projekt, mille mõte on anda uus elu vanale lasteautole. Projekti keskmes on uue mudeli välja töötamine ja 3D-printimine. Muu hulgas luuakse universaalne konstruktsioon, mis võimaldab autot edasi arendada ja tulevikus sobitada erinevatele korpustele. Projekti käigus kasutatakse kaasaegseid tehnoloogiaid, sealhulgas 3D-printimist, mis võimaldab luua kohandatud ja detailseid autoosi.

Töö jaguneb kolmeks osaks. Töö esimeses ehk teoreetilises osas tutvustatakse elektriliste lasteautode ning uue mudeli tausta, probleemi ja sellega seonduvalt doonorauto valikut. Lisaks tutvustatakse printimis-, skaneerimis- ja materjalitehnoloogiaid, mille järel leitakse sobivaim projekti teostamiseks. Töö teises osas projekteeritakse uue auto korpus, sisu ja kere. Töö kolmas ehk praktiline osa räägib detailide välja printimisest, kere järeltöötusest peale printimist ning tehakse rahalise tasuvuse järeldused.

Lõputöö alguses valitakse doonorauto, milleks on järelturult ostetud lasteauto Porsche Macan Turbo (Joonis 9 ja Joonis 10). Doonorauto valikul võetakse arvesse selle tehnilisi omadusi ja olemasolevaid elektroonilisi ning mehaanilisi lahendusi. Uue mudeli loomisel kasutatakse Porsche elektrisüsteemi komponente, sealhulgas mootorit, juhtmestikku ja raadiosüsteemi. Selline lähenemine võimaldab vähendada uute materjalide tarbimist.

Uue korpuse loomiseks kasutatakse 3D-printimise tehnoloogiat. See on paindlik ja kiire prototüüpimise lahendus, mis võimaldab luua keerukaid kujundeid ja struktuure. Tänu 3D-printimisele on võimalik luua unikaalne auto korpus, mis vastab projekti eesmärkidele.

Oluline osa projekti käigus on ka universaalse alusraami konstrueerimine. Alusraam on auto põhikomponent, mis määrab selle stabiilsuse, tugevuse ja funktsionaalsuse. Alusraami tootmisel kasutatakse anodeeritud alumiiniumist nelikantdetailidest valmistatud osi, mis tagavad raami

kerguse. Universaalse konstruktsiooni väljatöötamine võimaldab alusraami kasutada ka järgnevate mudelite loomisel.

Lõputöö eesmärk on välja töötada uus 3D-mudel, printida välja Mazda RX-7 lasteauto korpus ning valmistada universaalne põhi, kuhu on tulevikus võimalik luua uusi lahendusi. Käesolev lõputöö hõlmab endas seega uuendatud lasteauto loomise protsessi, mis põhineb olemasoleval Porsche Macan Turbo lasteauto mudelil.

Autor tänab töö valmimisele abiks olnud juhendajat Andrei Rudzi.

1 ELEKTRILINE LASTEAUTO

Elektriliste lasteautode ajalugu ulatub tagasi 20. sajandi viimasesse veerandisse, mil esimesed elektrimootoriga mänguautod turule jõudsid. Nende populaarsus on aja jooksul kasvanud ja tänapäeval on elektrilised lasteautod muutunud üheks armastatumaks mänguasjaks üle maailma.

Käesolev peatükk käsitleb elektriliste lasteautode ajalugu ja tutvustab turu olukorda. Peatüki eesmärk on anda teavet saadavalolevate lasteautode kohta, mis aitab mõista uue korpuse loomise konteksti. Esitatakse ülevaade Eesti e-poodide poolt pakutavatest elektrilistest lasteautodest, keskendudes nende hindadele ja päritolule.

Lisaks tutvustatakse automudelit, mille disain on olnud inspiratsiooniks käesoleva projekti raames loodavale lasteauto mudeli korpusele. Süvenetakse Mazda RX-7 mudeli olemusse, analüüsides mudeli disaini ajalugu ja omadusi.

1.1 Laste elektriautode ajalugu

Elektrilise lasteauto idee pärineb Itaalia ettevõttelt Peg-Pégero. Esialgu tootis ettevõtte lastele kärusid ning mõned aastad hiljem hakati tootma mänguasju. Varsti hakati valmistama suuremaid mänguasju, millega said lapsed sõita. Nende väikeste sõidukite ehitus oli lihtne – pedaalid, rattad ja rool. Ülesehitus sarnanes jalgrattale, kuid ilma ketiühendusega. Peale mõne toote arendamist sai ettevõtte aru, et nad on võimelised ehitama ka elektriautosid, mis sarnanevad päris autodega. [1]

Esimese Peg-Pégero lasteauto toiteallikaks oli geelaku pisikese mootoriga, mis vedas ratast. Pärast edukat auto tootmist lõi ettevõtte Ameerikasse tütarettevõtte, Pines of America. Läbi tütarettevõtte hakati müüma Traffic Patrol ja Trail Blazer'i kaubamärgiga mänguasju. 1980. aastate alguses oli ettevõtte ohus, sest müügiosakond ei saanud enda tööga hakkama. Nii müüs Peg-Pégero enda tütarettevõtte maha Kransco'le. Uued omanikud muutsid nime Power Wheels'iks ning sellest sai üks suurimaid mänguasjade poode. [1]

1985. aastaks, kui ettevõtte oli endale kuulsust kogunud, said nad valmis kolm lastele mõeldud elektrilist sõidukit: klassikaline auto, kolmerattaline mootorratas ning maastur (Joonis 1). Nad panid suurt rõhku patenteerimisele: funktsioonid, dünaamiline pidurdamine, pedaalide disain, sisseehitatud nupud. Aastate jooksul kutsuti tagasi mitmeid autosid – põhjuseks ülekuumenemine. [1]



Joonis 1. Power Wheels kolm esimest toodet [2]

Nähes maha müüdnud ettevõtte edu, üritas Peg-Pégero Power Wheels'i tagasi osta, kuid see ei õnnestunud. Seejärel hakati keskenduma hoopis laste farmimasinate tootmisele ehk kuulsa John Deere traktori seeriale. (Joonis 2). [3]



Joonis 2. John Deere lastetraktor, mida toodab Peg-Pégero [4]

Peg-Pégero ettevõtmine alustada lasteautodega on andnud olulise panuse lasteautode arengusse. Disaini matkimine päris autodelt annab lastele huvitava ja järjest reaalsema kogemuse lasteautoga

sõitmisel. Lisaks õpetab lapsele lasteautoga sõitmine varajases eas liikluskultuuri ja sellega seonduvaid ohtusid, mis on oluline lapse ohutunnetusele ja arengule.

1.2 Turuülevaade

Eesti turul puudub kohalik elektriliste lasteautode tootmine, mis tähendab, et kõik sellised tooted tulevad riiki impordi teel. Elektrilised lasteautod on populaarsed mänguasjad, mis pakuvad lastele võimalust kogeda autoga sõitmist ohutus ja kontrollitud keskkonnas. Need autod on ehitatud elektrimootoritega ning mõeldud kasutamiseks nii sise- kui ka välitingimustes.

Elektriliste lasteautode impordi ja müügiga tegelevad mitmed Eesti e-kaubanduse ettevõtted, kes pakuvad tarbijatele erinevaid mudeleid, mis erinevad disaini, tehniliste omaduste ja ka hinnaklassi poolest.

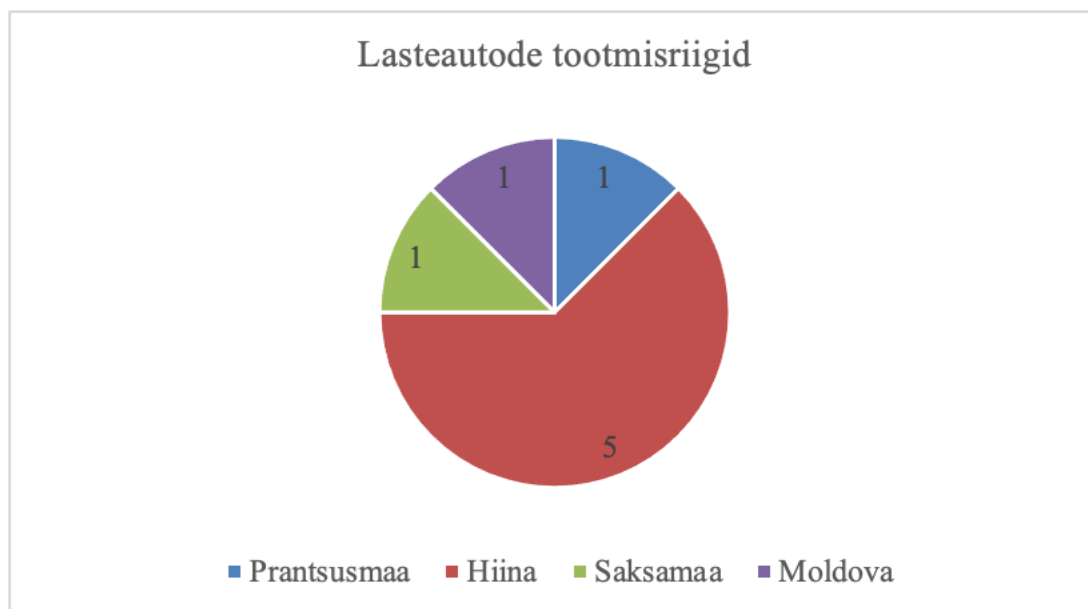
Allolevas tabelis on esitatud valik erinevatest elektrilistest lasteautodest, mida Eesti tarbijad saavad osta e-kaubanduse platvormide kaudu (Tabel 1). Tabelis on välja toodud iga auto mudel, hind ning päritolumaa, mis aitab lugejal saada paremat ülevaadet turul pakutavatest võimalustest.

Tabel 1. Elektriliste lasteautode hinnad ja päritolu Eesti e-poodides

Ettevõtte koduleht	Tootenimetus	Hind, €	Päritolumaa
babyshop.ee [5]	Pedal Car (pedaalidega retrostiilis auto)	229	Prantsusmaa
minikid.ee [6]	BMW 6 GT	256	Hiina
manguvaljakud.ee [7]	Mercedes S65 AMG 2x45W	269	Hiina
karupoegpuhh.ee [8]	BMW 507 Retro	270	Hiina
shoppa.ee [9]	Audi TT RS	299	Hiina
hlautoosad.ee [10]	BMW X5	358	Saksamaa
babystore.ee [11]	Orion Toys Car Art.792 Black	370	Moldova
jussike.ee [12]	Mercedes Benz Maybach G-650, 4x4	410	Hiina

Elektriliste lasteautode päritolu ja tootmistingimused on olulised toodete kvaliteeti ja hinda mõjutavad osad. Eesti e-kaubanduse platvormidel pakutavate elektriliste lasteautode päritolumaa ei ole alati selgelt välja toodud, mistõttu võib ostjatel olla keeruline hinnata toodete päritolu ja sellega seotud kvaliteediküsimusi.

Selleks, et saada täpsemat teavet elektriliste lasteautode päritolu kohta, viis autor läbi uuringu, mille käigus saadeti päringud erinevatele Eesti e-poodidele. Päringu eesmärk oli välja selgitada, millisest riigist pärinevad e-poodides müüdavad elektrilised lasteautod. Uuringu tulemusena vastas kuus ettevõtet, pakkudes teavet oma toodete päritolu kohta. Ülejäänud autode päritolu kohta otsiti lisainfot rahvusvahelistest e-kaubanduse platvormidest, nagu näiteks Amazon, kus mõned tooted on märgitud kui Hiinast pärit.



Joonis 3. Eestisse imporditavate lasteautode tootmisriigid

Täpsemalt selgus, et uuritud kaheksast lasteautost viis ehk 62% neist on toodetud Hiinas (vt Joonis 3). Hiina on üks maailma suurimaid mänguasjade tootjaid ning sealne tootmine on tuntud oma suuremahulisuse ja madalate tootmiskulude poolest. Hiina tootjate peamine konkurentsieelis Euroopa tootjatega võrreldes seisneb võimes pakkuda suuremahulisemat ja odavamat tootmist, mis võimaldab neil pakkuda tarbijatele soodsamaid hindu. Siiski on Hiina tootmise eeliste kõrval ka puudusi. Üheks neist on tootevaliku standardiseerimine ja keskendumine populaarsetele mudelitele. Näiteks toodetakse Hiinas suures koguses BMW X5 mudelit, mis on üks populaarsemaid lasteautode mudeleid. Selline lähenemine vähendab tootevaliku originaalsust ja mitmekesisust, mis võib omakorda viia turul ühesuguste mudelite tekkeni.

Kokkuvõttes võib öelda, et elektriliste lasteautode päritolu ja tootmistingimused on olulised tegurid, mis mõjutavad nii toodete kvaliteeti kui ka hinda. Tulevikus võib olla oluline pöörata tähelepanu tootevaliku mitmekesistamisele, et pakkuda tarbijatele atraktiivseid elektrilisi lasteautosid.

1.3 Näiteid lasteautode modifitseerimisest

Ettevõtteid, kes tegeleks lasteautode modifitseerimisega, on maailmas vähe. Kuid üks tuntuim neist on Illegal Car Kids, mille asutas 2015. aastal Fabio Piancone. Tema kirest sai alguse töökoda, kus tegeldaksegi lasteautode modifitseerimisega. Esimene auto, mille ta valmistas oma pojale, oli Lamborghini Murciélago SV (Joonis 4). [13] Järgmise autona tuunis ta BMW Z4 E28, mille järel avastas Piancone, et hobi tuleb hästi välja ja ta tegeleb lasteautode modifitseerimisega tänase päevani [14].



Joonis 4. Fabio Piancone esimene auto, mille enda pojale valmistas [15]

2019. aastal toimunud XS Carsnight Worthersee Edition 2.0 üritusel, mis on isetuunitud autode näitus, oli esimest korda kutsutud ka Illegal Car Kids looja enda ehitatud autodega (Joonis 5) [16]. Üritusele tulevad inimesed kokku üle maailma, kes jagavad rõõmu enda tuunitud autode üle. [17]



Joonis 5. XS Carnight Worthersee Edition 2.0 üritus [16]

Teiseks tuntud ettevõtjaks on KidStance, mis asutati 2011. aastal, mil isal ja pojale tekkis huvi lasteautode tuunimise vastu. Mõlemal oli armastus ja austus autotööstuse vastu. Ettevõtte juhil,

Denver Pettigrew juunioril on 21-aastane kogemus tootmises. Kõik autod, mis ta on ehitanud, on tehtud professionaalselt ja nii detailselt kui võimalik (vt Joonis 6). Ta surub ennast koguaeg kastist välja mõtlema, et arendada enda stiili- ja käsitööoskusi. [18]



Joonis 6. Näide KidStance modifitseeritud lasteautost [18]

Tavaliselt toob klient neile enda ostetud auto tuunimiseks – näiteks saab lisada uusi velgi, auto kere saab laiendada, võimalik on lisada muusikat, jms. Mõned soovivad ka ise autot disainida ning KidStance teeb selle võimalikuks. [19]

1.4 Mazda RX-7 Rocket Bunny

Võib öelda, et eelmise alapeatüki viimane auto on inspireerinud autorit valmistama lasteautot uue mudelina. Mazda RX-7 Rocket Bunny on tuntud Jaapani auto [20]. Eelkõige on auto tuntuks saanud seiklusfilmist „Kiired ja vihased“, mille peategelasel Dominic Torettil oli selline mudel [21].

1.4.1 Mazda RX-7 ajalugu

Mazda RX-7 on sportauto, mida toodeti aastatel 1978–2002. RX-7 mudeleid on ajaloos tehtud mitmeid ning igal mudelil on olnud oma ainulaadne disain ja omadused. Esimese põlvkonna RX-7, mida nimetati ka SA-seeriaks, toodeti 1978–1985 aastatel. See mudel oli saadaval kahekohalise kupeena ja kabrioletina. [22] Mazda RX-7 SA-seeria oli üks esimesi vankelmootoriga tänavasõiduaautosid [23].

Teise põlvkonna RX-7, mida nimetatakse FC-seeriaks, toodeti 1985–1991 aastatel. Hakati kalduma rohkem voolujoonelisema ja sportlikuma disaini poole. Oluline uuendus sellel mudelil oli tagaspoiler, mis parandas auto aerodünaamikat ja aitas suurendada haarduvust teekattega. [24]

Kolmanda põlvkonna RX-7, mida nimetati FD-seeriaks, toodeti aastatel 1991–2002. See auto oli veel sportlikum ja aerodünaamilisem kui eelmine mudel. FD-seeria hulka kuulus võimas turbomootor, mis oli populaarne just võidusõiduradadel. [22] Allolevas tabelis on välja toodud selle põlvkonna Mazda RX-7 näitajad (Tabel 2) [24].

Tabel 2. Mazda RX-7 FD seeria 1992. aasta mudeli andmed [24]

Tehniline näitaja	Väärtus
Mootor	Kahekambiline vankelmootor, kahe turboga
Mootori töömaht	1,3 liitrit
Maksimaalne võimsus	252 hj
Pöördemoment	294 Nm
Kaal	1284 kg
0-100 km/h	5,4 s

Allolevalt jooniselt võib näha kolme põlvkonna Mazda RX-7 mudeleid (Joonis 7).



Joonis 7. Vasakult: Mazda RX-7 FD-seeria, FC-seeria ja SA-seeria [25]

Nagu Joonis 7 näitab, muutub RX-7 kuju järjest enam aerodünaamilisemaks (paremalt vasakule). Lisaks muutub nende autode kuju veelgi, kui neile lisatakse Rocket Bunny komplekt, mis on tuntud autokujunduse bränd.

1.4.2 Mazda RX-7 Rocket Bunny komplekt

Rocket Bunny on bränd ja autostiil, mis muudab auto kere välimuse agressiivsemaks ja silmapaistvamaks. Kõige enam võib näha Rocket Bunny stiilis järgmisi autosid: Nissan GT-R, Mazda RX-7 ja Toyota Supra. Sarnase stiili ajalugu ulatub 1970. aastate algusesse, kui noored hakkasid enda

autosid tuunima ja isikupärasemaks muutma. 1990. aasta keskel hakkas Kei Miura, keda võib nimetada Rocket Bunny loojaks, valmistama enda garaažis detaile ning tänu tema kerekomplektidele kogus Rocket Bunny stiil tuntust. Kei Miura lõi sellised kerekomplekid, mis sobivad sõiduki *stock* ehk originaalse disainiga ning tema valikus on kümneid erinevaid sõidukeid, millele saab osta Rocket Bunny *kit*'i ehk komplekti (Joonis 8). Miura on saavutanud selle stiiliga edu nii Jaapanis kui mujal maailmas, võites erinevaid auhindu autonäitustel. [26]



Joonis 8. Mazda RX-7 Rocket Bunny *kit* [27]

Mazda RX-7 püüab tähelepanu ja on tuntud auto asjatundjate seas. Autorile teadaolevalt on Eestis kolm Mazda RX-7 autot, millest ühelgi ei ole Rocket Bunny komplekti. Seetõttu on Mazda RX-7 Rocket Bunny komplektiga auto printimine seda olulisem autori jaoks.

2 PROTOTÜÜBI VALMISTAMISE LAHENDUS

Lasteauto prototüübi arendamise protsess nõuab mitmete oluliste komponentide olemasolu, mille hankimine võib olla kulukas ja keeruline. Seetõttu otsustati projekti raames kasutada järelturult ostetud kasutatud lasteautot, mis sisaldab juba kõiki vajalikke detaile ja süsteeme, mida prototüübi arendamiseks on tarvis. Valitud mudeliks sai Porsche Macan Turbo lasteauto, millel olid küljes kõik olulised lisadetailid (vt Joonis 9 ja Joonis 10).

Lasteauto ostmine järelturult osutus soodsaks lahenduseks, sest auto soetamishind oli 50 eurot, mis oli turu kõige soodsam. Võrdluseks võib tuua, et keskmine kasutatud lasteauto hind järelturul oli umbes 150 eurot. Seega oli auto hind märkimisväärselt madalam kui keskmine turgu valitsev hind (Tabel 3). Lisaks soodsale hinnale oli positiivne üllatus ka see, et ostetud lasteauto oli heas tehnilises seisukorras. Auto testimisel selgus, et nii esi- kui ka tagatuled töötavad korrektselt. See asjaolu oli autorile eriti meeldiv, arvestades auto madalat hinda ja seisundit.

Tabel 3. Lasteautode hinnad Facebook Marketplace platvormil (12. november 2022. aasta seisuga)

Mark	Seisukord	Hind, €
Porsche Macan Turbo	korras	50
BMW i8	katkine	99
Mercedes GTR	korras	100
Jeep	korras	190
Mercedes GTR-AMG S	korras	222
Audi R8 Sport	korras	235

Auto lahti lammutamisel selgus, et kaugjuhtimise jaoks mõeldud mootoripesa ja -kinnitid olid ära lõhutud. Samuti oli ära kaotatud mootorile mõeldud ühendusdetail, mis ühendab mootorit ja roolilatti. Omanik mainis ka, et võttis mootori ära, et lapsel oleks kergem rooli liigutada. Puldiga sai selle tulemusena autot liigutada vaid edasi-tagasi. Kaugjuhtimispult on tegelikult abistav kontrollerr lapsevanemale, juhaks kui tekib lapsel juhtides ohtlik olukord. Selline lahendus võimaldab lapsel sõita iseseisvalt, kuid tagab samal ajal lapsele turvalisuse. Järgnevas tabelis on esitatud doonorauto tehnilised andmed (Tabel 4).

Tabel 4. Doonorauto üldandmed [28]

Tehniline näitaja	Väärtus
Aku	6 V 7 aH
Mootor	6 V 20 W
Maksimaalne raskus	35 kg
Toote suurus	112,5 x 62,0 x 56,5 cm
Toote kaal	19 kg
Kiirus	4 km/h
Laadimise aeg	8-12 tundi
Kasutamise aeg	1-2 tundi

Prototüübi arendamisel peeti oluliseks järgmiste elementide olemasolu: töökorras elektrisüsteem, terved või uued akud, kaugjuhitav süsteem ning raadio. Need komponendid on kriitilised lasteauto toimimise ja kasutatavuse seisukohast ning nende olemasolu võimaldab arendada kvaliteetset ja funktsionaalset prototüüpi.



Joonis 9. Porsche Macan Turbo eest ja tagant



Joonis 10. Porsche Macan Turbo küljepealt

Järelturult ostetud kasutatud lasteauto Porsche Macan Turbo osutus eduka prototüübi arendamise seisukohast heaks valikuks. Auto sisaldas kõiki vajalikke komponente, oli heas tehnilises seisukorras ja soetatud soodsa hinnaga. See võimaldas keskenduda prototüübi edasisele arendamisele.

2.1 Printimistehnoloogia

3D-printimise tähtsus kasvab üha rohkem ja seda seoses kiire digitaalse arenguga [29, p. 281]. Printimistehnoloogiaid on erinevaid sõltuvalt vajadusest ja kasutusskaalast. Järgnevates alapeatükkides selgitatakse üldlevinud 3D-printerite tüüpe, nendega seotud protsesse ja muid andmeid.

2.1.1 Sulatatud hõõgniidi valmistamine ehk FDM (*fused deposition modeling*)

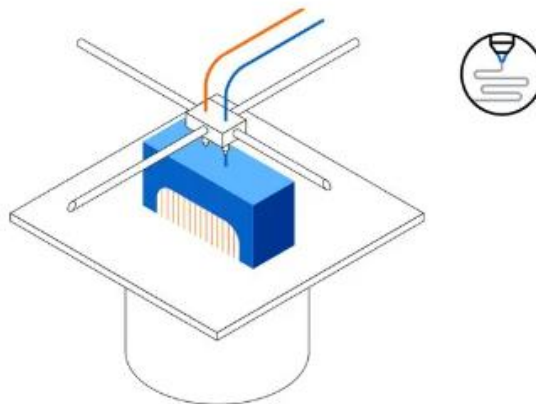
FDM-printerid (Joonis 11) on ühed levinumad 3D-printerid, sest neid on lihtne kasutada – need on populaarsed hobi- ja kodukasutuses, just nende madalate kulude tõttu [30]. Kõige enam kasutatakse FDM-printerit prototüüpimiseks [31, p. 1415]. Printerit on väga lihtne kasutada ehk ei vaja spetsiaalset koolitust ja on saadaval erinevates hinnaklassides, mis teeb selle printeri valiku kõige ideaalsemaks just neile, kes soovivad alustada 3D-printimisega ja tegeleda prototüüpide arendamisega. [30]

FDM-printerid on vastupidavad ja pikaajalised. Samuti on FDM piisavalt täpne, et luua ka professionaalsel tasemel esemeid. Printimisala on tavaliselt 200*200*300 mm, mis on ka piisav alustavale printijale. [30]

Printerid kasutavad spetsiaalset plastfilamentimaterjali, mida soojendatakse printeris üles, et luua objekt kiht-kihi haaval. Detaili printimiseks on vaja luua 3D-mudel ning eksportida see standardsesse kolmnurga keele (STL – *standard triangle language* [32]) formaati, mille järel arvuti teeb mudeli mitmeks erinevaks kihiks, mis on printimiseks vajalikud.

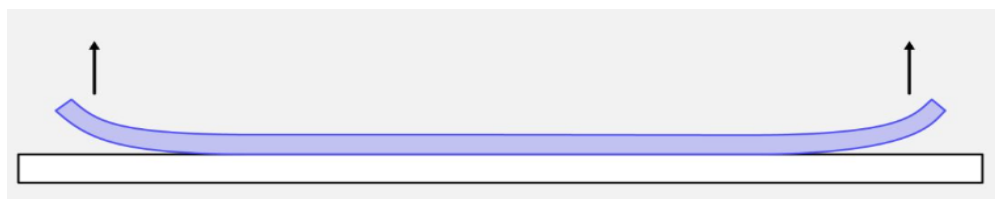
Populaarsemad polümeerid, mida saab FDM-printeriga printida [30]:

- PLA (polüpiimhape) [33];
- ABS (akrüülnitriil-butadienstüreen) [34];
- TPU (termoplastne polüuretaan) [35];
- PETG (polüetüleentereftalaatglükool) [36].



Joonis 11. FDM printimisprotsess [37]

Üheks suurimaks probleemiks FDM-printeril on suurte lamedate pindade printimine. Kuna materjal jahtub erineval kiirusel ning mudel on ehitatud kiht-kihi haaval, on alumine kiht jahtunud, kui viimane kiht on veel kuum. Jahutamisel prinditud kihid kahanevad ning tõmbavad aluskihti ülespoole ning selle tõttu tekib kõverus tervele mudeli põhjale (Joonis 12). [38, p. 10]

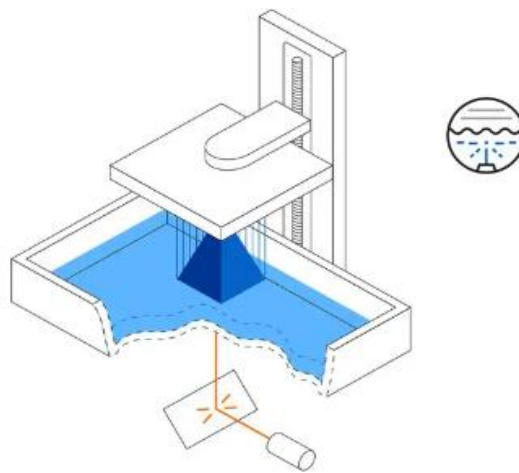


Joonis 12. Mudeli kaardumine [39]

FDM-printerite hinnad võivad olenevalt mudelist ja funktsioonidest varieeruda. Sellist tüüpi printeri ostmisel poest on kõige odavama printeri hind 239 eurot ning kalleima hind 11 959 eurot. [40]

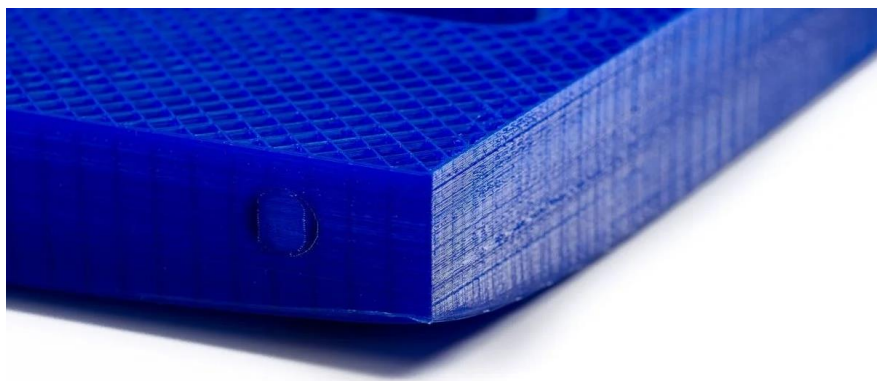
2.1.2 Stereolitograafia ehk SLA (*stereolitography*)

SLA on samuti laialdaselt kasutatav 3D-printimistehnoloogia (Joonis 13), eriti tööstuses. SLA-tehnoloogial on võime toota ülimalt täpseid ja veekindlaid prototüüpe ning see pakub parimat pinna siledust. [41] Stereolitograafia puhul toimub fotokeemiliste protsessidega kihtide loomine ja kõvendamine [42]. 1986. aastal patenteeritud SLA oli esimene ja tänapäevani kõige kuluefektiivsem 3D-printimistehnoloogia. SLA-printimistehnoloogia kasutab kihtide kõvendamiseks UV-lasereid. [41]



Joonis 13. SLA printimistehnoloogia [37]

Üks suurimaid probleeme, mis sarnaneb FDM-printimisega, on mudeli nurkade lokki tõmbumine (Joonis 14). Sama protsessi tagajärjel nagu FDM-printimiselgi tekivad erinevad jahtumiskiirused ning suured sisepinged, mille tulemuseks ongi detaili nurkade lokki tõmbumine. Selle vältimiseks on võimalik lisada nurkadele eemaldavad raskused, et need üles ei tõuseks või näiteks pulgaliimiga teha kokku printimise pind, et kihid kleepuksid tugevamalt plaadi külge. [41]

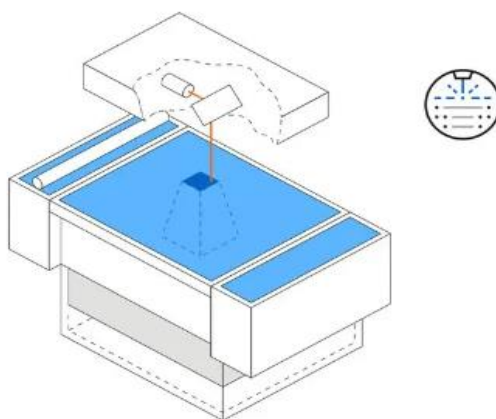


Joonis 14. Mudeli lokki tõmbumine [43]

SLA-printerite hinnad erinevad samuti sõltuvalt mudelist ja funktsioonidest. Odavamad SLA-printerid võivad maksta alates 849 eurot ja kallimad kuni 5600 eurot, mis on ka märkimisväärselt kõrgema jõudlusega või tööstuslikud. Samuti nõuavad SLA-printerid rohkem hooldust. [40]

2.1.3 Selektiivne laserpaagutamine ehk SLS (*selective laser sintering*)

SLS-tehnoloogia puhul paagutab laser selektiivselt polümeerpulbri osakesed, sulatades need kokku ja moodustades kiht-kihi haaval mudeli osa (Joonis 15). Materjalid, mida paagutamiseks kasutatakse on termoplastsed polümeerid, mis on granuleeritud kujul. [44]



Joonis 15. SLS printimistehnoloogia [37]

SLS-printerid on kallimad – alustades 6000 dollarist lõpetades 650 000 dollariga. [45]

2.2 Materjalitehnoloogia

Järgnevas alapeatükis tuuakse välja erinevaid materjale ja nende aspekte ning andmeid hindade kohta. Materjale mida kasutada on palju, kuid neil kõigil on erinevad füüsikalised omadused. Mõned

materjalid kannatavad rohkem kuuma, mõned vähem. Teema lõpuks selgitab autor välja enda valitud materjali projekti läbiviimiseks.

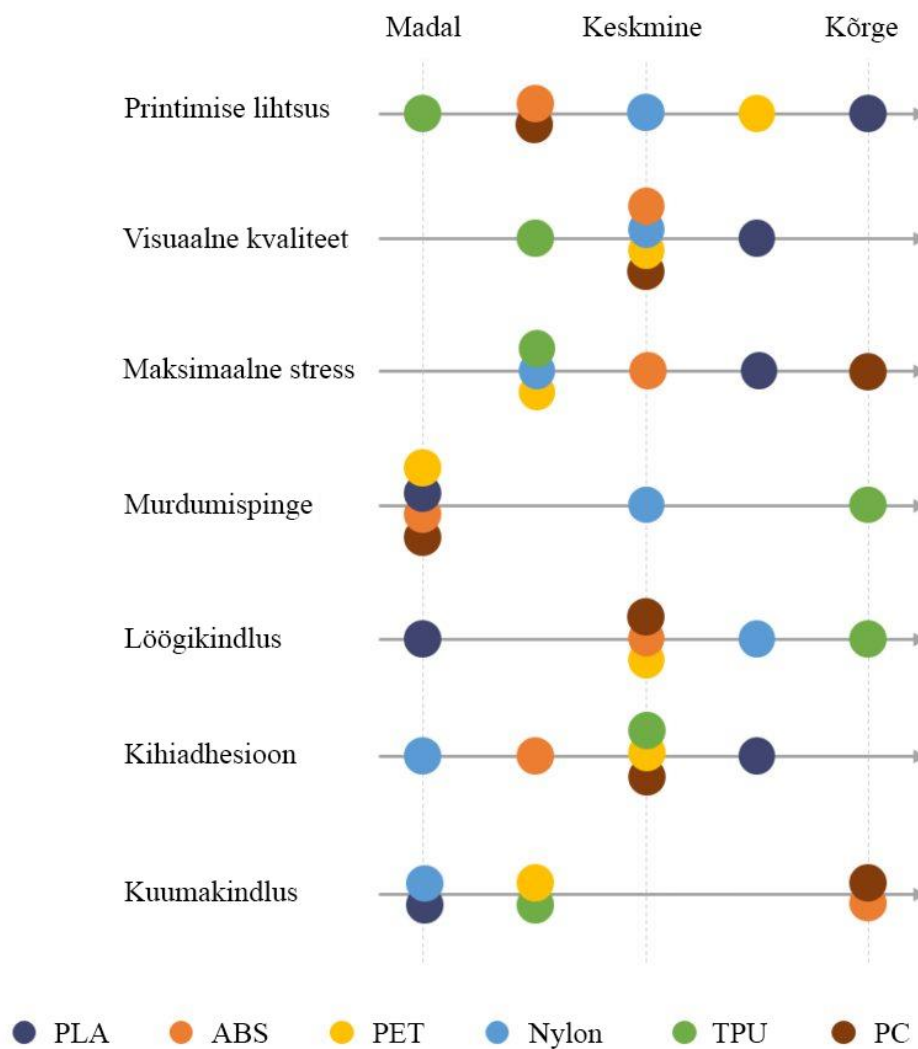
2.2.1 Materjalide omadused ja hinnad

Filamentmaterjalide omadused on üldjuhul liigitatud kolme kategooriasse: mehaanilised omadused, kvaliteet ja printimise protsess. Kõige populaarsem filament on PLA ning sellele järgneb ABS ja PET (polüetüleentereftalaat [46]). Teised filamendid on spetsiifilisemateks töödeks mõeldud. Materjalist sõltub, mida soovitakse välja printida ning selle jaoks on loodud Tabel 5, mis aitab otsustamisele kaasa. [47] Järgnevas tabelis on lahti seletatud printimismaterjalide peamised omadused.

Tabel 5. Materjalide omaduste selgitus [47]

Omadus	Selgitus
Printimise lihtsus	Hindab materjali printimise lihtsust, sh aluspinna nakkuvust, maksimaalset printimiskiirust, ebaõnnestunud osade sagedust, voolavuse täpsust ja printerisse filamendi söötmise lihtsust.
Visuaalne kvaliteet	Kirjeldab väljaprintimise materjali üldist kvaliteet.
Maksimaalne stress	Määratleb maksimaalse pinget, mida objekt talub, kui seda tõmmatakse.
Murdumispinge	Kirjeldab algse ja murdunud detaili pikkuse suhet pärast murdumist.
Löögikindlus	Väljendab energiat, mis on vajalik detaili purustamiseks.
Kihiadhesioon	Hinnanguline kihtide omavaheline kleepumine. Mida parem on kihi adhesioon ehk kihtide omavaheline kinnijäämine, seda tugevam on detail.
Kuumakindlus	Määratleb maksimaalse temperatuuri, mille juures detail talub pehmenemist või deformeerumist.

Allolevas graafikus on esitatud erinevate omaduste kvaliteeditase (Joonis 16). Kõige lihtsam on printimisel käsitleda PLA materjali, millele järgnevad kohe PET ja Nylon. Printimise kvaliteedis kõige paremaks materjaliks on jällegi PLA, mis on hinnatud seepärast ka hobi printerite seas. Sellele järgnevad kohe ABS, Nylon, PET ja PC (polükarbonaat [48]) materjalid. TPU (termoplastne polüüretaan), Nylon ja PET materjalid kannatavad kõige vähem stressi ehk printimisel tuleb neid materjale ettevaatlikumalt käidelda. Löögikindluse vastu on kõige tugevamad materjalid TPU ja Nylon. Kihiadhesioon on kõige parem PLA materjalil. Kuumakindlate detailide printimiseks on kõige mõistlikum kasutada PC ja ABS materjali. Kuuma kardavad kõige rohkem PLA ja Nylon. [47]



Joonis 16. Materjalide võrdlus omaduste näol [47]

Järgnevas tabelis on autor välja toonud erinevate filamentide hinnad, hind ühe rulli kohta (Tabel 6). Filamentmaterjalide hinnad on võetud ettevõtete Büroomaailm, Ronex ja Ruumik kodulehtedelt. Antud ettevõtted pakuvad kõige laiemat filamentmaterjalide valikut. Hind sõltub peamiselt materjali enda struktuurist ja niidi diameetrist.

Tabel 6. Materjalide hinnad rulli kohta

Materjalitüüp	Niidi diameeter/mm	Kaal/kg	Hind rulli kohta/€
PLA [49]	1,75	1,00	23,90
ABS [50]	1,75	1,00	23,90
Nylon [51]	1,75	0,50	36,00
PC [52]	2,85	0,75	68,00

Materjalitüüp	Niidi diameeter/mm	Kaal/kg	Hind rulli kohta/€
PET [53]	1,75	0,75	32,66
TPU [54]	1,75	1,00	36,00

Sellisel kujul antud ülevaade võimaldab arvestada kulusid vastavalt eelarvele. Tabelis 6 esitatud materjalitüüpide filamentrulle müüakse tavaliselt diameetriga 1,75 mm. Rulli kaal varieerub 0,5 kilogrammist 1 kilogrammini ja hind jääb vahemikku 23,90 eurost 68 euron.

2.2.2 Skaneerimistehnoloogia

On erinevaid viise, kuidas 3D-skaneerida – stereonägemine, aktiivne triangulatsioon ja laseriga. Stereonägemist kasutatakse peamiselt robotikas, aktiivset triangulatsiooni peamiselt tootmises kvaliteedikontrollis ning tootearenduses kasutatakse käsilaserskännereid. [55, p. 1]

3D-laserskännerid kasutavad punktipilve andmeid, et luua objekt ehk laserskaneerimine on viis, kuidas jäädvustada füüsiliste objektide täpne suurus ja kuju, et seda pärast arvutis CAD-programmis kasutada. 3D-laserskaneerimine on eriti sobilik just kontuuride pindade ja keerukate geometriate mõõtmiseks ning kontrollimiseks, kus on vaja suurt andmemahutu nende täpseks kirjeldamiseks ja kus ei ole võimalik traditsiooniliste mõõtmismeetoditega mõõta. [56]

Tänu oma võimele luua täpseid ja detailseid kolmemõõtmelisi mudeleid füüsilistest objektidest, on 3D-skaneerimine muutunud oluliseks tööriistaks erinevate valdkondade töölaual [57]:

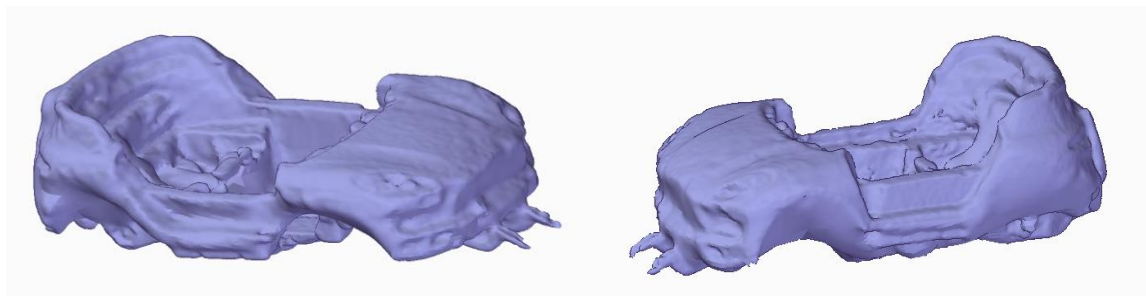
- Arhitektuur: võimaldab erinevaid hooneid, nii uusi kui ka ajaloolise taustaga, üksikasjalikult skaneerida ja analüüsida. 3D-skaneerimine annab kasutajale ülitäpsed mõõtmed, mida on võimalik pärast CAD-programmis kasutada näiteks restaureerimiseks.
- Kunst ja ajalugu: 3D-skaneerimine võimaldab vanu maale ja muid kunstilisi elemente jäädvustada CAD-mudelina, mida saab pärast mõõta ning analüüsida. Samuti on võimalik pakkuda huvilistele käega katsumise tunnet, kui on prinditud 1:1 koopia näiteks ajaloolisest kivist skulptuurist, mille originaali kahjustamist soovitakse vältida.
- Meditsiin: tervisega seotud tootmisvaldkondades on 3D-skaneerimine väga oluline vahend. Kõige rohkem kasutatakse 3D-skaneerimist proteeside tegemiseks, näiteks jäsemete ja hammaste jaoks.
- Inseneria ja disain: inseneria ja disain on valdkonnad, kus 3D-skaneerimise tehnoloogia pakub rohkelt võimalusi. Üks oluline rakendusala on näiteks pöördprojekteerimine (*reverse engineering*). Selles protsessis skaneeritakse olemasolev füüsiline objekt, et luua digitaalne mudel, mida saab hiljem analüüsida ja modifitseerida. Näiteks võib insener skaneerida keeruka

mehaanilise komponendi, et mõista selle toimimist, parandada disaini või luua täiustatud versioon. Lisaks on 3D-skaneerimine oluline ka kiire prototüüpimise (*rapid prototyping*) protsessis. See võimaldab disaineritel ja inseneridel luua füüsilisi prototüüpe oma disainilahendustest. Veel aitab 3D-skaneerimise tehnoloogia salvestada materjalide ja pindade struktuuri tänu punktpilve süsteemile. Saab luua realistlikke ja detailseid mudeleid looduslikest objektidest, näiteks puudest, kividest või liivast.

3D-skaneerimise abil saab luua täpseid mudeleid olemasolevatest objektidest või keskkonnast, mida saab seejärel kasutada uute toodete või süsteemide arendamisel. Selline tehnoloogia võimaldab analüüsida ja töödelda mudeleid, mistõttu saavad erinevate valdkondade spetsilistid mõista objektide ja materjalide omadusi, optimeerida protsesse ja luua veelgi uuemaid lahendusi.

2.2.3 Skaneerimise valik

Käesoleva lõputöö raames uuriti lähemalt kahte 3D-skaneerimise meetodit, mille abil loodi auto mudel. Esimese meetodina kasutati Tallinna Tehnikakõrgkooli moetootuse laboris asuvat 3D Human Solution Anthroscan kehaskännerit. Skaneerimiseks riputati auto lae karkassi külge ning skaneerimisprotsess ise oli kiire, kestes vähem kui ühe minuti. Saadud mudel oli doonorauto moodi, kuid täpsete mõõtmete võtmine osutus keeruliseks, sest laser ei suutnud tuvastada auto mudeli väikseid kumerusi ja detaile (vt Joonis 17).



Joonis 17. Tallinna Tehnikakõrgkooli 3D Human Solution Anthroscan kehaskänneriga loodud mudel

Teise meetodina kasutati Polycam rakendust, mis on tasuta saadaval iPhone'i App Store'is. Rakendus on kasutajasõbralik ja sisaldas loogilist juhendit. Auto tõsteti maapinnast kõrgemale, et kaamera suudaks eristada autot põrandast. Skaneerimine oli lihtne, kuid ajakulukas, nõudes kahe kuni kolme aeglase tiiru tegemist auto ümber. Telefon tegi automaatselt 218 pilti, mille põhjal loodi STL-formaadis mudel. Mudelit kasutati SketchUp programmis uue kere proportsioonide määramiseks.

Antud juhul sobis telefoniga tehtud mudel piisavalt, et selle kere järgi uue kere proportsioonid paika saada (Joonis 18).



Joonis 18. Polycam telefoni rakenduse abil loodud mudel

On olemas ka veel käsitsi skaneerimise võimalused, mis töötavad samal põhimõttel nagu telefoniga skaneerimine, aga on täpsemad ning annavad kvaliteetsema faili. Üheks näiteks on Artex Leo skanner, mille hind on 34 800 eurot [58].

2.3 Lahenduste pakkumine

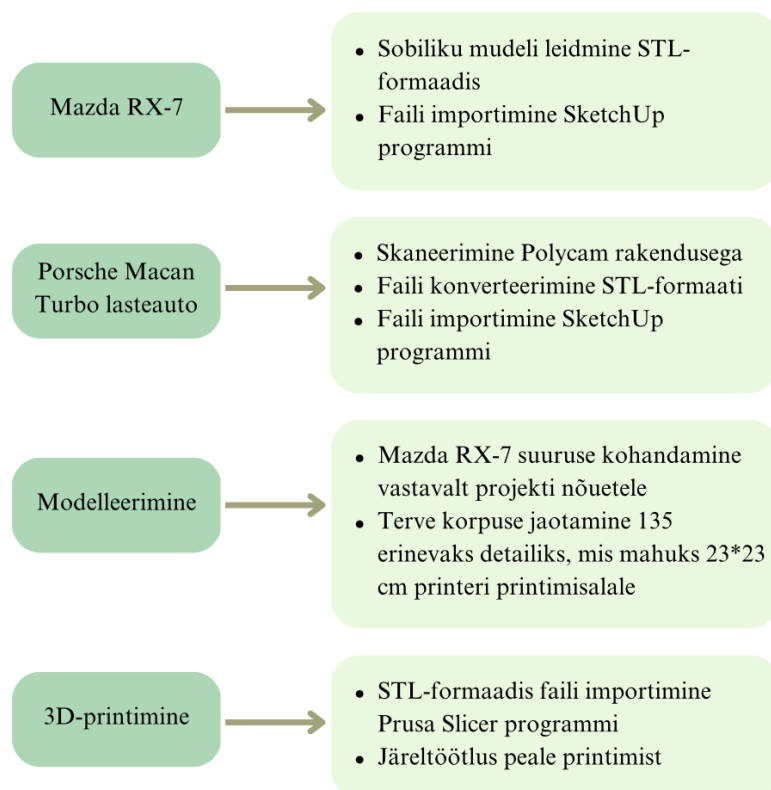
Käesolevas lõputöös käsitletakse uue auto projekteerimist, mille lähtepunktiks oli olemasolev lasteauto Porsche Macan Turbo. Autor otsustas luua uue mudeli, mis põhineb uuel konstruktsioonil. Töös loodava konstruktsiooni eesmärk on olla universaalne, mis tähendab, et seda saab kasutada ja kohandada uute loodavate lasteauto mudelite korpuste jaoks.

Uue lasteauto korpuse valmistamiseks valiti 3D-printimise tehnoloogia, kasutades FDM-printerit ja PLA-filamentmaterjali. Töös kasutati Tallinna Tehnikakõrgkoolis asuvat ENDER 6 printerit ning Creality PLA-filamentmaterjali, mille läbimõõt oli 1,75 mm.

PLA-filamendi valikul mängisid rolli mitmed olulised omadused. Esiteks on PLA lihtsasti töödeldav, mis tähendab, et see sobib hästi prototüüpide valmistamiseks. Teiseks on PLA madala soojusjuhtivusega, mis võimaldab printida madalatel temperatuuridel ja muudab printimisprotsessi ohutumaks. Lisaks on PLA valmistatud looduslikest toorainetest, mis teeb selle keskkonnasõbralikuks materjaliks. PLA-filament rullid on taskukohased, mis on oluline eelis nii harrastajatele kui ka professionaalsele prototüüpide loojale. PLA-filamentmaterjali kasutamine võimaldab 3D-printisel luua täpse ja kvaliteetse prototüübi. Autori valitud universaalne konstruktsioon võimaldab projekti tulemusi rakendada ka tulevastes arenduses.

3 PROJEKTEERIMINE

Projekteerimise peatükk tutvustab lähemalt mudeli loomise protsessi ja selle töötlemist vajalikule kujule. Lisaks käsitleb peatükk konstruktsiooni loomist ja universaalsuse ideed ning konstruktsiooni loomise vigu. Joonis 19 annab ülevaate järgnevatest suurematest etappidest 3D-prinditava korpuse loomisest.



Joonis 19. Mudeli loomise protsess

Käesoleva lõputöö praktilise osa teostamise käigus oli ka oluline hinnata ja mõõta tööprotsessidele kulunud ajakulu ja rahalisi kulusid. Printimine moodustas ajakulu tervikust märkimisväärse osa, mille täpsete andmetega saab tutvuda Lisa 2 tabelis.

3.1 Mudeli leidmine

Projekteerimise protsess algas sobiliku 3D-mudeli auto otsimisega. Kõigepealt tuli välja valida auto, mida hakati järgi tegema. Autor valis välja Mazda RX-7 mudeli, millele on peale ehitatud Rocket Bunny *kit* (Joonis 20). Antud auto on tuntud Jaapani auto kultuuris. Selliste autode sekka kuuluvad veel Nissan Skyline, Toyota Supra, Nissan 180SX, Honda Civic, Nissan S13 ja paljud teised.



Joonis 20. Mazda RX-7 Rocket Bunny 3D-mudel korpusega [59]

Algselt oli autoril mõte ise nullist 3D-mudel luua, kuid takistuseks sai aeg ja programmpädevus. Seejärel mindi teist teed ehk otsiti välja juba valmis tehtud 3D-mudel, mis oli tasuta saadaval 3D-modeleerijate kommuunis (Joonis 21) [60]. Mudeli leidmisel pidi arvestama, et faili formaat oleks DAE-formaadis (DAE – *digital asset exchange* ehk digitaalsete varade vahetus [61]) ning seda oleks võimalik kasutada SketchUp programmis.



Joonis 21. Mazda RX-7 korpus 3D-mudel [60]

Kõige sobilikum mudel oli STL-formaadis, mida pidi ümber konverteerima DAE formaati läbi Blender'i, et seda saaks kasutada SketchUp'is. Samuti pidi jälgima seda, et valmis tehtud mudelit oleks võimalik detailideks lahti võtta, mis võimaldaks neid paremini modifitseerida vastavalt vajadusele.

3.2 Universaalne põhi ja sisemine korpus

Autoril tekkis mõte kujundada konstruktsioon selliselt, et tulevikus saaks korpuseid vahetada. Tootearenduse poolelt on selline mõte kasulik, kui peres kasvab näiteks autohuvilisest laps või mitme lapse puhul saab erinevate automudelite kereid kasutada. See võimaldab perel hoida raha kokku, kuid samal ajal tagada lapsele alati uue ja huvitava sõiduelamuse.

Järgmisena oli vaja paika panna plaan, milliselt projekteerida universaalne põhi ja sisemine korpus. Tähele pidi panema, et raam oleks võimalikult kerge ja seda saaks ka tulevikus edasi arendada. Uues sisustuses leiab tulevikus kasutust doonorautost rool, raadio süsteem ja iste. Armatuur oli samuti vaja projekteerida uuesti, võttes inspiratsiooniks doonorauto enda armatuuri.

3.2.1 Universaalne põhi

Universaalse konstruktsiooni loomisel pidi arvestama mitmete asjaoludega, et luua kerge, kuid tugev raam [62, p. 190]:

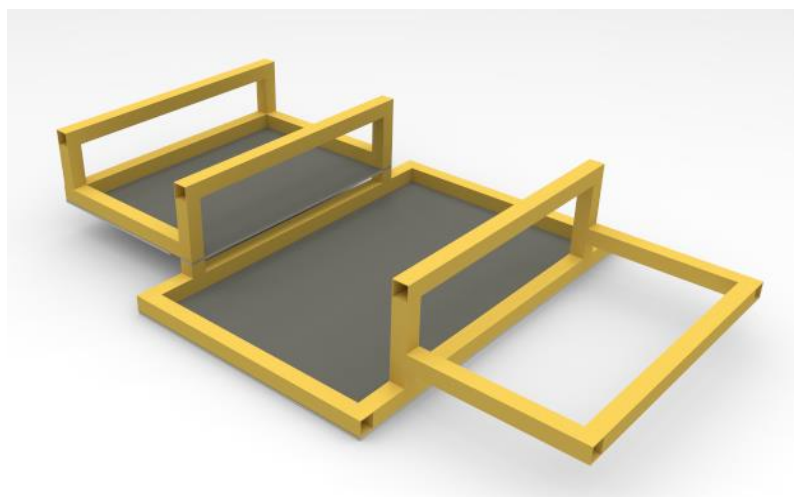
- Materjal: konstruktsiooni loomisel tuleb kasutada võimalikult kerget, aga tugevat materjali, mida saab ka võimalusel kokku keevitada, muul juhul neetida;
- Mõõtmed: raami väljamõtlemisel pidi arvestama nii lapse keha suurusega ja kaaluga;
- Raami disain: disaini juures pidi arvestama korpuse kinnitamise võimalusi. Selleks pidi tegema kaks lisatoestust, mis ühendavad korpust ja raami. Samuti pidi välja mõõtma esirehvi ja tagarehvi kaugused, et kui korpus peale läheb, ei hakkaks rehvi korpust kulutama;
- Eelarve: raami ehitamine peab olema võimalikult odav ning materjalid peavad olema kättesaadavad.

Alumiinium on kerge materjal, mis tagab raami vastupidavuse. Raami konstruktsioon on disainitud nii, et see ilma ebavajalike liitekohtadeta, mis vähendab läbipainet ja suurendab raami jäikust.

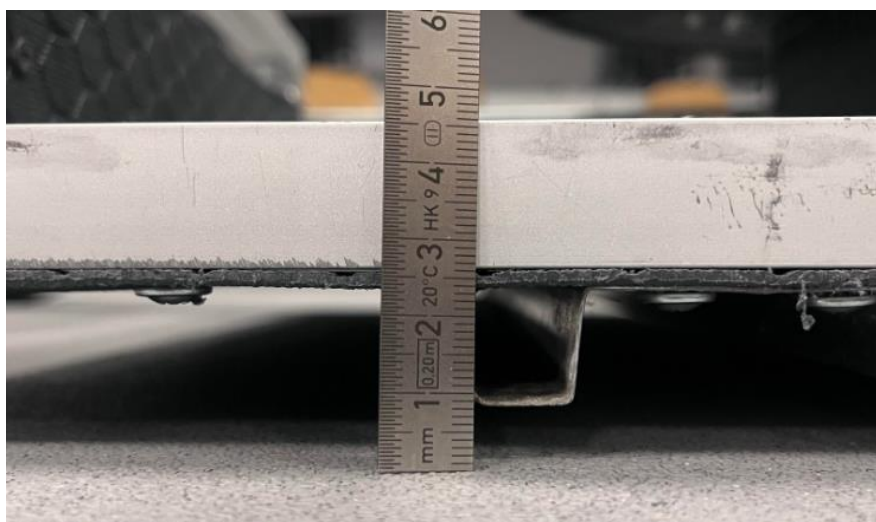
Algselt uuriti erinevaid kartide, autode ja muude erinevate lasteautode konstruktsioone ning seda, kuidas on kere ühendatud korpusega. Selgus, et kõige parem lähenemine autori mõttele oli kasutada kardi konstruktsiooni põhimõtteid sinna peale järjest üles ehitada vajalikud detailid [63]. Lõputöö jooksul ehitati kokku kaks raami.

3.2.2 I raam

Põhja ehitamiseks kasutati anodeeritud alumiiniumist nelikanttorusid mõõtmetega 1000*20*20 mm, paksusega 0,8 mm. Alumiiniumi anodeerimine on protsess, mille käigus suurendatakse oksiidikihti, et saavutada metallis korrosiooni- ja kulumiskindlus [64]. Raami (Joonis 22) kokku panemisel kasutati nurgikuid ja neete ehk käepäraste vahenditega monteeriti kokku raam.



Joonis 22. Esialgne raam



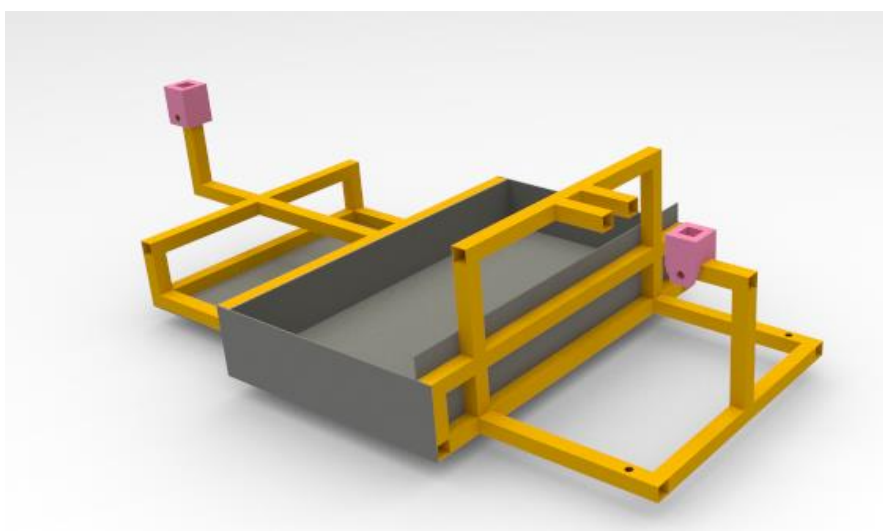
Joonis 23. I raam valesti ehitatud, kliirens liiga väike ja läbipaine liiga suur

Raam hoidis kokku, kuid raami keskele tekkis läbipaine ning selle probleemi vältimiseks pandi mõlemale poole kaks keermelatti, mis ei lubanud keskel läbipainet enam tekitada. Raami valmimisel selgus (Joonis 23), et põhi on liiga vastu maad ehk kliirens on 2,5 cm, mida on liiga vähe. Samuti jäi

armatuuri loomiseks mõeldud pind liiga lühikeseks. Algselt plaanitud raami põhjal saadi aru, et põhi peab olema ühes tükis. Autor otsustas uue raami ehitada ning seda mitte lammutama hakata.

3.2.3 II raam

Uue raami ehitamiseks valiti taas anodeeritud alumiiniumist nelikanttorud, mille mõõtmed olid jällegi 1000*20*20 mm, paksusega 0,8 mm. Uue raami pikkus on 94 cm, laius 50 cm ning kliirens ehk auto kõrgus maapinnast on 5 cm. Raami konstruktsioon koosnes kokku 36-st erineva pikkusega detailist, millest kõige pikem on 81 cm ja kõige lühem 4,7 cm. Raami kogukaal on 2 kg, mis on optimaalne kaal auto suuruse ja funktsionaalsuse tagamiseks.



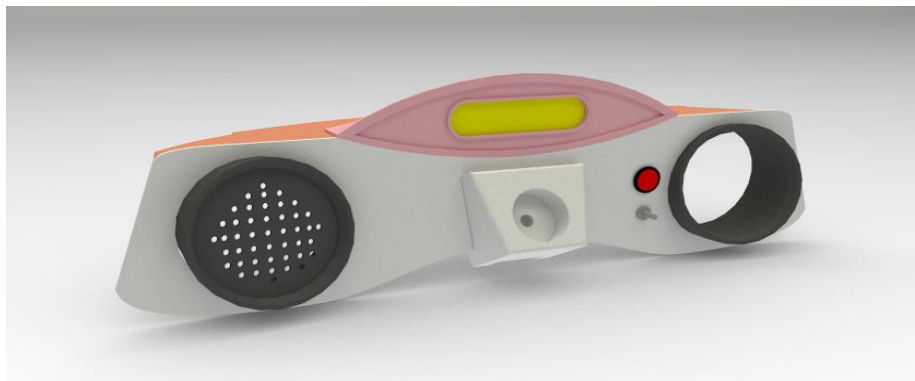
Joonis 24. Lõpliku raami mudel, koos korpuse kinnitustega

Raami ühendamiseks on kasutatud nurgikuid ja neete, mis tagavad tugevad liitekohad. Lisaks on raam varustatud 3D-printitud kinnitusdetailidega, mis on mõeldud auto korpuse kinnitamiseks raami külge. Roosaga märgistatud detailid (vt Joonis 24) on paigutatud nii, et need võimaldaksid korpuse kindlat kinnitust ja vajadusel saaks lisada ka külgedele kinnitusi, et vältida raami liikumist küljelt küljele. Uuendatud raam on paremini konstrueeritud kui eelmine, mille tõttu on kogu konstruktsioon stabiilsem.

3.2.4 Sisu

Põhja konstrueerimisele järgnes sisu ehk armatuuri loomine, kuhu kuulub lisaks doonorautost rool, raadiosüsteem, kõlar, tuled, näidikud. Inspiratsiooni saamiseks otsis autor erinevaid armatuure 3D-printimise platvormidelt, leides ühe, mida oli lihtne modelleerida. Seejärel algas uue armatuuri 3D-mudeli loomine. Alloleval joonisel on näha, et vasakule tuleb tulevikus kõlar, keskel kollasega

märgitud kohas tuleb spidomeetri pilt koos valgustusega (Joonis 25). Punane nupp tõstab tuled üles-alla ja alumise tumblerlülitiga üles-alla liigutades saab autot vastavalt liigutada edasi-tagasi. Kõige parempoolne ava on raadiosüsteemi jaoks.



Joonis 25. Armatuur

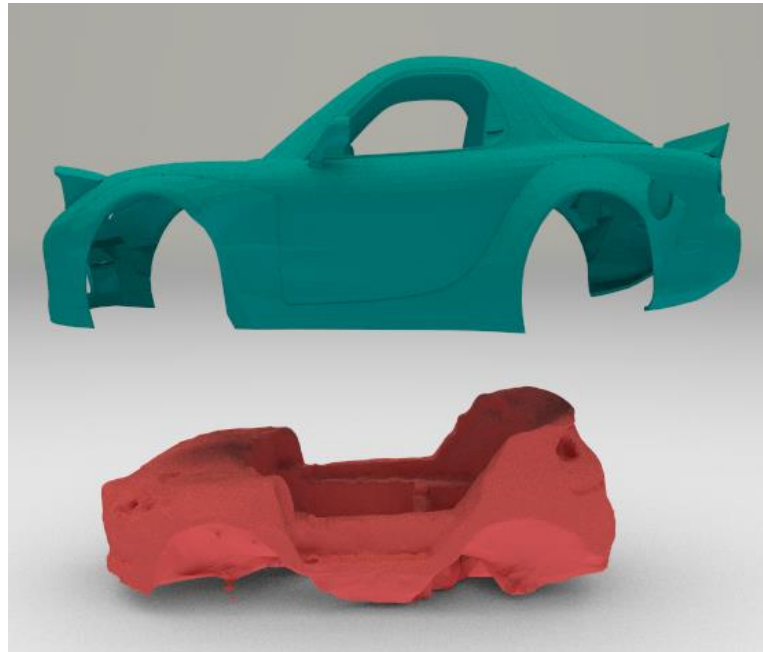
Kõige raskemaks ülesandeks hindab autor tulevikus roolisüsteemile õige nurga leidmist. Samuti peab välja mõtlema elektrisüsteemi ehk kaablite paigutuse, akude ja laadimissüsteemi paiknevuse. Lisaks tuleb leida kiirem ja lihtsam ühendusliide, et kui soovitakse korpust vahetada, siis juhtmete ühendamise peab olema lihtne. Akud jäävad auto tagumisse osasse istme alla, kus on ka laadimissüsteem. Akud hakkavad olema kinnitatud kere külge, et need ei liiguks, kui tõstetakse raami ühest kohast teise.

3.3 Põhiosa ehk korpuse 3D-mudeli loomine

Käesoleva töö raames teostati töö eesmärk ehk uue lasteauto mudeli korpuse loomine, mille käigus kasutati 3D-skaneerimist ja 3D-modelleerimist. 3D-mudeli loomiseks oli vaja spetsiaalselt programmi, mis võimaldas pärast faili salvestada STL-formaadis. On olemas erinevaid programme, näiteks SketchUp, Tinkercad, Blender, Solid Edge ja Fusion 360. Antud töös on kasutatud SketchUp programmi, sest tegu oli autorile kõige sobilikuma ja kindlama tööriistana.

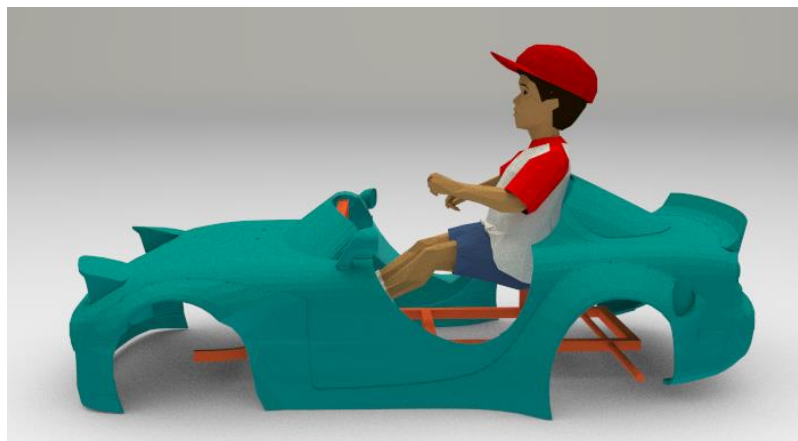
Eesmärgiks oli luua uus lasteauto mudel korpus, mis põhineks olemasoleval Mazda RX-7 mudelil, kuid oleks kohandatud vastavalt projekti vajadustele. Esmalt otsiti valmis 3D-mudelit Mazda RX-7 autost, millele oleks võimalik teha vajalikud muudatused. Mudel pidi olema STL-formaadis, et seda oleks võimalik töödelda 3D-modelleerimisprogrammist. Sobiv mudel leiti veebilehelt Cults 3D, kus see oli tasuta saadaval. Mudel oli juba jagatud erinevateks sektoriteks, mis hõlbustas modelleerimisprotsessi.

Järgnevalt skaneeriti olemasolev Porsche Macan auto 3D-mudeliks, kasutades Polycam rakendust nutitelefonis. Saadud mudel imporditi SketchUp programmi, kus see skaleeriti Mazda RX-7 Porsche mudeli mõõtudega sarnaseks (Joonis 26).



Joonis 26. Mazda RX-7 üleval ja Porsche Macan all – suuruse paika panemine

Mudeli suuruse kohandamisel arvestati ka lapse mõõtmetega, et tagada piisav ruum sõitjale (Joonis 27). Arvestama pidi nii jalgade ruumiga kui ka istme laiusega.



Joonis 27. Lapse kuju autos sees istumas

Seejärel jaotati mudel kuueks sektoriks ning tehti vajalikud muudatused, et muuta mudel 3D-prinditavaks (Joonis 28). Mudel tuli muuda *solid*-mudeliks ehk veekindlaks, mis tähendas, et mudeli

detailid peavad olema ruumilised ja seest tühjad. Konkreetse mudeli puhul on detailide paksus nüüd 2-3 mm.

Et mudel teha *solid*-mudeliks, kulus ühele sektorile aega umbes neli tundi, terve auto peale kokku 24 tundi. Peale sektorite jaotamist ja ruumiliseks tegemist tuli välja mõelda, kui suuri detaile on üldse võimalik printida. Selgus, et kooli 3D-printeri plaat on 23*23 cm ehk terve automudel oli vaja teha ligikaudu 20*20 cm suurusteks detailideks ning samuti mõelda välja nende detailide ühendamise viis.



Joonis 28. Kuueks erinevaks sektoriks jaotatud auto korpus

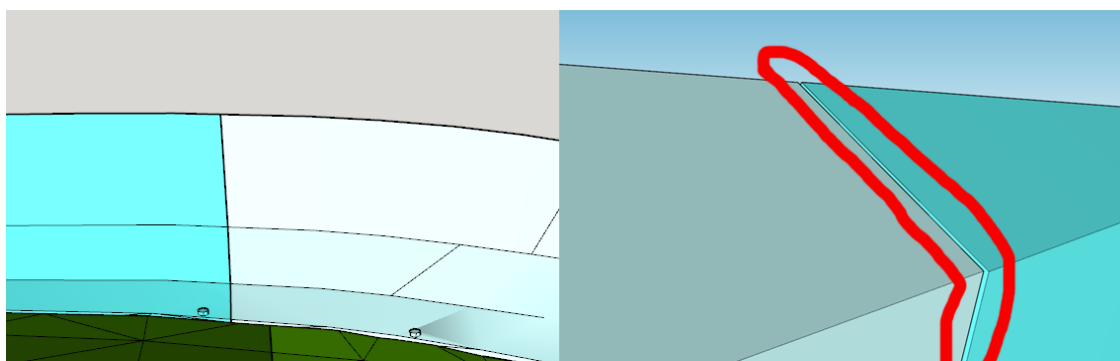
Järgneval joonisel on kujutatud prinditavateks detailideks jaotatud mudelit (Joonis 29). Iga värv kujutab ühte eraldiseisvat detaili. Kuna 3D-mudeleid, mis on sümmeetrilised, on võimalik kopeerida peegelpilti, pidi ühekaupa prinditavaks tegema 49 korpusedetaili (kokku vaja printida 98 detaili). Sellesse pole arvestatud armatuuri ega tagatulesid. Üks detail on umbes 20*20 cm suurusega, sest printimisel võis vaja minna toetuse tegemist ning see võis minna üle 23*23 cm ala, seega on arvestatud varuga.

Ühe *solid*-detaili tegemiseks kulus keskmiselt peaaegu kolm tundi, mis sisaldas endas detaili printimisalale sobivaks lõikamist ning nendele detailidele ühenduskohtade liitmist. Mudeli prinditavaks tegemiseks kulus umbes 165 tundi (vt ka Lisa 1).



Joonis 29. 98-ks erinevaks prinditavaks detailiks tehtud korpus

Samuti pidi tähele panema, et detailid oleksid kogu aeg 100% üksteise vastu ehk nurgad oleksid koos. Oli olukordi, kus detail oli 1 mm nihkes teisest detailist ning seda algul tähele ei pandud. Üle kontrollides tekkis auto keskele vahe ja autoril kulus aega probleemile lahendust otsides ning siis selgus, et detailid polnud korralikult kõrvuti pandud ühenduskohtade ehitamise ajal. Alloleva joonise vasakpoolses osas on näide sellest, kuidas kaugemalt vaadates tundub, nagu detailid oleks täiesti koos, kuid kui lähemalt detaili vaadata (Joonis 30 paremal pool), on näha, et detailid on tegelikult nihkes. Selle probleemi tõttu pidi autor tegema kaheksa detaili uuesti, vastaselt juhul ei oleks korpus omavahel võimalik ühendada olnud.



Joonis 30. Näide kahe detailivahelisest nihkes

Detailide ühendamise viise on mitmeid, kuid autorile tundusid sobivaimad:

- „Tapisüsteem“ ehk vastasdetailidel on emane ja isane ots;
- L-kujulised omavahel kokku käivad faasid.

Detailide ühendamiseks kasutati „tapisüsteemi“, kus detailidel on emased ja isased otsad (Joonis 31), mis võimaldasid detailide täpset ja tugevat ühendamist. Täpsete mõõtmete tagamiseks arvestati printeri tolerantsiga. Näiteks ava suurus oli 5,45*7,9*6 mm ning tapp ise on 5*7,5*5 mm. Ava suurus on suurem sellepärast, et printeril on tolerants $\pm 0,2$ mm ehk arvestama peab printeri ebatäpsusega.



Joonis 31. Liitmikud detailide vahel ja välja toodud liitmiku süsteem

Töö tulemusena valmis detailne ja prinditav 3D-mudel, mis põhines Mazda RZ-7 mudelil, kuid oli kohandatud vastavalt projekti vajadustele. Mudeli loomine hõlmas etappe, nagu skaneerimist ja jaotamist ja modelleerimist ning nõudis aega, täpsust ja põhjalikkust.

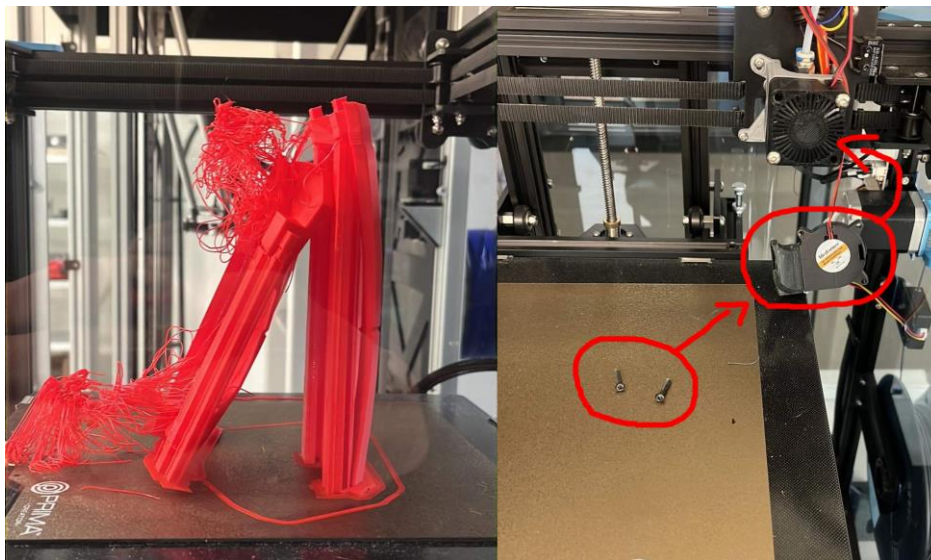
4 PRINTIMINE JA JÄRELTÖÖTLUS

Käesolevas peatükis kirjeldatakse, kuidas toimus detailide printimine ja mis probleemid nendega kaasnesid. Samuti saab teada, millised detailid printisid kõige kauem ja kui palju materjali ja aega kokku kulus. Juttu tuleb ka järeltööstusest, kus räägitakse täpsemalt, mis liimi kasutati, kuidas eemaldati stuktuurmaterjali ja ka lõppviimistlusest ning sellest, kuidas korpus kinnitatakse konstruktsiooni külge.

4.1 Detailide printimine

Käesoleva lõputöö raames viidi läbi 3D-printimine, mille käigus valmistati lasteauto mudeli korpuse detailid. Printimine toimus Tallinna Tehnikakõrgkooli Tööstus 4.0 laboris, kasutades Creality Ender 6 printerit ja PLA-materjali. Printimiseks kasutati Prusa Slicer programmi, mis võimaldas detailid jagada erinevateks kihtideks.

Printimisprotsessi käigus ilmnis mitmeid probleeme, sealhulgas detailide ümberkukkumine ja printeri lagunemine. Üheks probleemiks oli ventilaatori jahutusdetaili lahti kukkumine, mis põhjustas detailide ümber kukkumise ja printimise ebaõnnestumise (Joonis 32). Probleemi lahendamiseks otsustati jahutusdetail eemaldada. Siiski ilmnis, et jahutusdetail on vajalik, sest ilma selleta ei jahutanud filament piisavalt kiiresti.



Joonis 32. Printimise ebaõnnestumine, printer lagunes laiali

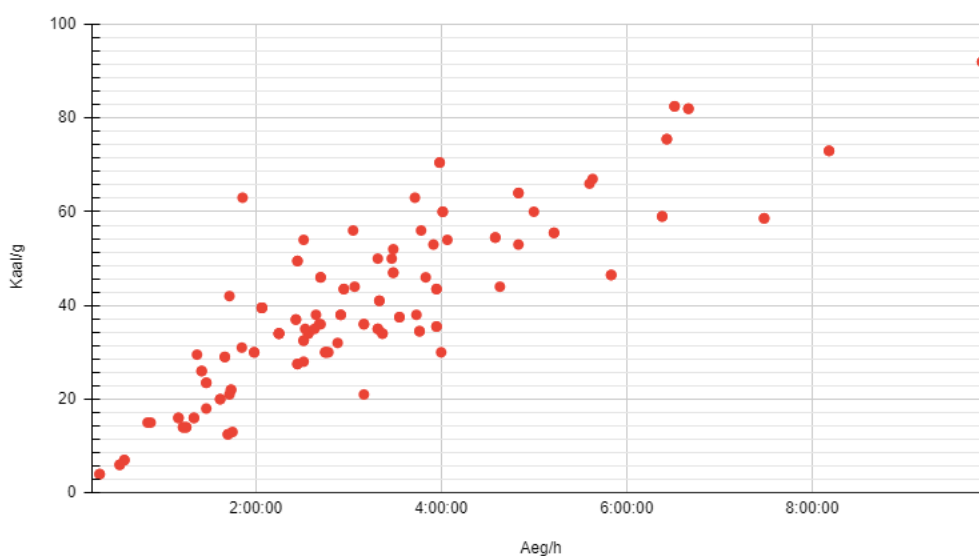
Teine probleem seisnes detailide äärte kaardumises. Seda probleemi on seletatud ka peatükis 2.1.1 (Joonis 12). Probleemi lahendamiseks vähendati alusplaadi temperatuuri kümne kraadi võrra, mis võimaldas detailide edukat printimist. Alloleval pildil on näha, kui tugev oli kaardu tõmbumine (Joonis 33).



Joonis 33. Vasakpoolne detail kaardunud, parempoolne õigesti prinditud

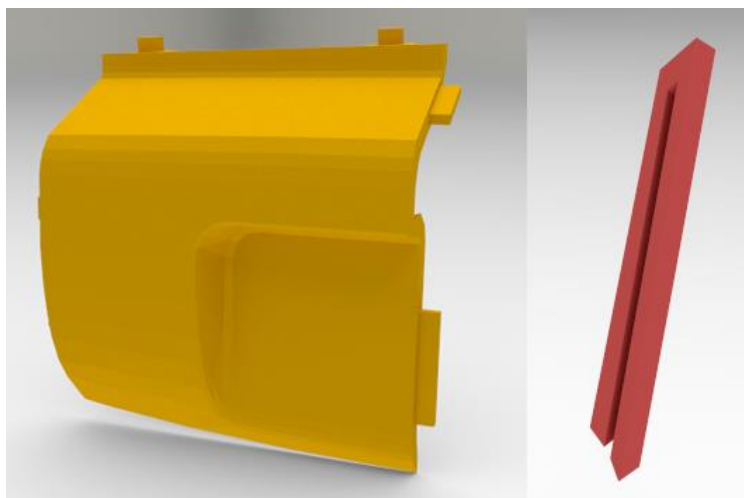
Printimise jälgimiseks ja ebaõnnestumiste vältimiseks kasutati veebikaamerat, mis võimaldas printimisprotsessi reaajas jälgida.

Kõik detailid on prinditud täpselt samade seadistustega ehk astme kõrgus oli 0,2 mm, detailide täide oli 20%. Antud programmis oli võimalik muuta ka protsesside kiiruseid. Kõige tähtsam oli toetusmaterjali ehitamine, mis oli 55 mm/s ja üldine printimiskiirus oli 70 mm/s. Detailide aeg ja materjali kogus märgiti Exceli tabelis (vt ka Lisa 2), kus terve korpuse detailide osad said nime „Detail XX“. Detailid märgistati Exceli tabelis järgmiselt: 1.0 on nimetuse parema poole jaoks ja 1.1 on vasaku poole jaoks. All pool on välja toodud punktdiagramm (Joonis 34), kus on näha detailide aja ja grammi suhet esitatud tabeli põhjal.



Joonis 34. Detailide printimisaeg ja materjalikulu

Printimise tulemusena valmisid kõik vajalikud detailid. Kõige rohkem aega ja materjali kulus detaili „Detail 42.0“ printimisele (9 h 50 min ja 92 grammi materjali), samas kui kõige kiiremini valmis „Aken 3.0“ detail (19 min ja 4 grammi materjali), vt ka Joonis 35. Kokku prinditi 135 detaili, mille printimisele kulus aega 436 h 47 min ja 5389,7 grammi materjali.



Joonis 35. Vasakul kõige rohkem ja paremal kõige vähem materjali ja aega kulutanud detail

Töö tulemusena valmisid kõik vajalikud detailid, mis olid vajalikud auto mudeli loomiseks. Printimisprotsessi käigus saadi kogemusi ja lahendati erinevaid probleeme, mis aitasid kaasa edukale tulemusele.

4.2 Korpuse järeltöötlus

Korpuse järeltöötlemise protsess oli kõige olulisem etapp, mille käigus viidi läbi mitmeid töid, et saavutada kvaliteetne ja esteetiliselt meeldiv tulemus.

Järeltöötlemise protsessi kestus oli kokku kaheksa tööpäeva, mille jooksul teostati järgmised etapid:

1. Detailide puhastamine toetusmaterjalist: esimese sammuna eemaldati 3D-prinditud detailidelt toetusmaterjal, mis oli vajalik detailide printimise ajal, kuid mille eemaldamine oli vajalik järeltöötlemiseks. Puhastamine toimus hoolikalt, et vältida detailide kahjustamist ja tagada nende korrektne kuju.
2. Tappide ja avade lihvimine: see etapp oli oluline, et tagada detailide täpne ja kindel ühendamise. Selgus, et printimise täpsus kõikus. Lihvimise käigus kohandati tappide ja avade mõõtmeid, et need sobiksid täpselt kokku.
3. Liimimine: pärast lihvimist toimus detailide liimimine. Selleks kasutati erinevaid kiirliime, mis tagasid detailide tugeva ja püsiva ühenduse. Liimimise käigus pöörati erilist tähelepanu detaili

õigele paigutusele ja nende omavahelisele joondamisele. Vt ka kokku liimitud korpust (Joonis 36).

4. Kruntimine: see oli vajalik, et tagada värvimise kvaliteet ja detailide pindade ühtlane katvus. Kruntimise käigus kanti detailide pinnale kruntvärv, mis valmistab pinna ette lõplikuks värvimiseks.
5. Pahteldamine ja lihvimine: see oli vajalik detailide visuaalselt tervikuks ühendamiseks. Selleks kasutati plastikupahtlit, millega täideti väiksemad ja suuremad vahed ning millega korregeeriti kahjustunud detailide kuju (vt Joonis 37). Pahtli kuivamise järel oli võimalik auto viimistleda lihvimise teel enne lõplikku värvimist.
6. Värvimine: selle käigus kanti detailide pinnale valitud värv, et saavutada soovitud välimus (Joonis 38).



Joonis 36. Kokku liimitud korpus

Liimimisel ilmnnes ootamatu probleem, kus kiirliim ei aktiveerinud. Olukorda analüüsid avastati, et õhtusel ajal liimitud detailidega ei tekkinud sellist probleemi, küll aga juhtus see päikesepaistelise ilmaga. Probleemi guugeldades selgus, et kiirliimide mitteaktiveerumise probleem on pindade liigne kuivus. Selle lahendamiseks kasutati pritspudelit, millega niisutati detailid enne ühendamist ning seejärel aktiveerus liim koheselt.

Kruntimisel ja ka lõplikul värvimisel tekkis probleem rohelise filamentmaterjali pinnaga. Autorile teadaolevalt on filament sama tüüpi, nagu teised, kuid kruntimisel (näiteks tagumise spoileri all olev roheline tagatule detail, vt Joonis 36 ja Joonis 37 vasakul) hakkas rohelise filamendi pind justkui sulama, mistõttu tuli pigment läbi kõigist kruntvärvikihtidest ja ka lõputöö valmimise ajaks teostatud värvikihtidest.



Joonis 37. Krunditud ja pahteldatud auto

Värvimiseks kasutati erinevaid aerosoolvärve. Lõputöö esitamise ajaks ei ole korpuse põhiosa saavutanud veel täielikku katvust (Joonis 38), kuid autori hinnangul on tähtis üldmulje. Autor leidis, et matt autovärv on parema katvusega, kui läikiv. Värvimisel leidis autor, et pahteldamist oleks saanud teostada detailsemalt ja paremini. Pahteldus ja värvitööd jätkuvad ka peale lõputöö esitamist.



Joonis 38. Viimistletud autokorpuse põhiosa

Kuigi lõputöö esitamise ajaks ei ole võimalik kinnitada lasteauto konstruktsioonile veel täielikku sisustust, on alloleval joonisel võimalik näha, milline hakkab välja nägema auto armatuur (Joonis 39).



Joonis 39. Kokku pandud auto koos konstruktsiooni ja armatuuriga

Raami ja korpuse ühendamise käigus tuleb arvestada nii rehvide kui ka rooli konstruktsiooni mõõtmetega (Joonis 40).



Joonis 40. Auto esimest korda rehvidel

4.3 Uue auto võrdlus vana doonorautoga

Uue auto loomisel arvestati sellega, et uus korpus oleks vana korpusega võimalikult sarnaste mõõtudega. Kasutati võimalikult palju doonorauto detaile, nagu näiteks mootorid, akud, elektrisüsteem, raadio, rehvid, iste ja rool. Ainukesed, mis peamiselt muutusid, olid toote suurus ja kaal (Tabel 7).

Tabel 7. Porsche Macan Turbo lasteauto muutuvate näitajate võrdlus Mazda RX-7 lasteauto kerega

Näitaja	Porsche Macan Turbo	Mazda RX-7
Toote suurus	112,5*62,0*56,5 cm	124*67*43 cm
Toote kaal	19 kg	7 kg + 2 kg

Mazda RX-7 toote kaalu näitaja (7 kg) sisaldab endas raami ja korpuse kaalu. Lisada tuleb doonorauto mootorid, akud, rool, iste, rattad ja elektroonika jm, mis kaaluvad kokku umbes 2 kg.

4.4 Tasuvusjärelused

Lõputöö jooksul mõõdetud kogu ajakulu ja kogu rahaline kulu võimaldab hinnata töö praktilise osa ressursikulu tervikuna. Töö praktilise osa mõõtmise tulemused on olulised töö tulemuste analüüsimiseks ja võimalike järeluste tegemiseks.

4.4.1 Uue lasteauto korpuse projekteerimisele ja printimisele kulunud aeg

Esimene etapp hõlmas konstruktsiooni projekteerimist ja ehitamist, mille käigus töötati välja auto konstruktsioonilahendus ja viidi läbi selle füüsiline ehitamine. Etapp hõlmas ka 3D-mudeli loomist, mille käigus valmistati auto korpuse digitaalne mudel, mis oli aluseks 3D-printimisele. Teine etapp hõlmas 3D-mudeli printimist, mille käigus valmistati auto korpus, kasutades 3D-printimise tehnoloogiat. Mõlema etapi ajakulu jaotusega saab tutvuda lisades (Lisa 1 ja 2).

4.4.2 Uuele lasteautole mudelile seni kulunud summad

Rahaline kulu hõlmab kõiki ostusid, mis olid vajalikud lõputöö praktilise osa teostamiseks. See sisaldas materjalide ja tarvikute. Rahaliste kulude mõõtmiseks koostati tabel, kus on kõik senised ostud esitatud koos nende hindade ja kogustega. Lähemalt saab kuludega tutvuda töö lisades (Lisa 3).

Konstruktsiooni loomisel oli arvestatud, et seda oleks võimalik lihtne ehitada ja materjali oleks võimalik osta lähimast ehituspoest. Konstruktsiooni raam ehk alumiiniumist nelikanttorud osteti

4.4.3 Järeldus

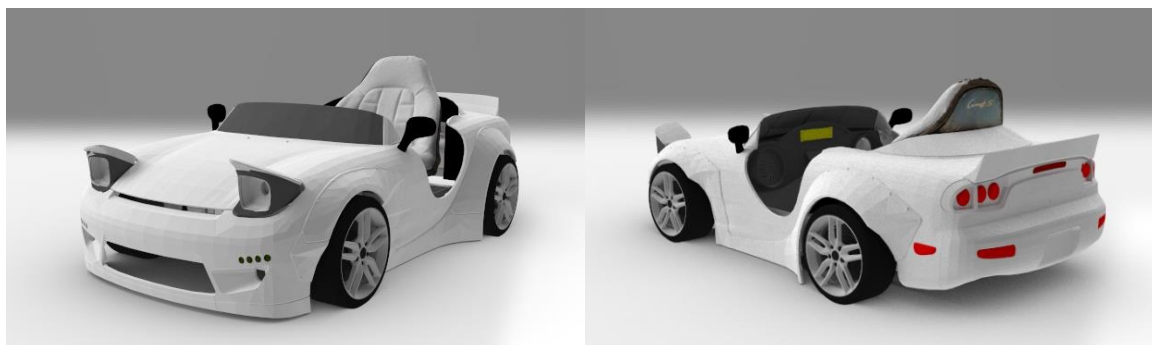
4.5 Tulevikuetapid

Tulevikuetapid on:

- [illegible]

44

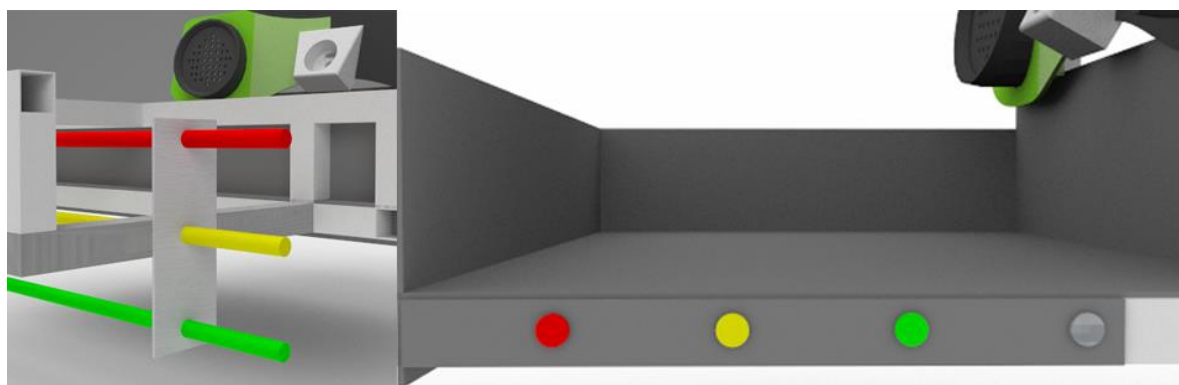
Terviklik lasteauto visioon on näha alloleval joonisel (Joonis 42). Lõputöö valmimise ajaks valminud auto ja tulevikunägemuse vahele mahub autori hinnangul veel palju tööd. Kõige rohkem kulub aega väiksemate ja suuremate detailide viimistlemisele.



Joonis 42. Autori visioon Mazda RX-7 Rocket Bunny lasteautost

4.5.1 Edasiarenduse võimalused

Edasiarenduse võimalusi on mitmeid. Näiteks kui soovitakse korpust vahetada maasturimudeli vastu, siis oleks võimalik esi- ja tagasilda üles poole tõsta ehk oleks 3 kõrgusastet - madal, keskmine, kõrge. Kui on huvi kastiauto vastu, siis oleks võimalik tagumist silda viia taha poole, jällegi kolm astet. Alloleval joonisel näha, et on erinevad astmed on märgitud värvidega – punane, kollane, roheline (Joonis 43).



Joonis 43. Erinevad astmed märgistatud värvidega – punane, kollane, roheline.

Elektroonikas on võimalik jätta armatuurile nupp, mida saab ümber programmeerida tegema erinevaid asju. Hetkel näiteks teeb punane nupp auto esituled lahti ja paneb ka kinni. Järgmisel autol saab seda sama nuppu kasutada mõne muu detaili liigutamiseks – näiteks maasturil tagaluugi avamiseks. Tuleviku võiks saada muuta mootori võimsust. See tähendab, et tuleb lisada juurde üks elektrimootor, mis veab tervet tagatelge. Hetkel on taga kaks 3W mootorit.

KOKKUVÕTE

Käesoleva lõputöö eesmärk oli uue lasteauto mudeli välja töötamine ja korpuse 3D-printimine. Lisaks universaalse konstruktsiooni loomine, mis võimaldaks autot edasi arendada ja sobitada tulevikus erinevatele loodavatele korpustele. Lõputöö eesmärk saavutati. Projekti läbiviimiseks kasutati 3D-printimise tehnoloogiat uue korpuse loomiseks. Vana lasteauto korpus vajab väljavahetamist, mistõttu autor lõi uue mudeli ja kasutas Mazda RX-7 mudelit inspiratsioonina.

3D-printimiseks kasutati FDM-printerit ENDER 6 ja PLA-filamentmaterjali, mis on populaarsed töövahendid prototüüpide loomisel.

Kõige mahukamaks osutus projekteerimisprotsess, mis algas 3D-mudeli loomisest. Seejärel prinditi uue mudeli detailid ning töödeldi neid. Muuhulgas ehitati lasteautole uus konstruktsioon, mis on tulevikus universaalne põhi teiste lasteauto mudelite korpustele. Selles projektis valis autor modelleerida Mazda RX-7 Rocket Bunny komplektiga mudeli. Mudeli loomiseks kasutati olemasolevat 3D-mudelit, mida modifitseeriti vastavalt autori seatud eesmärgile. 3D-mudeli loomiseks kasutati SketchUp programmi. Mudeli modifitseerimisprotsessis kohandati mudeli suurus lasteautole kohaselt, sobitati lapse kuju autosse ja jaotati detailideks, mida oli võimalik printida ENDER 6 printeris.

Printimise käigus ilmes probleeme, nagu detailide ümberkukkumine ja kaardumine. Need lahendati, kuid mõjutasid oluliselt projekti ajakava. Detailide ühendamiseks kasutati „tapisüsteemi“ (emase ja isase otsa ühendus), mis samuti loodi projekteerimise osas mudelit modifitseerides. Peale detailide töötlemist sai need ühendada omavahel kiirliimiga. Järeltöötlus hõlmas endas peale detailide kokku liimimist veel pahteldamist, lihvimist ja värvimist.

Auto konstruktsioon koosnes kahest raamist: I raam ja II raam. Mõlemad raamid olid valmistatud anodeeritud alumiiniumist nelikanttorudest. I raamil tekkisid mõned probleemid, nagu läbipaine ja madal kliirens, mistõttu autor otsustas ehitada II raami, mis oli paremini konstrueeritud.

Lõputöö esitamise ajaks valmis 3D-prinditud ja järeltöödeldud korpuse põhiosa, konstruktsioon ja muud väiksemad 3D-mudeli detailid, nagu tuled, armatuur, küljepeeglid ja kinnitusedetailid.

Käesolev projekt on oluline, sest selline modelleerimine võimaldab luua ka teistel tudengitel suuri projekte piiratud vahenditega. Autor õppis, et kuigi modifitseerimisprotsessis on mudel loodud õigesti, tuleb arvestada võimelike printimisvigadega ning suure ajakuluga, mis hiljem kulub

järeltöötusele. Lõputöö autor sai teadmisi ja õpetlikke kogemusi nii 3D-printimise tehnoloogiatest ja materjalidest kui ka 3D-kujundi modelleerimisest ja modifitseerimisest.

SUMMARY

The aim of this thesis was to develop a new children's car model and 3D print the body. In addition, the creation of a universal structure that would allow the car to be further developed and adapted to different bodies created in the future. The aim of the thesis was achieved. To carry out the project, 3D printing technology was used to create a new body. The body of the old children's car needed to be replaced, so the author created a new model and used the Mazda RX-7 model as inspiration.

FDM printer ENDER 6 and PLA filament material, which are popular tools for prototyping, were used for 3D printing.

The design process, which started with the creation of a 3D model, turned out to be the most time-consuming. Then the details of the new model were printed and processed. Among other things, a new structure was built for the children's car, which will be a universal basis for other children's car model bodies to be created in the future. In this project, the author chose to model the Mazda RX-7 with the Rocket Bunny kit. An existing 3D model was used to create the new model, which was modified according to the purpose set by the author. The SketchUp program was used to create the 3D model. In the modification process of the model, the size of the new model was adjusted according to the children's car, the child's shape was adapted to the car, and the model was divided into details that could be printed on the ENDER 6 printer.

During printing, there were problems such as parts falling over and warping. These were resolved but had a significant impact on the project schedule. The "pin system" (mortise and tenon joint) was used to connect the details, which was also created by modifying the model in terms of design. After processing the parts, they could be connected with instant glue. After gluing the parts together, post-processing included puttying, sanding, and painting.

The car construction consisted of two frames: I frame and II frame. Both frames were made of anodized aluminium square tubes. I frame developed some problems such as deflection and low ground clearance, so the author decided to build a II frame, which was better constructed.

By the time the thesis was submitted, the main part of the 3D-printed and post-processed body, the structure and other smaller 3D model details such as lights, armature, side mirrors and fasteners had been completed.

This project is important because this kind of modelling allows other students to create large projects with limited resources. The author learned that although the model is created correctly in the modification process, possible printing errors and the large amount of time spent on post-processing must be considered. The author of the thesis gained knowledge and learning experiences about 3D printing technologies and materials as well as 3D shape modelling and modification.

VIIDATUD ALLIKAD

- [1] A. Ayyad, „History on the Development of Electric Ride-On Toys,“ 30. august 2021. [Võrgumaterjal]. Kättesaadav: <https://elegantelectronix.com/blogs/blog/history-on-the-development-of-electric-ride-on-toys>. [Kasutatud 21. veebruar 2023].
- [2] FM1156, „Pines Of America Power Wheels 1985 TV Commercial HD,“ 30. november 2016. [Võrgumaterjal]. Kättesaadav: https://www.youtube.com/watch?v=n751KlzBMFE&ab_channel=FM1156. [Kasutatud 21. veebruar 2023].
- [3] E. Smith, 10. detsember 2019. [Võrgumaterjal]. Kättesaadav: <https://tedium.co/2019/12/10/power-wheels-history/>. [Kasutatud 21. veebruar 2023].
- [4] Shoppa.ee. [Võrgumaterjal]. Kättesaadav: <https://www.shoppa.ee/p/rolly-toys-pedaalidega-traktor-lastele-john-deere-7930/1225649>. [Kasutatud 21. veebruar 2023].
- [5] babyshop.ee, „Pedal Car,“ [Võrgumaterjal]. Kättesaadav: <https://www.babyshop.ee/en/pedal-car>. [Kasutatud 21. veebruar 2023].
- [6] minikid.ee, „TO-MA BMW 6 GT elektriauto, puldiga juhitud 12V/4.5Ah, JJ2164 punane,“ [Võrgumaterjal]. Kättesaadav: <https://minikid.ee/et/p/to-ma-bmw-6-gt-elektriauto-puldiga-juhitud-12v-4-5ah-jj2164-punane-54639/>. [Kasutatud 21. veebruar 2023].
- [7] manguvaljakud.eu, „Laste elektriauto puldiga Mercedes S63 AMG 2x45W, valge,“ [Võrgumaterjal]. Kättesaadav: <https://manguvaljakud.eu/pood/soidukid-ja-toukerattad/lasteautod-akuga/laste-elektriauto-puldiga-mercedes-s63-amg-2x45w-valge/>. [Kasutatud 21. veebruar 2023].
- [8] karupoegpuhh.ee, „Elektriauto BMW 507 Retro 12 V, punane,“ [Võrgumaterjal]. Kättesaadav: <https://www.karupoegpuhh.ee/elektriauto-bmw-507-retro-sx1938>. [Kasutatud 21. veebruar 2023].
- [9] shoppa.ee, „Elektriauto Audi TT RS valge,“ [Võrgumaterjal]. Kättesaadav: <https://www.shoppa.ee/p/elektriauto-audi-tt-rs-valge/4838078>. [Kasutatud 21. veebruar 2023].
- [10] hlautoosad.ee, „BMW X5 SUV, 12V, must,“ [Võrgumaterjal]. Kättesaadav: https://www.hlautoosad.ee/?page_id=10&m=402&h=&hkid=6213964&aid=. [Kasutatud 21. veebruar 2023].

- [11] babystore.ee, „Orion Toys Car Art.792 Black,“ [Võrgumaterjal]. Kättesaadav: <https://www.babystore.ee/ee/product/108326/orion-toys-car-art-792-black>. [Kasutatud 21. veebruar 2023].
- [12] jussike.ee, „Mercedes Benz Maybach G-650, 4x4,“ [Võrgumaterjal]. Kättesaadav: <https://www.jussike.ee/toode/mercedes-benz-maybach-g-650-4x4-mp4/>. [Kasutatud 21. veebruar 2023].
- [13] I. C. Kids, „Illegal Car Kids sets up and personalizes your child's electric car!“, 2018. [Võrgumaterjal]. Kättesaadav: <https://illegalcarkids.com/about/>. [Kasutatud 21. veebruar 2023].
- [14] „illegalcarkids,“ [Võrgumaterjal]. Kättesaadav: <https://www.instagram.com/illegalcarkids/>. [Kasutatud 21. veebruar 2023].
- [15] I. C. Kids. [Võrgumaterjal]. Kättesaadav: <https://illegalcarkids.com/2018/06/13/from-the-beginning/>. [Kasutatud 21. veebruar 2023].
- [16] I. C. Kids, „XS Carnight Worthersee Edition 2.0,“ 10. oktoober 2019. [Võrgumaterjal]. Kättesaadav: <https://illegalcarkids.com/2019/10/10/xs-carnight-worthersee-edition-2-0/>. [Kasutatud 21. veebruar 2023].
- [17] M. Christou, „Nothing Less Than Excess: XS CarNight Wörthersee Edition 4.0,“ 17. mai 2022. [Võrgumaterjal]. Kättesaadav: <http://www.speedhunters.com/2022/05/xs-carnight-worthersee/>. [Kasutatud 21. veebruar 2023].
- [18] KidStance. [Võrgumaterjal]. Kättesaadav: <https://kidstancebuilt.com/about-us/>. [Kasutatud 21. veebruar 2023].
- [19] KidStance, „WHOWE ARE,“ 2023. [Võrgumaterjal]. Kättesaadav: <https://kidstancebuilt.com/about-us/>. [Kasutatud 21. veebruar 2023].
- [20] S. D. Smith, „The “Most Beautiful Car To Come Out Of Japan” Was Designed In California: The FD RX-7 Story,“ 19. detsember 2021. [Võrgumaterjal]. Kättesaadav: <https://www.carscoops.com/2021/12/the-most-beautiful-car-to-come-out-of-japan-was-designed-in-california-the-fd-rx-7-story/>. [Kasutatud 28. veebruar 2023].
- [21] T. F. a. t. F. Wiki, „1993 Mazda RX-7,“ [Võrgumaterjal]. Kättesaadav: https://fastandfurious.fandom.com/wiki/1993_Mazda_RX-7. [Kasutatud 28. veebruar 2023].
- [22] Mazda, „100 YEARS OF MAZDA | THE MAZDA RX-7,“ [Võrgumaterjal]. Kättesaadav: <https://www.mazda.co.uk/why-mazda/news-and-events/mazda-news/articles/100-years-of-mazda--the-mazda-rx-7/>. [Kasutatud 28. veebruar 2023].

- [23] Mazda, „Puust ja punaseks: Kuidas toimib Mazda ajaloos tähtsal kohal olev rootormootor,“ 30. juuli 2018. [Võrgumaterjal]. Kättesaadav: <https://auto.geenius.ee/blogi/mazda-blogi/puust-ja-punaseks-kuidas-toimib-mazda-ajaloos-tahtsal-kohal-olev-rootormootor/>. [Kasutatud 28. veebruar 2023].
- [24] Ben, „The Complete History Of The Mazda RX-7,“ 5. veebruar 2018. [Võrgumaterjal]. Kättesaadav: <https://garagedreams.net/history/complete-history-mazda-rx-7>. [Kasutatud 28. veebruar 2023].
- [25] [Võrgumaterjal]. Kättesaadav: <https://www.carthrottle.com/post/fb-vs-fc-vs-fd-how-the-mazda-rx-7-evolved-over-three-generations/>. [Kasutatud 28. veebruar 2023].
- [26] M. Skwarczek, „Disneyland, Bosozoku, and Vintage Racing: Rocket Bunny Has a Wild History,“ 7. aprill 2021. [Võrgumaterjal]. Kättesaadav: <https://www.motorbiscuit.com/disneyland-bosozoku-vintage-racing-rocket-bunny-wild-history/>. [Kasutatud 28. veebruar 2023].
- [27] [Võrgumaterjal]. Kättesaadav: <https://www.carscoops.com/2018/09/mazda-rx-7-fd-rocks-strasse-wheels-rocket-bunny-body-kit/>. [Kasutatud 28. veebruar 2023].
- [28] Rollplay, „Rollplay PORSCHE MACAN TURBO W416AC Owner's Manual And Assembly Instructions page 2,“ [Võrgumaterjal]. Kättesaadav: <https://www.manualslib.com/manual/1437824/Rollplay-Porsche-Macan-Turbo-W416ac.html?page=2#manual>. [Kasutatud 12. november 2022].
- [29] J. Kortelainen, M. Leino ja T. Lehtinen, „TROUBLESHOOTING AND TACKLING THE COMMON PROBLEMS IN VAT PHOTOPOLYMERIZATION AND FDM 3D PRINTING,“ p. 281, 20. juuni 2021.
- [30] FormLabs, „Guide to Stereolithography (SLA) 3D Printing,“ [Võrgumaterjal]. Kättesaadav: <https://formlabs.com/blog/ultimate-guide-to-stereolithography-sla-3d-printing/>. [Kasutatud 1. märts 2023].
- [31] P. Dudek, „FDM 3D PRINTING TECHNOLOGY IN MANUFACTURING COMPOSITE ELEMENTS,“ *PAN*, kd. 58, nr 4, p. 1415, 2013.
- [32] Adobe, „STL files,“ [Võrgumaterjal]. Kättesaadav: <https://www.adobe.com/creativecloud/file-types/image/vector/stl-file.html>. [Kasutatud 1. märts 2023].
- [33] TWI, „WHAT IS PLA? (EVERYTHING YOU NEED TO KNOW),“ [Võrgumaterjal]. Kättesaadav: <https://www.twi-global.com/technical-knowledge/faqs/what-is-pla>. [Kasutatud 1. märts 2023].

- [34] Simplify3D, „ABS,“ [Võrgumaterjal]. Kättesaadav: <https://www.simplify3d.com/resources/materials-guide/abs>. [Kasutatud 1. märts 2023].
- [35] Tractus3D, „TPU Material,“ [Võrgumaterjal]. Kättesaadav: <https://tractus3d.com/materials/tpu/>. [Kasutatud 1. märts 2023].
- [36] Simplify3D, „PETG,“ [Võrgumaterjal]. Kättesaadav: <https://www.simplify3d.com/resources/materials-guide/petg/>. [Kasutatud 1. märts 2023].
- [37] FormLabs, „3D Printing Technology Comparison: FDM vs. SLA vs. SLS,“ [Võrgumaterjal]. Kättesaadav: <https://formlabs.com/blog/fdm-vs-sla-vs-sls-how-to-choose-the-right-3d-printing-technology/>. [Kasutatud 1. märts 2023].
- [38] A. E.-S. Mohammad S Alsoufi, „Warping Deformation of Desktop 3D Printed Parts Manufactured by Open Source Fused Deposition Modeling (FDM) System,“ *International Journal of Mechanical & Mechatronics Engineering*, kd. 17, p. 10, 2017.
- [39] Hubs, „What is FDM (fused deposition modeling) 3D printing?,“ [Võrgumaterjal]. Kättesaadav: <https://www.hubs.com/knowledge-base/what-is-fdm-3d-printing/>. [Kasutatud 1. märts 2023].
- [40] 3DQuality, „3D printerid,“ [Võrgumaterjal]. Kättesaadav: https://3dquality.ee/product-category/3d-printerid/?filter_trukitehnoloogia=fdm&orderby=pric. [Kasutatud 1. märts 2023].
- [41] Hubs, „What is SLA 3D printing?,“ [Võrgumaterjal]. Kättesaadav: <https://www.hubs.com/knowledge-base/what-is-sla-3d-printing/>. [Kasutatud 1. märts 2023].
- [42] Wikipedia, „Stereolitograafia,“ [Võrgumaterjal]. Kättesaadav: <https://et.wikipedia.org/wiki/Stereolitograafia>. [Kasutatud 1. märts 2023].
- [43] [Võrgumaterjal]. Kättesaadav: <https://support.makerbot.com/s/article/1667337577679>. [Kasutatud 1. märts 2023].
- [44] Hubs, „What is SLS 3D printing?,“ [Võrgumaterjal]. Kättesaadav: <https://www.hubs.com/knowledge-base/what-is-sls-3d-printing/>. [Kasutatud 1. märts 2023].
- [45] I. Kauppila, „The Best SLS 3D Printers in 2023,“ 5. detsember 2022. [Võrgumaterjal]. Kättesaadav: <https://all3dp.com/1/best-sls-3d-printer-desktop-industrial/>. [Kasutatud 1. märts 2023].
- [46] T. Xometry, „All About PET 3D Printing Filament: Materials, Properties, Definition,“ 19 september 2022. [Võrgumaterjal]. Kättesaadav: <https://www.xometry.com/resources/3d-printing/pet-3d-printing-filament/>. [Kasutatud 2. märts 2023].

- [47] Hubs, „What’s the ideal filament for FDM 3D printing? 3D printing materials compared,“ [Võrgumaterjal]. Kättesaadav: <https://www.hubs.com/knowledge-base/fdm-3d-printing-materials-compared/>. [Kasutatud 2. märts 2023].
- [48] K. Honervogt, „POLYCARBONATE (PC) FILAMENT REVIEW,“ [Võrgumaterjal]. Kättesaadav: <https://juggerbot3d.com/pc-filament-review/>. [Kasutatud 2. märts 2023].
- [49] Büroomaailm, „PLA filament PrimaValue 3D printerile, tumehall, 1.75mm, 1kg,“ [Võrgumaterjal]. Kättesaadav: <https://www.byroomaailm.ee/arvutustehnika/3d-printerid/filamendid/pla-filament-primavalue-3d-printerile-tumehall-1-75mm-1kg?sku=K0087774>. [Kasutatud 2. aprill 2023].
- [50] Büroomaailm, „ABS filament PrimaValue 3D printerile, Must, 1.75mm, 1kg,“ [Võrgumaterjal]. Kättesaadav: <https://www.byroomaailm.ee/arvutustehnika/3d-printerid/filamendid/abs-filament-primavalue-3d-printerile-must-1-75mm-1kg?sku=K0080299>. [Kasutatud 2. aprill 2023].
- [51] Büroomaailm, „Nailon filament 3D-printerile, PrimaSelect Nylon Power PA 6/66, 1,75mm, 500g, must,“ [Võrgumaterjal]. Kättesaadav: <https://www.byroomaailm.ee/arvutustehnika/3d-printerid/filamendid/nailon-filament-3d-printerile-primaselect-nylon-power-pa-6-66-1-75mm-500g-must?sku=K0088100>. [Kasutatud 2. aprill 2023].
- [52] Büroomaailm, „PC filament-ultimaker 3D-printerile, polukarbonaat, must, 2,85mm, 750g,“ [Võrgumaterjal]. Kättesaadav: <https://www.byroomaailm.ee/arvutustehnika/3d-printerid/filamendid/pc-filament-ultimaker-3d-printerile-polukarbonaat-must-2-85mm-750g?sku=K0060122>. [Kasutatud 2. aprill 2023].
- [53] RONEX, „1.75 mm (1/16") PET FILAMENT - WHITE - 750 g,“ [Võrgumaterjal]. Kättesaadav: https://www.ronex.ee/Products/3D_FILAMENTS_ENG/PET175W07. [Kasutatud 2. aprill 2023].
- [54] RUUMIK, „eSun TPU 95A 1.75mm 1kg Transparent Blue – sinine läbipaistev,“ [Võrgumaterjal]. Kättesaadav: <https://ruumik.ee/toode/esun-tpu-95a-1-75mm-1kg-transparent-blue-sinine-labipaistev/>. [Kasutatud 2. aprill 2023].
- [55] B. W. Oliver Wulf, „FAST 3D SCANNING METHODS FOR LASER MEASUREMENT SYSTEMS,“ p. 1.
- [56] LASERDESIGN, „3D Scanning Technology — Hard Work That Looks Like “Magic”,“ [Võrgumaterjal]. Kättesaadav: <https://www.laserdesign.com/what-is-3d-scanning>. [Kasutatud 3. märts 2023].

- [57] weareprintlab, „The Real Value of 3D Scanning and its Applications,“ [Võrgumaterjal]. Kättesaadav: <https://weareprintlab.com/blog/the-real-value-of-3d-scanning-and-its-applications>. [Kasutatud 3. märts 2023].
- [58] Artec3D, „Artec Leo,“ [Võrgumaterjal]. Kättesaadav: <https://www.artec3d.com/portable-3d-scanners/artec-leo>. [Kasutatud 2. aprill 2023].
- [59] T. Leong, „Sleepy Rx7 Rocket Bunny,“ [Võrgumaterjal]. Kättesaadav: <https://tawan-leong.artstation.com/projects/15xYX>. [Kasutatud 3. märts 2023].
- [60] ILDARIUS2017, „Cults,“ 23. oktoober 2020. [Võrgumaterjal]. Kättesaadav: <https://cults3d.com/en/3d-model/various/mazda-rx-7-rocket-bunny>. [Kasutatud 3. märts 2023].
- [61] J. O'Conelli, „ALL3DP,“ 7. jaanuar 2021. [Võrgumaterjal]. Kättesaadav: <https://all3dp.com/2/collada-file-dae-file-simply-explained/>. [Kasutatud 3. märts 2023].
- [62] C.-H. Y. & C.-C. W. C.-C. Liang, „A study on torsional stiffness of the competition,“ *WIT Transactions on The Built Environment*, kd. 91, p. 190, 2007.
- [63] GoKart36, „Go kart frame chassis,“ [Võrgumaterjal]. Kättesaadav: <https://gokart36.com/go-kart-frame-chassis/>. [Kasutatud 3. märts 2023].
- [64] e. a. Yuelong Huang, „Evaluation of the corrosion resistance of anodized aluminum 6061 using electrochemical impedance spectroscopy (EIS),“ 2008.

LISAD

Lisa 1. Modelleerimisele kulunud aeg

Lisa 2. Printimisele kulunud aeg ja materjalikogus iga detaili kohta

Lisa 3. Rahalise kulu tabel

Lisa 1. Modelleerimisele kulunud aeg

Algusaeg/h	Lõppaeg/h	Kokku kulunud aeg		Algusaeg/h	Lõppaeg/h	Kokku kulunud aeg
20:45	1:25	4:40		10:00	11:00	1:00
21:00	1:00	4:00		10:00	11:00	1:00
11:00	12:00	1:00		14:00	14:45	0:45
20:15	22:50	2:35		15:00	15:45	0:45
12:00	13:15	1:15		17:00	17:25	0:25
21:45	0:00	2:15		11:50	13:50	2:00
19:15	20:50	1:35		16:00	18:25	2:25
11:45	13:00	1:15		20:00	23:50	3:50
17:25	19:00	1:35		13:00	16:00	3:00
11:25	12:25	1:00		20:45	1:25	4:40
20:15	23:00	2:45		21:00	1:00	4:00
13:00	13:45	0:45		20:50	21:25	0:35
13:00	14:50	1:50		21:45	0:00	2:15
12:50	13:00	0:10		13:00	14:00	1:00
12:00	12:25	0:25		20:15	23:00	2:45
21:45	0:00	2:15		11:00	12:50	1:50
21:00	22:00	1:00		21:50	0:00	2:10
20:25	21:00	0:35		20:25	22:25	2:00
20:25	21:00	0:35		12:00	14:00	2:00
21:00	1:00	4:00		14:00	15:50	1:50
20:45	1:50	5:05		20:50	23:00	2:10
18:00	1:50	7:50		19:00	23:00	4:00
18:00	0:00	6:00		12:00	0:00	12:00
12:00	16:00	4:00		0:00	3:00	3:00
13:00	18:00	5:00		12:00	16:00	4:00
22:00	1:00	3:00		21:00	0:00	3:00
20:50	0:00	3:10		19:00	23:00	4:00
18:00	0:00	6:00		Kokku		164:35
10:00	18:00	8:00				
19:00	21:00	2:00				
17:50	19:00	1:10				
19:50	0:50	5:00				
11:00	11:25	0:25				

Lisa 2. Printimisele kulunud aeg ja materjalikogus iga detaili kohta

Faili nimi	Aeg/h	Kaal/g		Faili nimi	Aeg/g	Kaal/g
Detail 1.0	1:20:00	16,0		Detail 35.0	1:59:00	30,0
Detail 1.1	1:20:00	16,0		Detail 35.1	1:59:00	30,0
Detail 2.0	6:40:00	82,0		Detail 36.0	2:04:00	39,5
Detail 2.1	6:40:00	82,0		Detail 36.1	2:04:00	39,5
Detail 3.0	1:13:00	14,0		Detail 36.2	2:04:00	39,5
Detail 3.1	1:13:00	14,0		Detail 36.3	2:04:00	39,5
Detail 4.0	3:20:00	41,0		Detail 37.0	2:42:00	46,0
Detail 4.1	3:20:00	41,0		Detail 37.1	2:42:00	46,0
Detail 5.0	5:50:00	46,5		Armatuur 1	1:43:00	42,0
Detail 5.1	5:50:00	46,5		Armatuur 2.0	1:22:00	29,5
Detail 6.0	2:45:00	30,0		Armatuur 2.1	4:00:00	30,0
Detail 6.1	2:45:00	30,0		Detail 38.0	3:29:00	52,0
Detail 7.0	2:46:00	30,0		Detail 38.1	3:19:00	50,0
Detail 7.1	2:47:00	30,0		Tagatuli 1.0	1:37:00	20,0
Detail 8.0	3:59:00	70,5		Tagatuli 1.1	1:37:00	20,0
Detail 8.1	3:59:00	70,5		Tagatuli 2.1	3:28:00	50,0
Detail 9.0	3:19:00	35,0		Detail 39.0	4:01:00	60,0
Detail 9.1	3:19:00	35,0		Detail 39.1	4:01:00	60,0
Detail 10.0	3:33:00	37,5		Detail 40.0	5:00:00	60,0
Detail 10.1	3:33:00	37,5		Detail 40.1	3:55:00	53,0
Detail 11.0	6:31:00	82,5		Detail 41.0	5:38:00	67,0
Detail 11.1	6:31:00	82,5		Detail 41.1	5:36:00	66,0
Detail 12.0	7:29:00	58,6		Tagatuli 2.0	3:50:00	46,0
Detail 12.1	7:29:00	58,6		Spoiler 1.0	2:15:00	34,0
Detail 13.0	6:26:00	75,5		Spoiler 1.1	2:15:00	34,0
Detail 13.1	6:26:00	75,5		Spoiler 2.0	2:15:00	34,0
Detail 14.0	3:57:00	43,5		Spoiler 2.1	2:15:00	34,0
Detail 14.1	3:57:00	43,5		Detail 43.0	2:34:00	34,0
Detail 15.0	5:13:00	55,5		Detail 43.1	2:34:00	34,0
Detail 15.1	5:13:00	55,5		Armatuur 3.0	2:55:00	38,0
Detail 16.0	1:42:00	12,5		Armatuur 3.1	2:55:00	38,0
Detail 16.1	1:42:00	12,5		Armatuur 4.0	2:53:00	32,0
Detail 17.0	8:11:00	73,0		Armatuur 4.2	2:31:00	28,0
Detail 17.1	8:11:00	73,0		Vtuli 1.0	3:47:00	56,0

Faili nimi	Aeg/h	Kaal/g		Faili nimi	Aeg/g	Kaal/g
Detail 18.0	4:35:00	54,5		Vtuli 1.1	3:04:00	44,0
Detail 18.1	4:35:00	54,5		Aken 1.0	0:35:00	7,0
Detail 19.0	3:46:00	34,5		Aken 1.1	0:35:00	7,0
Detail 19.1	3:46:00	34,5		Aken 2.0	0:32:00	6,0
Detail 20.0	2:27:00	49,5		Aken 2.1	0:32:00	6,0
Detail 20.1	2:27:00	49,5		Aken 3.0	0:19:00	4,0
Detail 21.0	6:23:00	59,0		Aken 3.1	0:19:00	4,0
Detail 21.1	6:23:00	59,0		Vtuli 1.2	4:04:00	54,0
Detail 22.0	2:27:00	27,5		Detail 42.0	9:50:00	92,0
Detail 22.1	2:27:00	27,5		Detail 42.1	9:50:00	92,0
Detail 23.0	2:57:00	43,5		Detail 44.0	4:50:00	64,0
Detail 23.1	2:57:00	43,5		Detail 44.1	4:50:00	64,0
Detail 24.0	3:57:00	35,5		Armatuur 4.6	1:15:00	14,0
Detail 24.1	3:57:00	35,5		Armatuur 4.7	1:15:00	14,0
Detail 25.0	3:44:00	38,0		Armatuur 4.8	1:28:00	18,0
Detail 25.1	2:39:00	38,0		Armatuur 4.3	1:51:00	31,0
Detail 26.0	3:22:00	34,0		Ptuli 1.1	4:38:00	44,0
Detail 26.1	3:22:00	34,0		Ptuli 1.0	3:03:00	56,0
Detail 27.0	2:31:00	32,5		Ptuli 1.2	2:31:00	54,0
Detail 27.1	2:31:00	32,5		Armatuur 4.1	1:45:00	13,0
Detail 28.0	2:41:00	36,0		Armatuur 4.4	1:40:00	29,0
Detail 28.1	2:42:00	36,0		Armatuur 4.5	1:40:00	29,0
Detail 29.0	1:44:00	22,0		Iste 1.0	1:25:00	26,0
Detail 29.1	1:44:00	22,0		Iste 1.1	1:25:00	26,0
Detail 30.0	3:10:00	21,0		Iste 2.0	2:26:00	37,0
Detail 30.1	1:43:00	21,0		Iste 2.1	2:26:00	37,0
Detail 31.0	1:28:00	23,5		Iste 3.0	0:50:00	15,0
Detail 31.1	1:28:00	23,5		Iste 3.1	0:52:00	15,0
Detail 32.0	1:51:30	63,0		Iste 4.0	3:10:00	36,0
Detail 32.1	3:43:00	63,0		Iste 4.1	3:10:00	36,0
Detail 33.0	3:29:00	47,0		Toestus 1.0	2:38:00	35,0
Detail 33.1	3:29:00	47,0		Toestus 1.1	2:32:00	35,0
Detail 34.0	1:10:00	16,0		Rool	4:50:00	53,0
Detail 34.1	1:10:00	16,0		Kokku	436:47:00	5389,7

Lisa 3. Rahalise kulu tabel

Kaup	Pood	Kogus/tk	Tükihind/€	Kokku/€
Porsche Macan Turbo	Facebook Marketplace	1	50,00	50,00
Keermelatt M10*1000	K-Rauta	1	1,49	1,49
Mutter M10 (20 tk pakis)	K-Rauta	1	1,20	1,20
Anodeeritud alumiiniumist nelikanttoru 1000*20*20*0,8 mm	Depo	8	3,09	24,72
Alus Multivax	Depo	4	2,59	10,36
Needid (100 tk pakis)	K-Rauta	3	7,50	22,50
Nurgikud	Decora	50	0,30	15,00
Ühendusplaat	Decora	1	1,70	1,70
Aerosool valge läikiv värv	K-Rauta	4	5,50	22,00
Liivapaber (120-160)	K-Rauta	10	0,50	5,00
Polüesterpahtel 250 g + kõvendi hall	Automaailm	1	3,90	3,90
Loctite kiirliim 5 g	K-Rauta	3	3,90	11,70
Aersool must matt värv	K-Rauta	1	5,50	5,50
LED moodul valge 6000 k 12 v 34 lm IP67	Oomipood	2	1,60	3,20
Tumbler ON-OFF-ON 25 A 12 V, M12*0,75	Oomipood	1	2,50	2,50
PLA 1,75 mm 1 kg filament	Ruumik	6	21,00	126,00
Projektile (lõputöö valmimise ajaks) kulunud kokku:				306,77