

Vanessa Petrov

SAE BAJA TORURAAMI JA VEDRUSTUSE JUHEND

LÕPUTÖÖ

Tehnikainstituut

Õpperühm: KAE2020

Juhendaja: MSc Janek Lupp

Autori deklaratsioon ja lihtlitsents

Mina, Vanessa Petrov, tõendan, et lõputöö on minu 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.

Annan Tallinna Tehnikakõrgkoolile (edaspidi kõrgkool) tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose „SAE BAJA toruraami ja vedrustuse juhend“:

- reprodutseerimiseks paberkandjal kõrgkooli raamatukogus avaldamise ja säilitamise eesmärgil;
- elektroonseks avaldamiseks kõrgkooli repositooriumi kaudu;
- kui lõputöö avaldamisele on instituudi direktori korraldusega kehtestatud tähtajaline piirang, lõputöö avaldada pärast piirangu lõppemist;
- ning kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest tulenevaid ega muid õigus.

Autor: Vanessa Petrov

/allkirjastatud digitaalselt, kuupäev digiallkirjas/

Juhendaja kinnitus

Lõputöö vastab lõputöö ja kirjalike tööde vormistamise juhendile. Lubada lõputöö kaitsmisele instituudi direktori korraldusega.

Juhendaja:

1. Janek Lupp

/allkirjastatud digitaalselt, kuupäev digiallkirjas/

SISUKORD

SISSEJUHATUS.....	5
1. TORURAAM.....	6
1.1. Üldised nõuded ja toruraami reeglid	6
1.1.1. Toruraami nõuded	6
1.2. Olemasolevad prototüübid eelised/puudused ja konkurentide/parimate lahenduste eripärad.....	10
1.2.1. Efektiivse raami lahendus ja selle eripärad	11
1.3. Toruraami lahenduse projekteerimine.....	13
1.4. Raami vastavus ja optimeerimine e-BAJA reeglistikule.....	18
1.4.1. Aku eemaldamise reeglid	19
1.4.2. Komponentide valik	20
1.4.3. Raami kohandamine	21
1.5. Toruraami tugevuse ja jäikuse analüüs	22
1.5.1. Laupkokkupõrge.....	22
1.5.2. Küljelt kokkupõrge.....	24
1.5.3. Ümberpaiskumine	25
1.5.4. Tagant kokkupõrge.....	26
1.5.5. Toruraami väändejäikus	26
1.5.6. Raami optimeerimine tugevusanalüüsidesest sõltuvalt	28
1.6. Toruraami tootmine.....	30
1.6.1 Torude valik	30
1.6.2. Torude lõiked	31
1.6.3. Torude painutamine.....	31
1.6.4. Keevitus ja komplekteerimise järjekord.....	33
1.6.5 Suuremate baaskomponentide saadavus ja tarne	37
2. VEDRUSTUS	39

2.1. Põhireeglid ja kontseptsioon	39
2.2. Olemasoleva prototüübi ja konkurentide eelised/puudused.....	39
2.3. Vedrustuse lahendus ja analüüs.....	41
2.4. Tootmine	46
2.4.1. Vedrustuse nurgakoostu koostamine.....	47
3. MAJANDUSLIK HINNANG.....	48
3.1. Kasutatavad materjalid materjalid.....	48
3.2. Tööriistad,ruumid ja rakised	49
3.3. Ajakulu	50
KOKKUVÕTE.....	51
SUMMARY	52
VIIDATUD ALLIKAD.....	53
LISAD	58

SISSEJUHATUS

Käesolev lõputöö on autori loodud juhend SAE Baja võistlusklassi bagi toruraami ja veermiku loomise ja kokkupaneku kohta. Varasemalt samal teemal tehtud tööd on informatiivseid, kuid ei seleta täpselt sõiduki ehitusprotsessi ning nüansse, mida selle komplekteerimisel jälgida. Antud lõputöö lisaväärtuseks on toodetavus ja tootmise kirjeldus- Juhend on mõeldud tehnilise ning reaalinete suunaga kutsekoolidele ja gümnaasiumitele. Juhend on tarvilik selleks, et hõlpsustada toruraami ja veermiku esmasel disainimisel esinevaid takistusi ning suunata seoseid looma läbi bagi ehitamise. Samuti on lõputöö eesmärk aidata luua tootearendussarja siinses regioonis kaasates kutsehariduskeskuste ja/või reaalsuunaga gümnaasiumite õpilasi. Tulemusena saavad noored õpilased rohkem keskenduda sõiduki kokkupanekule ja selle toimimise mõistmisele kui peenete detailide projekteerimisele.

Juhendis on kirjeldatud toruraami ja vedrustuse 2024. aasta võistlusklassi reeglistikule vastav baaslahendus, mida luua. Samuti sisaldab juhend koostude komplekteerimisjooniseid. Baaslahenduse aluseks on võetud sobilik mootor, erinevad jõuülekanne komponendid ja inimene ning sobitatud need võimalikult kompaktselt, efektiivselt ja reeglitele vastavalt.

Juhend koosneb kolmest suuremast peatükist: toruraam, vedrustus ja majanduslik hinnang. Kaks esimest peatükki algavad vastavate koostude üldiste nõuete kirjeldusega. Sellel järgneb olemasolevate komponentide peamiste eeliste ja puuduste analüüsimine, mille järel kirjeldatakse hea koostu lahendusi ning selle eripärasid. Seejärel selgitatakse juhendi baaslahendust ning selle toimiseks vajalikke läbiviidud analüüse. Peatükid lõpetab koostu tootmine ja selle joonised. Majandusliku hinnangu peatükis kirjeldatakse toruraami ja vedrustuse valmistamiseks kuluva materjali kulu, ajakulu ja hinda. Lisaks on seal kirjeldatud vajalikud tööriistad, rakised ning vajalikud ruumid.

1. TORURAAM

Toruraam on bagi komponentidest üks tähtsamaid osi. Selle projekteerimine nõuab kannatlikkust ja mitte kiirustamist. Ehitatud bagi peab vastama kõikidele etteantud reeglitele ja nõutele. Igal aastal antakse välja võistlusklassi uuendatud reeglid, mille täitmist kontrollitakse piinliku täpsusega. Antud juhendis selgitatakse toruraamile seatud nõudeid ning üldparameetreid. Reeglite juhend on mahukas ning nendega tutvumine ja tõlgendamine võtab suure hulga aega. Selleks on oluline, et need oleks võimalikult kompaktselt, kuid täpselt kirjeldatud ning üheselt mõistetavad.

1.1. Üldised nõuded ja toruraami reeglid

Üldised nõuded näevad ette, et bagi peab olema neljarattaveoline. Võistlusklassis osalemiseks tuleb kasutada Kohler CH440 mootorit. Bagi peab olema võimeline mahutama juhti, kes on 190 cm pikk ja kaalub 113 kg. Bagi peab olema võimeline läbima keerukaid ja vahelduvaid maastikke ja järske pöördeid: kive, jääd, lund, liiva, puutüved, vesi, järsud kallakud. Rataste staatilises olekus tohib bagi maksimaalne laius olla 1620 mm kõige kaugematest punktidest mõõdetult. Kaalu ja pikkuse kohta nõudeid pole, kuid tasub meeles pidada, et võistlusrada on mõeldud sõidukile, mis on alla 2740 mm pikkune. [1]

1.1.1. Toruraami nõuded

Toruraami eesmärk on olla võimalikult kompaktne sõitja ümber, kuid piisav, et kaitsta teda kokkupõrkel või ümberpaiskumisel. Toruraam koosneb primaar ja sekundaartorudest (Sele 1.1) (Sele 1.2). Sisuliselt koosneb toruraam punktidest, mis on omavahel ühendatud. Mõlemale toruliigile kehtivad erinevad nõuded selle profiilidele (Tabel 1). Primaartoru puhul võib kasutada metallist keha mis ületab samade mõõtudega toruprofiili nõuded ja seinapaksus vähemalt 1,57 mm. Sekundaartoru puhul võib kasutada alternatiivina metallist riskülikukujulist profiili, mis vastab toru profiiliga samadele nõuetele. [1]

Tabel 1. Nõuded toru profiilidele [1]

Toru liik	Välisdiameeter	Seinapaksus	Süsiniku sisaldus
Primaartoru	≥ 25 mm	≥ 3 mm	$\geq 0,18\%$
Sekundaartoru	$\geq 25,4$ mm	$\geq 0,89$ mm	-

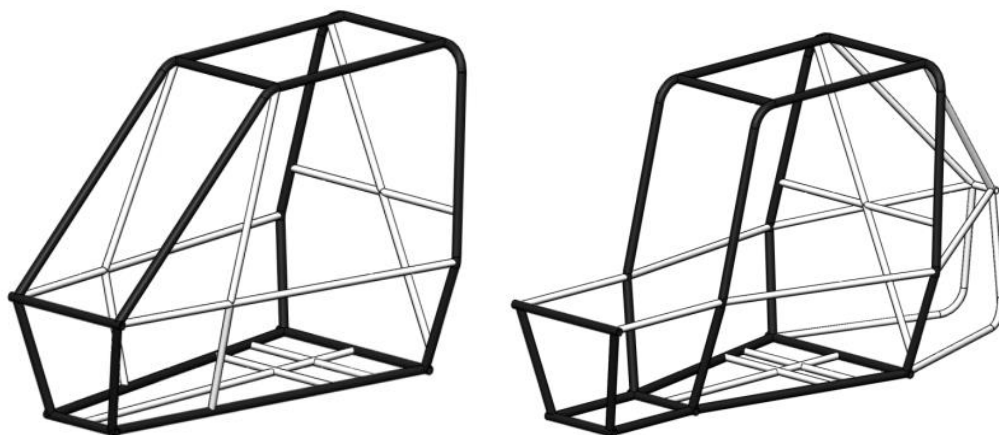
Reeglid torudele ja nende toestamisele on toodud tabelis 2 ja 3. Turvapuuri ülaosa peab olema tõestatud primaartoruga ning allosas võib tugekena kasutada sekundaartoru. [1]

Tabel 2. Torude nõuded ja nende toestamine [1]

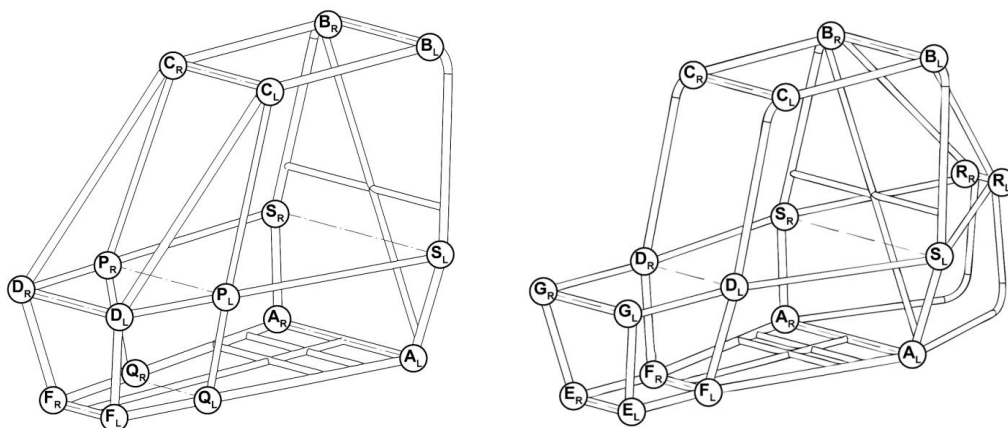
Toru liik	Toru olemus	Mõõtmed	Muud nõuded
Primaartoru			
	Sirge	$\leq 1016 \text{ mm}$	$\geq 1016 \text{ mm}$ - toru keskkohast (+/- 127mm) punkti
	Painutatud	$\leq 1016 \text{ mm}$	Max painderaadius 30° . $\geq 1016 \text{ mm}$ – puutuja vahelisest punktist tugi
Horisontaaltoru	Sirge	$\geq 203,5 \text{ mm}$	-
Turvapuuri toru (istme tagune)	Ühes tükis painutatud toru	$\geq 736 \text{ mm}$ 686mm kõrgusel istmepõhjast	$0 - 20^\circ$ kalle toruraami põhjast
Juhi pea kohal olevad horisontaaltorud	Sirge	Punktide vaheline kaugus teineteisest: 51 mm	Koplanaarsed, $\geq 305 \text{ mm}$ istme põhja tagaservast. 152 mm juhi kiivrist
Alumised külgtorud	Sirge või painutatud		Pikem kui juhi kandade ulatus
Eesosa vertikaaltorud	Sirge või painutatud		Ülemine ja alumine peavad olema üks jätkuv toru eesmise tagatoe puudumisel $\geq 45^\circ$
Sekundaartoru			
Turvapuuri istme tagune diagonaaltoru	Sirge	$< 127 \text{ mm}$	Diagonaaltoru turvapuuri vertikaaltorude nurk $\geq 20^\circ$ Sirge toru pikkuse nõue ei kehti
Ülemised külgtorud	Sirge või painutatud	Istme põhjast 203 - 356 mm	Pikem kui juhi varvaste ulatus
Istme alune toru	Sirge		Juht ei kuku läbi põhja

Tabel 3. Sekundaartorude toestamine

Pikkus	$\leq 838 \text{ mm}$	$> 838 \text{ mm ja } < 1016 \text{ mm}$	$> 1016 \text{ mm}$
Painderaadius			
0°	Pole vajalik	Pole vajalik	1 tugitoru (+/- 50 mm keskpunktist)
$\leq 30^\circ$	Pole vajalik	1 tugitoru	1 tugitoru (puutujate vahemikust)
$\geq 30^\circ$	1 tugitoru	2 tugitoru (puutujate vahemikust)	2 tugitoru (puutujate vahemikust)

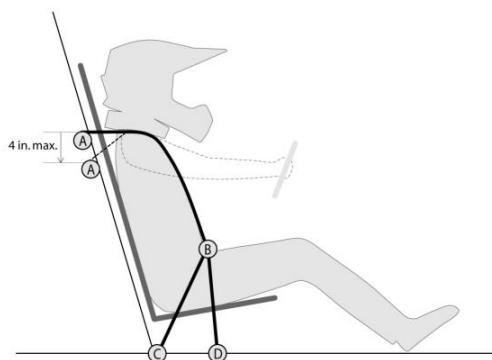


Sele 1.1. Primaartorud erinevate toruraamide disainide puhul [1]



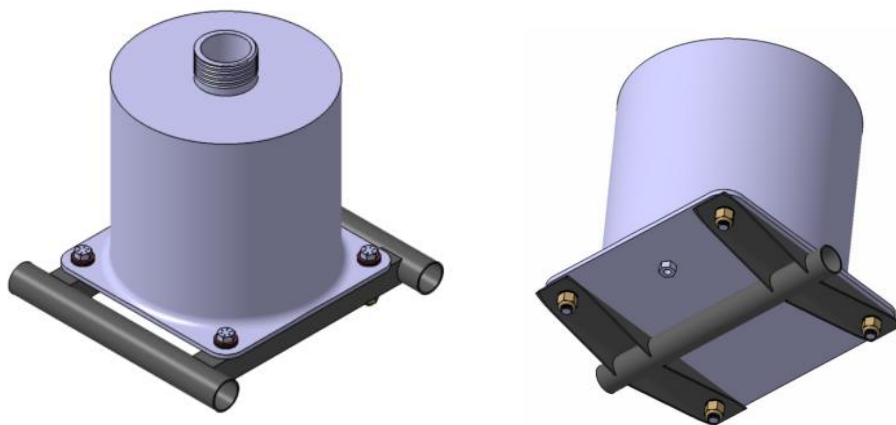
Sele 1.2. Sõlmpunktid erinevate toruraamide disainide puhul [1]

Istmetaguse toetuse diagonaalторule on vajalik luua ka horisontaalne traavers sõitja turvavööde kinnituseks. Turvavööde kinnitustoru peab asuma juhi õlgadega vertikaalselt, kuid mitte madalamal kui 102 mm juhi õlgadest (Sele 1.3). [1]

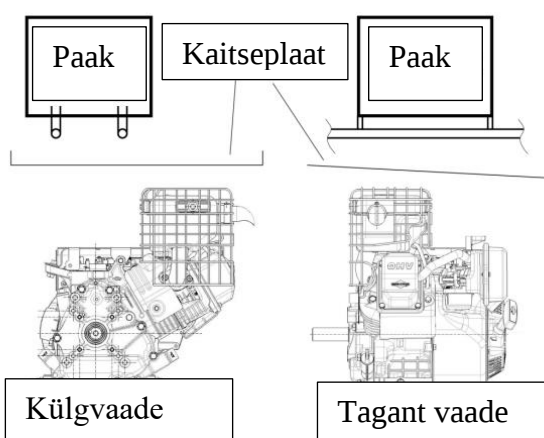


Sele 1.3. Turvavööde õlarihmade asetus

Kütusepaagi asetust määrates tuleb silmas pidada selle paigaldamise nõudeid (Sele 1.4). Need on vastavalt kahel torul, mis vastavad sekundaartoru nõutele või kasutades C-tugesid, mis kinnitatakse sekundaartorule vastavale profiilile. Kütusepaagil peab olema ka eraldav „plaat“, mis väldib kütuse sattumist mootorile või väljalaske osadele ning selle süttimist (Sele 1.5) [1].



Sele 1.4. Kütusepaagi kinnitamine sekundaartoru nõutele vastavale profiilile või C-kinnitustega sekundaartoru profiilile [1]



Sele 1.5. Kütusepaaki ja teisi komponente eraldav plaat kül- ja tagavaates [1]

Toruraam peab olema disainitud selliselt, et juhul on sealt võimalik 3 sekundi jooksul välja ronida. [1]

1.2. Olemasolevad prototüübid eelised/puudused ja konkurentide/parimate lahenduste eripärad

Tallinna Tehnikakõrgkoolil on 2021. aastal ehitatud bagi, mis on ehitatud kasutades ATV jõuülekandeid ja printsiipe (Sele 1.6). Raami ning veermiku disaini ja ehitust kasutati õppe-eesmärgil. Kooli bagil on kasutatud eesmisi vertikaalsete torudega disaini varianti. Kuigi vertikaalitorud kaitsevad juhti hästi väliskeskkonna eest, muudavad need bagisse sisenemise ja väljumise väga keeruliseks.



Sele 1.6. Tallinna Tehnikakõrgkooli bagi kül- ja eestvaade

2023. aasta esimese koha saavutanud Michigani ülikool kasutas tagumise toetusega raami varianti (Sele 1.7). Amordi kinnitused on loodud eesmistest vertikaalitorude külge. Sellise lahendusega on amordi kinnituse liigutamine raskendatud ning amordi valik sõltub selle pikkusest, mitte tingimata vajalikust käigust. Külgvaatest on näha, et juhile on jäetud üsna vähe ruumi, ning roolimise võib olla kohati raskendatud. Teljevahe on siiski bagil üsna väike, mis teeb manööverdamise lihtsamaks ja täpsemaks. Teise koha saavutanud Montreali ülikool kasutas toruraami loomisel sarnast lähenemist, kuid sõitjale on jäetud rohkem ruumi mugavamaks juhtimiseks (Sele 1.7). Rool asub kõrgemal, mis annab juhile rohkem jalaruumi. Mootor ning jõuülekande komponendid bagi tagaosas on paigutatud üksteise kohale. Pikad pea kohalt painutatud torud mõjutavad raami väändejäikust ning neid on kulukam ja keerukam toota.



Sele 1.7. Michigani Ülikooli bagi [2] ja Montreali Ülikooli bagi [3]

Oregoni Ülikool on kasutanud eesmise toetusega raami (Sele 1.8). Eespool kasutatud kahe toruga on hõlpsam luua vedrustuse punkte, kuid antud mudelil on need hoopis toodud kahe vertikaaltoru vahelisse punkti. Samuti on vähesemate painutatud torude puhul raami tootmine ja ehitamine hõlpsam. Sellise raami disaini puhul tuleb aga jälgida eesolevate torude pikkust, et need vastaks reeglitele. Lisaks peab arvestama, et eesolevate topelt torudega jääks juhile endiselt piisavalt nähtavust bagi efektiivseks juhtimiseks. Sarnaselt eelnevate mudelitega, on jõuülekande komponendid ja mootor paigutatud bagi tagaosasse.



Sele 1.8. Oregoni Ülikool [4]

1.2.1. Efektiivse raami lahendus ja selle eripärad

Efektiivse raami lahendus peab võtma arvesse sõitja mugavust, juhtimise efektiivsust, sõiduomadusi ning reegleid. Baaskomponente tuleb mahutada optimaalselt. Nelikveolisel bagil tuleb lisaks pedaalidele ja roolilatile raami eesosas arvestada ka esimese ülekande ning veovõllidega. Samuti tuleb silmas pidada kardaanvõlli. Erinevalt tavalisest sõiduautost viiakse bagi kardaanvõll toruraami

seest: üldiselt pedaalide ja istme alt tagumisse ülekandesse. Sellest tulenevalt tuleb istet veidi kallutada taha, et lubada kardaanvõllil selle alt läbi mahtuda. Pedaalid peaksid olema samal tasapinnal istme esimese servaga. Rool peab olema juhile mugaval kõrgusel nõnda, et see ei varjaks vaatevälja. Kardaanvõllil peab olema ka ohutust tagav kate [1]. Roolisammas tuleb viia kardaanvõlli kõrvalt, mis raskendab juhi jalgade asetust ning selle ruumi, mida tuleb arvestada pedaalide asetust määrares. Raami tagumisse ossa jäävad tagumine ülekanne, käigukast, mootor ja kütusepaak. Kütusepaagi asetust määrares tuleb silmas pidada selle paigaldamise nõudeid. Tallinna Tehnikakõrgkooli bagil on rool väga kõrgel ning väiksemat kasvu juhi puhul on nähtavus piiratud. Võimalikult mugava sõiduasendi loomiseks on arukas paigutada iste siinidele, et seda saaks vajadusel ette ja taha liigutada. Rooli toestamiseks on kõige efektiivsem kasutada kolme punktiga toestust – sedasi on toetus kõige efektiivsem ja kindlam (Sele 1.9). Juhi kaitseks on kasulik luua turvapuuri alasse tugesid ja lisatorusid. Seda ka juhul kui reeglite kohaselt pole torudele lisatoed vajalikud. Nõnda on võimalik parandada ka raami väändejäikust.



Sele 1.9. Kolme toruga rooli toetus

Raami tagumisi komponente paigutades tuleks lähtuda sellest, et need saaks paigutada võimalikult kompaktselt, kuid reeglitele vastavalt. Samuti on oluline meeles pidada, et enamus bagi raskusest moodustavad juht ning tagumised komponendid: need komponendid tuleks paigutada võimalikult madalale. Raskuskeskme kõrgus mõjutab manööverdatavust, ümberpaiskumist ja libisemist. Bagi raskuskeskme kõrgus on soovitatav projekteerida $\leq 0,6$ m ja rööbe vähemalt 1370 mm. Sellisel juhul on arvutuslik ümberpaiskumise kiirus 91 km/h kurvi raadiuse 50 m puhul. Külglibisemise kiirus 85

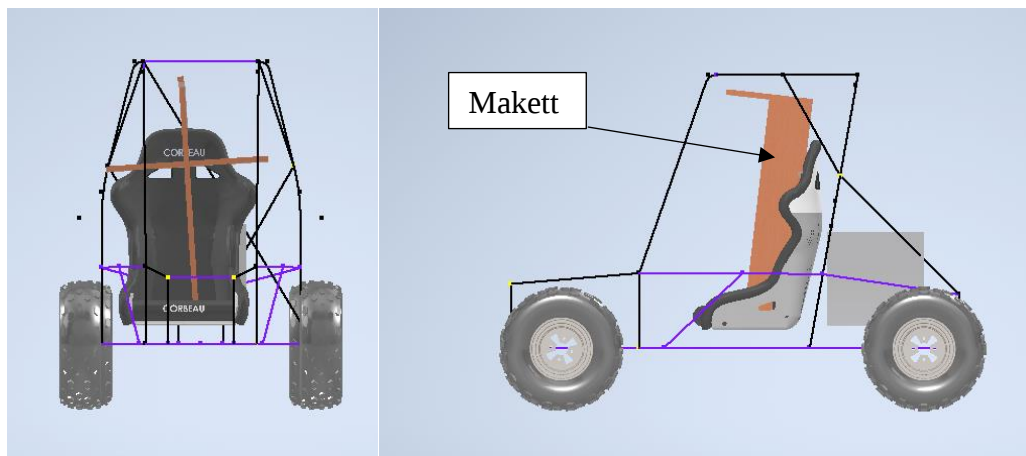
km/h kurvi raadiuse 50 m puhul kuival asfaltkattel. Selline raskuskeskme valik tagab bagi sõiduohutuse, sest bagi hakkab enne libisema kui paiskub ümber.

Antud toruraami projekteerimise juhendit luues on võetud arvesse lisaks reeglitele vastavusele ka järgmised eesmärgid:

- valmidus elektriajamiks;
- toruraami mass on alla 60 kg;
- toruraami väändejäikus vähemalt 1,2 kNm/°;
- võimalikult vähe painutatud torusid (näiteks alla 5);
- võimalikult väike turvastruktuuri deformatsioon võimaliku kokkupõrke ja ümberpaiskumise olukorras;
- rasked komponendid (näiteks mootor, iste, reduktorid) põhjale võimalikult ligidal, et hoida bagi raskuskeset võimalikult madalal.

1.3. Toruraami lahenduse projekteerimine

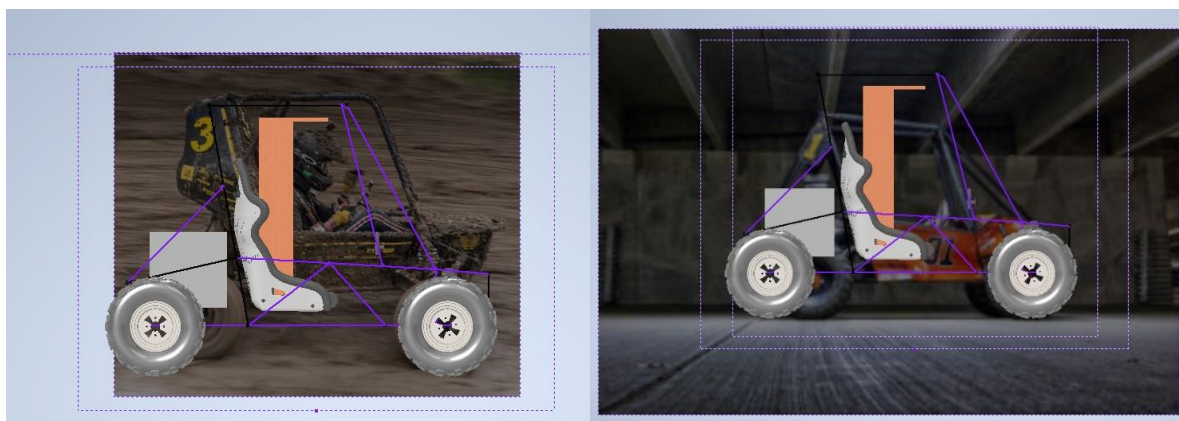
Toruraami projekteerimisel tuleks alustada baaskomponentide valimisest ning nende asetusest (Sele 1.10). Esmalt tuleks valida kasutatavad mootor, iste, pedaalid, ja rooliseade ning paigutada need juhile mugavalt ja optimaalselt. Seejärel saab hakata looma komponentide ümber raamipunkte ning järgida nende vastavust võistlusklassi reeglitele. Samuti tuleks valitud istmega kasutada reeglistikus välja toodud juhi maketti, et tekiks reaalsem ettekujutus istuja ruumivajadustest. Punktide loomise järel saab need ühendada esmase raami sõrestiku jooniseks. Silmas tuleb pidada jõuülekande komponentidele vajaliku ruumi tagamist. Näitlikult on arvestatud, et istme ja raami vahele peab jääma 100 mm kardaani läbiviiguks. Istme kaugus selle tagusest seinast on näitlikult 30 mm, et istme ja seina vahele mahuks tulekindel materjal.



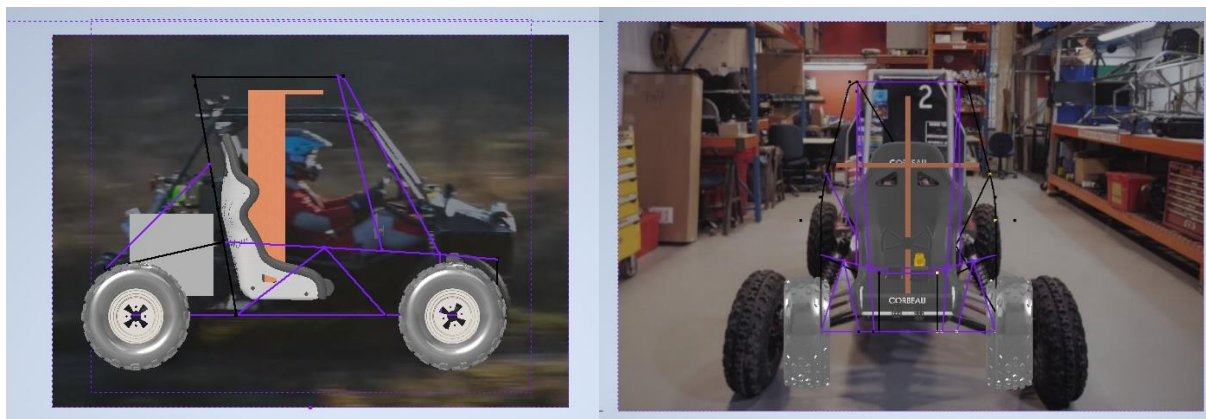
Sele 1.10. Toruraami algne lahendus lihtsa sõrestikuna baaskomponentidega

Algse sõrestiku loomisega tekib ettekujutus komponentide paigutusest ning saab alustada parenduste loomisega. Antud näidisel on võimalik vähendada teljevahet ning juht vajab bagi juhtimiseks rohkem jalaruumi. Vedrustuse punktide vaatenurgast on parem tuua turvakaare esimesed torud ettepoole, et neile saaks hiljem kinnitada amordi. Peale nende kohanduste tegemist tuleb kontrollida torude vastavust reeglistikule ning vajadusel luua vajalikud toed.

Hõlpsamaks ettekujutuseks saab loodud raamisõrestiku taustale tuua ka teiste võistlusklassi bagide külg-, ja eestvaateid. (Sele 1.11)(Sele 1.12)



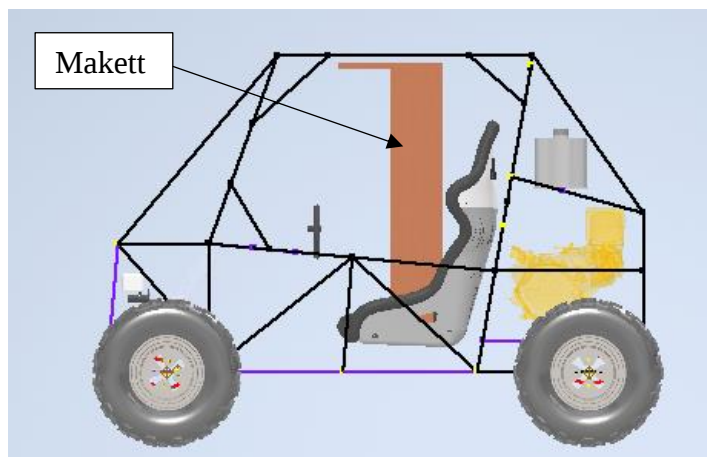
Sele 1.11. Külgvaate võrdlus Michigani ülikooli bagi (vasakul) ja Oregoni ülikooli bagi (paremal)



Sele 1.12. Külgvaate võrdlus Tallinna Tehnikakõrgkooli ja eestvaate Montreal ülikooli bagiga

Antud algse toruraami eesosa on justkui kombineeritud kahest eri versiooni raamist. Lihtsam on kogu eesmiste vertikaaltorude osa tuua ettepoole. See tagab nii parema amordipüstaku kinnituskoha kui ka suurema sõitjaruumi. Paremaks ettekujutuseks tuleb koostu tuua ka õiges proportsioonis mootori koost, mida on võimalik alla laadida SAE BAJA kodulehelt. Lisaks tuleb toruraami tagaosa torud luua selliselt, et need toetaks raami terviklikult ning kataksid oma tasapindadega tagaosas olevad komponendid. Samuti tuleb lisada reeglistikule vastav kütusepaak. Kütusepaagi joonised on saadaval Pyrotect veebipoes. Mootori tagumise osa ning istmetaguse plaadi vahele võiks jääda 40-

50 mm vaba ruumi, et vältida plaadi kuumenemist. Kasutatava maketi ja horistontaalsete peakaare torude vahele 10 mm jagu ruumi. Samuti saab luua raamile erinevad toed kohtadesse, kus on juba olemasolevad torud „hõredalt“ või esineb raskemaid toetust vajavaid komponente. (Sele 1.13)

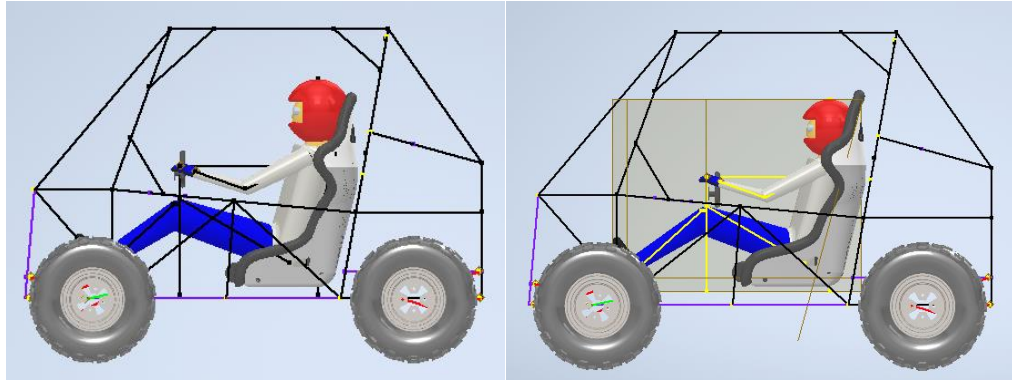


Sele 1.13. Baaslahenduse bagi baaskomponentidega

Toruraami disainides peab aluseks võtma selle, et seda peab olema võimalik juhtida nii 95% statistilise esindatusega mehel kui ka 50% statistilise esindatusega naisel (Sele 1.14). Sellest tulenevalt tuleb pedaalid ja rool paigutada sellisest, et mõlemal juhul on võimalik nendeni ulatuda. Parameetrid, millega juhi istumisala projekteerides arvestada on toodud allolevas tabelis 4.

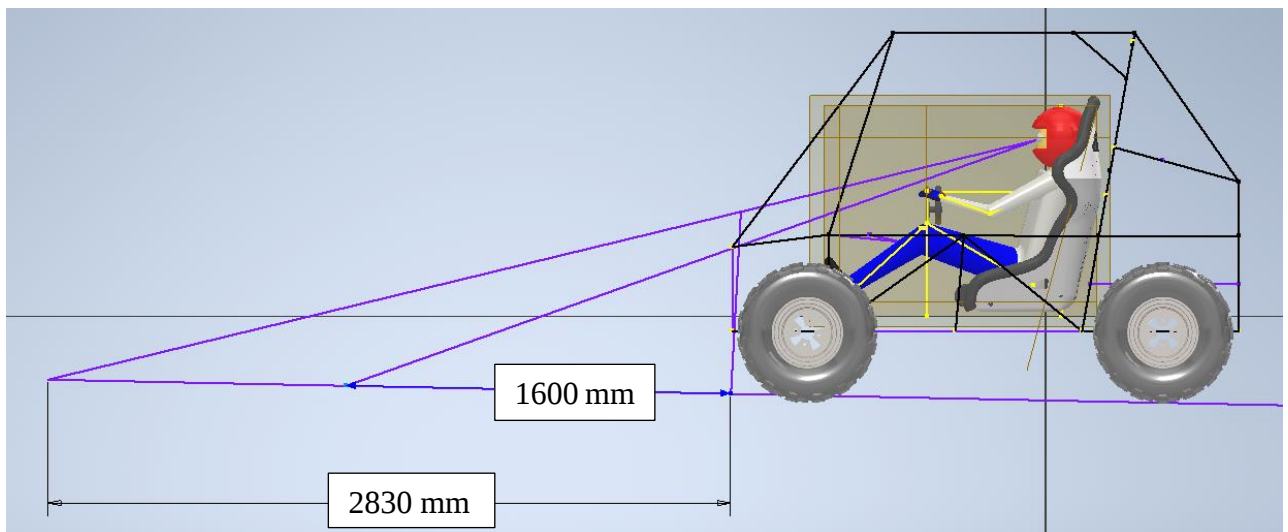
Tabel 4. 95% statistilise esindatusega mehe ja 50% statistilise esindatusega naise parameetrid [5] [6] [7] [8]

Parameeter	95% mees	50% naine
Pikkus, mm	1870	1640
Kehakaal, kg	97	65
Käte haardeulatus (pöidla otsteni), mm	870	730
Õlavöörme kõrgus (istudes), mm	640	550
Rinna kõrgus (seistes), mm	1500	1330
Silmade kõrgus (istudes), mm	840	730
Küünarnukkide vaheline kaugus, mm	620	470

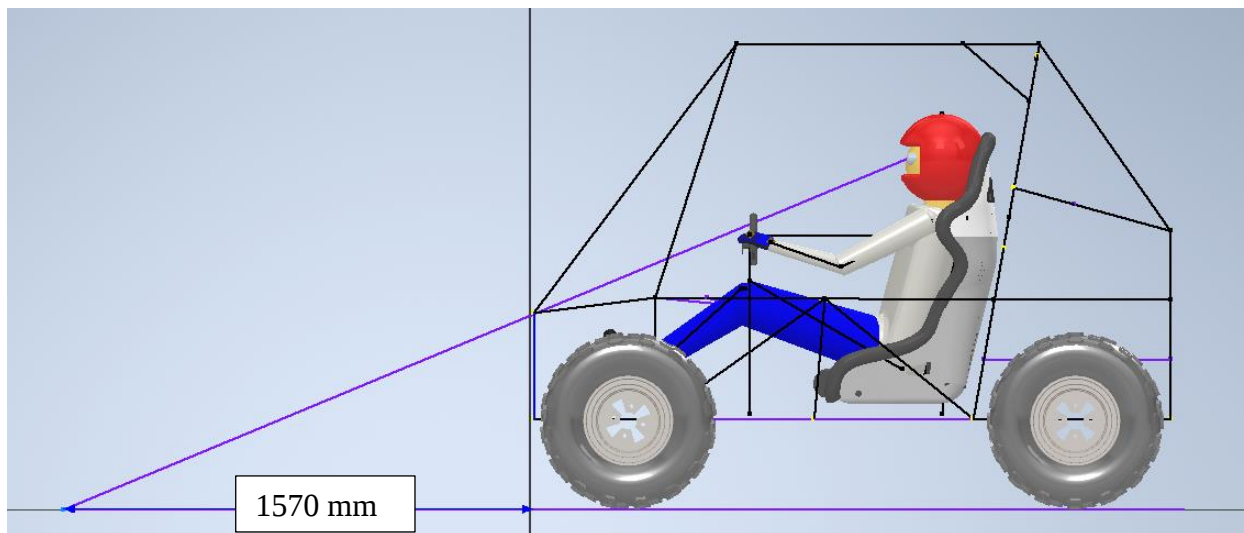


Sele 1.14. 95% statistilise esindatusega mees ja 50% statistilise esindatusega naine paigutatuna toruraami alglahendusse

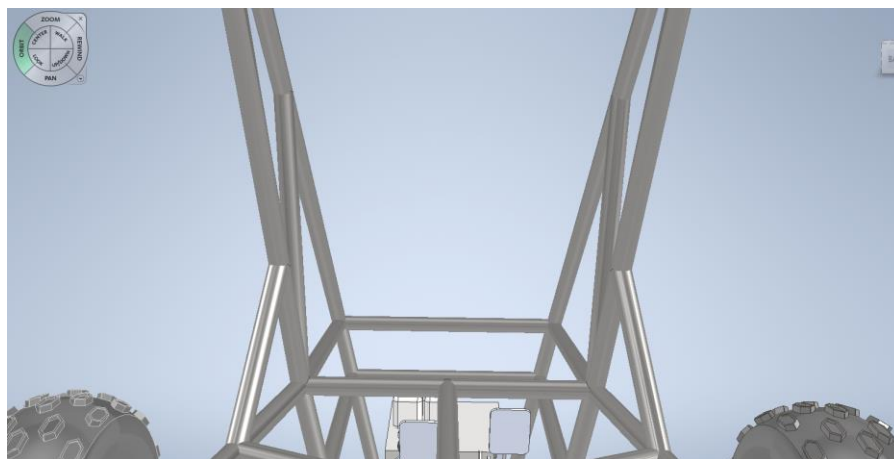
Taolise disainiga piiravad eesmised horisontaalsed torud juhi vaatevälja oluliselt. Samuti pole hea nähtavus sõiduki ees toimuvast. Sellest lähtuvalt tuleb langetada eesmisi horisontaalseid torusid. Sellised valikud tuleb aga langeta selleks, et parendada juhi vaatevälja, mis on antud võistlusklassis suuresti edu aluseks. Eelkõige tuleks lähtuda 50% statistilise esindatusega naisjuhi perspektiivist (Sele 1.15). 95% statistilisel meesjuhil on silmade piir kõrgemal ning ta näeb paratamatult rohkem bagi ees toimuvat (Sele 1.16). (Sele 1.17) (Sele 1.18)



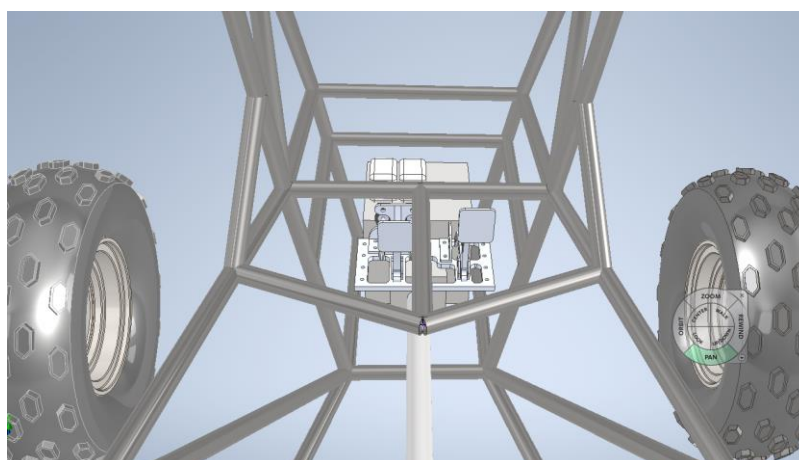
Sele 1.15. Nähtavus raami alglahendusega sõiduki ette enne ja pärast esimeste horisontaaltorude muutmist 50% esindatusega naisjuhi puhul



Sele 1.16. Juhi nähtavusulatus raami alglahendusega bagi ette 95% esindatusega mehe puhul

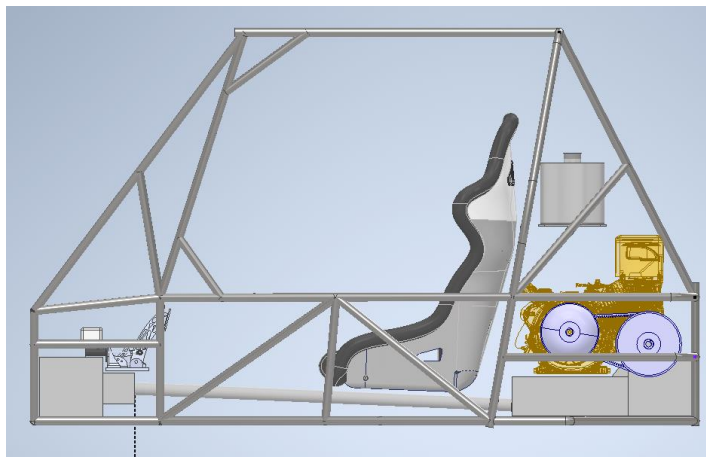


Sele 1.17. Juhi vaade otse ette



Sele 1.18. Juhi vaade ratastele

Lisaks on võimalik bagi eesosa muuta kompaktsemaks just allosas. Esiredukti ümbruses on palju tühja ruumi ning bagi esiosa geomeetria saaks lahendada trapetsi näol. Mootori ning jõuülekandekomponeente hoolikamalt planeerides ja kompaktsemalt paigutades on võimalik ka bagi tagaosas olevaid elemente tuua allapoole, mis parandavad raskuskeskme asetust ning juhitavust. Samuti saab parandada sellega bagi tagaosa toetust sobivamatesse punktidesse. (Sele 1.19)



Sele 1.19. Toruraami arendatud lahendus baaskomponentidega külgvaates

Lõppkoostuna peaks kõik komponendid asetsema toruraami üsna lähestikku, kuid piisavate vahedega, et tagada ohutus. Algse toruraami valmides, saab edasi liikuda vedrustuse punktide loomisega. Üldiselt määrab siiski raami olemuse vedrustuse punktide asukoht. Seega isegi algselt laitmatult tunduva toruraami disain võib veermiku komponente projekteerides sootuks muutuda. Ennetavalt tuleks mõelda ka vedrustuselementide kinnituspunktile. Arukas on need projekteerida, vähemalt esialgselt, kohtadesse, kus on mitme toru ühendused või raami toed. Enim populaarsemad on lihtsad õõtshoobade poldiga ühendatavad kinnitused, mis on keevitatud raami külge. Sinna on õõtshoobasid lihtne kinnitada ja samal ajal säilib vedrustuselementide liikuvus.

Võimaliku pukseerimisvajaduse jaoks peab olema bagil nii ees kui taga pukseerimispunktid, kuhu ühendatakse konks või kinnitusklamber. Pukseerimiskohtadest peab olema võimalik tõsta tervet bagi. Ka nendel elementidel on profiilinõuded [1].

1.4. Raami vastavus ja optimeerimine e-BAJA reeglistikule

Uuenduslikkuse loomiseks on Indias peetaval võistlusel lubatud ka võistelda e-BAJA võistlusklassis: elektrilised bagid. Kaasaegsus muudab võistlusformaadi huvitavaks. Arvestada tuleb akude mahutavusega ning sellega, kuidas võistluse vältel seda optimaalselt kasutada. Vastuoluliselt tavaformaadis SAE BAJA formaadile on ajami komponentide valimine üsna vaba, kuni need

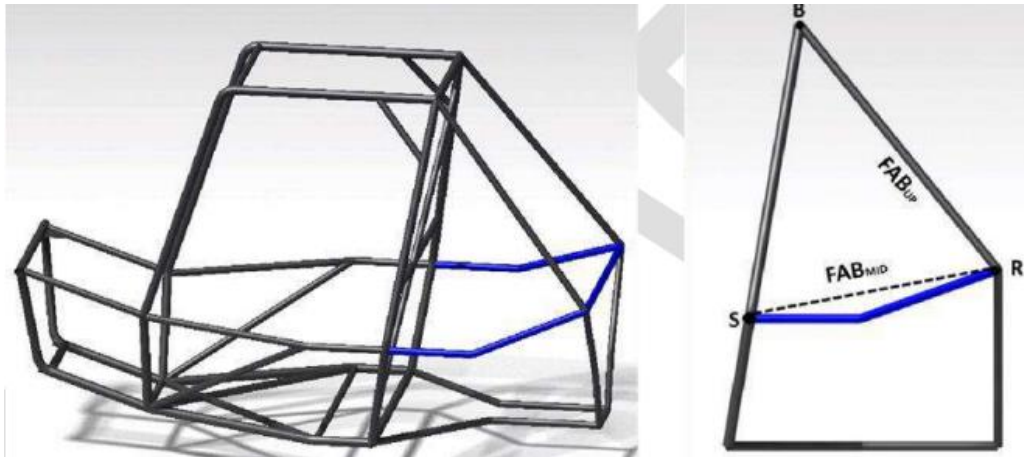
vastavad nõutud reeglitele. Tavapärase nõutud Kohleri mootori tarne siinsesse regiooni sisuliselt võimatu.

Elektriajamiga bagi puhul on kasutatavateks komponentideks tava võistlusklassiga analoogselt aku või alalisvoolu konverter. Mõlemad peavad olema paigaldatud bagi tagumisse ossa tulemüüri taha. Nõuded toruraamile on e-BAJA võistlusformaadis samad, mis traditsioonilisel. Jõuülekande komponendid võivad olla liitiumioon aku baasil, mille mahutavus ei tohi ületada mis tahes ajal 120Ah. Pinge, kaasa arvatud laadimispinge, ei tohi ületada 60V. Kõik kasutatavad elektriajami komponendid peavad vastama standardile, mis puudutab tolmu ja vee sattumist komponentidesse. Jõuülekande maksimaalne võimsus mõõdetud aku terminalilt ja mootori juhtmooduli vahel võib olla maksimaalselt 9kW. [9]

Liitiumakupakid ja nende asetus peavad vastama AIS156 standardile ning muudele reeglites esitatud nõutele. Akupakk peab asuma bagi tagaosas, tulemüüri taga ja olema tulekindel. Akupaki korpus peab olema kinnitatud toruraami külge jäigalt, et vältida selle liikumist mis tahes suunas ning olema kaitstud tagant- ja külgekokkupõrke eest. Ükski elektriajami komponent ei tohi asetseda bagi põhjast allpool. Elektriajamiga bagidel on nõutud istme seljatoe tagusel tasapinnal ka oranž vilkur, mis teavitab elektriajami sõiduvalmisolekust. [9]

1.4.1. Aku eemaldamise reeglid

Kestvussõidus tohivad võistlejad akupakki vahetada. Selleks on aga kindlad reeglid sõltuvast sellest, kuhu akupakk on toruraami ja selle komponentide suhtes paigutatud. Kui akupakk asub SR tasapinnast (Sele 1.20) allpool, tohib akut eemaldada küljelt või tagant ainult horisontaalselt liigutades. Akupaki asetsedes SR tasapinnast osaliselt või täielikult üle, tohib akupakki eemaldada ainult sellest tasapinnast ülevalt suunast. Seejuures võib pakki liigutada nii horisontaalselt kui vertikaalselt, kuid maksimaalne lubatud vertikaalne liikumine on 254 mm. Mõlemal juhul akupakki vahetades, peab jääma vahe toruraami torude ning aku vahele vähemalt 50,8 mm. Need aspektid on olulised toruraami projekteerides ja selle muutmises. [9]



Sele 1.20. Toruraami SR tasapind [9]

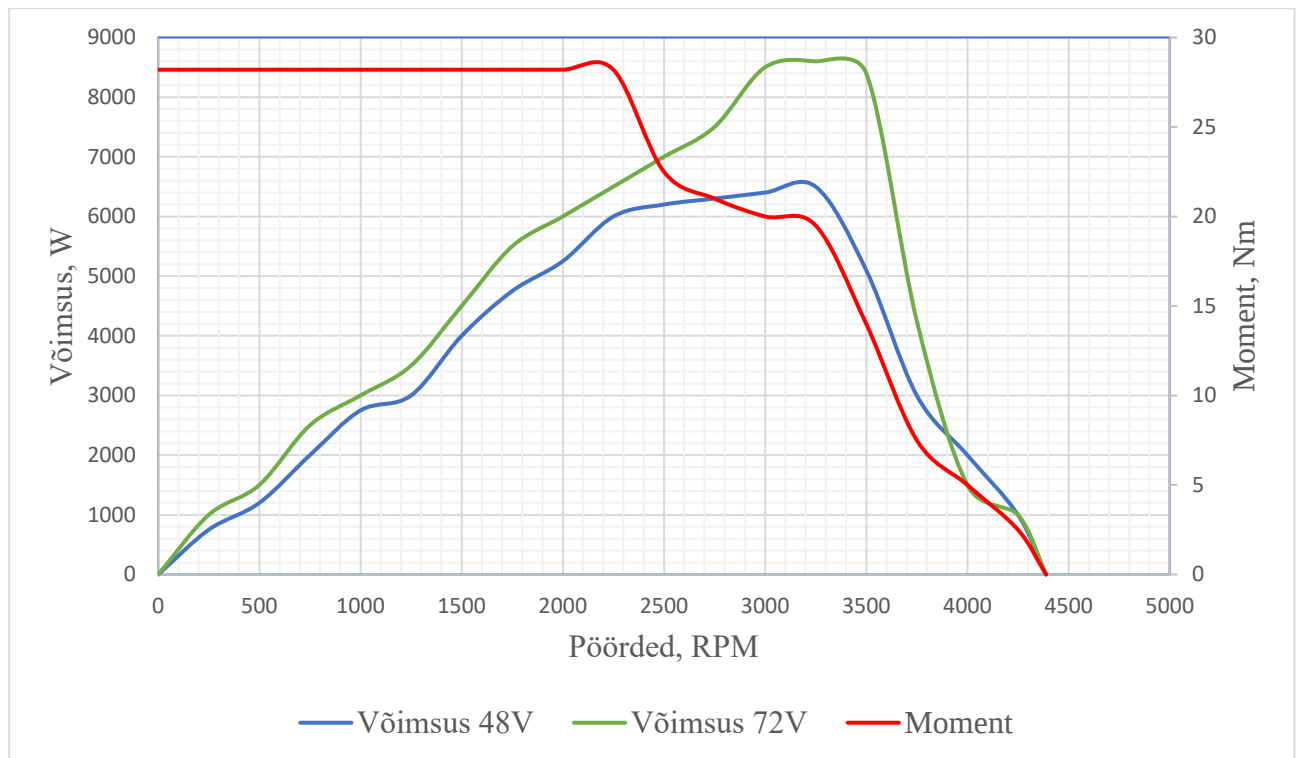
1.4.2. Komponentide valik

Efektiivse ja konkurentsivõimelise bagi jaoks on vaja valida selleks sobivad ning reeglistikule vastavad elektriajami komponendid. Selleks tuleb leida kohalikult kätte saadavad alternatiivid.

Näitena saaks kasutada liitium-ioon aku mooduleid nominaal- ja maksimaalpingega vastavalt 48V ja 54,6V [10]. Sellise akuelemendi mõõtmed on 315X304X76 mm ning mahtuvus 24,45Ah [10]. Kasutades nelja akuelementi oleks akupaki mahtuvus 97,8Ah.

Laialdaselt on elektrimootorina levinud harjadeta alalisvoolumootor. Siinse turu vaste sellisele mootorile oleks HPM5000 alalisvoolumootor võimsusega nominaalvõimsusega 5kW ja 48V juures piikvõimsusega 6,5kW. Elektrimootori võimsuse- ja momendikõverad on toodud graafikul (Sele 1.21) [11]. Sisepõlemismootori kontekstis oleks see võrreldav 400cm³ mootoriga [11]. Sellist elektrimootorit on võimalik tellida Leedust. Elektrimootoriga soovitatakse kasutada KLS-8080I elektrimootori kontrolleri. Võimalusel saab soetada kõikide vajalike komponentidega elektrilist arenduskomplekti, mille tulemusena on sõiduki piikvõimsus 8,6kW [12]. Piikvõimsuse saavutamiseks peab kasutatav pinge olema 72V, kuid momendikõver sellest ei muutu. [13]

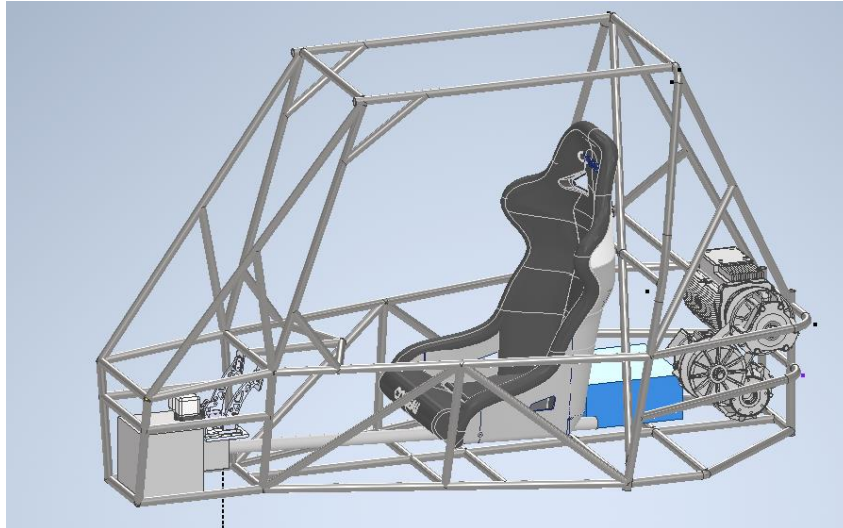
Vastavalt valitud akupaki elementidele ja mootorile on vajalik valida ka elektrimootori kontrolleriid, akulaadija, alalisvoolu konverter ja muud elektriajami komponendid.



Sele 1.21. HPM5000 mootori võimsuse- ja momendikõverad 48V ja 72V puhul [11]

1.4.3. Raami kohandamine

Elektrimootori ja võimaliku käigukasti ülekandekomponentide kasutamise korral tuleb bagi tagaosa teha vähemalt keskosas laiemaks, et katta elektrimootor ja selle komponendid. Samuti peab liigutama ülespoole tagumiste õõtsuobade kinnitustoru, et akupakki oleks võimalik reeglitele vastavalt vajadusel eemaldada. Muudes aspektides saab kasutada olemasolevat projekteeritud toruraami. Kontrollereid ja konverterid saab mugavalt mahutada istmeplaadi taga olevale alale bagi tagaosas. Akupakk tuleks asetada tagaosas võimalikult paremale küljele, et sellest mahuks mööda kardaadvõll ja säiliks nelikveolise süsteemi võimalus. Sisepõlemismootorile disainitud kütusepaagi toru saab jätta lisamata või kasutada lisatoena. Ülekande suurusjärk on valdavalt sama, mis sisepõlemismootoriga analoogil. Mootor on oluliselt väiksem, sest väiksem elektrimootor toodab rohkem võimsust kui samade näitajatega sisepõlemismootor. Bagi tagaosas olevad kaarjad torud aitavad mahutada tagant laiema osaga elektrimootori ning vajadusel suuremamõõtmelise ülekande (Sele 1.27). Lõplike tugitorude lisamise järel tuleks analüüsida tekkivaid vedrustuse punkte ning neid testida. Vajadusel saab nende järgi veel toruraami kohandada. Enamate primaartorude kasutamise tulemusena on toruraami mass oodatust suurem: 62,5 kg.



Sele 1.22. Optimeeritud raam elektriajamile

1.5. Toruraami tugevuse ja jäikuse analüüs

Kokkupõrke puhul on oluline, et raami deformatsioon ei ohustaks juhti. Juhi kehaosad ei tohi sattuda otsekontakti kokkupõrkes osaleva objektiga ja peale kokkupõrget jalad või käed deformeeruva raami taha kinni. Juhti peab olema võimalik masinast eemaldada. Samas peab deformatsioon väljaspool turvapuuri olema, et minimeerida inertskoormust, mis juhile kokkupõrkel mõjub. Seega raam peab olema tugev oma turvasõrestiku poolelt ja muus osas kokkupõrkejõudu ohutult leevendav.

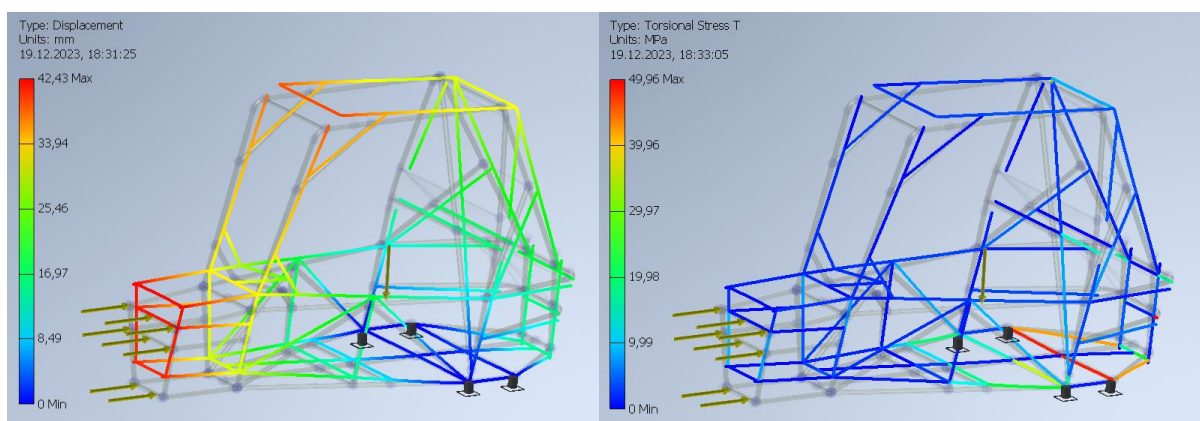
Toruraami tugevusanalüüsiks on vajalik määrata jõudude suurused, mida raamile rakendada, et tekiks adekvaatne ülevaade raami vastupidavusest. Selle tarbeks eeldame, et valmisbagi mass sõitjaga on ligikaudu 350 kg ning kokkupõrked toimuvad kiirustel kuni 60 km/h. Nõnda jääb arvutustele varu, mis on projekteerimisel eelistatud. Tugevusanalüüsides on arvestatud nii eest topelttugedega kui ainult ühe toega raami versiooni, et selgitada välja, kas ohutuse aspektist oleks võimalik ka eemaldada eesmised vertikaalsed tugitorud. Autodesk Inventor tarkvaraga loodud staatilised FEM-simulatsioonid ei anna täit ülevaadet tegelikust kokkupõrkeolekust, kuid on head indikaatorid ja juhised sellele, kus tuleks toruraami parendada ja optimeerida. Samuti ei arvesta staatiline FEM-simulatsioon täielikult kasutatava materjali omadusi ning selle käitumist peale töötlemist. Simulatsioonid on viidud läbi olukordades, kus inertskoormuste mõjuaeg on 0,03-0,15 sekundit.

1.5.1. Laupkokkupõrge

Otsekokkupõrge on üks kõige tõenäolisemaid stsenaariume bagi võistlusklassis. Takistused on erinevat laadi ning samuti võib kokku põrgata teiste sõitjatega. Bagi eesosas on nii olulised esimese reduktori komponendid ja roolimissüsteem kui ka juhi jalad, mis peavad olema hästi kaitstud.

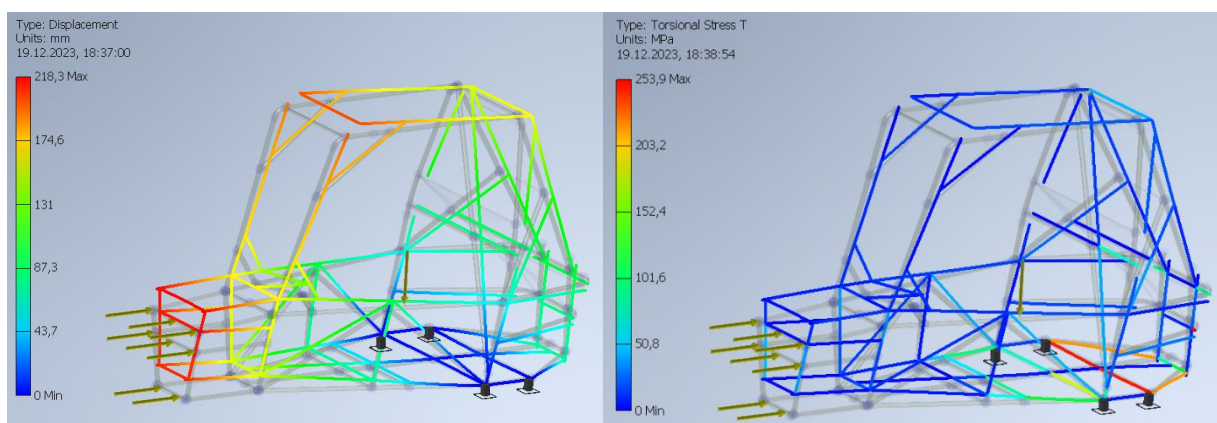
Eeldusel, et kokkupõrke aeg on 0,15 sekundit, on eelnevalt antud massi ja kiiruse juures mõjuv kiirendus 110 m/s^2 . Sellest tulenevalt on raami esiosale mõjuv jõud 38,5 kN. Toestatud on raami kohad, kus on tõenäoliselt kõige raskemad komponendid: istme tagumine toru ja mootori alune horisontaaltoru. Jõu jaotamisel võrdseteks osadeks raami ninaosa kaheksasse punkti on kokkupõrkel suurim deformatsioon 42,45 mm ja maksimaalne mõjuv jõud 49,92 MPa. Enim deformeeruvad ninaosa ülemised torud, kuid mitte piisavalt, et ohustada juhi jalgu ja esireduktorit.

Eesmise vertikaalsete torude eemaldamisel on maksimaalne deformatsioon 42,43 mm ning maksimaalne pinge 49,96 MPa (Sele 1.23). Seega deformatsioon ei muutunud, pinge muutus veidi. See on seotud sellega, et ees olevad topelttorud tekitavad mitu jõuõlga ning laupkokkupõrke korral mõjutab see mõlemaid torusid ja tekivad jõupiigid. Jõupiigid ja deformatsioon tekkisid küll eesmistele vertikaalitorudele, kuid suures pildis nendel otstarvet funktsionaalsuse osas pole.



Sele 1.23. Deformatsioon ja pinge eesmise vertikaalitorudeta laupkokkupõrkel 11 G

Kuna kokkupõrkeaeg võib olla varieeruv korratakse simulatsiooni ka 0,03s kokkupõrkeajaga. Sel puhul on mõjuvaks jõuks 194 kN. Suurimaks deformatsiooniks on 218,3 mm ning pingeks 254 MPa. (Sele 1.24)

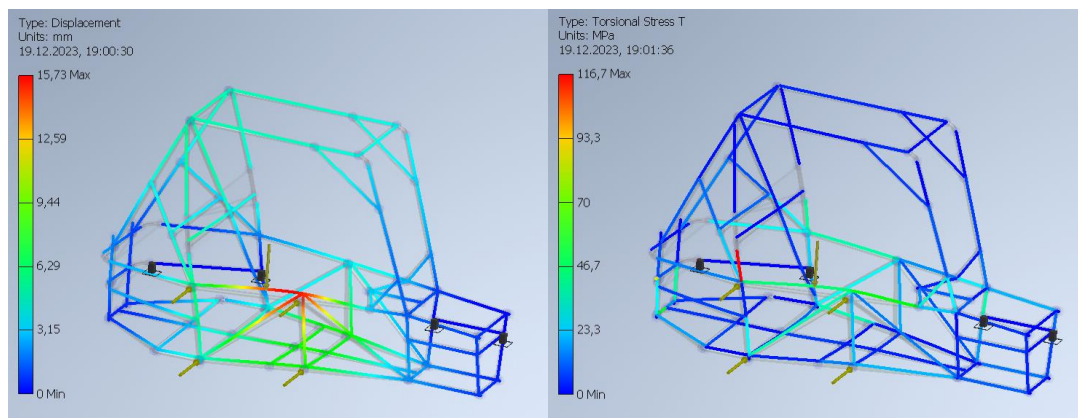


Sele 1.24. Deformatsioon ja pinge eesmise vertikaalitorudeta laupkokkupõrkel 56,5 G

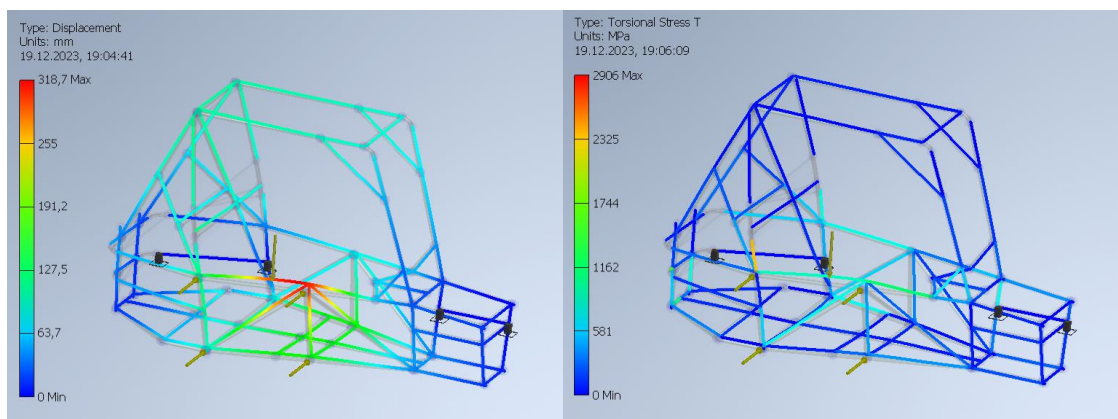
1.5.2. Küljelt kokkupõrge

Küljelt kokkupõrge on samuti väga kriitiline aspekt, sest juht on küljelt suures osas kaitseta. Raam ehitatakse kompaktselt juhi ümber ning oluline on minimaalne deformatsioon, et välistada juhi vigastamist. Külgkokkupõrkel on juhil paljastatud ka suurem pind kuhu vigastusi saada. Sarnaselt eest kokkupõrkega leitakse samamoodi kiirendus. Kokkupõrke kiirus on külgkokkupõrkel samuti simuleeritud samade parameetritega, mis laupkokkupõrge. Toestatud on toruraami vastaskülje õõtshoovade kinnitustorud. Jõu jaotamisel külgosasse neljas võrdses osas juhi ühel küljel on kokkupõrkel suurim deformatsioon 15,68 mm ja maksimaalne mõjuv jõud 115,8 MPa. Ülemine külgmine toru on toru, mida ei saa põikisuunas kuidagi toestada, seega on seal suurem deformatsioon oodata. Siiski ei tohiks selline deformatsioon ohustada juhti.

Eesmise vertikaaltorude kaotamisel on simulatsiooni tulemused 0,15 sekundit kestva kokkupõrke puhul: deformatsioon 15,73 mm ja pinge 116,7 MPa (Sele 1.25) 0,03 sekundit kestva kokkupõrke puhul on tulemused: deformatsioon 318,7 mm ja pinge 2906 MPa (Sele 1.26)



Sele 1.25. Deformatsioon ja pinge eesmise vertikaaltorude puudumisel 11 G

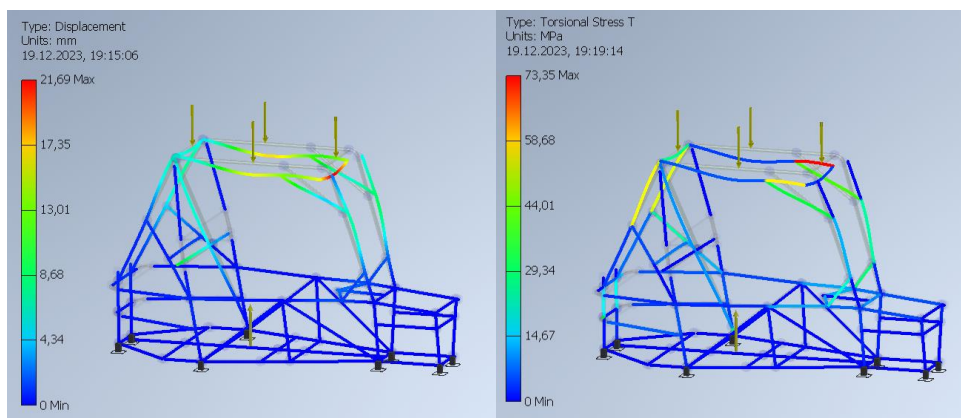


Sele 1.26. Deformatsioon ja pinge eesmise vertikaaltorude puudumisel 56,5 G

1.5.3. Ümberpaiskumine

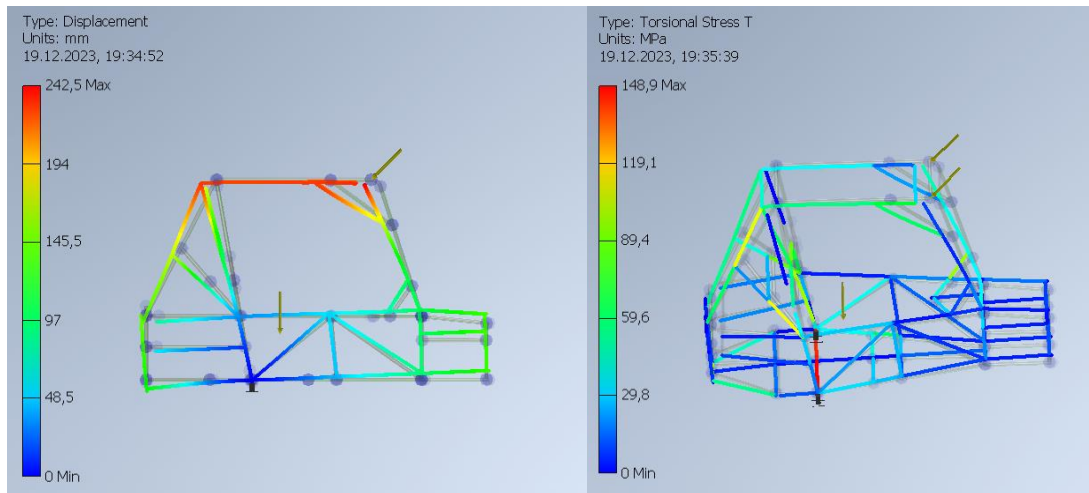
Ümberpaiskumist esineb võistlusformaadis harva, kuid selleks tuleb samuti valmis olla. Kasutatakse juba eelnevalt tuttavaid jõude raami mõjutamiseks 150 ms pikkuse kokkupõrke korral (38,5 kN). Rullumisel rakendub jõud turvapuuri ülaosasse. Kuna üleosas on ruumi üsna vähe on minimaalne deformatsioon vajalik, et kaitsta juhi pead. Projekteerimisel on võetud eesmärgiks, et maksimaalne deformatsioon saab olla 320 mm arvestades 95% esindatusega mehe istumisasendit. Toestatud on toruraami põhjaosa. Jõud jagatud vastavalt neljas võrdses osas otse ülemistele horisontaalsetele torudele või kahe osana ülemiste torude nurgaalale. Simulatsiooni tulemusena on see 21,63 mm ja maksimaalne mõjuv jõud 73,42 MPa koondunud tagumistele tugitorudele.

Teostades simulatsioon eesmistele vertikaalitorudele ja nende tugedeta on suurim deformatsioon 21,69 mm ja pinged 73,35 MPa. Sarnaselt eelneva simulatsiooniga vähesenesid ka sel korral tulemused. Eesmistele torude puudumisel muutuvad pea kohal olevad torud veidi nõtkemaks ning jõupiigid jagunevad raamile ühtlasemalt, kuid samas rohkem tagumistele ja eesmistele vertikaalsetele tugitorudele. (Sele 1.27)

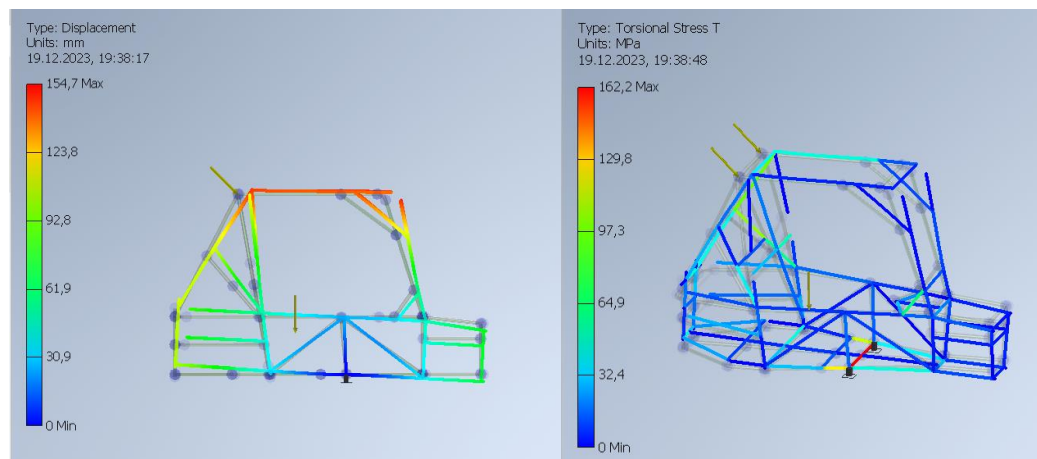


Sele 1.27. Deformatsioon ja pinged eesmistele vertikaalitorudele puudumisel ülerullumisel 11 G

Ülerullumisel on nõrgimaks kohaks sootuks tavaliselt turvapuuri ees ja taga olevad nurgaosad. Neile vastava jõu rakendamise puhul oli suurim deformatsioon esiosal 242,5 mm ja tagaosas 154,9 mm. Maksimaalsed pinged olid vastaval 148,9 ja 162,2 MPa. (Sele 1.28) (Sele 1.29)



Sele 1.28. Deformatsioon ja pingeline ülerullumisel esimestel vertikaalsetel torudel 11 G



Sele 1.29. Deformatsioon ja pingeline ülerullumisel istme tagusele torustiku ülemisele osale 11 G

1.5.4. Tagant kokkupõrge

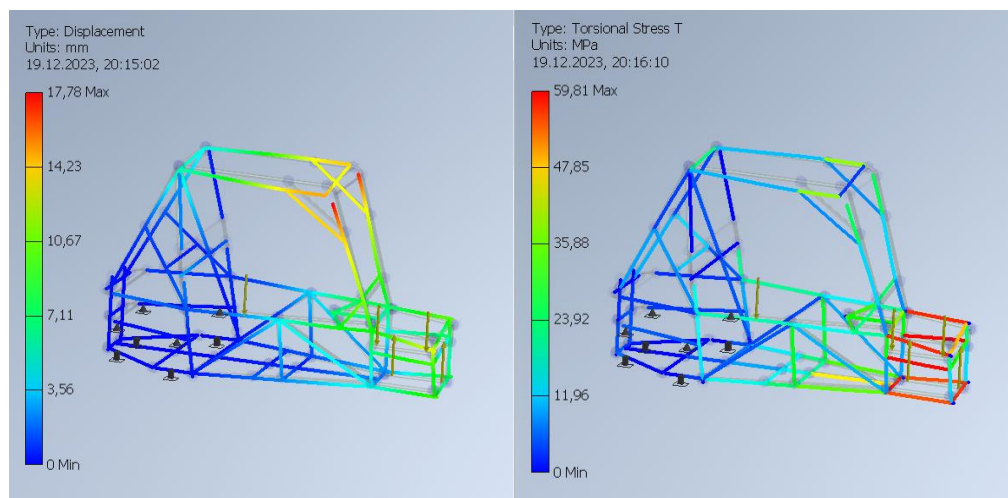
Tagant kokkupõrge on kriitiline bagi tagaosas olevate komponentide jaoks, sest need on tagumistele toruraami osadele väge ligidial ning üksteisele võimalikult lähedastikku paigutatud. Sellest tulenevalt on oluline, et raami tagaosa palju ei deformeeru. Selline kokkupõrkeolukord antud võistlusklassis väga harv ning simulatsiooni tulemusi antud töös ei kajastada, kuid need sobitusid kriitilisse piiri.

1.5.5. Toruraami väändejäikus

Raami väändejäikus on üks olulisemaid näitajaid toruraami analüüsis. See näitab kui palju on raam võimeline kaasa liikuma vedrustuselementidega sedasi, et see liigselt ei deformeeru või sootuks purune. Samas liiga pehme raami puhul kannatab sõiduki juhitavus ja stabiilsus. Kuna tegemist on maastikusõidukiga, peab raam olema võimalikult plastiline, et hõlpsustada üle takistuste liikumist. Väändejäikuse määramisel on tekitatakse olukord, kus pool bagi raskust üritaks justkui „väänata“

raami ümber oma velje. See on sarnane olukorraga, kus bagi seisab ainult kolmel rattal. Väändejäikust saab määrata mõjutades vedrustuse kinnituspunkte samal ajal vastupidiste jõuvektoritega kui raami tagaosa on paigale fikseeritud. Selle jaoks on tõsisematel võistlushuvilistel ka eraldi pingid.

Väändejäikuse simulatsiooni läbi viies eesmistest vertikaalitorudeta on tulemusteks: deformatsioon 17,78 mm, pinge 59,81 MPa (Sele 1.30) Toruraami väändejäikus on üks olulisimaid tugevusanalüüside näitajaid, seega on äärmiselt oluline, et selle simulatsiooni tulemused suuresti ei muutuks. Nii vähene muutus, ei mõjuta ka väändejäikuse arvutamise käiku, sest vedrustuse raamipoolsete punktide muutus jääb samaks.



Sele 1.30. Deformatsioon ja pinge väändejäikuse määramise simulatsioonis 5 G

Raami väändejäikuse leidmiseks tuleb aga leida raami mõjutamisel tekkinud kraadiline muutus. Väändejäikust k (kNm/°) on võimalik leida valemiga (1) [14]:

$$k = \frac{F \times D}{\alpha}, \quad (4)$$

kus F – mõjuv jõud, kN;

D – vedrustuse punktide kaugus teineteisest, m;

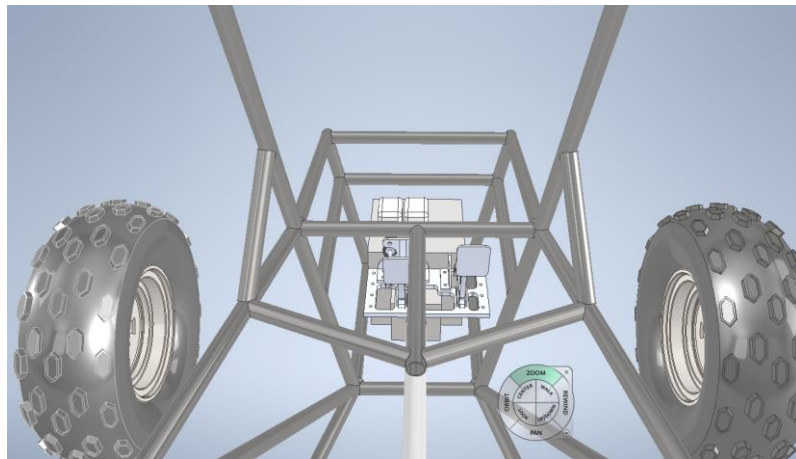
α – raami väändenurk, °.

Kraadilise muutuse leidmiseks tuleb leida nurga puutuja. Selle tulemusena on vedrustuse punktide muutuse kraadiline väärtus lisatorudega kui ka ilma 2,7°, ning raami väändejäikus k (kNm/°) on vastavalt simulatsioonile:

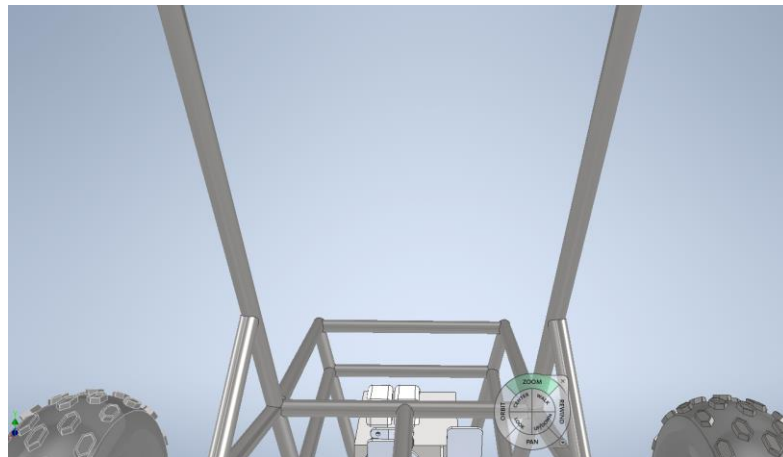
$$k = \frac{17,5 \times 0,225}{2,7} = 1,46 \text{ kNm/}^\circ$$

1.5.6. Raami optimeerimine tugevusanalüüsides sõltuvalt

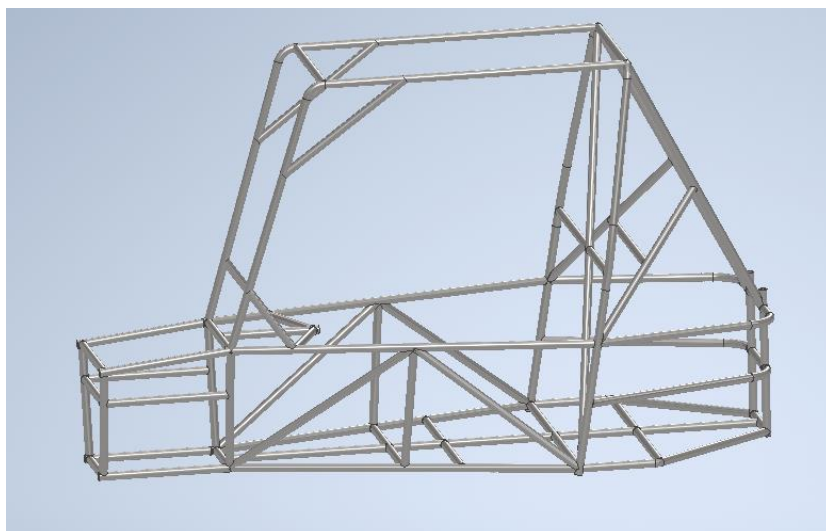
Tugevusanalüüsides selgub, et algselt ja visuaalselt efektiivsed topelt eesmised vertikaalsed tugitorud ei oma tegelikkuses suurt tähtsust. Sellest tulenevalt saab eesmised vertikaaltorud sootuks eemaldada. See vähendab materjali kulu ja aega, mis kulub toruraami valmistamisele. Samuti parendab see juhi vaatevälja, sest see kaotab juhi vaateväljast kokku neli toru: eesmised vertikaalsed tugitorud ja nende toed (Sele 1.31) (Sele 1.32). Visuaalseks parenduseks saab turvapuuri pea kohal olevatele torudele ja eesmistele vertikaalsetele torudele anda raadiused. (Sele 1.33)



Sele 1.31. Juhi vaateväli eesmistele vertikaaltorude puudumisel ratastele



Sele 1.32. Juhi vaateväli eesmistele vertikaaltorude puudumisel otse ette



Sele 1.33. Optimeeritud lõplik raam

Toruprofiili materjali valikul on maksimaalne rakendatava jõu suurus väga oluline. Vastavalt sellele saab määrata toruraami varuteguri, mis teeb sõiduki kasutamise ohutuks ning võimalikuks. Antud bagi prototüübi puhul on soovitud varutegur minimaalselt 1. Nõnda isegi jõupiikide suuremal koondumisel säilib raamil ohutuse aspekt ning see ei purune ega deformeeru hõlpsalt. Erinevad kokkupõrkeolukorrad ning simulatsiooni kohased varutegurid S235 terase kasutamise puhul on toodud tabelis 5.

Tabel 5. Kokkupõrkeolukord ja varutegurid

Kokkupõrke olukord	Suurim pinge, MPa (150 ms / 30 ms)	Kiirendus, ms ² (150 ms / 30 ms)	Varutegur (150 ms / 30 ms)
Laupkokkupõrge	49,96/254	110/555	4,7/raam deformeerub
Küljelt kokkupõrge	116,7/2906	110/555	2,01/raam deformeerub
Ümberpaiskumine	162,2/-	110/-	1,45/-
Väändejäikuse test	59,81	-	3,93

Kokkupõrkeaja varieerumisel 0,03-0,15 sekundi vahel on ekstreemolukorras deformatsioonid külgekokkupõrkel märgatavad. Raam deformeerub jäädavalt, kuid juht ei saa ohtlikke vigastusi. Selle parendamiseks saab külgedele lisada tugitorusid, kuid bagi turvapuuri osa on iseeneslikult puudulik ning horisontaalseid tugitorusid juhi jalgade kõrgusele on peaaegu võimatu lisada, et need ei häiriks juhti ning ta nähtavust. Samuti on probleeme laupkokkupõrkel. Juhi ohutuse ning raami deformatsiooni leevendamise aspektist on mõistlik kasutada esiosas kokkupõrkeleevendit, mille loomisel saab juhendada Formula Student reeglistikust [15].

1.6. Toruraami tootmine

Torude tootmine koosneb toruprofiili valikust, torude lõikamisest, vajadusel painutamisest ning kokku keevitamisest. Kõik Baja võistlusklassi tiimid teevad seda vastavalt oma oskustele ja võimalustele.

1.6.1 Torude valik

Torude valikul tuleb arvestada erinevate jõudu ning pingetega, mis toruprofiilile mõjuvad. Samuti tuleb arvestada reeglistikus antud tingimusi profiilide mõõtmele ning koostisele. Lisaks tuleks arvestada torude saadavusega ning nende omadustega. Alumiiniummetall on väga vastupidav, kuid alternatiivist kallim ja keeruline töödelda. Seega tuleb teha profiili materjalide omaduses, hinnas ja töödeldavuses kompromisse.

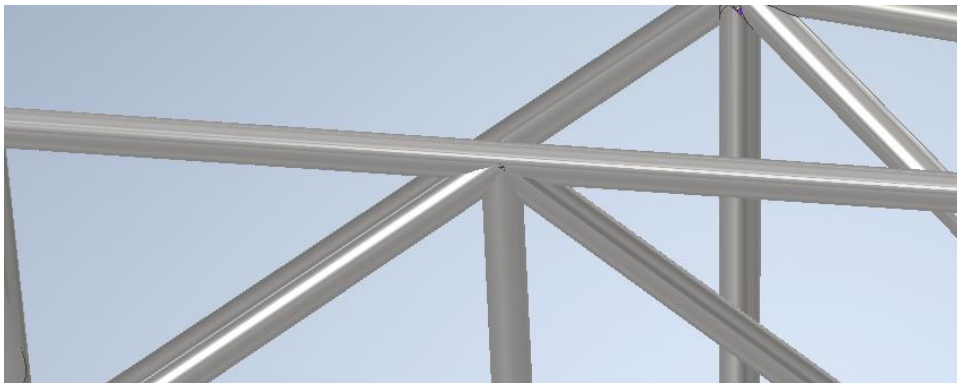
Laialdaselt levinud toruprofiil, mida kasutatakse erinevate struktuurelementide valmistamiseks on S235. Materjal on lihtsasti töödeldav ning keevitav. Materjali omadused sobivad ka BAJA SAE reeglistikus nõutud omadustega ning on toodud tabelis 6. Primaartoruna oleks võimalik valida kuumvaltsitud 26,9 X 3,0 mm mõõtudes ning sekundaartoruna 26,9 X 2,3 mm toruprofiil. Materjali voolavuspiir on 235 MPa. Sellise jõu rakendamise järel naaseb või on võimalik vormida materjal algsesse olekusse. Metalltoru on võimalik ka hõlpsasti painutada, kuid seda peab tegema toatingimustes, et säiliks materjali parimad omadused. Arvestades ilmastikuolusid, kus võistlused toimuvad, on see materjal optimaalne valik. Külmemas ilmastikuoluga võistluspaiga puhul on mõistlikum kaaluda kõrgema klassiga terasprofiili kasutamist. Sellist terast võib ka keevitada ilma ettekuumutuseta [16]. [17] [18] [19]

Tabel 6. S235 terase keemiline koostis [17] [18] [19]

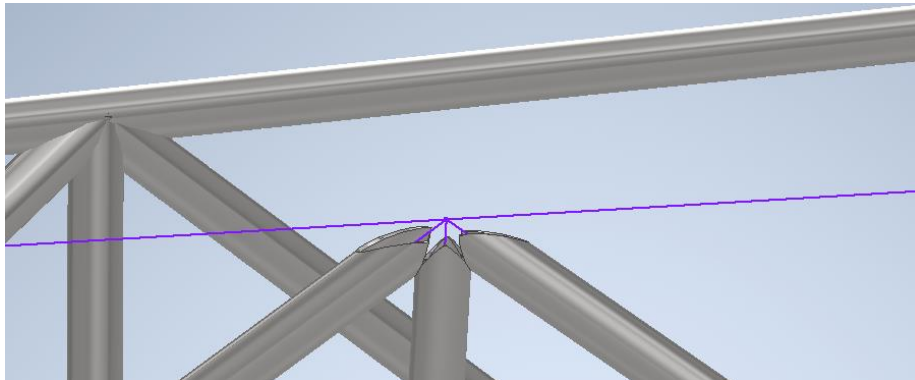
Element, tähis	Kogus (max), %
Süsinik, C	0,22
Mangaan, Mn	1,6
Fosfor, P	0,05
Väävel, S	0,05
Räni, Si	0,05
Lämmastik, N	0,009

1.6.2. Torude lõiked

Toruraami tootmise tarbeks tuleb lisaks torude õigesse mõõtu lõikamisele kasutada laserlõikust määratud nurga alt, et neid oleks võimalik korrektselt kokku keevitada. Selleks peab looma torudele vajalikud lõiked, mida viiakse läbi laserlõikusega. Lõigete eesmärgiks on vältida või minimaliseerida torude teravnurkade teket lõikumiskohtadest. Sellest tulenevalt tuleb valida, millise toruraami torud on primaarsed, mille järgi teisi torusid lõigatakse (Sele 1.34) Peale primaartoru valimist saab teha torudele esmased lõiked, kuid profiile tuleb lõigata ka üksteisest sõltuvalt. Lõpuks tuleb lõiked ka „ümardada“, et tekiks hõlpsasti töödeldavad toruprofiili otsad (Sele 1.45).



Sele 1.34. Toruprofiilide lõikumiskoht enne lõigete tegemist raami külgnevas osas primaartoruga



Sele 1.35. Torude lõiked teineteisest sõltuvalt ning toruotste ümardus

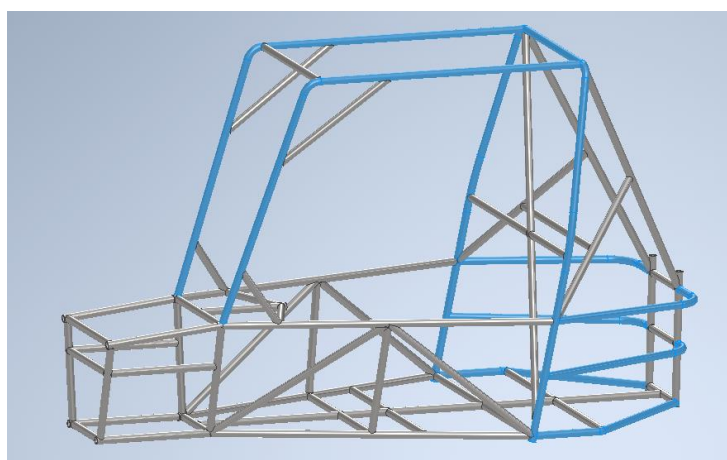
1.6.3. Torude painutamine

Toruraamil on mitmeid osasid, kus on painutatud torud (Sele 1.36) istme taguse raami osa, tagumiste ülemiste õõtsuobade kinnitustorud ja tagumised külgmised kokkupõrketorud. Samuti on painderaadiusega õõtsuobade profiilid. Mitmete painutatud torude liitmisel on oht, et tekkinud hälvete tõttu on raami täpne koostamine häiritud. Seega tuleb leida hea kompromiss painutatud toru

vajalikkuse ja nende vältimise vahel. Painutatud torude puutujate külge on ka keerulisem keevitada teisi lisatorusid. Toru painutamisel kaare välimine osa materjalist muutub õhemaks ning sisemine kuhjub kokku muutudes paksemaks. Seega mõjutab see ka materjali omadusi vastu panna erinevatele koormustele. Painutatud torud ning nende painderaadiused on märgitud tabelis 7.

Tabel 7. Painutatud torude painderaadiused

Toru asukoht	Painderaadius, mm
Turvakaar istme taga	800/50
Turvapuuri ülemised torud	60
Horisontaalne toru raami tagaosas põhjas	60
Tagumiste õõtsuobade kinnitustoru	100
Ülemised tagumised horisontaalne toru	100
Esimised ülemised õõtsuovad	60
Esimised alumised õõtsuovad	50
Tagumised ülemised õõtsuovad	50



Sele 1.36. Projekteeritud toruraami painutatud torud

Käsitsi rakisega painutatud torusid on väga keeruline painutada täpselt ning neid raami tagaosas hiljem „korrustena“ kokku liita. Sellest lähtuvalt saab bagi põhjas paindega toru asendada kahe eraldi toruga. Tulenevalt toruprofiilide läbimõõdust ja erinevatest raadiustest tuleks kasutada hüdraulilist painutuspinki.

Torusid painutades peab arvestama ka sellega, et algselt painutatud toru ei säilita koheselt painderaadiust – torusid tuleb „üle painutada“ ning väikeste raadiuste puhul on oht, et toru ümarprofiil

muljub. See on võimalik vaid täpsete masinatega, millel on määratud hälbed, et tagada torude omavaheline sobivus. Seega on optimaalne lasta torud painutada mõnel kogenud ettevõttel. See on ka soodsam kui painutuspingi soetamine ja rakiste valmistamine. Mitmed ettevõtted pakuvad pöördvormiga painutamist, mis on hea täpsete raadiuste painutamisel.

1.6.4. Keevituse ja komplekteerimise järjekord

Torud tuleb omavahel ühendada keevisõmblustega. Lähtuvalt SAE BAJA reeglistikust ei tohi keevisõmbluseid hiljem harjata ega muul moel töödelda [1]. Keevitustehnoloogia on iga võistkonna vaba valik. Parimaks keevituseks tuleks raami keevitavatel inimestel läbida keevitustehnika kursus ning praktiline keevitusõpe, et valida optimaalne keevituspinge, -vool, ja -kiirus. Samuti on väga oluline teada ohutusmeetmeid, masina kasutusmeetmeid ja töövõtteid.

Keevitusel ja komplekteerimisel on järgmised soovitusel [16]:

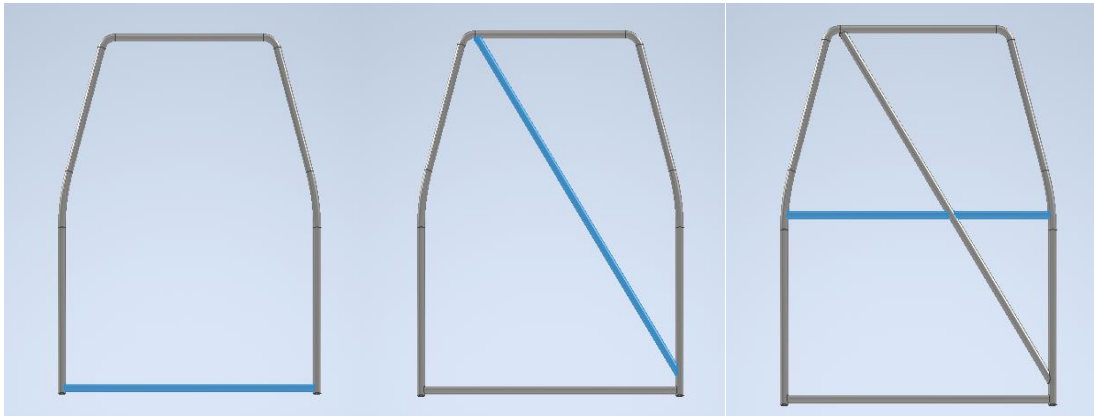
- Kasutada poolautomaatkeevitust MIG/MAG. Detaili tuleb liigutada ja manipuleerida käsitsi, kuid lisametalli etteandeliikumine on mehhaniseeritud. Eeliseks mugavus.
- Kasutada vahelduvvoolu magnetkõrvalekalde vältimiseks.
- Sobiv keevitusvool vältimaks läbipõletust.
- Stabiilsemaks keevituskaarem kasutada väiksemat elektroodi.
- Mida kõrgem on kasutatav kaarepinge, seda liikuvam on õmblus. Liiga madal pinge viib õmbluse liigkumeruseni.
- Liialt kiire liikumine võib põhjustada poore, sisselõikeid ja läbikeevitamatusi. Liialt aeglane kiirus põhjustab sulametalli valgumist keevituskaare ette või õmbluse servale.
- Vesinikpragude vältimiseks on oluline keevitatavad materjalid eelnevalt hoolikalt puhastada.
- Keevitusjärgne protsess on samuti kriitilise tähtsusega, et minimaliseerida keevitusjärgne deformatsioon.
- Kasutada tuleb suurema ränisisaldusega elektroodi. Keevitusel tuleb arvestada, et süsihappegaasi kasutades on õmbluses vähem süsinikku ja mangaani võrreldes argooni ja süsihappegaasi kasutamisel.

1.6.4.1. Koostamisjärjekord

Õige keevitusjärjekorra järgimine on oluline toruraami komplekteerimisel, sest see teeb töö väga palju hõlpsamaks ja efektiivsemaks. Soovitatav keevitusjärjekord antud prototüübil on toodud alltoodud punktidenä. Koostamisel tuleb kasutada ka keevituslauda ehk induktorit koos rakistega, et

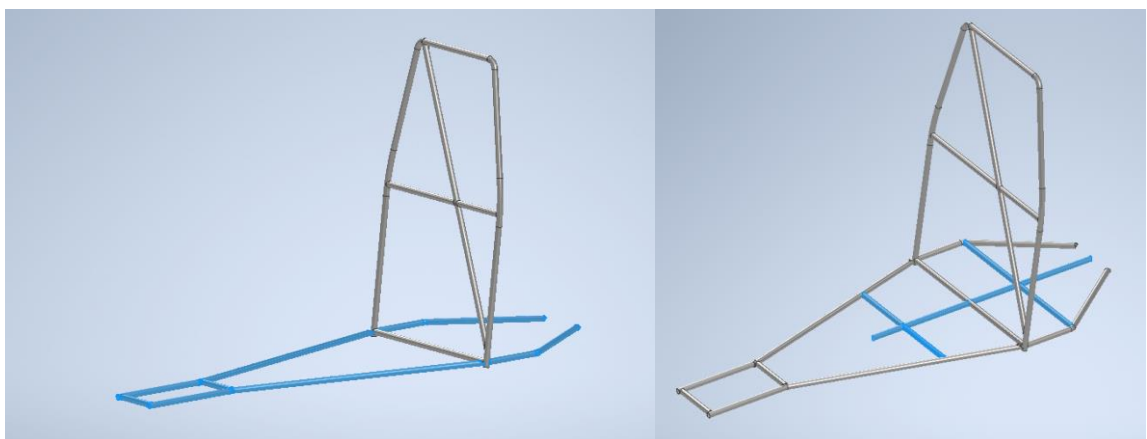
tagada õige torude asetus. Et raami hiljem rakistest hõlpsamalt kätte saada, tuleks algul ühendada torud vaid punktidega ning hiljem keevitada täisõmblused.

1. Esimesena keevitatakse kokku istme tagune tulemüüri torud. See on terve toruraami üks olulisimaid osasid ning kogu raam on sisuliselt selle komponendi ümber projekteeritud. Esmalt painutatud suur toru ning selle alune toru. Selle järel diagonaaltoru ning turvavööde tugitorud. (Sele 1.37)

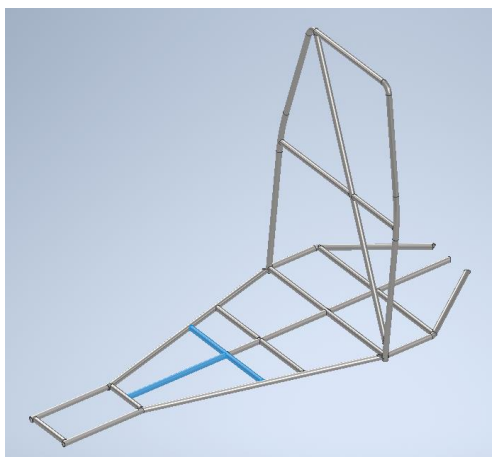


Sele 1.37. Istme tagune toruraami osa

2. Istme tagusele osale on seejärel mõistlik keevitada toruraami põhja primaarsed torud ja seejärel seda toetavad ja sekundaarsed torud (Sele 1.38). Sekundaarsed torud on töö lihtsustamiseks optimaalne lisada mitmes osas (Sele 1.39). Sedasi saab raami stabiliseerida ning sellega on lihtsam edasi töötada.

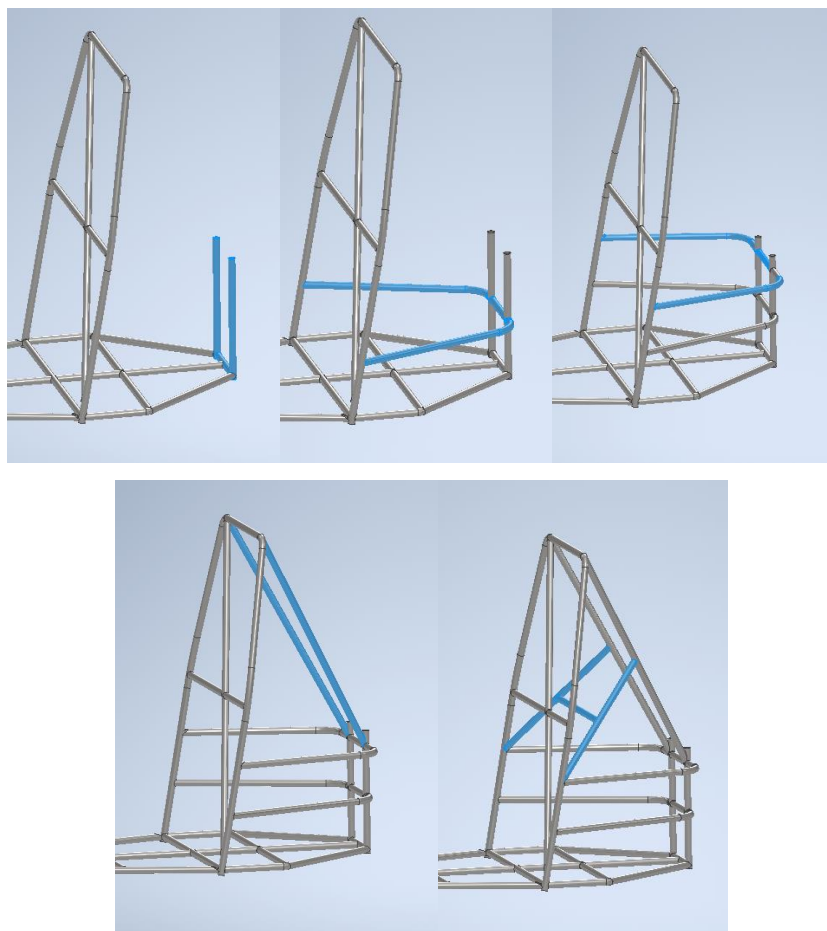


Sele 1.38. Põhja primaarsed torud (vasakul) ja osa toetavatest torudest



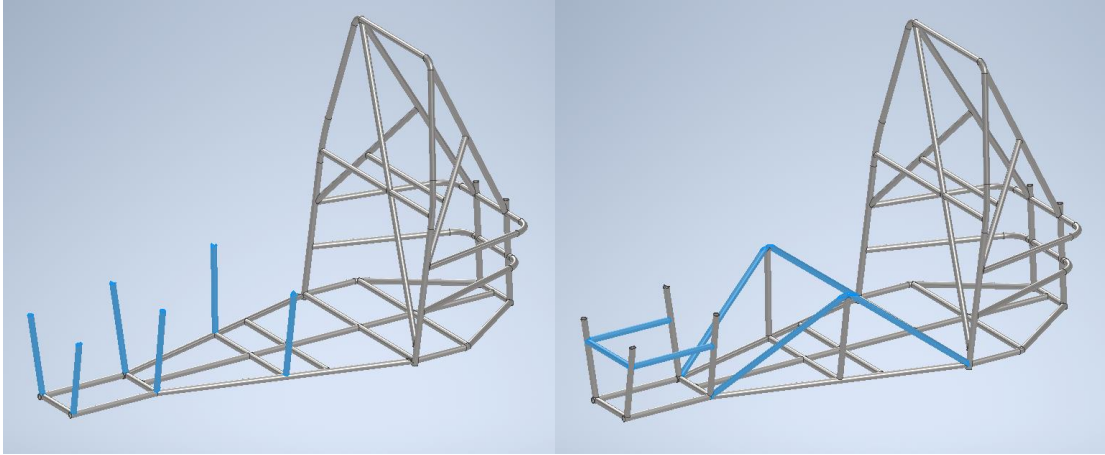
Sele 1.39. Sekundaartorude keevitus teine osa

3. Seejärel tuleb komplekteerida toruraami tagumine osa. Alustada tuleks tagumistest vertikaaltorudest ning alumisest horisontaaltorust. Sellel ajal on ka mõistlik toruraami sisse paigutada mootor ja suuremad jõuülekandekomponendid ning nende kinnitused. Edasi saab tagaosa kokku keevitada „korrustena“ (Sele 1.40).



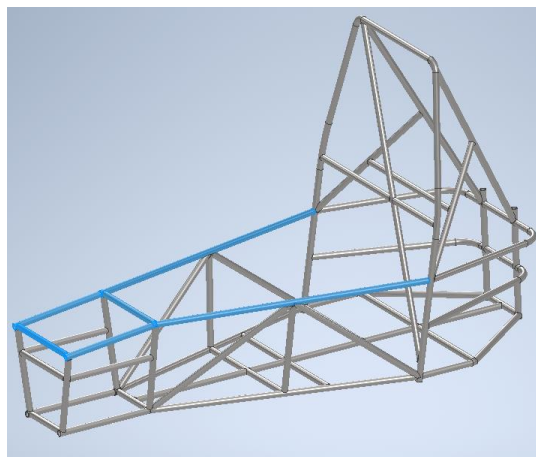
Sele 1.40. Bagi toruraami tagaosa „korrustena“ keevitamine: ülemised torud ja toed

4. Tagaosaja valmimisel saab edasi liikuda raami eesmise osa komplekteerimisele. Saab järgida sama põhimõtet, mis tagaosana - raami saab ehitada korrustena: esmalt vertikaalsed torud ning seejärel horisontaalsed õõtsuubade torud ja külgmised tugitorud (Sele 1.41)



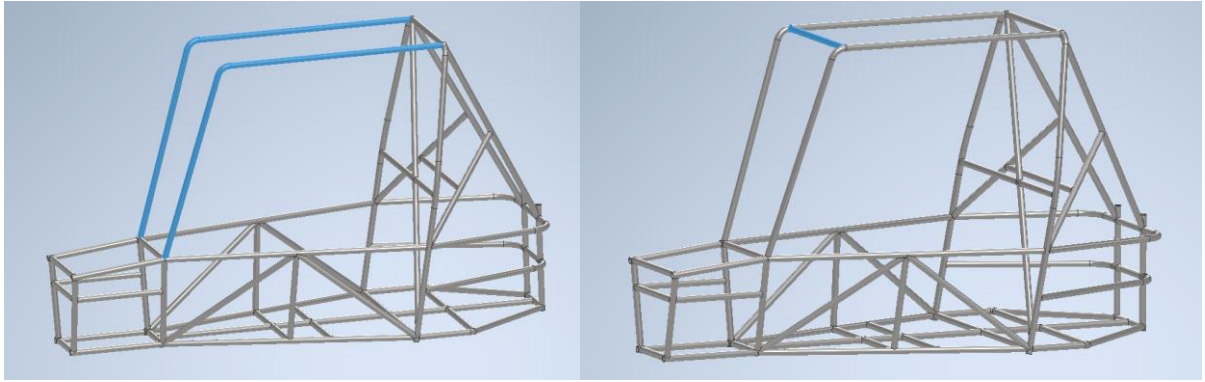
Sele 1.41. Eesosa vertikaalsed torud ja külgmised tugitorud

5. Peale eelnevate torude lisamist saab lisada külgmised horisontaalsed torud (Sele 1.42).



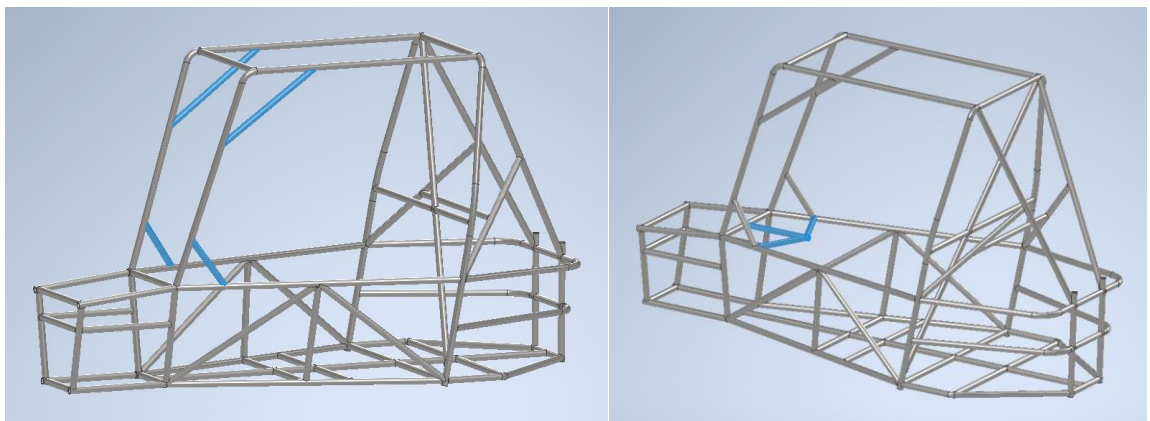
Sele 1.42. Eesosa külgtorud

6. Järgmisena saab keevitada turvapuuri kaartorud ning nendevaheline horisontaalne toru (Sele 1.43)



Sele 1.43. turvapuuri kaartorud ja horisontaalne tugi

7. Eelviimase etapina tuleb toruraamile kinnitada selle toed: turvapuuri toed ja roolisamba toed. Samas tuleb tähelepanelikult jälgida, millised toed on mõeldud raami ülemisele osale ning millised alumisele (Sele 1.44)



Sele 1.44. Turvapuuri ja roolisamba

Toruraami täpsed koostejoonised on toodud lisades 1-9.

1.6.5 Suuremate baaskomponentide saadavus ja tarne

Komponentide saadavus ja tarne mõjutavad oluliselt bagi ehitusprotsessi. Selleks on mõistlik valida laialdaselt levinud komponendid, mida saab hankida vajadusel mitmest kohast, et oleks tagatud nende olemasolu ka nende purunemisel. Tabelis 8 on märgitud suuremate baaskomponentide saadavus ning nende tarneajad. Sellest selgub ka tõsiasi, et nõutavat sisepõlemismootorit on võimalik SAE International kaudu tellida vaid Ameerika Ühendriikide ja Kanada piires [20]. Sel juhul ei saa seda eelnevalt bagisse proovida, vaid alles bagi ehitamise lõppstaadiumis enne võistlusi. Selle valguses on

elektrijamiga bagi ehitada isegi hõlpsam, sest suuremad komponendid on hõlpsamalt saadaval (Tabel 7).

Tabel 8. Suuremate baaskomponentide saadavus ja tarne

Komponent	Tootja, asukoht	Tarne	Hind, €
Mootor Kohler CH440	Gardner, Ameerika	Tarnimine ainult USA piires või Kanadas [20]	Transpordikulu
Kütusepaak	PyroTECT, Ameerika	1,5-2 kuud [21]	326,1
Liitum-ioon aku 13S5P4	Tõuksimaailm, Eesti	1 nädal [10]	3197,6
Elektrimootor alalisvoolumootor HPM5000	Micromax, Leedu	1 tööpäev [13]	679,7
E-kit	Micromax, Leedu	1 tööpäev [12]	1558,7
Variaator	Varsta, Eesti	1-3 tööpäeva [22]	1000
Tagareduktor Polaris	Varsta, Eesti	1-3 tööpäeva [22]	800
Esireduktor CFMoto	Varsta, Eesti	1-3 tööpäeva [22]	800

2. VEDRUSTUS

Korrektse projektitud vedrustus tagab üldise ohutuse ja bagi hea juhitavuse. Võistlusklassi üheks vooruks on ka vedrustust ja veermikku proovile panev rada, kus tuleb ületada ja läbida erinevaid takistusi ja rajaprofiile.

2.1. Põhireeglid ja kontseptsioon

SAE BAJA reeglistikus pole määratletud kindlat tüüpi kohustulikke vedrustuse lahendust. See annab osalejatele üpriski vabad valikud otsustamaks nende raamiga sobiva vedrustuse olemusega. Siiski on aga üldlevinud reeglid, millest tasub vedrustuselemente ning nende asetust disainides arvestada. Enamasti on need seotud erinevate geomeetriliste paigutustega.

Enim kasutatud SAE BAJA vedrustusversioonid on kahe võrdse pikkusega, kahe erineva pikkusega paralleelse ja kahe erineva pikkusega mitteparalleelse põikiõõtsuovaga vedrustus. Samuti kasutatakse MacPherson ehk küünalvedrustus. Hea vedrustuse projekteerimisel on oluline jälgida ka käändtelje geomeetria näitajaid. Kinemaatika ülesanne on tagada ratta optimaalne asend igas sõiduolukorras. Vedrustus kompenseerib kinemaatika puudujääke, kuid ei parenda ratta ja teekatte vahelist haardumist.

Maastikusõiduki vedrustuse käänmikupoolsete õõtsuobade projekteerimisel üritatakse maksimaalselt ära kasutada veljesisest pinda, et viia õõtsuobade kinnitused üksteisest võimalikult kaugele. Samal ajal ei tohi õõtsuob puutuda velje äärt. Raami poolelt toetab õõtsuobade kinnitust raami ninaosa trapetsikujuline disain, mis on alt kitsam ja ülevalt laiem. Nõnda on juba algselt alumised õõtsuovad pikemad kui ülemised. Antud projekteeritava vedrustusega võeti eesmärgiks vähemalt 200 mm käiku kummaski suunas, mis on kokku vähemalt 400 mm käiku.

2.2. Olemasoleva prototüübi ja konkurentide eelised/puudused

Esisilla vedrustuselementide põhimõte ja paiknemine on valdavalt kõigil ühetaoline. Kasutatakse kahe erineva pikkusega põikiasetusega A-õõtsuoba (Sele 2.1). Alumised õõtsuova raamipoolsed kinnitused luuakse raami põhjaga samale tasandile ning ülemised õõtsuova kinnitused luuakse nina kesk- või ülaosasse. Selline õõtsuova kasutus on hea stabiilsemaks juhtimiseks ning parema käändtelje geomeetria tagamiseks. Amordi kinnitused luuakse eraldi juurde ning asuvad eraldi püstakuna nina täiesti ülaosasse või luuakse selleks eraldi tasand. Amordi alumine kinnitus on mõistlik paigutada käändmiku lähedusse, et vältida jõudude liigset koondumist ja

vedrustuselementide kahjustamist, mis juhtus Tallinna Tehnikakõrgkooli prototüübiga (Sele 2.2). Kasutatakse ka MacPherson vedrustust. Kuigi küünlavedrustust on lihtsam toota ning vähem on tarvis luua kinnituspunkte, on see juhile ebastabiilsem ning kinnituskohdade projekteerimine peab olema väga täpne. Samuti annab see vähem käiku. Rohkemate vedrustuselementide kasutamine aitab ka jõududel jaguneda hajusamalt.



Sele 2.1. Montreali Ülikooli (vasakul) ja Oregoni Ülikooli (paremal) tiimi esimeste vedrustuse elementide paigutus [3] [23]



Sele 2.2. Tallinna Tehnikakõrgkooli prototüübi esitelje vedrustuselementide paiknemine

Tagumise telje vedrustuselementide projekteerimisel kasutatakse sama lähenemist, mis esiteljel. Samuti on levinud ka piki- ja põikiõõtshoovaga vedrustus, kus alumise topeltõõtshoova asemel on vaid üks õõtshoob ees ja/või tagasuunal. (Sele 2.3) Tagumise telje vedrustusel pole niivõrd oluline

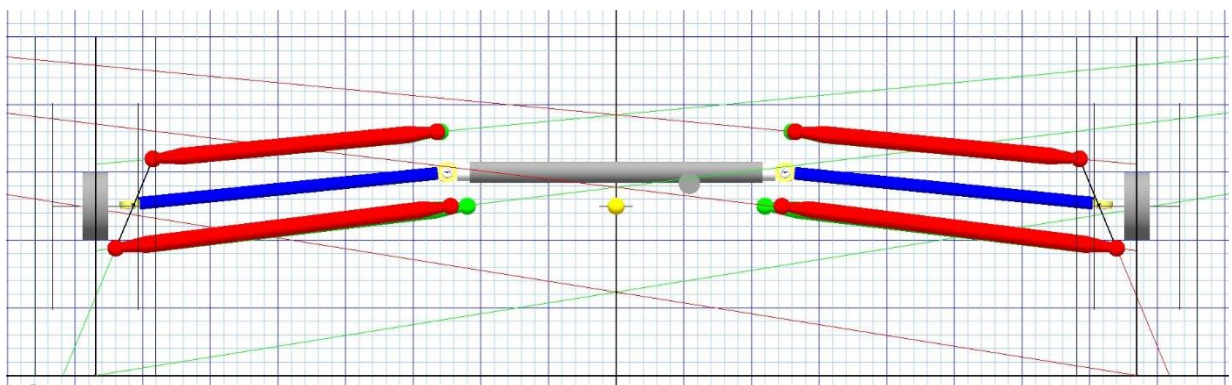
selle stabiilsus, sest tagatelg ei osale sõiduki otsesel juhtimisel manöövritel. Pigem on oluline piisava käigu tagamine juhi ning raskete baaskomponentide jaoks bagi tagaosas.



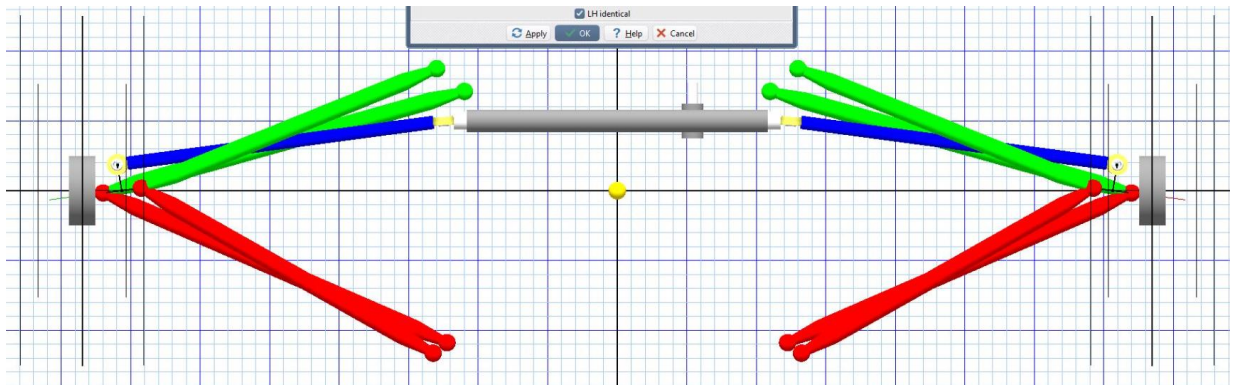
Sele 2.3. Oregon tiimi tagatelje vedrustuse elementide kasutus [24]

2.3. Vedrustuse lahendus ja analüüs

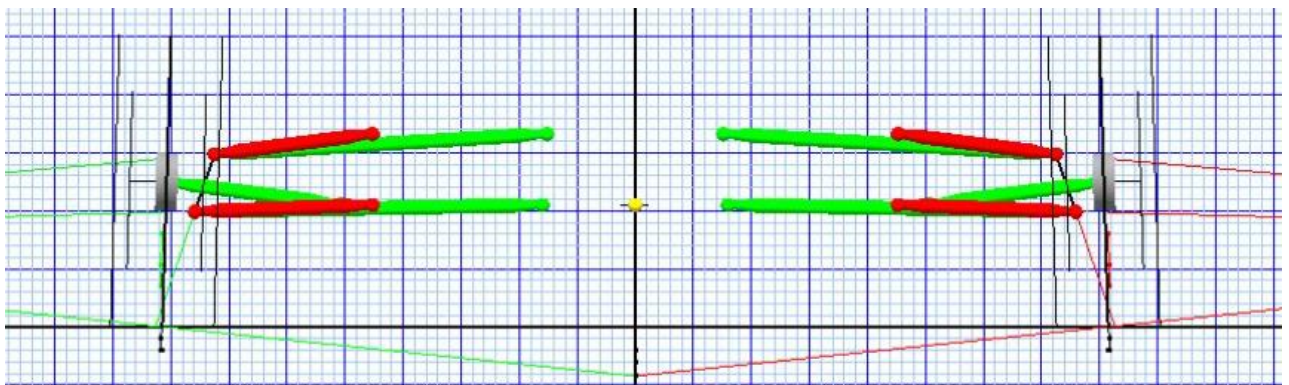
Algsed vedrustuse punktid sõltuvad projekteeritud toruraamist. Neid kohandades saab luua sobiva vedrustuse geomeetria ja kinemaatika. Loodud vedrustuse punktide järgi tuleb kohandada ka uuesti ümber toruraam. Selleks on oluline, et kohe alguses raami projekteerides mõeldakse ka etteruttavalt vedrustusele ja selle punktidele, et vältida hiljem suuremahulist raami kohandamist. Susprog3D tarkvaraga on võimalik analüüsida vedrustuse punktide asetust ja käändtelje geomeetrilisi näitajaid. Silmas tuleb pidada et punktid kerepoolsed kinnituspunktid on sõltuvalt esitelje keskpunktist ning rattapoolsed punktid ratta keskpunktist. (Sele 2.4) (Sele 2.5) (Sele 2.6)



Sele 2.4. Esitelje algne eestvaade

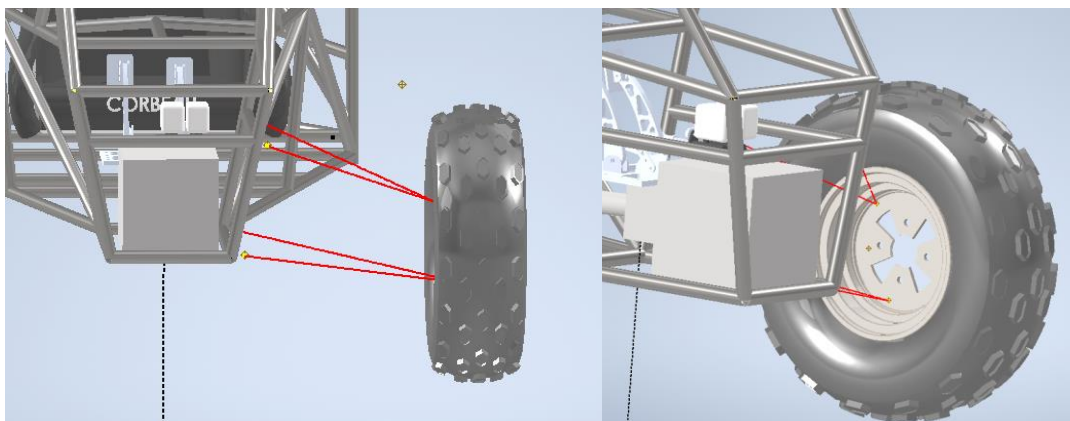


Sele 2.5. Esitelje algne ültvaade

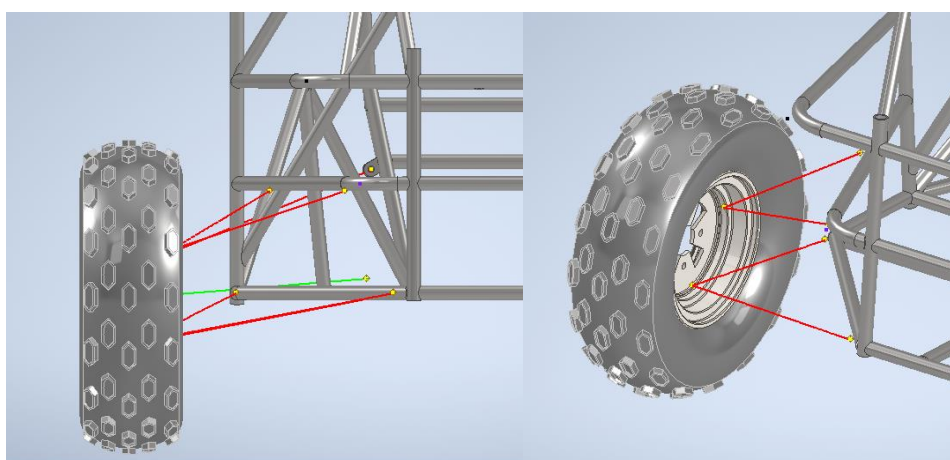


Sele 2.6. Tagatelje algne eestvaade

Õõtshoovade kinnituspunktid on aga teineteisele nii käänmiku poolt, kui ka raami poolt väga lähestikku. Seega tuleks võimalikult efektiivselt kasutada velje sisepinda, et kinnitused üksteisest eemale viia. Samuti saab ülemiste hoobade kinnitustorusid ja -kohti oluliselt tõsta. Lisaks on veovõllidele jäetud ruum üsna minimaalne. Üksteisele lähestikku viidud punktid tähendavad ka seda, et punktidesse koondub lähestikku palju erinevaid jõudusid. Parem on need suurema pinna peale laiali jaotada, et saavutada kasutatavate materjalide maksimaalsed omadused ning tagada komponentide hea vastupidavus. Projekteeritud bagil on ees kahe erineva pikkusega A-õõtshoovad (Sele 2.7). Tagasillal on ülemine õõtshoob A-õõtshoob ning all on kasutatud piki- ja põikihooba (Sele 2.8), mille projektsioonid kohtuvad punktis. Õõtshoovade punktid on toodud tabelis 8.



Sele 2.7. Esitelje õõtshoobade raami ja käänmiku poolsed kinnitused



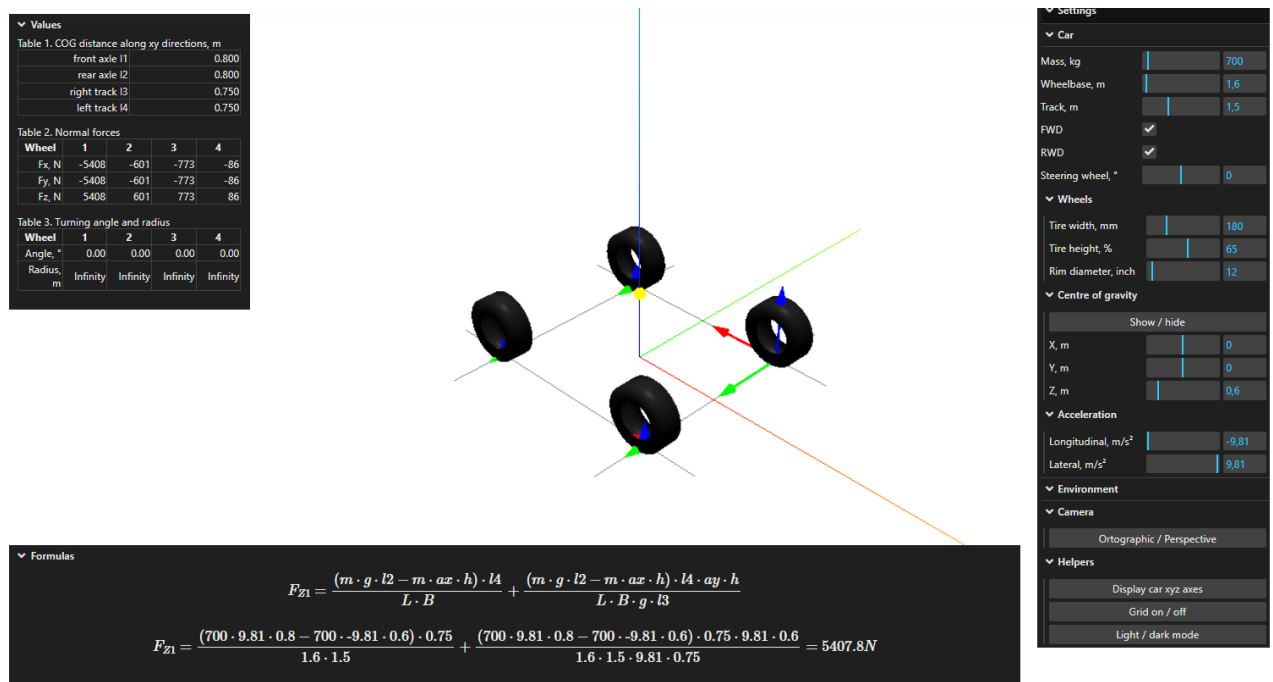
Sele 2.8. Tagatelje õõtshoobade raami ja käänmiku poolsed kinnitused

Tabel 9. Algsed ning muudetud vedrustuse punktid. Koordinaatide nullpunkt asub raamipoolsetel kinnitustel esitelje keskpunktis, käänmikupoolsetel kinnitustel ratta keskpunktis.

<u>Punkti nimetus</u>	<u>Algne asukoht, (X;Y;Z)</u>	<u>Parandatud asukoht, (X;Y;Z)</u>
Esitelg		
Ülemine õõtshoob: esimene raamipoolne kinnitus	255 ; 94 ; -233	200 ; 216 ; -233
Ülemine õõtshoob: tagumine raamipoolne kinnitus	230 ; 94 ; 175	230 ; 216 ; 175
Ülemine õõtshoob käänmiku kinnitus	72 ; 48 ; 0	84 ; 88 ; 0
Alumine õõtshoob: esimene raamipoolne kinnitus	245 ; 0 ; -218	155 ; 0 ; -218
Alumine õõtshoob: tagumine raamipoolne kinnitus	220 ; 0 ; 142	155 ; 0 ; -142

<u>Punkti nimetus</u>	<u>Algne asukoht, (X;Y;Z)</u>	<u>Parandatud asukoht, (X;Y;Z)</u>
Alumine õõtsuhoob: käänmiku kinnitus	27; -62; 0	30 ; -82 ; 0
Tagatelg		
Ülemine õõtsuhoob: esimene raamipoolne kinnitus	453 ; 123 ; 1498	390 ; 172 ; 1505
Ülemine õõtsuhoob: tagumine raamipoolne kinnitus	152; 123; 1852	250 ; 174 ; 1823
Ülemine õõtsuhoob: käänmiku kinnitus	81 ; 58 ; 1651	81 ; 88 ; 1650
Alumine õõtsuhoob: eesmine raamipoolne kinnitus	453 ; 0 ; 1491	453 ; 0 ; 1491
Alumine õõtsuhoob: tagumine raamipoolne kinnitus	160 ; 0 ; 1852	160 ; 0 ; 1852
Alumine õõtsuhoob: käänmiku kinnitus	25 ; -42 ; 1651	26; -82; 1650

Õõtsuhoobadele mõjuvate jõudude arvutamiseks, tuleb esmalt leida rataste dünaamilised toereaktsioonid, milleks saab kasutada samuti moodulit. Simulaatori eripära tõttu ei saa seal massina kasutada sobivat väärtust, mille tõttu tuleb tegeliku väärtuse saamiseks jagada simulatsiooni väärtus kahega: 2704 N (Sele 2.9).



Sele 2.9. Rataste dünaamilise toereaktsiooni moodul

Vajalikud arvutatavad jõud olid põikijõud $F_{x\ \ddot{o}ts}$ ratta ja kere vahel ning pikijõud $F_{y\ \ddot{o}ts}$ õõtsale.

Mõjuvad jõud on leitavad valemitega (2) ja (3):

$$F_{x\ \ddot{o}ts} = F_y \times \frac{R}{r}, \quad (2)$$

kus F_y – dünaamiline toereaktsioon, N;

R – ratta raadius, mm;

r – õõtsa käänmikupoolse kinnituse kaugus telje keskpunktist, mm.

$$F_{y\ \ddot{o}ts} = F_z \times \frac{L}{l}, \quad (3)$$

kus F_z – dünaamiline toereaktsioon, N;

L – õõtsa kerepoolse kinnituse kaugus ratta tsentrist, mm;

l – õõtsa kinnituste kaugused teineteisest, mm.

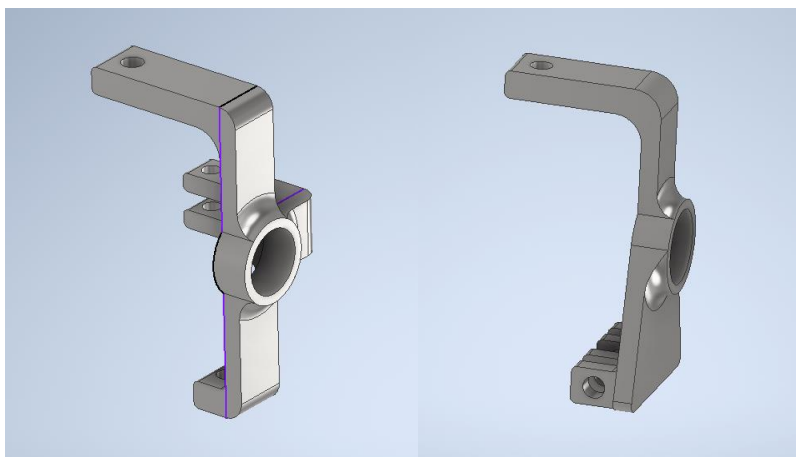
Vastavalt valemile (5) ja (6) on tabelis 10 esitatud õõtsade jõud ning nende simuleerimisel pinged ja deformatsioonid kasutades S235 terast profiiliga 26,9 X 3,0 mm.

Tabel 10. Õõtsadele mõjuvad jõud ning nende simuleerimisel pinged ja deformatsioon

Õõts	Põikijõud $F_{x\ \ddot{o}ts}$, N	Pikijõud $F_{y\ \ddot{o}ts}$, N	Max deformatsioon, mm ($F_{x\ \ddot{o}ts} / F_{y\ \ddot{o}ts}$)
Esimene ülemine	8450	3012	3,5 / 16,2
Esimene alumine	9068	3846	0,4 / 17,2
Tagumine ülemine	8450	2126	7,5 / 3,4
Tagumine põikihoob ja pikihoob käänmikuga	9068	3018	0,3 / 3

Simuleerides jõude vaid õõtsadele ei saa aga terviklikku pilti vedrustuse toimisele, sest jõu võtavad vastu kõik vedrustuse elemendid. Samuti on suureks aspektiks amortisaator ja selle seade. Siiski annab simulatsioon hea ettekujutuse, kas õõtsad on optimaalselt projekteeritud.

Käänmik on projekteeritud lihtsa geomeetriaga (Sele 2.10) Optimeerimisel oleks kindlasti võimalik sellega vähendada sõiduki kaalu. Käänmik on samuti terasest ning see on vaja toormaterjalist freesida.



Sele 2.10. Projekteeritud käänmikud: esitelg (vasakul) ja tagumine (paremal)

2.4. Tootmine

Õõtshoobade loomise lahendusena on kõige efektiivsem kasutada toruprofiile. Autoga sarnased õõtshoovad on lihtsa geomeetriaga ning ei anna bagile vajalikku liikuvust. Samuti on komponendid vabalt saadaval. Kasutada saab vajalikus mõõdus S235JRH toruprofiili: 26,9 X 3,0 mm. Profiilide liitumiskohas on ümara kujuga toruprofiilide külge keevitatud terasest freesitud pesa pressitava kuulliigendi jaoks. Raamipoolsetesse õõtshoobade torude otsetesse pannakse keevitatavad seest keermestatud M12 (20 X 1,5) torupuksid, kuhu saab kinnitada universaalses mõõdus keermestatud osaga liigendi silmapuksiga M12. (Sele 2.11)



Sele 2.11. Kuulliigend, torupuksid, keermestatud osaga liigend ja silmapuks [25] [26] [27] [28]

Amortisaatorid on valitud projekteeritud bagile ostutootena. Amortisaatorid peavad olema üsna pika käiguga ning reguleeritavad, et neid saaks kohandada erinevate võistlusarja rajaoludega. Valituks osutusid XY250ST-9C esi- ja tagaamordid (Sele 2.12) Need on vajaliku pikkusega ning võrdlemisi kergesti kättesaadavad.



Sele 2.12. Valitud amortisaatorid [29]

2.4.1. Vedrustuse nurgakoostu koostamine

Vedrustuse nurgakoostu on vaja samuti enne raami külge kinnitamist komplekteerida. Seda saab teha all toodud järjekorras:

1. Esmalt istutatakse valmis lõigatud toruprofiilide otstesse seest keermestatud torupuksid.
2. Seejärel saab torupuksid külge kinnitada keermestatud osaga liigendid.
3. Õiget asetust silmas pidades keevitatakse toruprofiilid pressitava kuulliigendi pesa külge. Selle olemasolul kinnitatakse vahetoru profiilide vahele.
4. Keevitatakse külge amordi alumised kinnituskõrvad.
5. Valminud eraldiseisvad õõtshoovad keevitatakse käänmiku külge.
6. Keevitatakse eelnevalt istutatud torupuksid profiili külge.
7. Nurgakoost, mis koosneb käänmikust ja õõtshoovadest kinnitatakse raamipoolsete kinnituste külge.
8. Kinnitatakse amordid.

Vedrustuse nurgakoostu koostejoonised on toodud lisades 10-18.

3. MAJANDUSLIK HINNANG

3.1. Kasutatavad materjalid materjalid

Toruraami loomisel on kasutatud toormaterjalina kahes mõõdus S235JRH terasest keevistoru. Toruprofiili läbimõõt on 26,9 mm. Primaartorul on seinapaksus 3,0 mm ja sekundaartorul 2,3 mm. Toruprofiilide kogus ja maksumus on toodud tabelis 11. Hinnad sisaldavad käibemaksu (2023. aasta seisuga). Projekteeritud elementide maksumus on hinnanguline.

Tabel 11. Toruraami torude kogus ja maksumus [30] [31]

Toruprofiil	Kogus	Maksumus, €
Primaartoru 26,9 X 3,0	27,2 m	125,94
Sekundaartoru 26,9 X 2,3	12,7 m	45,85
Kinnitused (ca 30%)	10 tk	50
	Kokku:	221,8

Vedrustuse elementide koostamiseks vajalikud materjalid, kogus ja nende maksumus on toodud tabelites 12 ja 13. Hinnad sisaldavad käibemaksu (2023. aasta seisuga). Projekteeritud elementide maksumus on hinnanguline.

Tabel 12. Esisilla vedrustuelemendid ja nende maksumus [31] [26] [27] [28] [29] [25]

Element	Kogus	Allikas	Maksumus, €
Ülemine õõtshoob toruprofiil 26,9 X 3,0	1,16 m	metall24.ee	10,8
Alumine õõtshoob toruprofiil 26,9 X 3,0	0,9 m	metall24.ee	8,4
Kinnitused	2	metall24.ee	10
Kuulliigendi pesa	2	Tellimustode	75
Keevitatud torupuksid	4	rallipood.ee	60
Keermega liigend M12	4	rallipood.ee	100
Silmapuks M12	4	rallipood.ee	19,6
Kuulliigend	2	motodepoo.ee	120
Käänmik	2	Tellimustode	700
Amortisaator	2	motomoto.com	259,7
Abimaterjalid (ca 5%)		Tööriistamarket	68,2
		Kokku:	1431,7

Tabel 13. Tagasilla vedrustuelemendid ja nende maksumus [31] [26] [27] [28] [29] [25]

Element	Kogus	Allikas	Maksumus, €
Ülemine õõtsuhoob toruprofiil 26,9 X 3,0	0,75	metall24.ee	6,94
Alumine põikihoob toruprofiil 26,9 X 3,0	0,4	metall24.ee	3,7
Alumine pikihoob toruprofiil 26,9 X 3,0	0,13	metall24.ee	1,2
Kinnitused	2	metall24.ee	10
Kuulliigendi pesa	2	Tellimustood	75
Keevitatud torupuksid	4	rallipood.ee	60
Keermega liigend M12	4	rallipood.ee	100
Silmapuks M12/M10	4	rallipood.ee	19,6
Kuulliigend	2	motodepoo.ee	120
Käänmik	2	Tellimustood	700
Amortisaator	2	motomoto24.com	259,7
Abimaterjalid (ca 5%)		Tööriistamarket	67,8
		Kokku:	1483,94

Torude laserlõikamine on optimaalne valik, et tagada võimalikult täpsed lõiked. Samuti on see kiire. Hinnanguliselt võiks see maksta 600 €. Raami järeltöötlus: liivaprits ja värvimine on hinnanguliselt 50% toruraami maksumusest – 110 €. Eelnevalt mainitud andmete kohaselt on hinnanguline bagi toruraami ja vedrustuse elementide toormaterjali ning selle järeltötluse maksumuseks 3847,44 €.

3.2. Tööriistad,ruumid ja rakised

Bagi toruraami ja vedrustuselementide koostamiseks ja töötlemiseks on vajalikud erinevaid tööriistu, seadmeid, rakiseid ja ruume. Ruumina sobib piisava suuruse ning ventilatsiooniga ruum, kus on piisavalt ruumi bagi koostamiseks ja pinda seadmete paigutamiseks. Vajalikud tööriistad, seadmed ning nende umbkaudne maksumus on toodud tabelis 14.

Tabel 14. Vajalikud tööriistad, rakised ja seadmed ning nende umbkaudne maksumus

Tööriist/seade	Maksumus, €
Tööriistakäru	2000
Keevituslaud	1000
Keevitusmasin + gaas	10 000
Keevitusrakised	1000
Keevitusriided ja mask	500
Isikukaitsevahendid	200
Hüdrauliline torupainutaja	600
Kokku:	15 300

3.3. Ajakulu

Täpset ajakulu bagi toruraami ja vedrustuse ehitamiseks on keeruline prognoosida. Parema ettekujutuse sellest saab peale prooviraami valmimist, mille käigus on selgunud ehitajate kiirus ja vilumus. Lisaks võib esimesel korral torude töötlemine või raami koostamine ebaõnnestuda, mis lisab oluliselt aega raami koostamisele: tuleb tellida uued toormaterjalid ning neid töödelda. Tallinna Tehnikakõrgkooli tudengid on ehitanud terve bagi koosseisus 4 juhendaja ning 15-liikmelise meeskonnaga ühe õppesemestri jooksul. Arvestades, et paljud kutsekoolide õpilased osalevad sellises projektis esimest korda, on nende töötempo aeglasem. Seega arvab töö autor, et toruraami ja vedrustuse koostamisele kuluks samas suuruses koosseisul üks semester. On võetud aluseks, et aktiivse ehitusega tegeletakse nädalas ligikaudu 10 h. Sellisel juhul kuluks bagi toruraami ja vedrustuse ehitamisele 160 h. Bagi testimiseks kulub samuti üks semester. Seega võistlusvõimelise bagi toruraami ja vedrustuse oleks võimalik luua ühe õppeaastaga.

KOKKUVÕTE

SAE BAJA võistlusklassi jaoks ehitatav bagi peab vastama väga paljudele kriteeriumitele. Kutsekoolides ei ole eraldi projekteerimisõpet, mistõttu on selle kooli õpilastel keeruline luua bagi otsast lõpuni. Antud juhend selgitab lühidalt reegleid ning annab baaslahenduse bagi toruraami ja vedrustuse komplekteerimiseks.

Ülevaade toruraami reeglitest ning Tallinna Tehnikakõrgkooli prototüübist ja parimatest rahvusvahelistest tiimidest annavad ülevaate laialdaselt kasutatud nüanssidest, mida on kasutatud ka juhendi tarbeks projekteeritud bagil. Tugevusanalüüsid annavad hea ülevaate jõudude koondumisest ning annavad aimduse, kus on toruraami nõrgad kohad. Torude töötlemise ja keevitamise kirjeldus annab hea ülevaate ja näpunäited komplekteerimisest, kuid eeldavad ka eelnevat põhjalikumat tutvumist tehnoloogiatega. Toruraami lihtsustamiseks oleks võimalik asendada painutatud torud sirgete keevisliidetega torudega. Kokkupõrkeleevendi on soovitatav bagi eesosas.

Vedrustus on juhendi tarbeks projekteeritud bagil lihtsa geomeetriaga ning sisaldab mitmeid ostutooteid, mis teeb selle koostamise märksa lihtsamaks. Tugevusanalüüsist selguvad samuti vedrustuse nõrgemad kohad, millele tuleks lõpliku bagi valmimisel ja testimisel tähelepanu pöörata. Käänmiku lihtsa geomeetriaga disain jätab võimaluse käändtelje geomeetria parendamiseks.

Toruraami ja vedrustuse majanduslik hinnang on ülevaateks umbkaudsele eelarvele - lihtsustatud loetelud vajalikest toormaterjalidest, tellimustöödest, ostutoodetest ja seadmetest. Käesoleva majandusliku hinnangu kohaselt võiks bagi toruraami ja vedrustuse hinnanguline maksumus olla ligikaudselt 3850 €, kasutatavate seadmete maksumus ligikaudu 15 300 € - kokku 19 150 €.

SUMMARY

The following thesis *SAE BAJA wireframe and suspensioon manual* is a guide on how to design and build the previously mentioned assemblies for SAE BAJA competition. It is intended for vocational school students and their supervisors. The importance of this thesis is the product developement aspect with drawings and the buggy can also be built for electric drive.

The thesis consists of explanation of SAE BAJA rules and how to understand them to design a competing buggy. An overview of a previous prototype and best competing teams gives an overview of common used aspects in creating a SAE BAJA buggy. In addition it has a brief explanation what to look out for and possible local parts for creating a electric drive. Moreover it includes a guide on material choices and how to create tube bends, welds and cuts. The thesis includes a step-by-step guide on how to assemble the wireframe with illustrations.

On suspensioon there are explained what to look out for in designing a working suspensioon. Similar to wireframe there are examples of a prototype and best international teams, which creates an overview on how to design an offroad suspension and a step-by-step manual how to assemble it with drawings.

The economical assessment gives a simplified versioon of bill of materials of materials needed for creating and building a wireframe with. There is also an estimate on how long it will take a vocational school student team to assemble the SAE BAJA buggy.

VIIDATUD ALLIKAD

- [1 SAE International, „Collegiate Design Series Baja Sae Rules,“ 31. august 2023. [Võrgumaterjal].
] Available: <https://www.bajasae.net/cdsweb/gen/DocumentResources.aspx>. [Kasutatud 21. september 2023].
- [2 Michigan Baja Racing, „History,“ [Võrgumaterjal]. Available:
] <https://www.michiganbajaracing.com/history>. [Kasutatud 18. september 2023].
- [3 Baja ETS Montreal, „Baja ETS Montreal,“ [Võrgumaterjal]. Available:
] <https://www.bajaets.com/>. [Kasutatud 15. september 2023].
- [4 SAE Oregon, „Support of Student Organizations,“ [Võrgumaterjal]. Available:
] <https://saeoregon.org/index.php/support-of-student-organizations/>. [Kasutatud 15. september 2023].
- [5 Department of defense, Design Criteria Standard Human Engineering, Department of defense,
] 2012.
- [6 V F Cassola, F M Milian, R Kramer, C A B de Oliveira Lira, H J Khoury, „Standing adult human
] phantoms based on 10th, 50th,“ *PHYSICS IN MEDICINE AND BIOLOGY*, p. 3749–3772, 31. mai 2011.
- [7 C. C. Gordon, „Anthropometric Survey of U.S. Personnel: Summary Statistics,“ 1989.
]
- [8 Human Factors Standardization SubTAG of the Department of Defense Human Factors
] Engineering Technical Advisory Group, „HUMAN ENGINEERING DESIGN DATA DIGEST,“ DEPARTMENT OF DEFENSE, 2000.
- [9 Society of Automotive Engineering India, „Baja SAEINDIA Rules (Draft),“ 22. mai 2023.
] [Võrgumaterjal]. Available:

https://bajasaebindia.org/upload/Resource/BAJA%20SAEINDIA%20mBAJA%20eBAJA%20RULEBOOK%202024_Rev000_Draft_1684747619.pdf. [Kasutatud 3. november 2023].

[1 Tõuksimaailm, „AKU VALMISTAMINE,“ 2023. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.xn--tuksimaailm-ffb.ee/aku-valmistamine-li-ion-eritellimus-aku-ehitamine-koostamine/>.

[Kasutatud 12. november 2023].

[1 Micormax, „HPM 5000 (48V) Test report,“ 2023. [Võrgumaterjal]. Available: 1] https://www.miromax.lt/userfiles/6/files/HPM5000_48V_Test_Results.pdf. [Kasutatud 12. november 2023].

[1 Micromax, „E-Quadrocycle conversion kit 8.6kW,“ 2023. [Võrgumaterjal]. Available: 2] https://www.miromax.lt/en/m-6/c-26/c-48-electric_quadrocycle_conversion_kits/product-557-e-quadrocycle_conversion_kit_86kw#video_gallery. [Kasutatud 12. november 2023].

[1 Micromax, „BLDC / PMSM brushless motor HPM-5000B - Nominal power 5kW~7,5kW | 3] 6,7AG~10AG | 400 cm³,“ 2023. [Võrgumaterjal]. Available: https://www.miromax.lt/en/c-39/c-45-brushless_bldc_motor_with_permanent_magnet/product-500-bldc__pmsm_brushless_motor_hpm-5000b_-_nominal_power_5kw75kw__67ag10ag__400_cm3#to_products. [Kasutatud 12. november 2023].

[1 A. H. M. ,. I. R. K. R. K. M. K. A. Murkute, „STRUCTURAL OPTIMIZATION OF SAE BAJA 4] CAR FRAME,“ 2016. [Võrgumaterjal]. Available: https://designinformaticslab.github.io/_teaching/designopt/projects/2016/desopt_2016_01.pdf. [Kasutatud 25. november 2023].

[1 Formula SAE, „Rules 2024,“ 1. september 2023. [Võrgumaterjal]. [Kasutatud 1. jaanuar 2024]. 5]

[1 A. Laansoo, KEEVITUSTEHNOLLOOGIA, Tallinn: Tallinna Tehnikaülikool, 2011. 6]

- [1 YENA Engineering, „Properties and Uses of S Series (235, 275 and 355) Steels,“ 2023. 7] [Võrgumaterjal]. Available: <https://yenaengineering.nl/properties-and-uses-of-s-series-235-275-and-355-steels/>. [Kasutatud 25. november 2023].
- [1 A. Velling, „Structural Steels S235, S275, S355, S420 and Their Properties,“ 7. jaanuar 2019. 8] [Võrgumaterjal]. Available: <https://fractory.com/structural-steels-s235-s275-s355-s420-and-their-properties/>. [Kasutatud 25. november 2023].
- [1 European Steel and Alloy Grades / Numbers Searchable Database , „S235JRH (1.0039),“ 2023. 9] [Võrgumaterjal]. Available: http://www.steelnumber.com/en/steel_composition_eu.php?name_id=645. [Kasutatud 25. november 2023].
- [2 SAE International, „Baja SAE Engine Update,“ 14. oktoober 2022. [Võrgumaterjal]. Available: 0] <https://www.bajasae.net/cdsweb/app/NewsItem.aspx?NewsItemID=781f609a-67c0-474f-a28b-8bce3be72e85>. [Kasutatud 6. detsember 2023].
- [2 Pyrotec, „Baja SAE Fuel Tank,“ 2023. [Võrgumaterjal]. Available: 1] <https://pyrotecstore.com/product/baja-sae/>. [Kasutatud 6. detsember 2023].
- [2 Varsta, 2023. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.varsta.ee/product-category/varuosad/atv-2-varuosad/>. [Kasutatud 6. detsember 2023].
- [2 Beaver Racing, 20. mai 2022. [Võrgumaterjal]. Available: 3] https://www.instagram.com/p/CdwpWFdJuy2/?img_index=1. [Kasutatud 7. detsember 2023].
- [2 Beaver Racing, 21. aprill 2022. [Võrgumaterjal]. Available: 4] <https://www.instagram.com/p/CcmPTDwrHX4/>. [Kasutatud 7. detsember 2023].
- [2 Motodepoo, [Võrgumaterjal]. Available: <https://motodepoo.ee/kulu-ja-varuosad/16260-ootshoova-maaritav-kuulliigend-all-balls-42-1043-hp-04301036>. [Kasutatud 14. detsember 2023].
- [2 Rallipood, [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.rallipood.ee/toode/uniball/>. [Kasutatud 14. 6] detsember 2023].

[2 Rallipood, [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.rallipood.ee/toode/keevitav-torupuks-7-keermega/>. [Kasutatud 14. detsember 2023].

[2 Rallipood, „Uniballi silmapuks,“ [Võrgumaterjal]. Available: 8] <https://www.rallipood.ee/toode/uniballi-silmapuks/>. [Kasutatud 21. detsember 2023].

[2 Motomoto24, [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.motomoto24.com/shock-absorbers/>. 9] [Kasutatud 26. detsember 2023].

[3 Metall24, „El.keev toru 26,9x3,0x6000 S235JRH,“ [Võrgumaterjal]. Available: 0] <https://www.metall24.ee/tooted/el.keev-toru-269x30x6000-s235jrh/el.-keevistoru>. [Kasutatud 27. detsember 2023].

[3 Metall24, „El.keev toru 26,9x3,0x6000 S235JRH,“ [Võrgumaterjal]. Available: 1] <https://www.metall24.ee/tooted/el.keev-toru-269x30x6000-s235jrh/el.-keevistoru>. [Kasutatud 27. detsember 2023].

[3 Race Software, „Kingpin Angle, Scrub Radius & Wheel Centre Offset,“ 2023. [Võrgumaterjal]. 2] Available: https://race.software/ulp_lesson/kingpin-angle-scrub-radius-wheel-centre-offset/. [Kasutatud 24. oktoober 2023].

[3 Suspension Secrets, [Võrgumaterjal]. Available: <https://suspensionsecrets.co.uk/scrub-radius/>. 3] [Kasutatud 24. oktoober 2023].

[3 Fair Tire, „CASTER, CAMBER, AND TOE ALIGNMENTS,“ [Võrgumaterjal]. Available: 4] <https://townfairtire.com/information/wheel-alignment/caster-camber-and-toe-alignments/index.shtml>. [Kasutatud 24. oktoober 2023].

[3 Race Software, „STATIC CASTOR AND CASTOR TRAIL – SUSPENSION KPI,“ 2023. 5] [Võrgumaterjal]. Available: <https://race.software/academy/suspension-designer-library/static-castor-angle-and-castor-trail/>. [Kasutatud 24. oktoober 2023].

[3 Industrial Physics, „IP Ratings Chart – Ingress Protection Ratings,“ 2023. [Võrgumaterjal]. 6] Available: <https://industrialphysics.com/knowledgebase/articles/ip-ratings-chart-ingress-protection-ratings/>. [Kasutatud 3. november 2023].

- [3 International Electrotechnical Commission, „IP ratings,“ 2023. [Võrgumaterjal]. Available: 7] <https://www.iec.ch/ip-ratings>. [Kasutatud 3. november 2023].
- [3 COMPAGE AUTOMATION SYSTEMS PVT. LTD., „E-BAJA 2020,“ 2020. [Võrgumaterjal]. 8] Available: <https://www.compageauto.com/e-baja-2020>. [Kasutatud 12. november 2023].
- [3 D. H. R. T. Janek Luppin TTK, „ROOLISEADME PROJEKTEERIMINE,“ 2022. 9] [Võrgumaterjal]. Available: https://moodle.ttk.ee/pluginfile.php/425214/mod_resource/content/1/Teema%204%20Rooliseadme%20projekteerimine%20.pdf. [Kasutatud 12. november 2023].
- [4 B.-H. Julian Happian-Smith, An Introduction to Modern Vehicle Design, Portland: Book News, 0] 2002.
- [4 I. Pnkov, „MHE0061 Masinatehnika loengumaterjal,“ Tallinna Tehnikaülikool, Tallinn, 2007. 1]
- [4 Tecnocurve Srl, „How tube bending feasibility is calculated,“ 1. september 2020. 2] [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.tecnocurve.com/tubing-bending/how-tube-bending-feasibility-is-calculated/>. [Kasutatud 26. november 2023].
- [4 S. Benson, „K-factors, Y-factors, and press brake bending precision,“ 27. jaanuar 2023. 3] [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.thefabricator.com/thefabricator/article/bending/k-factors-y-factors-and-press-brake-bending-precision>. [Kasutatud 27. november 2023].

LISAD

- Lisa 1. Joonis 01-00-00 Toruraam
- Lisa 2. Joonis 01-01-00 Istme tagune raam
- Lisa 3. Joonis 01-02-00 Toruraami põhi
- Lisa 4. Joonis 01-03-00 Põhja ja istme tagune koost
- Lisa 5. Joonis 01-04-00 Toruraami tagumine osa
- Lisa 6. Joonis 01-05-00 Toruraami esiosa vertikaaltorud
- Lisa 7. Joonis 01-06-00 Toruraami esiosa horisontaaltorud
- Lisa 8. Joonis 01-07-00 Toruraami ülemise torud ja toed
- Lisa 9. Joonis 01-08-00 Roolisamba toetustorud
- Lisa 10. Joonis 02-00-00 Esisilla vedrustuse nurgakoost
- Lisa 11. Joonis 02-01-00 Esimene ülemine õõtshoob
- Lisa 12. Joonis 02-02-00 Esimene alumine õõtshoob
- Lisa 13. Joonis 02-03-00 Esimene käänmik
- Lisa 14. Joonis 03-00-00 Tagasilla vedrustuse nurgakoost
- Lisa 15. Joonis 03-01-00 Tagumine ülemine õõtshoob
- Lisa 16. Joonis 03-02-00 Tagumine põikihoob
- Lisa 17. Joonis 03-03-00 Tagumine pikihoob
- Lisa 18. Joonis 03-04-00 Tagumine käänmik