



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
INSENERITEADUSKOND
Mehaanika ja Tööstustehnika Instituut

**ISEAUTO KEREKONSTRUKTSIOONI
EDASIARENDUS UUELE AUTONOOMSELE
SÕIDUKILE**

**FURTHER DEVELOPMENT OF ISEAUTO'S BODY
STRUCTURE FOR A NEW AUTONOMOUS VEHICLE**

MAGISTRITÖÖ

Üliõpilane: Andreas Rebane

Üliõpilaskood 192338 MATM

Juhendaja: Martin Eerme, Professor

(Tiitellehe pöördel)

AUTORIDEKLARATSIOON

Olen koostanud lõputöö iseseisvalt.

Lõputöö alusel ei ole varem kutse- või teaduskraadi või inseneridiplomit taotletud.

Kõik töö koostamisel kasutatud teiste autorite tööd, olulised seisukohad, kirjandusallikatest ja mujalt pärinevad andmed on viidatud.

"....." 20.....

Autor:

/ allkiri /

Töö vastab bakalaureusetöö/magistritööle esitatud nõuetele

"....." 20.....

Juhendaja:

/ allkiri /

Kaitsmisele lubatud

"....."20... .

Kaitsmiskomisjoni esimees

/ nimi ja allkiri /

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks¹

Mina Andreas Rebane (*autori nimi*) (sünnikuupäev: 22.02.1996)

1. Annan Tallinna Tehnikaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose
ISEAUTO KEREKONSTRUKTSIOONI EDASIARENDUS UUELE AUTONOOMSELE
SÕIDUKILE,

(*lõputöö pealkiri*)

mille juhendaja on Martin Eerme,

(*juhendaja nimi*)

1.1 reprodutseerimiseks lõputöö säilitamise ja elektroonse avaldamise eesmärgil, sh Tallinna Tehnikaülikooli raamatukogu digikogusse lisamise eesmärgil kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;

1.2 üldsusele kättesaadavaks tegemiseks Tallinna Tehnikaülikooli veebikeskkonna kaudu, sealhulgas Tallinna Tehnikaülikooli raamatukogu digikogu kaudu kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni.

2. Olen teadlik, et käesoleva lihtlitsentsi punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile.

3. Kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest ning muudest õigusaktidest tulenevaid õigusi.

¹Lihtlitsents ei kehti juurdepääsupiirangu kehtivuse ajal, välja arvatud ülikooli õigus lõputööd reprodutseerida üksnes säilitamise eesmärgil.

_____ (*allkiri*)

_____ (*kuupäev*)

LÕPUTÖÖ ÜLESANNE

Üliõpilane: Andreas Rebane, 192338MATM..... (nimi, üliõpilaskood)
Õppekava, peeriala: MATM02/18 - Tootearendus ja tootmistehnika (kood ja nimetus)
Juhendaja(d): Professor, Martin Eerme, 6203270.....(amet, nimi, telefon)
Konsultant:(nimi, amet)
..... (ettevõtte, telefon, e-post)

Lõputöö teema:

(eesti keeles) Iseauto kerekonstruktsiooni edasiarendus uuele autonoomsele sõidukile
(inglise keeles) Further development of Iseauto's body structure for a new autonomous vehicle

Lõputöö põhieesmärgid:

1. Arendada välja uue autonoomse sõiduki kereraami prototüüp
2. Analüüsida Iseauto kereraami
3. Lihtsustada uue sõiduki kereraami tootmist

Lõputöö etapid ja ajakava:

Nr	Ülesande kirjeldus	Tähtaeg
1.	Iseauto kereraami analüüs	10.04.21
2.	Uue autonoomse sõiduki kereraami kontseptsiooni loomine	01.05.21
3.	Uue autonoomse sõiduki kereraami modelleerimine ja analüüsimine	20.05.21

Töö keel: Eesti keel **Lõputöö esitamise tähtaeg:** "26" Mai 2021a.

Üliõpilane: Andreas Rebane "24" Mai 2021a
/allkiri/

Juhendaja: Martin Eerme "24" Mai 2021a
/allkiri/

Konsultant: ".....".....20.....a
/allkiri/

Programmijuht: ".....".....20.....a
/allkiri/

Kinnise kaitsmise ja/või lõputöö avalikustamise piirangu tingimused formuleeritakse pöördel

SISUKORD

EESSÕNA	7
Lühendite ja tähiste loetelu	8
1. SISSEJUHATUS.....	9
1.1 Probleem.....	9
1.2 Töö eesmärk.....	10
1.3 Töö ülesehitus.....	10
2. ISEAUTO KERERAAMI ANALÜÜS.....	11
2.1 Konstruktsiooni analüüs	11
2.2 Disaini ja tugevuse analüüsimine (FEM)	14
2.2.1 Kereraami tugevusanalüüs omaraskuse all	15
2.2.2 Kereraami tugevusanalüüs pidurdusjõu all.....	16
2.2.3 Kereraami väändejäikuse analüüs	17
2.3 Konstruktsiooni koostamise protsess.....	19
2.3.1 Kereraami torude ettevalmistus	20
2.3.2 Kereraami lehtmetailid detailide valmistamine.....	20
2.3.3 Kereraami treidetailide valmistamine	20
2.3.4 Kereraami keeviskoostamine	20
2.3.5 Lõppviimistlus.....	22
2.4 Probleemsed kohad	22
3. UUE AUTONOOMSE SÕIDUKI KERERAAMI DISAINIMINE	23
3.1 AuVe Production OÜ tootmisvõimekus.....	23
3.2 Konstruktsiooni kontseptsioon.....	24
3.2.1 Kere konstruktsioon.....	25
3.2.2 Toruraami materjali valik	27
3.3 Kontseptsiooni modelleerimine	28
3.3.1 Komponentide paigutus ja kerelahtrid	29
3.3.2 Keskmise kerelahter ja küljenurkade modelleerimine	31
3.3.3 Istmeraamide modelleerimine.....	33
3.3.4 Katuseraami ja põranda modelleerimine.....	34
3.4 Kereraami osade tugevusanalüüs ja täiendused	35
3.4.1 Katuseraami analüüs	36
3.4.2 Põranda konstruktsiooni analüüs	37
3.5 Uue sõiduki kereraami prototüübi tugevusanalüüs	39
3.5.1 Prototüüp kereraami tugevusanalüüs omaraskuse all	40
3.5.2 Prototüüp Kereraami tugevusanalüüs pidurdusjõu all	40
3.5.3 Prototüüp kereraami väändejäikuse analüüs	41

3.6	Koostamise läbimõtlemine	42
3.6.1	Koostamise etapp 1	42
3.6.2	Koostamise etapp 2	43
3.6.3	Koostamise etapp 3	43
3.6.4	Koostamise etapp 4	43
4.	ISEAUTO JA UUE AUTONOOMSE SÕIDUKI KONSTRUKTSIOONI VÕRDLUS	44
	KOKKUVÕTE	46
	SUMMERY	47
	KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU	49
	LISAD	50
	GRAAFILINE OSA.....	51

EESSÕNA

Käesolev magistritöö on valminud Auve Tech OÜ soovi põhjal arendada välja uuele autonoomsele sõidukile kerekonstruktsioon. Ettevõtte poolt oli antud analüüsimiseks informatsioon eelneva sõiduki, Iseauto, kerekonstruktsiooni kohta. Lisaks seati paika põhilised eesmärgid, mida sooviti antud töö käigus saavutada. Ettevõtte peamine soov oli lihtsustada sõiduki kerekonstruktsiooni tootmist ja parandada selle mehaanilisi omadusi. Töö tulemusena plaanitakse valmistada ka esimene prototüüp kereraami uuest disainist.

Magistritöö raames soovin tänada oma Tallinna Tehnikaülikooli poolset juhendajat Martin Eermed ja Auve Tech OÜ tiimi, kes kõik olid abiks käesoleva töö koostamisel.

LÜHENDITE JA TÄHISTE LOETELU

FEM – lõplike elementide meetod (ingl k Finite Element Method, FEM)

M1 – kategooria (sõiduauto) on sõiduk, millel lisaks juhiistmele ei ole rohkem kui kaheksa istekohta

M2 - kategooria (buss) on sõiduk, millel lisaks juhiistmele on rohkem kui kaheksa istekohta ja mille täismass ei ületa 5 t

MPa – mega Pascal

1. SISSEJUHATUS

Viimastel aastatel on autonoomsete sõidukite turg jõudsalt kasvanud. Aina rohkem on turule tekkinud uusi tegijaid, kes oma sõidukeid ja teenust müüa üritavad. Lisaks on näha, et kogu autotööstus liigub oma sõidukitega üha rohkem autonoomse sõidu suunas. Eeskätt on seda näidanud maailmale Tesla oma autopiloot süsteemiga. Eestis on selleks tegijaks AuVe Tech OÜ.

Hetkel üheks suurimaks takistuseks sellise tehnoloogia igapäevasesse kasutusse toomiseks on puuduolev legaalsus ja vähene tehnoloogia testimine. Legaalsuse paika seadmine antud sõidukitele on väga keerukas, kuna autonoomsel sõidul ei kontrolli sõidukit inimene vaid süsteem. Tulenevalt sellest on autonoomse sõidu ajal toimunud õnnetustes väga keeruline leida süüdlast. Kas süüdi jääb sõidukijuht või autonoomse süsteemi looja? Antud küsimusele vastamiseks ei ole veel selget ja struktuurset lahendust leitud.

Eestis on alates 2017. aastast arendatud ja toodetud autonoomset „viimase miili“ sõidukit Iseautot. Iseauto sai alguse Tallinna Tehnikaülikooli ja Silberauto Eesti AS ühisest projektist, mille käigus arendati välja ja ehitati valmis esimene prototüüp autonoomsest „viimase miili“ sõidukist. See projekt tehti Tallinna Tehnikaülikooli 100-nda juubeli puhul. Sellega projekt ei lõppenud, vaid jätkati sõidukite arendamisega. Nüüdseks on sellest projektis välja kasvanud Silberauto Eesti AS tütarettevõtte AuVe Tech OÜ, kes tegeleb igapäevaselt autonoomsete sõidukite ja teenuste arendamisega.

1.1 Probleem

Nüüdseks kus AuVe Tech on valmistanud Iseauto seeriast 18 sõidukit ja nendest viimased 13 ka tänavalegaalsel kujul, on ettevõttel soov arendada välja uus sõiduk. Kui Iseauto puhul keskenduti algselt vaid tehnoloogilisele poolele, et näidata võimekust autonoomsete sõidukite loomiseks ja kasutamiseks, siis nüüd, kus on saavutatud teadmised tänavalegaalsete sõidukite valmistamiseks, on keskendumine rohkem reisijatel ja nende sõidukogemusel.

Olles mõnda aega juba Iseautodega tänavatel opereerinud, leidis ettevõtte, et see platvorm on liiga väike kaheksa reisija vedamiseks. Lisaks on tänavalegaalsuse jaoks muudetud drastiliselt sõiduki välimust, kuid see ei ole reisijate sõidumugavust paremaks teinud. Pigem on sõiduk muutnud rohkem klaustrofoobiat tekitavamaks arvestades seda, et sellel pole juhti ja sõiduki läbipaistvus ei ole enam sama, mis see oli esimesel viiel sõidukil.

Seega on AuVe Techil soov välja arendada täiesti uus sõiduk ning käesolevas töös keskendutakse antud sõiduki kereraami arendamisele.

1.2 Töö eesmärk

Töö peamine eesmärk on välja arendada kereraami prototüüp, mis sobib uue autonoomse platvormi ja disainiga kuid samas on omadustelt tugevam, turvalisem ja jäigem Iseauto kereraamist.

Ettevõtte poolt olid veel järgmised nõuded:

- Kereraami ja selle detaile peab olema lihtne toota ja koostada.
- Tootmisel tuleb arvestada AuVe Tech'i OÜ õdeettevõtte AuVe Production OÜ tootmisvõimekusega. Sel viisil on võimalik kogu sõidukit toota AuVe Productionis.
- Kereraam peab olema modulaarne ja kergesti modifitseeritav vasakpoolse liikluse jaoks.

1.3 Töö ülesehitus

Töö on jaotatud kolmeks põhiosaks. Esimeses osas analüüsitakse Iseauto olemasolevat kereraami, et saada paika põhilised võrdluspunktid. Tuuakse välja selle konstruktsiooni murekohad ning teostatakse FEM analüüsid.

Teises osas keskendutakse uue kereraami väljatöötamisele. Mõeldakse läbi materjali kasutus, koostamise etapid ja selgitatakse printsiipe, mida on uue konstruktsiooni juures järgitud. Lõpuks teostatakse uuele konstruktsioonile FEM analüüsid.

Töö kolmandas osas võrreldakse Iseauto kereraami uue kereraamiga. Kontrollitakse, kas saavutati kõik nõutud kriteeriumid, kas on midagi, mis jäi saavutamata ja miks. Tuuakse välja edasised soovitused ning lõpuks hinnatakse lõplikku lahendust.

2. ISEAUTO KERERAAMI ANALÜÜS

Iseauto on autonoomne „viimase miili“ sõiduk, mille viimane versioon on välja arendatud Auve Tech OÜ poolt. See on *shuttle* bussi tüüpi ning kuulub M_1 sõiduki kategooria alla. Kuid ehituslike iseärasuste tõttu on sõidukile rakendatud M_1 või M_2 kategooria nõudeid vastavalt sellele, milline on relevantsem.

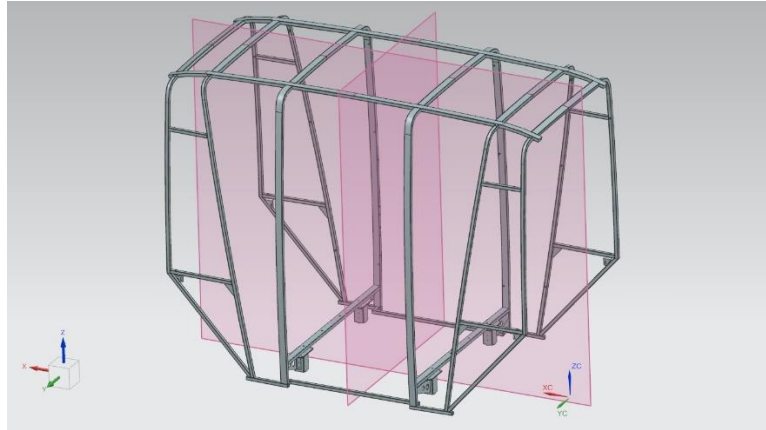
Iseauto on tänavalegaalne ning on mõeldud transportima kuni 8 inimest. Selle täismass on 1925 kg ja tühimass on 1250 kg, pikkus, laius ja kõrgus järgnevalt 3500, 1500 ja 2400 mm [1]. Oma väikeste mõõtmete poolest kasutatakse seda tihedamalt asustatud aladel, kus on keeruline ühistransportteenust pakkuda suuremate linnaliini bussidega. Lisaks on võimalik antud sõidukiga sõita väiksematel kergliiklusteedel, mis omakorda laiendab ka Iseauto kasutusvaldkondi.

Sõiduk on oma disaini poolest sümmeetriline ja see on edasi kandunud kereraami konstruktsiooni. Iseauto kere on valmistatud klaasplast detailidest, mis on paigaldatud toruraam konstruktsioonile kasutades liimühendust.

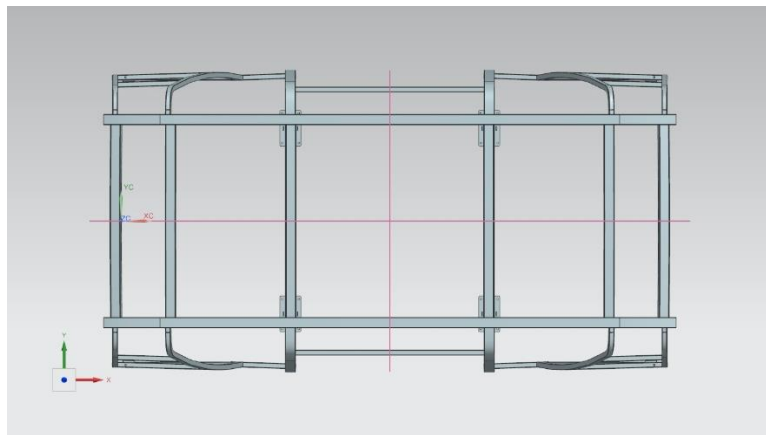
Sõiduki ehitamisel kasutatakse *body-on-frame* meetodit. See tähendab, et sõiduki kere valmistatakse eraldiseisva osana ning hiljem paigaldatakse alusraami peale. Antud meetodi puhul tulevad tugevuse ja jäikuse omadused peamiselt alusraamilt. Selline autoehitamise viis võimaldab kasutada ühte alusraami mitme erineva kerega. Lisaks saab niimoodi alusraami ja kereraami paralleelselt toota ning tootmise lõpufaasis neid kergesti ühendada.

2.1 Konstruktsiooni analüüs

Iseauto kereraam on valmistatud nelikanttorudest, järgides nii sõiduki alusraami ja sellele olevaid komponente kui ka kerepaneelide kuju ja disaini. Sõiduki disaini järgimine on olnud hea otsus sümmeetrisuse osas, kuna see on sümmeetriline eest-taha ja küljelt-küljele. Sama loogikat on jätkatud ka kereraami disainimisel, kus põhikonstruktsiooni osad on sümmeetrilised. Ainuke erinevus tuleb külgedelt, kus ühel pool on ukseüsteem ja teisel pool on lisaraamkonstruktsioon klapptoolide ja kliimasüsteemi paigaldamiseks. Need osad, lähtudes kereraamist, on kergesti vahetatavad küljelt-küljele, muutmata üldist kereraami konstruktsiooni. Säilitatud on modulaarsust, juhuks kui on vaja vasakpoolse liikluse jaoks sõiduki üks vasakule küljele paigaldada. Iseauto kereraam on näidatud seledel 2.1 ja 2.2.



Sele 2.1 Iseauto kereraam



Sele 2.2 Iseauto kereraam pealtvaade

Kereraami alumine osa, põrand ja otsad on suuresti seotud alusraamiga ja sellel olevate istmeraamidega. Istmeraamid määravad ära kereraami esi- ja tagaosade kõrguse, kuna kereraam kinnitub neljast nurgast nende raamide külge. Lisaks on põranda kõrgus määratud alusraamil olevast akupakist, sest selle pinnast ei ole võimalik põrandaga allapoole minna. Seega on siseruumi kõrgus leitav, kui sõiduki kogu kõrgusest lahutatakse ära alusraami paksus. Viimane on suuresti tingitud sõidukil kasutatava akupaki mõõtmetest. Lisaks tuleb arvestada ka põranda ja laepaneelide enda paksusega. Iseautol on siseruumi kõrgus keskmiselt 1850 mm.

Kere disaini ja kuju järgimine on aga tähendanud keerukat konstruktsioonilist kuju kereraamile. Kuna kere pind ei koosne sirgetest pindadest, vaid on muutuva raadiusega kujupind, siis selle pinna täpne imiteerimine torukonstruktsioonil on raske.

Nagu eelnevalt juba mainitud, siis on antud konstruktsioon peamiselt valmistatud nelikanttorudest. Lehtmetailid on kasutatud tugevusnurkade ja kereraami sidumiseks alusraamiga. Iseauto kereraami konstruktsiooni saab jaotada detailide järgi kolme põhigrupi – muutuva raadiusega torud, sirged torud ja lehtmetailid.

Protsentuaalselt moodustavad muutuva raadiusega torud 69% kogu konstruktsioonist, sirgete torude osakaal on 26% ja lehtmetailid detailide osakaal 5% (Tabel 2.1).

Tabel 2.1. Kereraami konstruktsiooni jaotus

	Mass, kg	Konstruktsiooni osakaal, %	
Kereraam	109.25	100%	
Muutuvaraadiusega torud	75.28	69%	
Sirged torud	28.14	26%	
Lehtmetailid	5.54	5%	
Puksid	0.29	0%	
	109.25	100%	Kontroll

Raamis esindatud torud mõõtude ja materjali omaduste järgi on järgmised:

- 25x25x2 – S235
- 50x25x2 – S235
- 50x25x3 – S235

Tabelis 2.2 on ära näidatud S235 terase materjaliomadused.

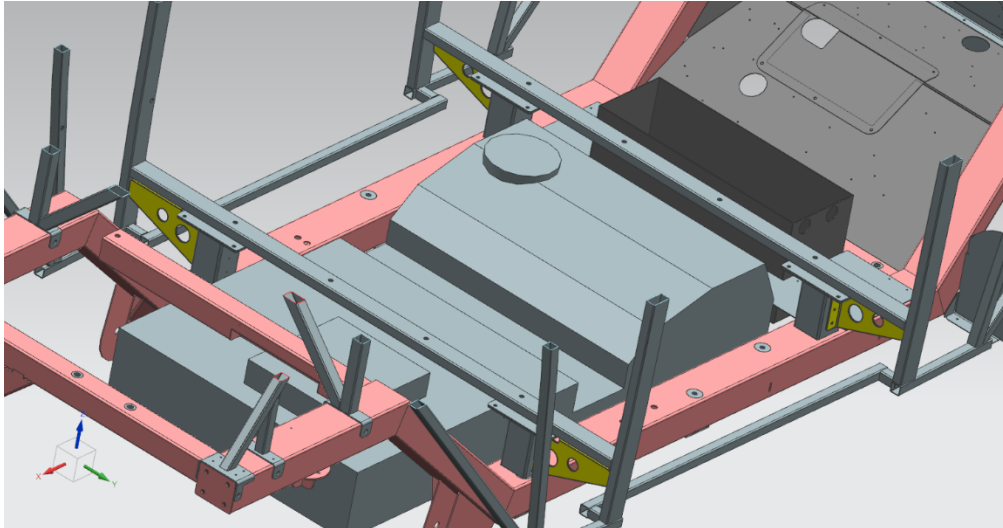
Tabel 2.2 Materjaliomadused, teras S235

Materjal: Teras S235	
Tihedus (kg/m³)	7850
Poissoni tegur	0,3
Voolepiir (MPa)	235
Tõmbetugevus (MPa)	360 - 510

Lehtmetailid on valmistatud kasutades DC01 materjali. Kasutatud materjalide paksused on 2, 3, 5 ja 10 mm.

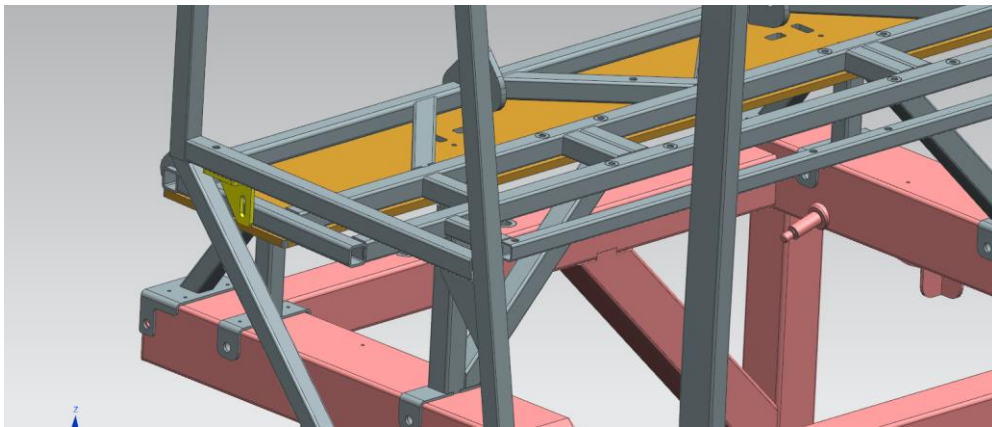
Kereraam ise moodustab kogu sõiduki tühimassist 8,7%. See on väga väike võrreldes keskmise suurusega bussidega, mille kereraam moodustab ligi 30% bussi kogumassist [2].

Alusraami ja kereraami ühendamisel on kasutatud põhiliselt poltühendust. Tugevuse lisamiseks on keskmistele ühenduskohtadele lisatud lehtmetailid nurgad kasutades selleks neet- ja liimühendust. Seel 2.3 on näidatud 4 lisanurka kollase tooniga.



Sele 2.3. Kereraami keskmised ühenduskohad alusraamiga

Kereraami otsad on ühendatud istmeraamidega kasutades 5 mm lehtmetailist painutatud L-vinkleid ning polt ühendust. Antud vinklitele on jäetud üks poldi ava soonena, et jätta võimalust kompenseerida kereraami koostamisest tulenevaid ebatäpsuseid. Kereraami istmeraamiga ühendav nurk on näidatud seel 2.4 kollase tooniga.



Sele 2.4. Kereraami otsmised ühenduskohad istmeraamiga

2.2 Disaini ja tugevuse analüüsimine (FEM)

Tulenevalt sellest, et kereraami modelleerimiseks kasutati *Siemens NX* tarkavara, on ka analüüside teostamiseks kasutatud sama programmi.

Kereraamil analüüsiti kolme olukorda:

- Konstruktsiooni tugevuse analüüs ilma lisakoormuseta. Koormatud ainult gravitatsiooni mõjul.
- Konstruktsiooni analüüs sõiduki maksimaalse pidurdusjõu juures.

Maanteeamet nõudis pidurduskatsel keskmist aeglustus kiirust 5 m/s^2 ($25 \text{ km/h} - 0$), konstruktsiooni analüüsimiseks kasutati maksimaalset koormust 10 m/s^2 . See on 2 kordse varuteguriga nõutud pidurdusjõust.

- Konstruktsiooni väändejäikust.

Enne analüüside teostamist optimeeriti konstruktsiooni mudelit. Lihtsustati kõiki detaile kaotades neilt raadiused ja avad. Kuna analüüsidesse oli lisatud lisaraamkonstruktsioon, siis kadus raami sümmeetrilisus küljelt-küljele, aga säilis esi- ja tagaosa sümmeetrilisus.

Analüüside lihtsustamiseks keskenduti ainult Iseauto kereraamile, seega arvestati alusraam täielikult jäiga kehana. Sellest tulenevalt kasutati jäigalt fikseerimiseks kaheksat ühenduskohta kahe konstruktsiooni vahel.

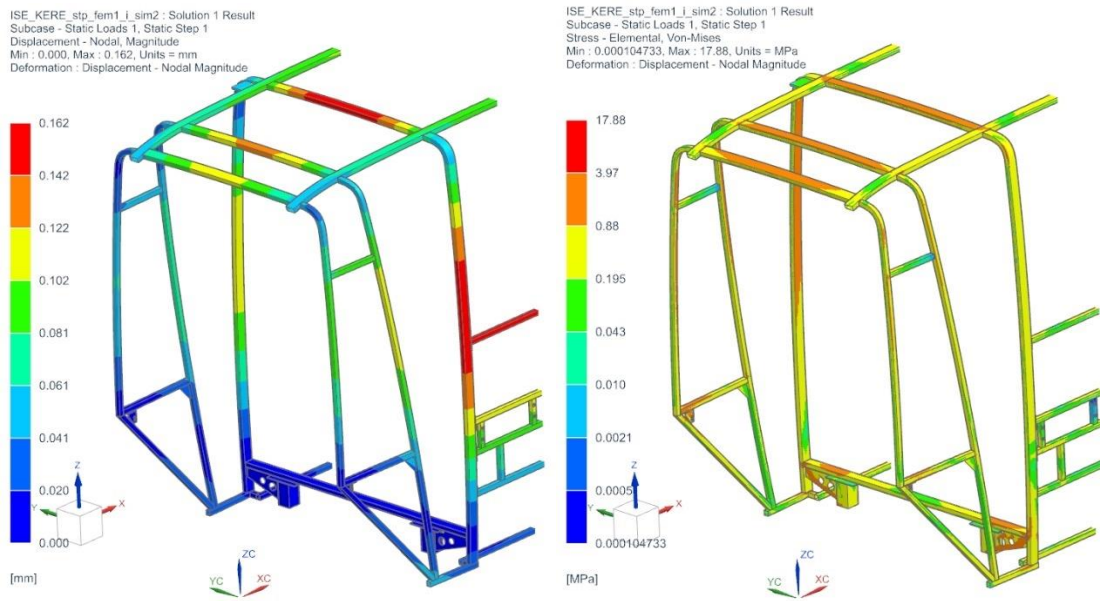
2.2.1 Kereraami tugevusanalüüs omaraskuse all

Antud olukorra analüüsimiseks kasutati *NX*-is *Linear Statics* meetodit.

Analüüsi lihtsustamiseks kasutati konstruktsiooni sümmeetrilisust eest-taha ja teostati analüüs kasutades raami ühte poolt. Jäigalt fikseeriti punktid, kus kereraam kinnitub alusraamile ja konstruktsiooni poolituskohast jäeti ainult kaks vabadusastet, Y- ja Z-telje sihis.

Mesh elementide suurus oli $8,94 \text{ mm}$ ja neid tihendati $2,5 \text{ mm}$ peale eesmistest kinnituspunktide poldiavade juurest. Kogu kehale mõjus gravitatsioonijõud $9,8 \text{ m/s}^2$.

Saadud tulemuste põhjal oli raami läbipaine maksimaalselt $0,162 \text{ mm}$ ja maksimaalne pinge $17,88 \text{ MPa}$. Antud maksimaalne pinge tekkis kereraami ja alusraami ühenduskohta, kus on poldiava. Sellest saab järeldada, et nendesse punktidesse tekivad pingekontsentraatorid. Seel 2.5 on kujutatud kereraami deformatsiooni ja pingeid.



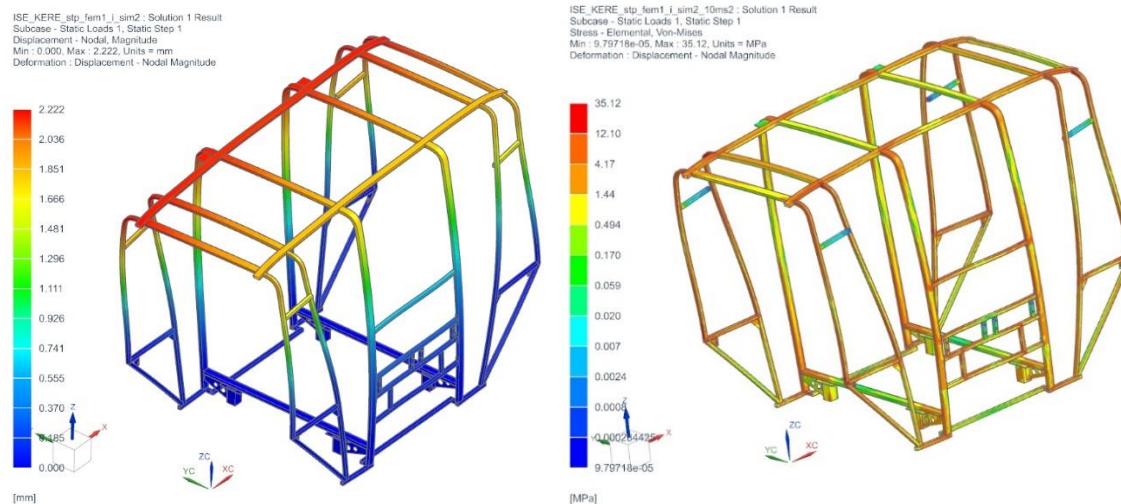
Sele 2.5. Kereraami analüüsi tulemused gravitatsiooni mõju all

2.2.2 Kereraami tugevusanalüüs pidurdusjõu all

Et saada Iseautot tänavalegalseks tuli sellel läbida Maanteeameti poolt etteantud testid. Üheks testidest oli pidurduskatse, kus sõiduk pidi saavutama aeglustuse 5 m/s^2 . Vastavalt sellele analüüsiti kereraami kahekordse varuteguriga ehk aeglustus oli 10 m/s^2 .

Antud analüüsi jaoks kereraami geomeetriliselt optimeerida ei saanud. Kuna pidurdusjõud mõjub sõidusuunas, siis on vaja analüüsida kogu külge, et saada korrektne tulemus. Seega kereraami poolitada ei saadud ja külgede erinevuse tõttu oli vaja teostada analüüs tervele konstruktsioonile.

Sarnaselt eelmisele analüüsile olid *meshi* elemendid samad, kus üldisel konstruktsioonil oli elemendi suuruseks $8,94 \text{ mm}$ ja kinnitusavade juurest tihendati *meshi* $2,5 \text{ mm}$ elementidega. Selel 2.7 on ära näidatud antud analüüsi tulemused kereraamile. Maksimaalseks deformatsiooniks saadi $2,22 \text{ mm}$ ja pingeks $35,12 \text{ MPa}$.



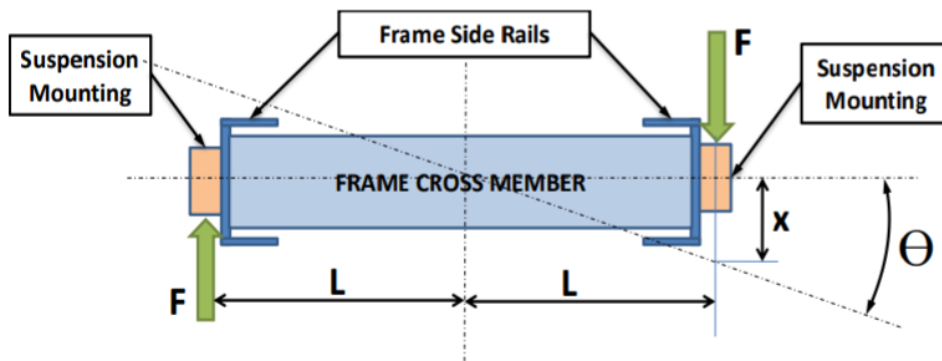
Sele 2.6. Kereraami analüüsi tulemused pidurduskatsel

2.2.3 Kereraami väändejäikuse analüüs

Mõistmaks paremini kereraami omadusi, teostati sellele lisaks tugevusanalüüsidele ka väändejäikuse analüüs. Väändejäikus näitab, kui palju võib keha sellele mõjuvate jõudude all deformeeruda ja siis minna tagasi oma algsesse olekusse ilma, et selle mõõtmed jäädavalt muutuksid.

Konstruktsioon ei saa olla täielikult jäik, sest siis muutuks see hapraks ja võib kergemini puruneda. Samas ei saa raam olla ka täielikult pehme, sest siis oleks see liiga nõrk ja konstruktsioon ei püsiks koos. Seega peab raam olema piisavalt jäik, et kannatada sellele mõjuvaid jõudusid ning samaaegselt lubama kerget deformatsiooni, et leevendada nende jõudude poolt tulenevat mõju.

Raamkonstruktsiooni väändejäikuse analüüsimiseks lähtutakse sõiduki šassii analüüsimismeetodist, kus raam on fikseeritud ühest otsast ja väänet imiteeritakse raami teisele otsale kahe vastassuunalise jõuga. Jõud määratakse raami mõlemal küljel samasse kohta ning need asuvad võrdsel kaugusel raami tsentrist. Seel 2.7 on näidatud jõudude paigutamist šassii analüüsimiseks.



Sele 2.7 Analüüsimis jõudude paigutus šassiil [3]

Konstruksiooni väändejäikust mõõdetakse Nm/° kohta. See näitab kui palju on vaja väänet, et raam painduks 1 kraadi võrra. See tuleb valemist 2.1 [3],

$$K_{tor} = T/\theta, \quad (2.1)$$

Kus T – leitav väändemoment, Nm,
 θ - raami nurga muutus, °.

Esmalt leitakse raami esiosale mõjuv väändemoment valemiga 2.2 [3],

$$T = F * L, \quad (2.2)$$

kus F – raami nurka mõjuv koormusjõud, N,
 L – jõu kaugus raami kesk teljest, m.

Järgnevalt leitakse raami painde nurk valemiga 2.3 [3],

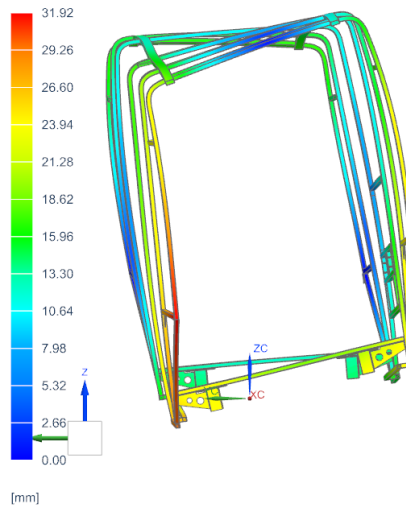
$$\theta = \tan^{-1}(x/L), \quad (2.3)$$

Kus x – deformatsioon, m,
 L – jõu kaugus raami kesk teljest, m.

X-i väärtus saadakse analüüsist ja see on võrdne deformatsiooniga jõu rakendumispunktist.

Analüüsi ülesehitus teostati järgmiselt. Kuna kereraamil olevad alusraami kinnituspunktid on sümmeetrilised, siis fikseeriti analüüsis tagumises punktides jäigalt ja eesmistele määrati koormusjõud. Koormusjõudude suunad olid kinnituspunktidel erisuunalised. Koormuse suurusena võeti 1000 N nurga kohta, sama suurt koormust kasutatakse hiljem uuendatud raami väändejäikuse analüüsimiseks, et võrrelda raamide erinevust. NX-is teostatud analüüsi tulemusena leiti deformatsioon, mis oli 31,92 mm. Seel 2.8 on näidatud kereraami väändeanalüüsi deformatsiooni, mida on visuaalselt võimendatud 5%.

ISE_KERE_stp_fem1_i_sim2_torsion_stiff : Copy of Solution 1 Result
 Subcase - Static Loads 1, Static Step 1
 Displacement - Nodal, Magnitude
 Min : 0.00, Max : 31.92, Units = mm
 Deformation : Displacement - Nodal Magnitude



Sele 2.8 Kereraami väändeanalüüsi deformatsioon

Saadud andmete põhjal teostati arvutused eelnevalt väljatoodud arvutuskäigu põhjal.

$$T = 1000 * 0,666 = 666 \text{ Nm} \quad (2.2)$$

$$\theta = \tan^{-1}(0,032/0,666) = 2,75 \quad (2.3)$$

$$K_{tor} = \frac{666}{2,75} = 242,2 \text{ Nm/}^\circ \quad (2.1)$$

Tulemuseks saadi, et antud raamil on väändejäikus 242,5 Nm/°. Kui võrrelda seda tavasõiduki kere jäikusega, mis on vahemikus 17 - 40 kNm/° [4], siis on antud raami jäikus väga väike. Kindlasti tuleb arvestada seda, et tavasõiduki kere analüüsis on arvestatud kogu sõiduki põhikonstruktsiooni, välja on jäetud väiksemad alamkoostud nagu näiteks ukсед, keretiivad, kapott jne. Seega ei saa neid andmeid täielikult üks-ühele võrrelda, kuna Iseauto kere konstruktsiooni juures ei ole arvestatud alusraami. Alusraam on sõiduki üks põhiline jäikust andvatest elementidest, seega kereraam ilma selleta ei pruugi soovitud tulemusi anda.

Kuna antud töös keskendutakse ainult sõiduki kereraamile, siis võrreldakse kahe raami omadusi samade jõudude all.

2.3 Konstruktsiooni koostamise protsess

Antud hetkel ostetakse Iseauto kereraami koostamine allhankena sisse, sest Auve Tech'i õde-ettevõttel Auve Productioni OÜ-l puudub võimekus sellisel kujul kereraami valmistamiseks.

Kuna kereraam koosneb suures osas toruprofiilidest, siis üheks põhiliseks koostamise osaks on nende torude ettevalmistamine. Jaotades kogu koostamise etappideks saadi järgmised sammud – torude ettevalmistus, lehtmetailide valmistamine, treidetailide valmistamine, keeviskoostamine ja lõppviimistlus. Järgnevalt käidi kõik need etapid läbi, et ära kaardistada kogu protsess ja leida üles probleemsed kohad, mida järgmise raami valmistamise juures parandada.

2.3.1 Kereraami torude ettevalmistus

Konstruksioon koosneb kahte tüüpi nelikanttorudest, muutuvakujuraadiusega ja sirgetest torudest. Viimastega on lihtne, nende valmistamiseks kasutatakse torulaserit, millega lõigatakse vastavad torud õige pikkuse, kuju ja avadega välja. Muutuvakujuraadiusega torudega on keerulisem, sest neid on vaja esmalt painutada õigesse kujusse ja siis pikkusesse lõigata. Kuna antud painutusi ei ole allhankijal võimalik automaatse masinaga teostada, siis tehakse neid kasutades manuaalset painutust ja šabloon. Šabloon valmistatakse toruristlõikest ning lõigatakse lehtmetailist välja. Selle järgi painutatakse toru õigesse kujusse.

Kuna torupainutamise jaoks on vaja jätta toru otstesse lisamaterjali, millest kinni hoida, siis ei saa torusid enne painutamist pikkusesse lõigata. Seega teostatakse torude pikkusesse lõikamine sama šablooni järgi.

Torudes olevate avadega on sarnane probleem, et neid ei saa enne painutamist torudesse teha, sest painutuse käigus võivad need nihkuda torukuju suhtes. Seega ei saa nende tegemiseks torulaserit kasutada ja need tuleb koostamise lõpus käsitsi positioneerida ja puurida.

2.3.2 Kereraami lehtmetailide valmistamine

Raamil kasutatavad lehtmetailid ei ole väga keerulised, seega kasutatakse nende valmistamiseks lehelaserit ja -painutust.

2.3.3 Kereraami treidetailide valmistamine

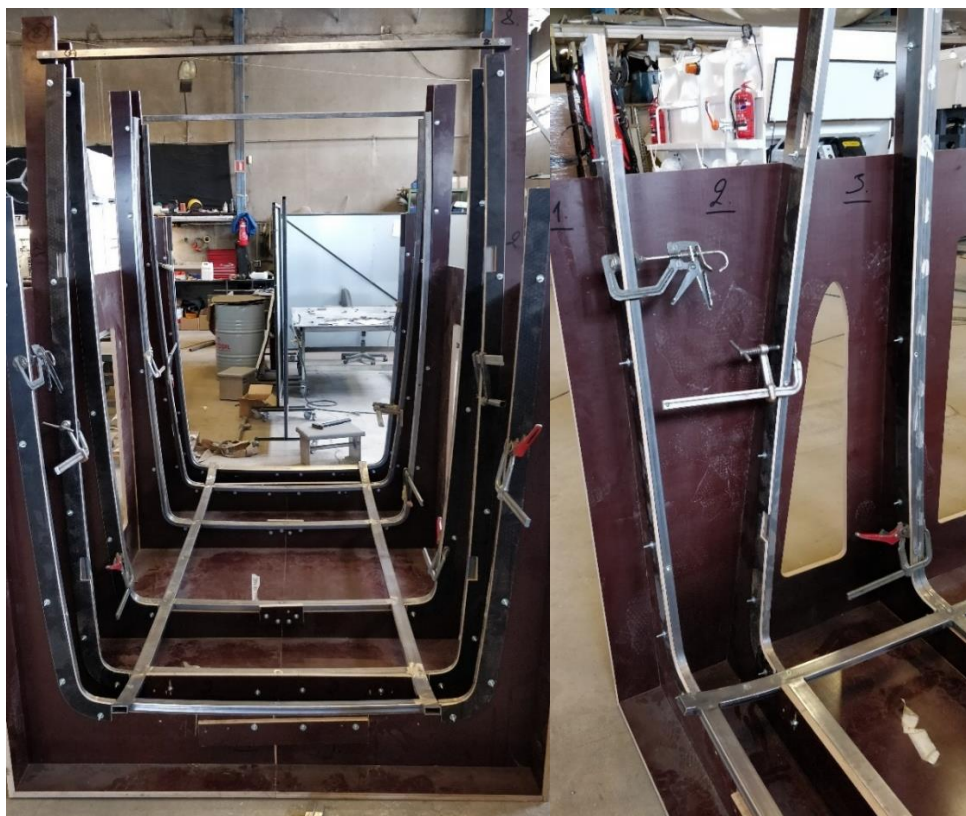
Antud detailid on lihtsa kujuga ning neid saab valmistada kasutades treipinki. Puksid on kujult silindrilised ja läbi keermestatud avaga. Välimised servad on keevitamise jaoks 45 kraadise faasiga.

2.3.4 Kereraami keeviskoostamine

Kui kõik vajalikud detailide kereraami koostamiseks on olemas, siis alustatakse keeviskoostamisega. Antud konstruktsiooni koostamise lihtsustamiseks on valmistatud

veekindlast vineerist rakis, kuhu saab paigaldada ja kinnitada kõik torud, et konstruktsioon kokku punktida.

Rakis imiteerib kereraami välimist kuju ja selle sisse koostatakse raam tagurpidi. Koostamise asend on valitud selline, sest see võimaldab hiljem raami rakisest välja tõsta. Rakise on keskel poolitatav, mis lihtsustab veelgi pooleldi valminud raami eemaldamist sellest. Seel 2.9 on näidatud Iseauto kereraami koostamist vineerist rakises.



Sele 2.9 Kereraami koostamine kasutades rakist

Kui raam on rakisest eemaldatud, lõpetatakse keevised, mida rakises ei olnud võimalik teha, sest osadele toruühendustele takistab rakise kuju raami välispinnale ligipääsu. Seel 2.10 on näha valmis Iseauto kereraami paigutatuna sõiduki alusraamile.



Sele 2.10 Iseauto valmis kereraam paigutatud alusraamil

2.3.5 Lõppviimistlus

Kui raamil on keeviskoostamine valmis, siis lihvitakse välimistelt ja sisemistelt pindadelt keevised tasa ning puuritakse avad, mida ei olnud esmalt võimalik muutuvakujuraadiusega torudesse teha. Raami sisemisel pinnal on avad, millesse paigaldatakse lõppfaasis neetmutrid. Ülejäänud avad jäävad tühjaks.

Lisaks ei kanta raamile pinnakatet. Seda tehakse sõiduki tootmise hilisemas faasis, kui kõik kerepaneelid on raamile liimitud. Siis koos kere värvimisega kaetakse ka sisemine raamkonstruktsioon.

2.4 Probleemsed kohad

Iseauto kereraami analüüsi põhjal saab öelda, et seda ei ole kõige lihtsam toota. Suur osa selle konstruktsioonist moodustavad muutuvaraadiusega nelikanttorud, mida on väga keeruline täpselt toota. Ka selle raami mehaanilised omadused ei ole kõige paremad, väändejäikus on väga madal. Seda saaks suurendada kasutades lisaprofiile või -lehtmetailid, mis annaksid konstruktsioonile lisajäikust. See-eest kumer konstruktsioon aitab hästi ülevalt alla mõjuvatel jõududel alusraami edasi kanduda. Seda näitab väga väike raamideformatsioon omaraskuse all.

3. UUE AUTONOOMSE SÕIDUKI KERERAAMI DISAINIMINE

Uus sõiduk, millele käesolevas töös kereraami disainitakse, sarnaneb väga palju eelmisele versioonile. Sõiduki suurimaks muutuseks on selle välimine disain ja kere gabariitmõõtmed. Ettevõtte poolne soov oli muuta sõiduk reisijatele mugavamaks ja ohutumaks. Kuna eelmisest versioonist tuli välja siseruumi puudus, siis leiti, et esimeseks eesmärgiks on seda suurendada. Üheks piiravaks teguriks sõiduki mõõtmete muutmise juures jäi selle kasutusvõimalus. Ettevõtte tahtis, et sõiduk oleks jätkuvalt konkurentidest väiksem ja kasutatav kitsamates piirkondades. Tulenevalt sellest teostati ettevõttes baasauto analüüs ning selle tulemusel saadi uue sõiduki põhilised gabariitmõõtmed.

Mõõtmetelt muutusid märgatavalt sõiduki pikkus ja laius – 3800 ja 1660 mm – kõrguspiir sooviti jätta samaks, 2400 mm peale. Antud mõõtmete muutmise suudet sõiduki siseruumi suurendada umbes 10% võrra. See võib tunduda väike, aga sellise minimaalse sõiduki puhul mängib iga millimeeter rolli. Laiuse suurendamine 160 mm annab väga palju sõiduki otstes istuvatele reisijatele sõidu mugavuse osas juurde. Istmetevahelised vahed on nüüd vastavuses seaduse poolt ettemääratud nõuetega, kus istmete keskelgede vaheline kaugus on vähemalt 450 mm [5]. Iseautol olid istmed üksteisele nii ligidal kui võimalik.

Konstruksiooni loomise juures arvestati ettevõtte soovi kasutada ära võimalikult palju AuVe Production OÜ tootmisvõimekust. Selleks teostati AuVe Productioni tootmisvõimekuse ülevaatus.

3.1 AuVe Production OÜ tootmisvõimekus

AuVe Production OÜ asub Tallinna piirialal Saku vallas. Sellel ettevõttel on väga hea võimekus kiireks prototüüpimiseks ja väiksema seeria tootmiseks. Seal on seadmeid erinevate materjalide töötlemiseks. Seadmete jaotus on teostatud vastavalt materjalide jaotusele – kergmaterjalid, metall ja plast/komposiit [6].

Kergmaterjalide seadmed:

- 3-teljeline CNC freespink – KIMLA 3D
- 5-teljeline CNC freespink – KIMLA 5D
- 3-teljeline CNC freespink – VHF

Metalli töötlus seadmed:

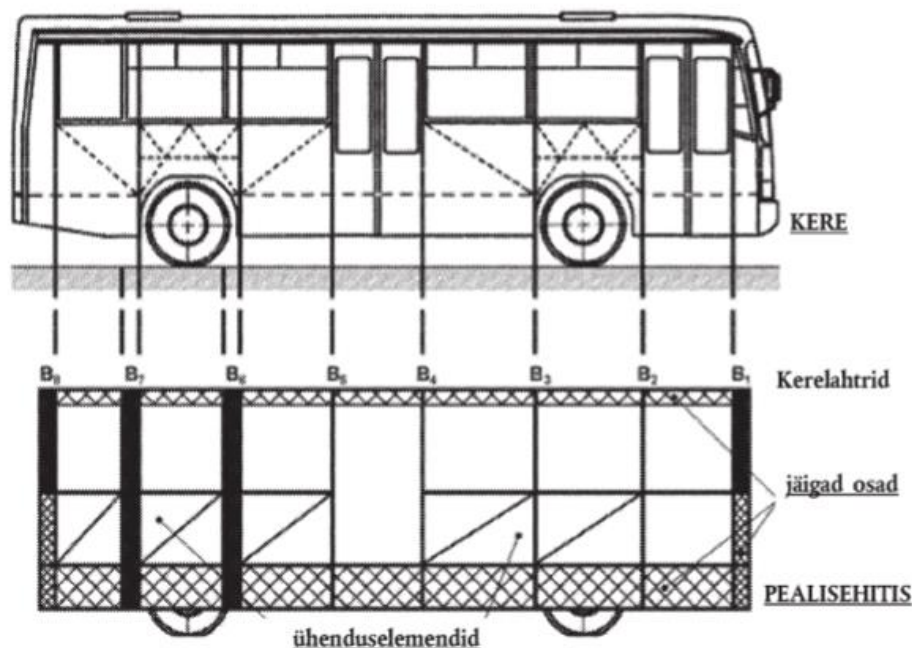
- 3-teljeline CNC freespink – HAAS VF-3
- Lehtmetalli ja torulaser – Kamiteka LM3015GR6
- Lehtmetalli painutuspink – LeMans iBend 3100 135T
- CNC treipink – Knuth
- MIG/MAG keevitusmasin ja keevituslaud

Plasti ja komposiit seadmed:

- CNC vaakumvormimine – Toolsfactory
- PUR materjali laskmise seade

3.2 Konstruksiooni kontseptsioon

Uue kereraami disainimisel võetakse eeskujuna busside pealisehitistest, sest need on tüüpiliselt valmistatud kasutades *body-on-frame* meetodit. Kuna sõiduki kere disain määrab väga palju, siis on võimalik sellest tuletada, milline võib tulla kereraam. Lähtudes busside pealisehitistest on neil eraldi välja toodud kerelahtrid ehk konstruktsiooni sektsioonid. Antud sektsioonid näitavad ära osad, mis suurendavad pealisehitise tugevust ja energia neeldumist. Lisaks näidatakse ära ühenduselemendid kerelahtrite vahel, mis suurendavad pealisehitise väändejäikust. Selal 3.1 on kujutatud antud kerelahtreid bussi konstruktsioonis [7].



Sele3.1. Pealisehitise tuletamine kerest [7]

Sellisel kujul olevat konstruktsiooni sektsiooni, mis moodustab suletud silmuse kahe tasapinna vahele ja mis on risti sõiduki vertikaalse pikisuunalise kesktasapinna suhtes,

nimetatakse kerelahtriiks. Kerelahter võib koosneb ühest aknapostist või uksepostist sõiduki mõlemal küljel, külgeina elementidest, katusekonstruktsiooni ühest sektsioonist ning pöranda- ja aluspörandakonstruktsiooni ühest sektsioonist [7].

Sarnast kerelahtrite jaotust kasutatakse uue kereraami kontseptsiooni ja disaini loomises. Olulisteks punktideks antud sektsioonideks jaotamise juures on akende ja uste asukohad. Need määravad ära jäikade osade positsiooni ja nende vahelise sammu.

Materjalide ja tehnoloogiate valikul lähtutakse ettevõtte soovist kasutada ära võimalikult palju ettevõttel endal olemasolevat tootmisvõimekust. Arvestama peab ka tootmislihtsust, et tulevikus oleks võimalikult lihtne minna prototüübilt edasi väikeseeria tootmise peale. Tulenevalt nendest kriteeriumitest arvestati kontseptsiooni loomisel standardmaterjalide kasutamist.

Eri lahenduste korral suureneb risk tarneprobleemidele ja vajadus eritehnoloogiatele. Väikeseeria juures mõjutavad need märgatavalt toote omahinda. Seega välistatakse nende lahenduste kasutamine, kuna need ei kattu hetkel ettevõtte soovidega.

3.2.1 Kere konstruktsioon

Uurides lähemalt busside kerekonstruktsioone tuli välja, et kasutatakse põhiliselt kahte konstruktsiooni tüüpi: toruraam ja lehtmetailist stantsitud raam.

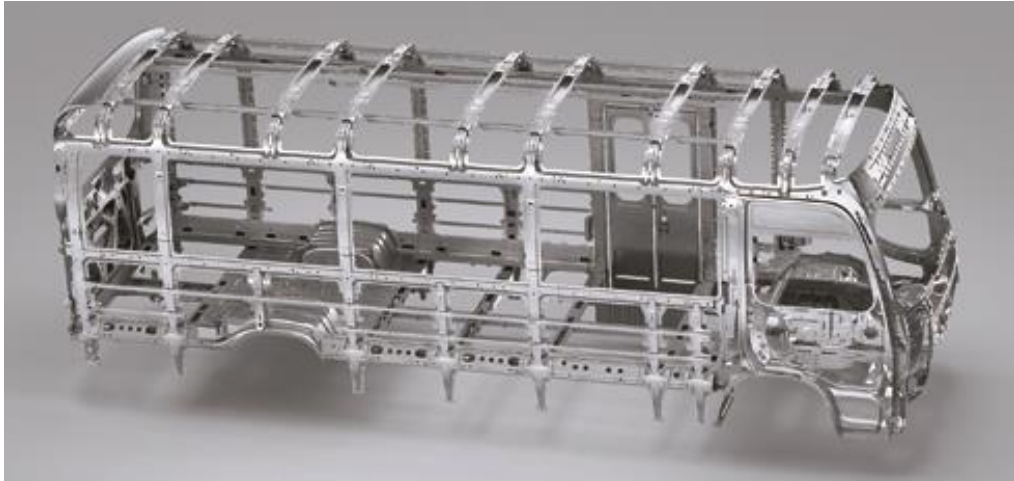
Esimeseks tüübiks on toruraam, kus põhikonstruktsioon on valmistatud kasutades toruprofiili. Nagu seel 3.2 on näha, siis konstruktsiooni valmistamisel on kasutatud peale torude ka lehtmetailist detaile, et anda konstruktsioonile lisatugevust ja -jäikust nendeks vajalikes kohtades. Konstruktsiooni koostamiseks on kasutatud põhiliselt keevisühendust.



Sele 3.2 Bussi kereraami torukonstruktsioon [8]

Antud konstruktsiooni puhul on otsustatud kasutada nelikanttoru näiteks ümartoru asemel. Kui lähtuda ainult nende torude geometriast ja mehaanilistest omadustest, siis ümartoru on parem painde ja väände jõudude vastuvõtmiseks, seda sama kaalu juures kui nelikanttoru. Aga nelikantprofiili eeliseks on selle sirged pinnad, mille peale on lihtne luua teisi ühendusi. Ainuüksi konstruktsiooni valmistamise mõttes on nelikantprofiil eelistatum. Lisaks lihtsustab see hiljem kogu bussi kere- ja sisupaneelide paigaldamist raamile. Seega kui konstruktsiooni kaal on väga oluline, on ümartoru parem variant, aga töö ja lihtsuse mõttes on parem nelikantprofiil.

Teine raami tüüp on lehtmetailist stantsitud detailidest koostatud kereraam. Seel 3.3 on ära näidatud Toyota väikebussi kereraami konstruktsioon, mis on valmistatud kasutades just seda meetodit. Kahjuks on antud tehnoloogia väga kallis ja ei ole otstarbekas väikeseeria juures. See ei kattuks ka AuVe Tech'i sooviga disainida kereraam, mida annaks täielikult AuVe Productionis toota.



Sele 3.3 Toyota väikebussi kereraam [9]

Seega lähtutakse uue sõiduki kereraami kontseptsiooni loomisel esimesest raami tüübist. Kus konstruktsiooni valmistamiseks kasutatakse nelikantprofili ja lehtmetailid kombinatsioonist.

3.2.2 Toruraami materjali valik

Konstruktsiooni disainimise juures mängib suurt rolli õige materjali valik. On erinevate omadustega materjale, millel kõigil on omad plussid ja miinused. Seega on oluline, et materjale kasutataks nende jaoks õigetes kohtades. Kindlasti tuleb arvestada materjalide hinna ja kättesaadavusega. Seega kasutatakse kereraami disainimisel konstruktsiooniteraseid, kuna antud terased on heade omadustega, kättesaadavad, mõistliku hinnaga ja hästi töödeldavad.

Põhilised konstruktsiooniterased on S235, S275 ja S355. Nendest terase markidest valmistatud profiilid on Eestis laialt levinud. Tabelis 3.1 on välja toodud antud teraste keemiline koostis ja mehaanilised omadused.

Tabel 3.1 Teraste keemiline koostis ja mehaanilised omadused [10]

Terase mark	Keemiline koostis					Mehaanilised omadused	
	Süsinik, C%	Räni, Si%	Mangaan, Mn%	Fosfor, P%	Väävel, S%	Tõmbetugevus, R _m , MPa	Voolepiir, R _e , Mpa
S235	0,19 – 0,23	-	1,50	0,05	0,05	360 – 510	235
S275	0,24 – 0,25	-	1,60	0,05	0,05	410 – 560	275
S355	0,27	0,60	1,70	0,05	0,05	470 – 630	355

Esmase kereraami kontseptsiooni modelleerimiseks ja analüüsimiseks kasutatakse konstruktsiooni terast margiga S235.

3.3 Kontseptsiooni modelleerimine

Peale kontseptsiooni paika saamist alustati uue kereraami modelleerimisega. Selleks kasutati ettevõttes kasutuses olevat *Siemens NX* programmi ja juhitud kontseptsiooni faasis välja toodud punktidest. Lisaks tuli modelleerimise käigus arvesse võtta ettevõtte poolseid nõudmisi.

Esmalt kaardistati kõik põhipunktid, mida uue konstruktsiooni juures sooviti saavutada:

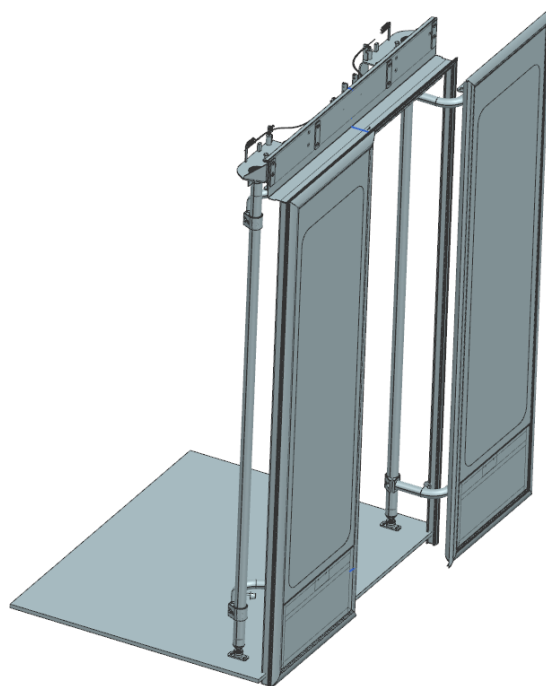
- Lihtsasti toodetav;
- Mehaanilised omadused võrdsed või paremad võrreldes Iseauto kereraamiga;
- Modulaarne ja sümmeetriline konstruktsioon;
- Lihtsasti muudetav ukse positsioon (vasakul või paremal küljel);
- Siduvus istmeraamidega.

Järgnevalt vaadati üle kõik kereraami disaini piiravad tegurid ning märgiti need ära. Kere disain oma olemuselt määrab suuresti konstruktsiooni põhijooned, mida mööda on võimalik seda ehitada. Disainilt näeb ära, kus on näiteks aknad, uks ja kerepaneelide ühenduskohad. Need on väga olulised osad kereraami arendamisel, sest need kohad nõuavad head siduvust raamiga.

Kui konstruktsioon ei jookse näiteks akende juurest, siis võib tekkida sinna nõrgem koht. See tähendab, et raam, mis peab kandma kogu pealisehitise massi, ei tööta antud kohas hästi. Kogu aknaklaasi massi peab sel juhul hoidma ainult kere välimine paneel, mitte raamkonstruktsioon paneeli taga. Sellises olukorras võivad hakata sõiduki klaasid sõidu aeg purunema, sest kere välipaneel oma omaduste poolest ei pruugi olla piisavalt jäik. Kui paneel ei ole jäik, hakkab see sõiduki liikudes ja klaasi raskuse all läbi painduma, mis omakorda tekitab lisapingeid klaasile ning halvimal juhul võib klaas sõidu aeg puruneda.

Kereraami konstruktsioon on oluline paneelide ühenduskohtade juures, et tagada kohti kuhu paneele kinnitada. Lisaks aitab tugevdada raam paneelide omavahelist siduvust ning hoiab paneelide õiget kuju. Kuna sõiduki välimus on väga oluline ja kerepaneelide kokku sobitamine on tõotanud olla töömahukas, siis hästi disainitud kereraam aitab antud tööprotsessi tunduvalt lihtsamaks teha. Konkreetsed kinnitus- ja tugipunktid tagavad, et kerepaneelide paigaldamine sujuks ning lõppvisuaal oleks vastavalt nõudmistele.

Kuna uks on üks esimesi komponente sõiduki juures, millega klient kokku puutub, siis on hästi oluline, et see sujuvalt töötaks. Olles oma suuruse poolest üks suurimaid mehaanilisi osasid kogu sõiduki juures ning samaaegselt seotud nii alus- kui ka kereraamiga, on tähtis, et kereraam tagaks ukseüsteemile nõutavad kinnituskohad ja jäikuse. Seel 3.4 on näha mudelit, kus ukseüsteemi põhiosad paiknevad ukseavause üleval.

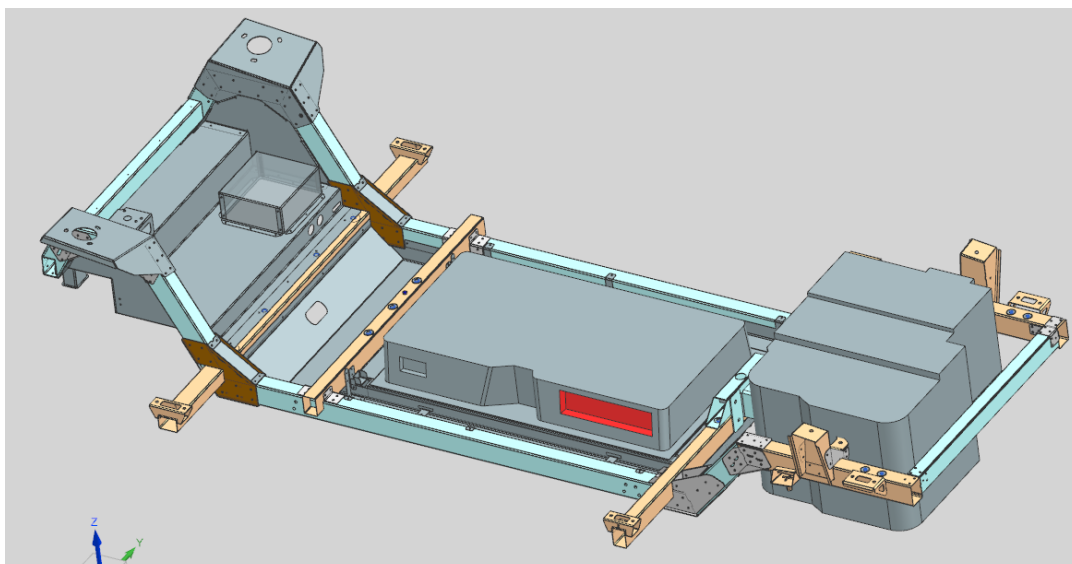


Sele 3.4 Uue sõiduki ukseüsteemi mudel.

3.3.1 Komponentide paigutus ja kerelahtrid

Kereraami modelleerimisel lähtuti juba töös olevast alusraamist, kere disainist, uksest, istmete paigutusest ja teistest komponentidest, mis mõjutasid raami disaini. Esmalt pandi paika piiravad mõõtmed kereraamile. Maksimaalne kõrgus maapinnast ja laius saadi disaini järgi, kuid raami alumise osa ja põranda pinna jaoks oli vaja täpsemalt läbi mõelda siduvus alusraamiga. Mida allapoole tuleb põranda pind, seda rohkem on ruumi ka sõiduki salongis ja sisenemine sõidukisse on mugavam. Seega oli eesmärgiks saada põranda pind nii alla kui võimalik.

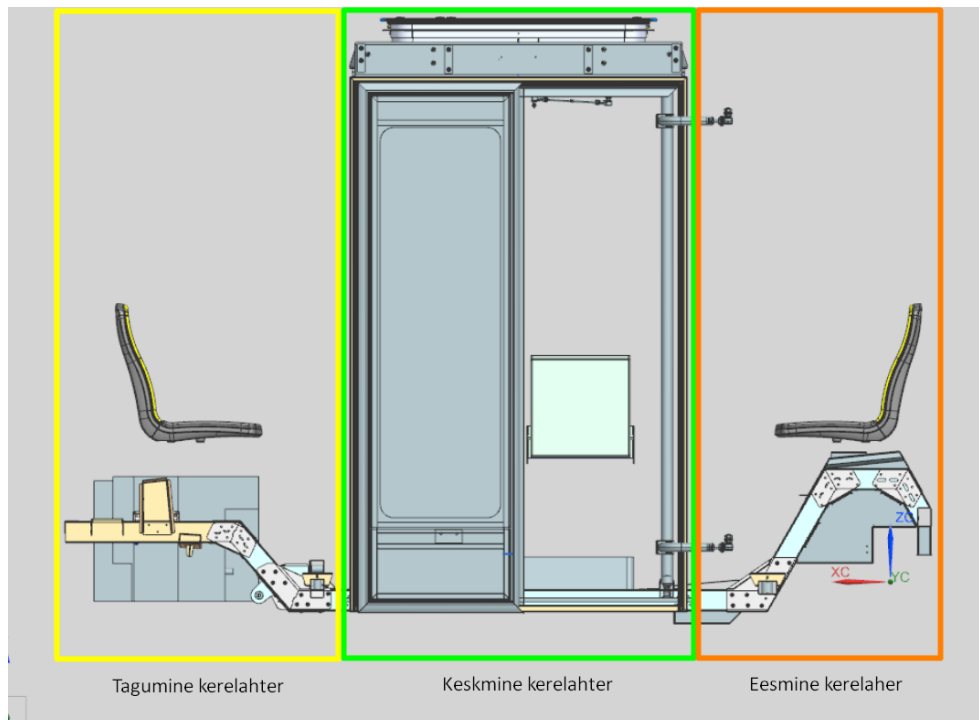
Seel 3.5 on näha uue sõiduki töös olevat alusraami. Sarnaselt Iseautole on ka uuel sõidukil alusraami keskosas akupakk, mis on oma mõõtmete poolest fikseeritud. Seega põrandapinna kõrgus on määratud alusraamil oleva akupaki järgi. Lisaks on seelt 3.5 näha ristitalasid, mida saab kasutada kereraami keskmise osa kinnituspunktidenä.



Sele 3.5 Uue sõiduki alusraami mudel

Olles saanud paika raami mõõdud külgedele, laele ja põrandale, sätiti paika ka istmed. Istmete paigutamisel järgiti nõudeid regulatsioonidest, kus istmepadja kõrgus põrandapinnast on 400-500 mm vahel ja istmete vaheline kaugus nende tsentrist on vähemalt 450 mm [5]. Antud sõidukis on istmepadja kõrgus põrandapinnast 450mm ja istmete vaheline kaugus nende tsentrist 455 mm. Jälgiti ka paigutuse sümmeetrisust, et säilitada kereraami lihtsust. Seega paigutati istmed sõiduki risttelje suhtes sümmeetriselt. Klapptoolid paigutati samade reeglite alusel, aga need pandi sõiduki vasaku külje tsentrisse. Kõrgus põrandapinnas jäi samuti 450 mm peale.

Järgmiseks teostati esmane kerelahtrite jaotus põhinedes olemasolevale infole. Leiti, et konstruktsioonile tekib kolm põhilahtrit: esi-, kesk- ja tagaosa. Esi- ja tagaosa hoiavad endas põhiliselt aknaid ja istmeid. Keskosa hoiab ühel pool ust, teisel pool akent koos klapptoolidega ja katusel katuseluuki. Seel 3.6 on näidatud kerelahtrite jaotus. Konstruktsiooni disainitööd otsustati alustada keskmisest kerelahtrist, kasutades selleks lihtsustatud toruprofiil mudeleid, et kiirendada raami analüüsimisprotsessi.



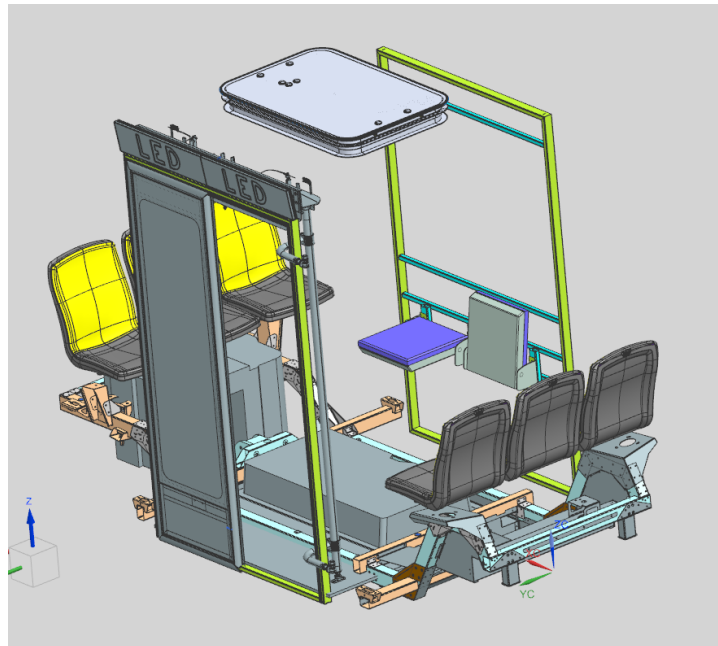
Sele 3.6 Konstruktsiooni kerelahtrite jaotus

3.3.2 Keskmise kerelahter ja küljenurkade modelleerimine

Keskmisses kerelahteris on suurimaks komponendiks ukesesüsteem. See oma laiusega määrab ära kerelahteri laiuse ning kahe peamise piilari positsioonid. Antud piilarid sobivad hästi kogu konstruktsiooni põhiosadeks, kuhu külge on võimalik ülejäänud osad konstruktsioonist ehitada.

Kuna uks nõuab enda ümber jäika raami, mille külge kogu selle süsteem saab kinnituda, tundus mõistlik see konstruktsioon integreerida kereraami. Sel viisil saab tagada ukse ava jäikuse, sidudes see kõrvalolevate lahtritega. Mõeldes tulevikuvõimalustele sooviti lihtsat võimalust ukesesüsteemi teisele küljele paigaldamiseks. Seega peegeldati sama konstruktsioon paremalt küljelt vasakule. Erinevuseks jääb küll see, et vasakul küljel ei ole ust, vaid klapptoolid.

Toolide kinnituskonstruktsioon on eraldiseisev koost, mida on võimalik paigaldada ukseraami sisse olenevalt siis sõiduki konfiguratsioonist. Parempoolse liikluse jaoks on sõiduki uks paremal küljel ja klapptoolide kinnitus vasakul küljel ning vasakpoolse liikluse jaoks vastupidi. Lisaks on klapptoolide poolisel küljel aknaraami alumine ja ülemine profiil. Need profiilid koos piilaritega annavad aknaklaasi ümber piisava jäikuse, et tagada klaasile korrektne paigalduspind. Seel 3.7 on näidatud keskmise kerelahteri konstruktsiooni, kus värvidega on ära märgitud ukseraam ning klapptoolide ja aknaraami lisakoost.



Sele 3.7 Keskmise kerelahtri esmane konstruktsioon
(Laimi roheline – ukseraam; Hele sinine – klapptoolide ja aknaraami lisa koost)

Jõuti kohe ka esimese takistuseni, milleks oli kahe raami sidumine läbi katuse konstruktsiooni. Täpsemalt valmistasid probleeme ukse kohal olevad LED-paneelid ja ukseüsteemi ülemine koost. Need varjasid ära ukseraami ülemise profiili, mille peale oleks saanud kinnitada katuseribid.

Probleemi lahendamiseks mõeldi veel kord läbi kogu konstruktsiooni valmistamise idee. Lahenduseks leiti, et on mõistlik jaotada konstruktsioon omakorda osadeks, millest lõpuks üks tervik kokku pannakse. Jaotuse tulemuseks saadi 4 põhi konstruktsiooni osa:

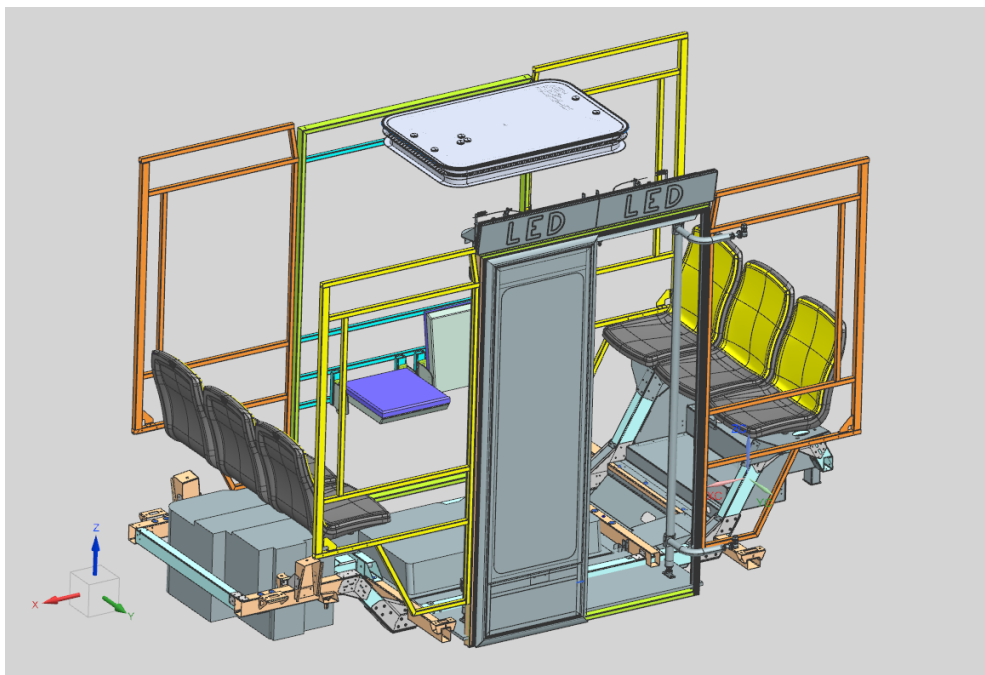
- Põrand;
- Katus;
- Vasak ja parem külj;
- Eesmine ja tagumine istmeraam.

Küljed on eraldiseisavad koostud, mille omavaheliseks sidumiselementideks on altpoolt põrand, ülevalt katus ja otsadest istmeraamid.

Jätkati külje konstruktsiooni välja arendamisega. Et saavutada konstruktsiooni ülimlihtsus prooviti tekitada olukord, kus kereraami kõik neli küljenurka on võimalikult ühesugused, ideaalolukorras valmistatavad ühest rakisest.

Kui lähtuda kerelahtrite jaotusest, siis eesmine ja tagumine kerelahter on väga sarnased. Mõlemal on määravateks teguriteks istmeraamid ja akende positsioonid.

Õnneks on disainis eesmise ja tagumise akna positsioonid ning suurused samad. See lihtsustab tunduvalt kereraami küljenurkade konstruktsiooni, kuna on võimalik kasutada sarnast lahendust igas nurgas. Põhilised erinevused tulevad sisse ühenduspunktides, millega kereraam lõpuks alusraamiga seotakse. Hetkel sellele osale ei keskenduta, vaid sooviti paika saada põhikonstruktsiooni geometria. Seel 3.8 on näidatud kereraami küljenurgad koos keskmise osaga.



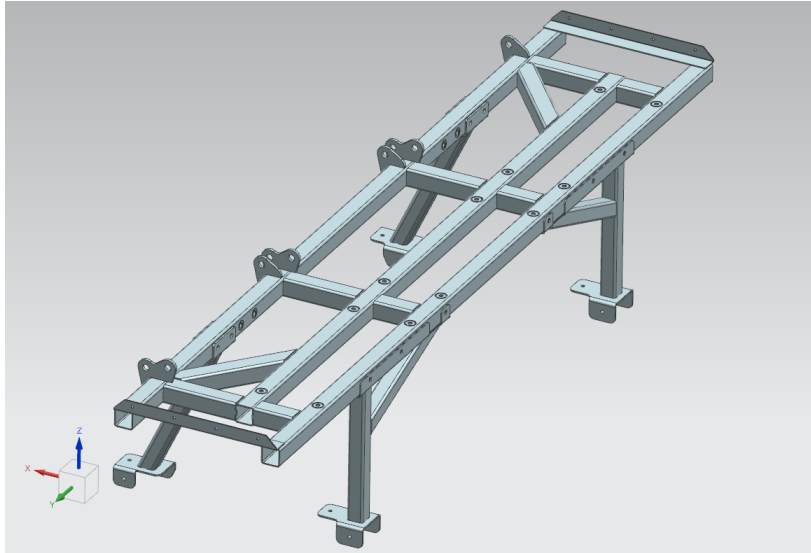
Sele 3.8 Kereraami küljenurgad koos keskmise osaga

3.3.3 Istmeraamide modelleerimine

Istmeraam on üks tähtsamaid osasid kogu sõiduki konstruktsioonis, kuna sinna kinnituvad istmed ja turvavööd reisijatele. Et saada sõiduk tänavalegalseks on vaja teostada istmeraamidele eraldi analüüsid vastavalt regulatsioonidele. Antud töös istmeraamide analüüsi ei käsitleta, kuna see ei anna otsest väljundit kereraami väljatöötamisel. Istmeraami analüüsis keskendutakse turvavööde ja istmete kinnituskohdade tugevuse analüüsimisele, et need õnnetuse olukorras ei puruneks.

Kuna istmeraam on siduv element kereraami konstruktsioonis, siis kasutatakse selle pealmist raami uue sõiduki kereraami analüüsimises. Jalgu ei kaasata analüüsi, sest nende tugevust kontrollitakse eraldi istmeraami tugevusanalüüsis.

Erinevalt Iseautost, kus istmeraam oli täielikult alusraami osa ja kasutati minimaalselt kereraami konstruktsioonis, on plaan uue sõiduki istmeraam integreerida kereraami konstruktsiooni. Seel 3.9 on näha uue sõiduki istmeraami.

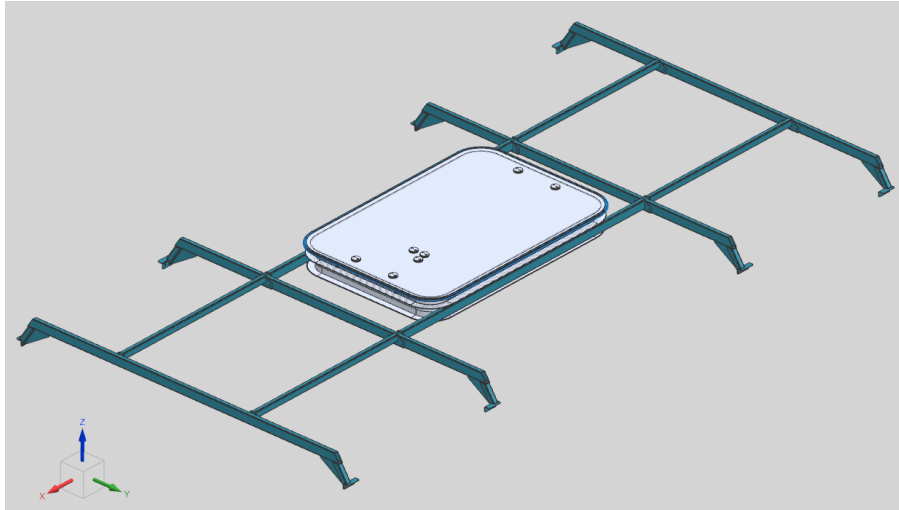


Sele 3.9 Uue sõiduki istmeraam

Antud raam on edasiarendus Iseauto istmeraamist, kus on sisse viidud istmete uuem paigutus, uuendatud turvavööde kinnitusi, et need oleksid sobivad rullikuga vööle ning muudetud jalgade ühendust. Lisaks on optimeeritud kogu konstruktsiooni võrreldes algse versiooniga. Suurim erinevus on aga konstruktsiooni jalad. Esmalt, uue alusplatvormiga ei olnud võimalik eelmise versiooni jalgade lahendust kasutada, tuli leida uued optimaalsed kinnituskohad alusraamil. Teiseks on istmeraam sellel olevatest jalgadest poltidega eraldatav. See võimaldab kereraami täielikku koostamist ilma, et see oleks alusraamiga seotud. Antud viisil saab sõiduki alusraami ja pealisehitist kauem paralleelselt koostada lima, et need üksteise tööetappe segama hakkaksid.

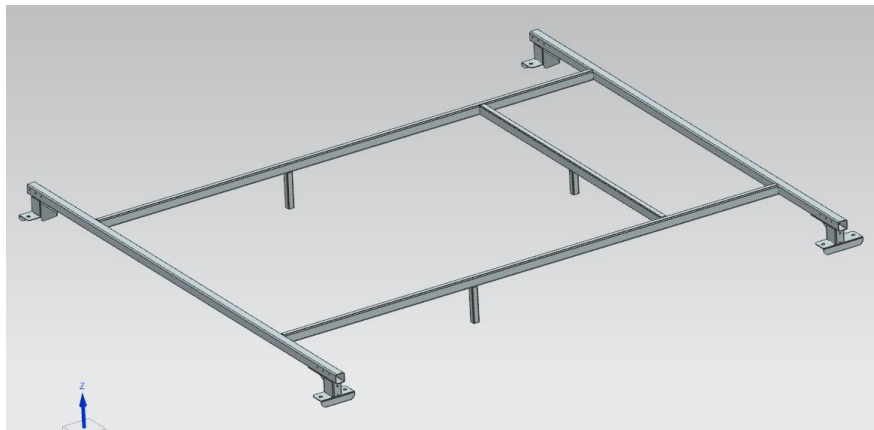
3.3.4 Katuseraami ja põranda modelleerimine

Katuseraami puhul on kaks asja, millele tuleb esmalt tähelepanu pöörata. Esiteks on sõiduki katuse tsentris katuseruuk, mida on vaja konstruktsiooniga toetada ja teiseks on katusekuju, mis määrab raami geomeetria. Kuna katuse servad on kumerad, siis ei saa katuseraami sirgelt külgedega ühendada, vaid on vaja tekitada ühendus väikese nurga all. Seel 3.10 on näha lihtsat redelraami konstruktsiooniga katuseraami. Katuseruugi toetamiseks on lisatud selle servade juurde pikitalad, mis jooksevad läbi terve katuseraami konstruktsiooni. Kompenseerimaks katuse kuju, on raami servad toodud nurga all külgedele. Antud kohti on veel tugevdatud lehtmetailist kolmnurkadega.



Sele 3.10 Esmane katuseraami geometria koos katuseruugiga

Põranda oluline osa on kereraami altpoolt sidumine ning keskosa ühendamine alusraamiga. Lisaks on vaja, et põranda konstruktsioon oleks piisavalt tugev, et kanda kuni kaheksat inimest. Konstruktsiooni geometria juures tuleb ka arvestada, et läbi põranda peab säilima ligipääs akupakil olevale peakaitsmele. Selleks tuleb jälgida, et toruprofiilid antud ligipääsu segama ei jääks. Selel 3.11 on näidatud põrandaraam.



Sele 3.11 Põrandaraam

3.4 Kereraami osade tugevusanalüüs ja täiendused

Järgnevalt teostati kereraami analüüside lihtsustamiseks eraldi tugevusanalüüsid katuse ja põranda konstruktsioonile kontrollimaks nende tugevust. Vajadusel teostati ka täiendusi.

3.4.1 Katuseraami analüüs

Analüüsimist alustati sõiduki katuseraamist. Konstruktsiooni analüüsimiseks oli sarnasel kujul nagu on näha seel 3.10. Esimene katuseraami konstruktsioon oli modelleeritud kasutades 30x20x2 mm toruprofiili ja 2-3 mm lehtmetailist detaile. Terase mark antud materjalidel oli arvestatud S235.

Analüüsi jaoks lihtsustati kogu konstruktsioon, kaotati kõik raadiused ja avad. Kasutati *meshi* elemente suurusega 8,94 ja ühenduskohad soeti jäigalt kasutades *Siemens NX-i* kasklust *Surface-to-Surface Gluing*. Katuseraami servades olevad külgede ühenduskohad fikseeriti ning esimesel analüüsil määrati konstruktsioonile mõjuma ainult gravitatsioon.

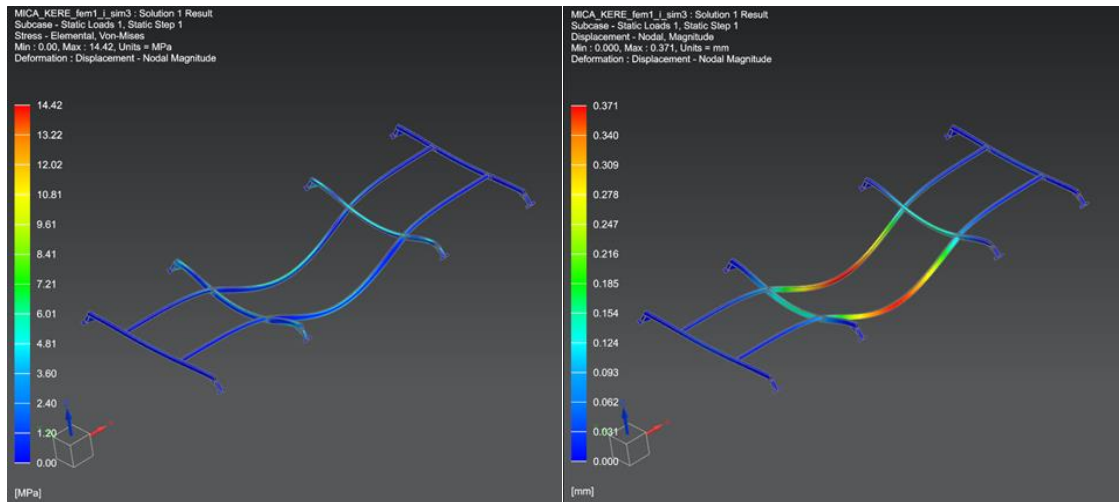
Tulemuseks saadi konstruktsiooni läbipaine umbes 0,8 mm ja maksimaalne pinge 18 MPa. Saadud tulemustega ei oldud rahul, sest leiti, et katuseraam peab olema jäigem. Otsustati tugevdada katuseraami konstruktsiooni, kuna sinna läheb peale veel katuseluuk, mis kaalub 14 kg ja sensorika. Lisaks, ohutuse osas peab hiljem olema kogukonstruktsioon võimeline suuremaid raskuseid kannatama.

Katuseraami disain 2

Teiseks analüüsiks muudeti konstruktsiooni profile. Muudeti ristitorud 30x20x2 pealt 40x20x2 mm peale ning teostati uus analüüs. Tulemuseks saadi läbipaine kaks korda väiksem 0,4 mm ja pinge oli 11 MPa.

Katuseraami disain 3

Kolmandaks analüüsiks lisati katuseraamile lisaraskus katuseluugi näol, suurendati ka pikitorusid 40x20x2 mm profiili peale ja teostati analüüs. Tulemuseks saadi läbipaine 0,37 mm ja maksimaalne pinge 14,42 MPa, tulemused on kuvatud seel 3.12. Saadud tulemusega jäädi rahule.

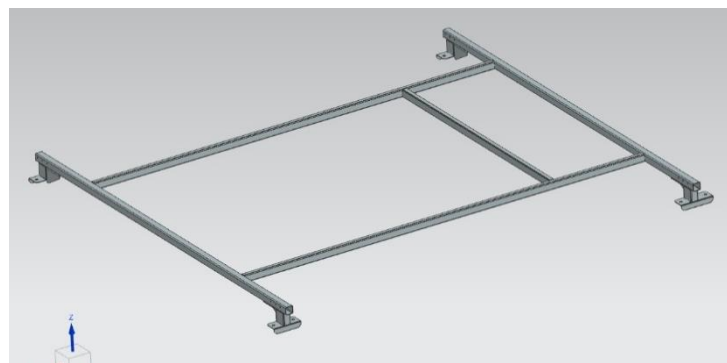


Sele 3.12 Katuseraami disain 3 tulemused

3.4.2 Põranda konstruktsiooni analüüs

Põrandaraami disain 1

Esimene põrandaraami disain tehti 30x30x2 mm profiilidest. Geomeetriliselt läbiti ristitorudega toetuspunktid kereramile ja lisati toruprofiilid ümber akupaki. Arvestati raami sümmeetrilisust ja ukseastme ulatust. Seel 3.13 on näha põrandaraami esimest disaini.

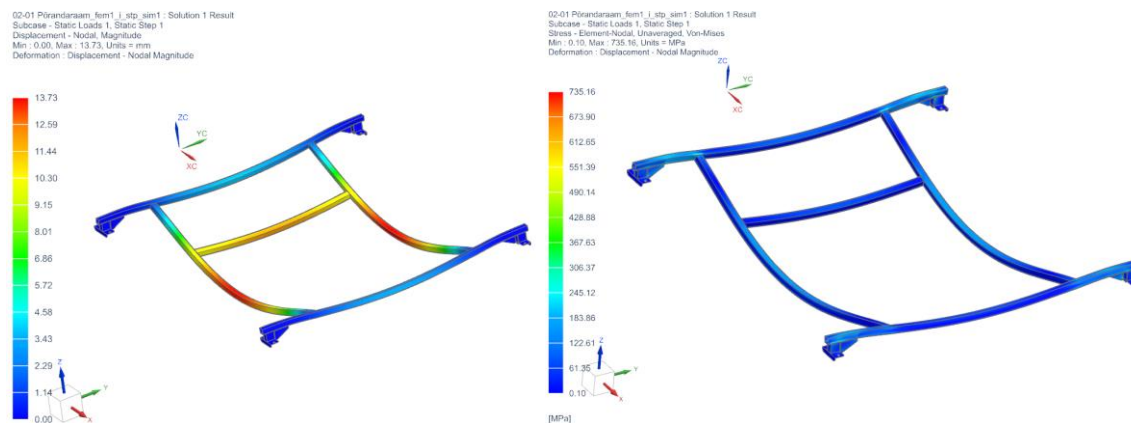


Sele 3.13 Põrandaraami disain 1

Analüüsi jaoks lihtsustati taaskord kogu konstruktsioon. Kasutati *meshi* elemente suurusega 8 mm ja ühenduskohad soeti jäigalt kasutades *Surface-to-Surface Gluing*. Konstruktsioon fikseeriti neljas nurgas olevatest poldi avadest, kust raam kinnitub alusraamile. Lisaks määrati kinnitusnurga pinnale Z-telje sihis liikumise piirang, et simuleerida kontakti alusraamil oleva kinnitusega.

Kuna põrand peab kandma kuni 8 inimest, määrati esimesel analüüsil toruprofiilide ülemisele pinnale 8000 N-i suurune koormus.

Esimese analüüsi tulemuseks saadi läbipaine 13,73 mm ja maksimaalne pinge pingekontsentraatoris 735,16 MPa. Antud kohta tuleb küll keevis, aga üle konstruktsiooni oli pingeid veel üle 235 MPa, mis tähendab, et konstruktsioon ei läbinud analüüsi. Sele 3.14 on näidatud analüüsi tulemused.



Sele 3.14 Põrandaraami disain 1 analüüsi läbipaine ja pinge

Põrandaraami disain 2

Disain 2 lisati kolm tugevdusjalga 20x20x1,5 mm profiilist, mis toetuvad sõiduki alusraamile. Ning teostati samade tingimustega uus analüüs.

Tulemuseks saadi läbipaine 2,04 mm ja pinge 113 MPa. Esines järjekordne pingekontsentraator, kus maksimaalne pinge oli 262 MPa, aga seda ei arvestada, kuna see oli tingitud *meshist*. Tulemuste põhjal raam läbis analüüsi, aga teostati ka disain 3 optimeerimaks konstruktsiooni.

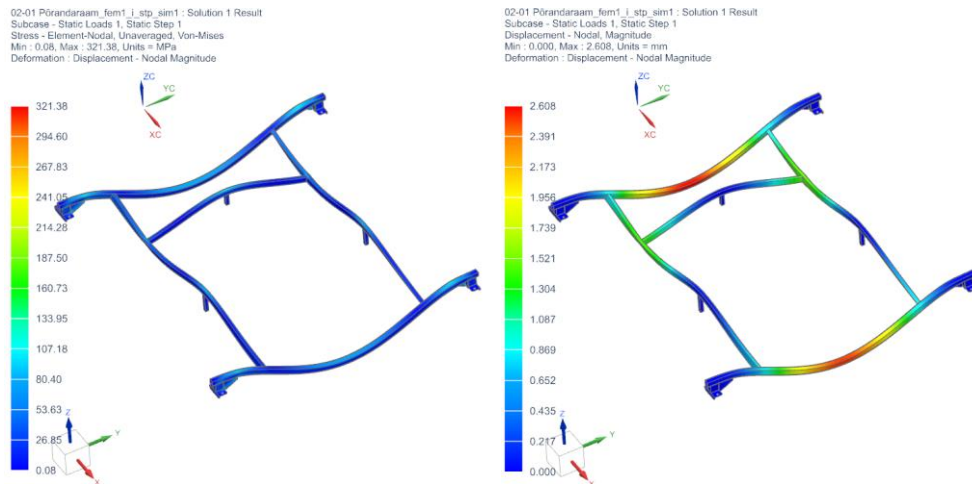
Põrandaraami disain 3

Kolmandal disainil optimeeriti konstruktsiooni. Pikitalad ja väike ristitala muudeti 30x30x2 mm profiili pealt 20x30x1,5 mm profiilile. Seejärel analüüsiti uuesti konstruktsiooni.

Tulemuseks saadi läbipaine 2,6 mm ja maksimaalne pinge pingekontsentraatoris 321,4 MPa. Seda aga ei arvestatud, sest realsuses on antud kohtades raadiused, pinge konstruktsioonile jäi 134 MPa juurde. Seel 3.15 on ära näidatud analüüsi tulemused.

Teostati veel üks analüüs samale raamile suurendades koormust 12000 N peale. Tulemusteks saadi läbipaine 3,9 mm ja üldine konstruktsiooni pinge 196 MPa.

Kuna kolmas põrandaraami disain läbis analüüsid ja oli kaalu poolest kõige optimaalsem, siis valiti see versioon esimesele kereraami prototüübile.



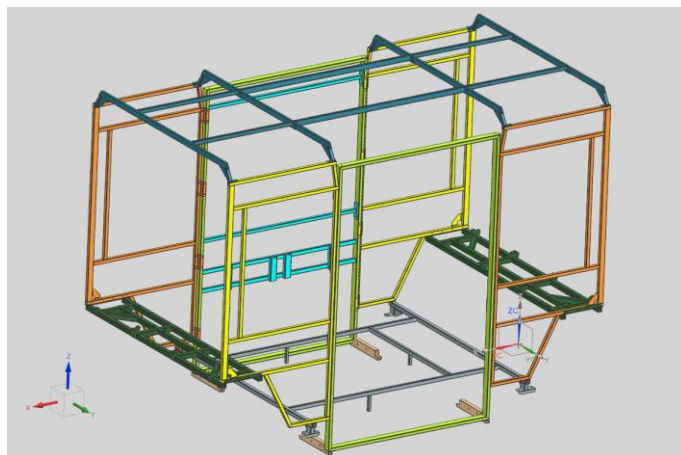
Sele 3.15 Põrandaraami disain 3 analüüsi tulemused

3.5 Uue sõiduki kereraami prototüübi tugevusanalüüs

Kereraami prototüübile teostati samad analüüsid, nagu tehti Iseauto kereraamile. Antud viisil on võimalik võrrelda kahte konstruktsiooni omavahel. Teostatavad analüüsid on järgmised:

- Konstruktsiooni tugevuse analüüs ilma lisakoormuseta. Koormatud ainult gravitatsiooni mõjul.
- Konstruktsiooni analüüs sõiduki maksimaalse pidurdusjõu juures. Maanteeamet nõudis pidurdus katsel keskmist aeglustus kiirust 5 m/s^2 ($25 \text{ km/h} - 0$), konstruktsiooni analüüsimiseks kasutati maksimaalset koormust 10 m/s^2 . See on 2 kordse varuteguriga nõutud pidurdusjõust.
- Konstruktsiooni väändejäikust.

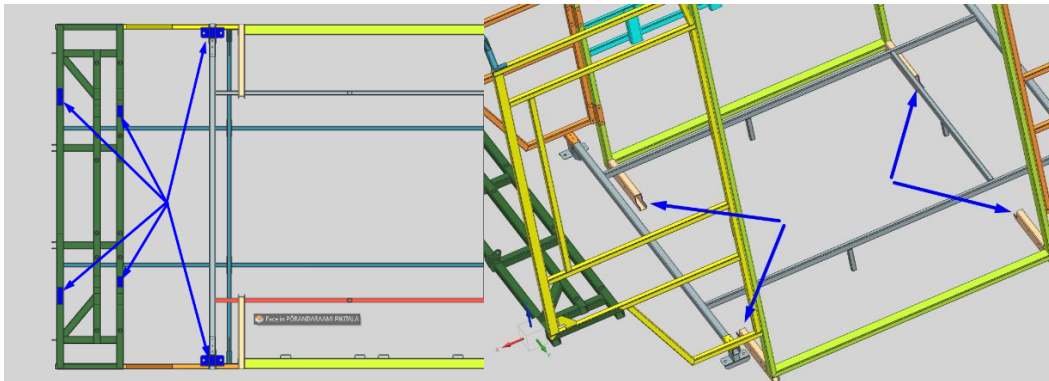
Selel 3.16 on näha uue sõiduki kereraami prototüüpi, mille tugevust analüüsiti.



Sele 3.16 Kereraami prototüüp

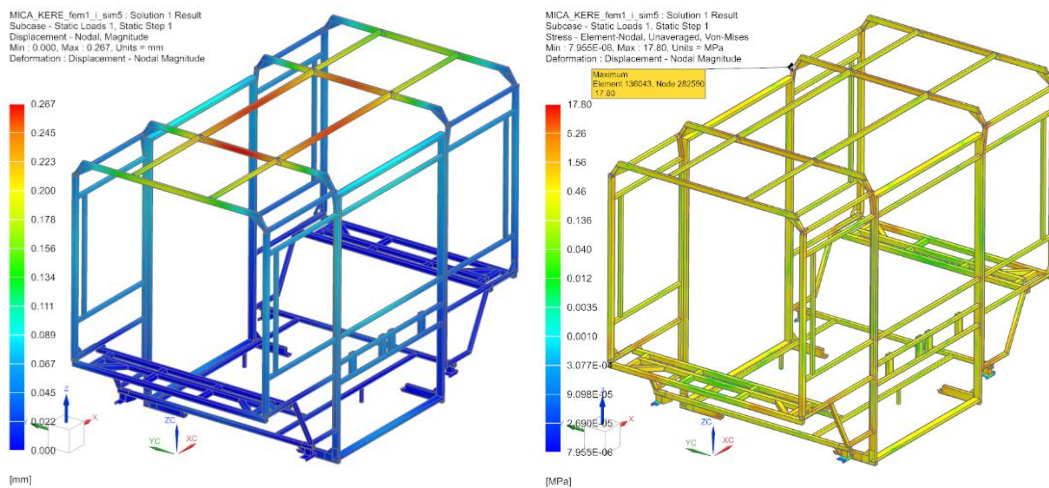
3.5.1 Prototüüp kereraami tugevusanalüüs omaraskuse all

Kereraami analüüsimiseks kasutati taaskord NX-is *Linear Statics* meetodit. Analüüsi jaoks lihtsustati kogu konstruktsioon ning kasutati selle ühendamiseks *Surface-to-Surface Gluing*. *Mesh* elementide suurus oli 8,94 mm. Kogu kehale mõjus gravitatsioonijõud $9,8 \text{ m/s}^2$ ning kereraam fikseeriti alusraami ühenduskohtadest. Selel 3.17 on näidatud ühe raami poole ühenduskohad, raami teisel pool on need sarnaselt.



Sele 3.17 Kereraami tugevusanalüüsi jaoks fikseeritud positsioonid

Analüüsi tulemuseks oli raami läbipaine maksimaalselt 0,267 mm ja maksimaalne pingeline 17,80 MPa. Antud maksimaalne pingeline tekkis kereraamil katuseraami ja külgede ühenduskohta. Saadud tulemuse põhjal saab järeldada, et prototüüpraami üks nõrk koht on antud ühenduse juures. Selel 3.18 on kujutatud kereraami deformatsiooni ja pingeid.

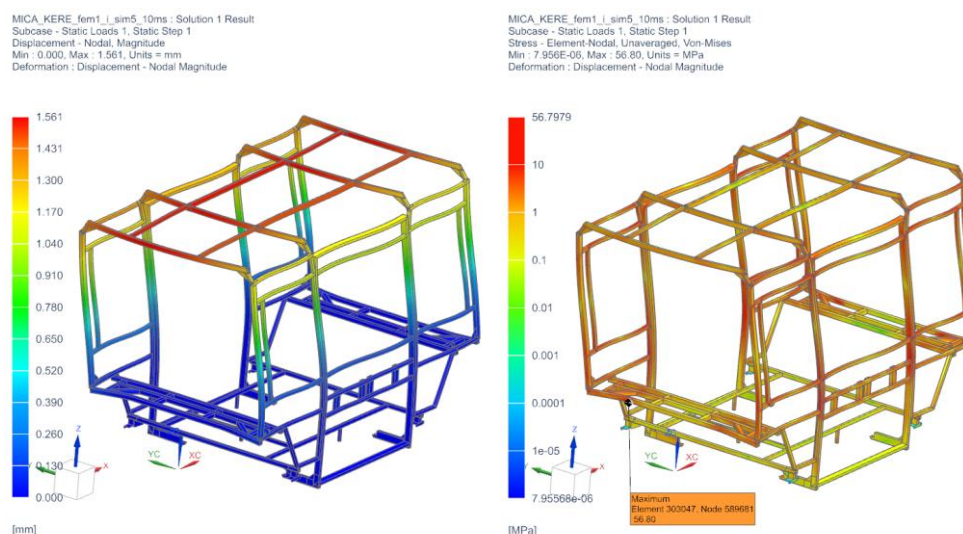


Sele 3.18 Uue kereraami analüüsi tulemused gravitatsiooni mõju all

3.5.2 Prototüüp Kereraami tugevusanalüüs pidurdusjõu all

Sarnaselt Iseauto kereraami analüüsile pidurdusjõu all, oli ka siin vaja kasutada tervet raami.

Nagu ka eelmises analüüsis, kasutati sama suurte elementidega *meshi* ja kinnituspunkte. Seel 3.19 on ära näidatud antud analüüsi tulemused prototüüp kereraamile. Maksimaalseks deformatsiooniks saadi 1,56 mm ja pingeks 56,8 MPa.



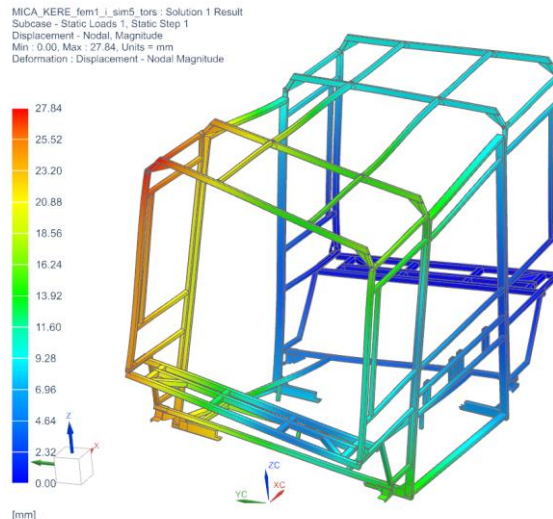
Sele 3.19 Prototüüp kereraami analüüsi tulemused pidurduskatsel

3.5.3 Prototüüp kereraami väändejäikuse analüüs

Kolmandaks analüüsiks teostati prototüüpkereraamile väändejäikuse analüüs. Tulemuse saamiseks kasutati samu valemuid ja lahenduskäiku nagu Iseauto kereraami analüüsil.

Antud analüüsi teostamiseks võeti prototüüpraamil kasutusele neli välimist nurka. Tagumise otsa kaks nurka fikseeriti jäigalt ja eesmistele rakendati võrdset 1000 N nurga kohta. Antud koormus on sama Iseauto analüüsiga. Saadud analüüsi tulemusena leiti deformatsioon, milleks oli 27,84 mm. Seel 3.20 on kujutatud kereraami väändeanalüüsi deformatsiooni.

Prototüüpraamil on nurkade vaheline kaugus 1614 mm. See teeb ühe nurga jõuõlaks tsentri suhtes 807 mm.



Sele 3.20 Prototüüp kereraami väändejäikuse analüüsi deformatsioon

Saadud tulemuse põhjal teostati arvutuskäik sarnaselt Iseauto analüüsile:

$$T = 1000 * 0,807 = 807 \text{ Nm} \quad (2.2)$$

$$\theta = \tan^{-1}(0,028/0,807) = 1,99 \quad (2.3)$$

$$K_{tor} = \frac{807}{1,99} = 405,5 \text{ Nm/}^\circ \quad (2.1)$$

Tulemuseks saadi, et antud raamil on väändejäikus 405,5 Nm/°, mis on umbes 1,6 korda suurem kui Iseauto raamil.

3.6 Koostamise läbimõtlemine

Uue sõiduki kereraami koostamisplaani paika saamiseks lähtuti selle kerekonstruktsiooni põhiosadest ja valmistamis materjalidest. Mõeldi ka tootmis lihtsuse ja optimaalsuse peale, et võimaldada väikeseeria tootmist. Vaadates kogu konstruktsiooni disaini, mis koosneb kuuest erinevast põhikoostust, leiti, et neid on mõistlik jagada väiksemateks detailideks, millest järgemööda konstruktsioon valmis ehitatakse. Pannes paika koostamisplaani saadi neljast etapist koosnev protsess, milles on arvestatud ka Auve Productioni tootmis võimekust.

3.6.1 Koostamise etapp 1

Antud etapis valmistatakse ette kogu konstruktsiooni koostamiseks vajaminev materjal. Kuna uus kereraam koosneb ainult sirgetest nelikanttorudest ja lehtmetailidest, siis nende ettevalmistamisega ei ole väga palju keerukust. Nelikanttorudest valmistatavad detailid saab valmistada kasutades torulaserit. Sellega lõigatakse profiilid vastavasse mõõtu, tehakse avad ja tapid, mis lihtsustavad edasist koostamist.

Lehtmetailist detailide valmistamiseks kasutatakse lehelaserit ja olenevalt detailist ka lehtmetaili painutuspinki.

3.6.2 Koostamise etapp 2

Teises etapis alustatakse konstruktsiooni alamkoostude valmistamisega. See seisneb konstruktsiooni põhiosadesse kuuluvate detailide keevitamisest ja nendele korrosiooni kindluse tagamisest. Detaile, mida ei ole vaja keevitada valmistatakse esimeses etapis juba korrosiooni kindlatest materjalidest nagu näiteks tsinkplekist. Keevitustööde lihtsustamiseks kasutatakse eelnevalt valmistatud rakiseid. Kuna Auve productionis ei ole piisavalt head võimekust korrosiooni kindluse tagamiseks, siis antud teenust teostatakse ettevõtte väliselt.

Selles etapis valmistatakse näiteks külgede nurga osad, katuserammi sarikad ja pikki talad, ukseraamid jne.

3.6.3 Koostamise etapp 3

Selles etapis võetakse eelnevalt valmistatud detaili ning alustatakse konstruktsiooni põhiosade koostamisega. Kuna selleks etapiks on juba kõik detailid pinnakattega, siis keevitust enam ei kasutata. Kasutuses on neet-, liim- ja poltühendus. Jällegi koostamise lihtsustamiseks on kasutuses vastavad rakised.

Selle etapi lõpuks on valmis kereraami küljed, katus, istmeraamid ja põrand.

3.6.4 Koostamise etapp 4

Neljas etapp on protsessi viimane. Selles etapis ühendatakse kereraami põhiosad kokku üheks tervikuks. Põranda külge seotakse küljed, mis oma korda ühendatakse istmeraamidega ja kõige lõpuks paigaldatakse katus. Kogu koostamise protsessi käigus järgitakse nõutud parameetreid ja vajadusel kasutatakse rakiseid.

4. ISEAUTO JA UUE AUTONOOMSE SÕIDUKI KONSTRUKTSIOONI VÕRDLUS

Kahe kereraami võrdlust teostatakse kolmes osas. Esmalt võrreldakse konstruktsioonides kasutatavaid materjale, teiseks koostamis protsesse ja lõpuks analüüsides saadud tulemusi. Võrdlust alustati materjalide võrdlusest.

Uue sõiduki kereraam sarnaneb väga Iseauto kereraamile. Mõlemad konstruktsioonid on valmistatud kasutades nelikattorusid ja lehtmetailid. Aga sellega ka sarnasused materjalide osas lõppevad. Kui võtame Iseauto kereraami, siis see koosneb 69% muutuva raadiusega torudest, mida oli väga keeruline valmistada. See-eest uuel sõidukil puuduvad muutuva raadiusega torud ja konstruktsioon koosneb 96% sirgetest toruprofiilidest. Tabelis 4.1 on näidatud kahe konstruktsiooni materjalide võrdlus.

Table 4.1 Kerekonstruktsioonide materjali osakaalude võrdlus

	<u>Iseauto</u>		<u>Uus sõiduk</u>	
	Mass, kg	Konstruktsiooni osakaal, %	Mass, kg	Konstruktsiooni osakaal, %
Kereraam	109.25	100%	133.2	100%
Muutuvaraadiusega torud	75.28	69%	0	0%
Sirged torud	28.14	26%	128.07	96%
Lehtmetailid	5.54	5%	4.84	4%
Puksid	0.29	0%	0.29	0%
Kontroll	109.25	100%	133.2	100%

Selle võrdluse põhjal saab öelda, et uue kereraamiga lahendati üks suurimaid probleeme Iseauto konstruktsiooni juures, milleks olid muutuvate raadiustega torud. Kuid võrdlusest tuli ka välja, et uus konstruktsioon on 23,95 kg raksem. Selleks on paar põhjust. Esiteks on istmeraamid seotud uue konstruktsiooniga, teiseks uus raam muutus mõõtmetelt natukene suuremaks ja kolmandaks on uuel raamil tugevdatud klaasi äärseid alasid. Järgnevalt keskenduti koostamis protsesside võrdlusele.

Alustades protsesside algusest on suudetud uue konstruktsiooniga lihtsustada tunduvalt algmaterjalide ettevalmistust. Ei ole vaja enam käsitsi torusid õigesse kujusse painutada vaid kogu töö saab ära teha torulaseriga. See omakorda kaotab ära Iseauto kereraami lõpp faasis avade puurimise, sest uuel konstruktsioonil on võimalik kõik vajalikud avad laseriga välja lõigata. Lisaks on muudetud kogukonstruktsiooni üldist koostamis tehnoloogiat. Kui Iseauto juures kasutati põhiliselt keevitust, siis uuel

kereraamil on lisaks keevitusele veel neet- ja liimliited. See vähendab vajadust keevitus spetsialistide osas ja muudab koostamist lihtsamaks. Neet- ja liimliide võimaldab veel erinevate ja eelnevalt pinnakaetud materjalide lihtsat sidumist. Lisaks välditakse osaliselt keevitusest tekkivaid muutuseid konstruktsiooni materjalis. Seega saab väita, et konstruktsiooni koostamine on läinud lihtsamaks.

Lõpuks teostati võrdlus kereraamidele tehtud analüüside kohta. Tabelis 4.2 on välja toodud kolme analüüsi tulemused mõlema raami kohta. Analüüs üks oli konstruktsiooni analüüs omaraskuse all, teine analüüs oli pidurdusjõu mõju kogu konstruktsioonile ja kolmas analüüs seisnes kereraami väändejäikuse välja arvutamises.

Table 4.2 Analüüside võrdlustabel

	Iseauto			Uus sõiduk		
Analüüsi nr.	Deformatsioon, mm	Pinge, MPa	Väändejäikus, N_m/°	Deformatsioon, mm	Pinge, MPa	Väändejäikus, N_m/°
1.	0,162	17,88		0,267	17,80	
2.	2,22	35,12		1,56	56,80	
3.			242,2			405,5

Kui vaadata saadud tulemusi siis saab järeldada, et uue sõiduki prototüüp kereraam on jäigem. Seda näitab väiksem deformatsioon pidurdus katse simuleerimisel ja suurem väände jäikus. Tulemused gravitatsiooni mõju all jäid mõlemal raamil peaaegu samaks. Iseautol oli läbipaine esimeses analüüsis väiksem, sest painutatud torud toimisid antu jõu suunas paremini kui sirged torud.

KOKKUVÕTE

Käesoleva magistritöö eesmärgiks oli välja arendada uue autonoomse sõiduki kereraami prototüüp, mis sobib uue platvormi ja disainiga, kuid samas on mehaanilistelt omadustelt tugevam, turvalisem ja jäigem Iseauto kereraamist. Lahendus pidi olema ka lihtsamini toodetav kui Iseauto raam ja kasutama ära võimalikult palju ettevõtte enda võimekust.

Töö esimeses osas keskenduti Iseauto konstruktsiooni analüüsimisele, et välja selgitada selle konstruktsiooni probleemsed kohad. Leiti, et konstruktsiooni suurimaks miinuseks olid muutuvate raadiustega toruprofiilide kasutamine, mis tõstis tunduvalt kereraami valmistamise keerukust. FEM analüüside põhjal saadi tulemuseks madal väändejäikus.

Teises osas uuriti, milliseid kereraami tüüpe ja valmistamismeetodeid kasutatakse ning saadud informatsiooni põhjal loodi uue kereraami kontseptsioon. Otsustati, et kõige parem on valmistada toruraam konstruktsioon kasutades sirgeid torusid ja lehtmetailid detaile. Mõisteti, et sel viisil suudetakse lihtsustada kereraami koostamist ja täita nõutud eesmärgid. Järgnevalt alustati uue kereraami disainimisega, mille käigus kaardistati ära kõik olulised detailid sõidukis, mis mõjutasid kereraami disaini. Esmase disaini valmides teostati uuele kereraamile samad FEM analüüsid nagu Iseautole.

Kolmandas osas tehti kahe konstruktsiooni võrdlus, kus toodi välja raamide analüüside tulemused.

Käesoleva töö tulemusena arendati välja uue autonoomse sõiduki kereraami prototüüp, millega suudeti optimeerida kogu konstruktsiooni valmistamisprotsessi, suurendada kereraami väändejäikust ja vähendada deformatsiooni pidurduskatsel. Samas leiti, et Iseauto kereraam ei olnud nii nõrk, kui algselt arvati. Antud konstruktsiooni üheks tugevuseks ja samas ka miinuseks olid muutuvate raadiusega torud. Koormuse all toimisid need profiilid hästi, suunates jõud sujuvalt raami alumisse osasse, kuid konstruktsiooni valmistamise mõttes osutusid need takistavaks teguriks. Seega võib öelda, et töö alguses seatud eesmärk saavutati osaliselt, sest suudeti paranda konstruktsiooni väändejäikust ja deformatsiooni pidurduskatsel, kuid kereraami tugevus jäi üldjoontes samaks.

Kindlasti vajab uus kereraami prototüüp veel edasist arendust ja analüüsimist. Reisijate parema ohutuse tagamiseks oleks vaja teostada sõidukile ka ümberpaiskumise, laupja külkkokkupõrke analüüsid.

SUMMERY

The aim of this master's thesis was to develop a prototype of a new autonomous vehicle body frame that is suitable for the new platform and design, but at the same time is stronger, safer and more rigid than Iseauto's in terms of mechanical properties. The solution also had to be easier to produce than a Iseauto's frame and make the most of the company's own capabilities.

The first part of the work focused on the analysis of the Iseauto's structure in order to identify the problem areas of this structure. It was found that the biggest disadvantage of the design was the use of pipe profiles with variable radii, which significantly increased the complexity of the frame production. FEM analyses resulted in low torsional stiffness.

In the second part, the types of body frames used in the automotive industry and the manufacturing methods were studied, and based on the information obtained, the concept of a new body frame was created. It was decided that it is best to make it from tubular frame structure using straight tubes and sheet metal parts. It was understood that this would facilitate the design of the body frame and meet the required objectives. Subsequently, the design of a new body frame was started, during which all important details in the vehicle that influenced the body frame design were mapped. Upon completion of the initial design, the new body frame was subjected to the same FEM analyses as the Iseauto.

In the third part, a comparison of the two designs was made, where the results of the frame analyses were presented.

As a result of this work, a prototype of a new autonomous vehicle body frame was developed, which was able to optimize the entire construction process of the structure, increase the torsional stiffness of the frame and reduce the deformation during the braking test. However, it was found that the body frame of the Iseauto was not as weak as initially thought. One of the strengths and disadvantages of this design was the variable radius pipes. Under load, these profiles worked well, directing the forces smoothly into the lower part of the frame, but they proved to be an obstacle in terms of construction. Thus, it can be said that the goal set at the beginning of the work was achieved in part because the torsional stiffness and deformation during braking test of the structure could be improved, but the strength of the body frame remained broadly the same.

Certainly, the new body frame prototype needs further development and analysis. Rollover, frontal and side impact analyses should also be performed on the vehicle to ensure better passenger safety.

KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU

- [1] AuVe Tech OÜ, "Technical Information," [Online]. Available: <https://auve.tech/rd/>. [Accessed 20. 03. 2021].
- [2] T. Pravilonis, E. Sokolovskij, A. Kilikevicius, J. Matijošius and K. Kilikeviciene, "The Usage of Alternative Materials to Optimize Bus," *Symmetry*, vol. 12, no. 6, 2020.
- [3] R. K. Kawade and N. Mohan, "Chassis Frame Torsional Stiffness Analysis," 08 2015. [Online]. Available: <http://www.123seminarsonly.com/Seminar-Reports/2017-04/294039233-Chassis-Frame-Torsional-Stiffness-Analysis.pdf>. [Accessed 04 2021].
- [4] A. G. C. Oskar Danielsson, "Influence of Body Stiffness on Vehicle Dynamics Characteristics in Passenger Cars," 2015. [Online]. Available: https://www.researchgate.net/publication/301322112_Influence_of_body_stiffness_on_vehicle_dynamics_characteristics/references. [Accessed 05 2021].
- [5] Teede- ja Sideminister, "Riigi Teataja," 26 05 1998. [Online]. Available: <https://www.riigiteataja.ee/akt/88606#>. [Accessed 10 03 2021].
- [6] A. Productions, "Auve Production OÜ," 2019. [Online]. Available: <https://auveproduction.eu/services/>. [Accessed 05 2021].
- [7] Euroopa Liidu Teataja, "Ühinenud Rahvaste Organisatsiooni Euroopa Majanduskomisjoni (ÜRO/EMK) eeskiri nr.66," 30 03 2011. [Online]. Available: <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2011:084:0001:0045:ET:PDF>. [Accessed 20 03 2021].
- [8] Matthew, "Electric Alice," WordPress, 24 11 2018. [Online]. Available: <http://www.eglin.net/electricalice/2018/11/24/electric-buses/>. [Accessed 05 2021].
- [9] T. M. CORPORATION, "Toyota Jamaica," 2018. [Online]. Available: <https://toyotajamaica.com/vehicle/coaster/features/>. [Accessed 05 2021].
- [10] R. G. M. H. .. j. Ulrich Fischer, Mehaanikainseneri käsiraamat, Tallinn: Tallinna Tehnikaülikooli Kirjastus, 2012.

LISAD

GRAAFILINE OSA