



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL

INSENERITEADUSKOND

Mehaanika ja tööstustehnika instituut

**KERGHAAGIS
L-KATEGORIA SÕIDUKILE**

LIGHT TRAILER FOR L-CATEGORY VEHICLE

MAGISTRITÖÖ

Üliõpilane: Andres Orgla

Üliõpilaskood 183706MATM

Juhendaja: Toivo Tähemaa, teadur

Tallinn 2021

(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.

“25” mai 2021.

Autor: Allkirjastatud digitaalselt

/ allkiri /

Töö vastab bakalaureusetöö/magistritööle esitatud nõuetele

“26” mai 2021.

Juhendaja: Allkirjastatud digitaalselt

/ allkiri /

Kaitsmisele lubatud

“.....”.....202... .

Kaitsmiskomisjoni esimees

/ nimi ja allkiri /

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks¹

Mina Andres Orgla, (sünnikuupäev: 10. detsember 1987)

1. Annan Tallinna Tehnikaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose Kerghaagis L – kategooria sõidukile,

(lõputöö pealkiri)

mille juhendaja on Toivo Tähemaa,

(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)*

17.05.2021 *(kuupäev)*

LÕPUTÖÖ ÜLESANNE

Üliõpilane: Andres Orgla, 183706MATM (nimi, üliõpilaskood)
Õppekava, peeriala: MATM, Tootearendus ja tootmistehnika (kood ja nimetus)
Juhendaja(d): Teadur Toivo Tähemaa (amet, nimi, telefon)
Konsultant:(nimi, amet)
..... (ettevõtte, telefon, e-post)

Lõputöö teema:

(eesti keeles) KERGHAAAGIS L-KATEGOORIA SÕIDUKILE

(inglise keeles) Light Trailer for L-category Vehicle

Lõputöö põhieesmärgid:

1. Turu kaardistamine
2. Haagise ja selle osade projekteerimine
3. Prototüübi valmistamise hinnakalkulatsioon

Lõputöö etapid ja ajakava:

Nr	Ülesande kirjeldus	Tähtaeg
1.	Turu ülevaade, informatsiooni otsimine	31.03.21
2.	Projekteerimise ülesanne	30.04.21
3.	Jooniste ja töö vormistamine	24.05.21

Töö keel: Eesti keel

Lõputöö esitamise tähtaeg: "26" mai 2021a

Üliõpilane: Andres Orgla Allkirjastatud digitaalselt "25"mai 2021.a
/allkiri/

Juhendaja: ".....".....202...a
/allkiri/

Konsultant: ".....".....202...a
/allkiri/

Programmijuht: ".....".....202...a
/allkiri/

Kinnise kaitsmise ja/või lõputöö avalikustamise piirangu tingimused formuleeritakse pöördel

Sisukord

Sisukord	5
Eessõna	7
Sissejuhatus	8
1. HAAGISTE ÜLEVAADE	10
1.1 Kaasa kallutavad haagised	10
1.2 Kaldest sõltumatud haagised	11
2. TURU ÜLEVAADE	12
3. KONTSEPTSIOON	15
3.1 Lahendusvariandid	16
3.2 Lahenduse valik	17
3.3 Hindamine	19
4. PROJEKTEERIMINE	21
4.1. Gabariitmõõtmed	21
4.1.2 Haagise tasakaal	22
4.1.3 Veose asetus	24
4.2 Rattad ja vedrustus	24
4.2.1 Rattad	24
4.2.2 Vedrustus	27
4.3 Raam	29
4.3.1 Raami tugevuse analüüs	29
4.4. Haagise ja veduki ühendus	36
4.5 Veokast	38
4.5.1 Kasti põhi	38
4.5.2 Kasti seinad	39
4.5.3 Veokasti tugevusanalüüs	42
4.6 Elektrisüsteem ja valgussignalisatsiooniseadmed	49
5. VALMIS TOOTE KOOST	53
5.1 Maksumuse analüüs	56
KOKKUVÕTE	58
SUMMARY	59
Kasutatud allikad	60

LISAD

63

GRAAFILINE OSA

66

Eessõna

Käesolev töö sai kirjutatud Toivo Tähemaa pakutud teemal. Töö ajendiks on vajadus transportida ehitusmaterjale ja esemeid massiga kuni 110kg mööda avalikke teid ja maastikku kasutades selleks mootorratas.

Märksõnad: Kerghaagis, haagise projekteerimine, mootorratas, magistritöö.

Sissejuhatus

Magistritöö sisuks on konstrueerida ja võimalusel ehitada kerghaagise prototüüp L – kategooria sõidukile ehk mootorrattale, arvestades kõiki kehtivaid õigusakte ja norme. Selle töö puhul võeti aluseks Suzuki GSX 750f, millega on tootja poolt lubatud haagist vedada. Enamik turul pakutavaid kerghaagiseid on ~200 kg tühimagiga, kuid antud mootorratta taga võib kasutada 153 kg täismassiga haagist [1]. Eesmärgiks on projekteerida võimalikult suure kandevõimega ning väikese tühimagiga haagis, mille täismass ei ületaks 153 kg.

Teema valikul lähtusin enda varasemast haridusest ja töökogemusest autode ja masinatega.

Mootorratas on populaarne hobisõiduk, mida kasutatakse nii matkamiseks, kui ka igapäevaseks liiklemiseks. Haagise võimaluse loomine ja kasutamine muudaks olemasolevat masinaparki paindlikumaks ning aitaks olemasolevat ressursi paremini kasutada. Haagisega saaks transportida ehitusmaterjali või tööriistu ning matkale minnes on võimalik kaasa võtta tunduvalt rohkem varustust kui tavapäraste küljekottidega. Käesoleva aja reisi piirangud ja viirusega nakatumise oht võivad populariseerida individuaalset reisimist ning tõsta vajadust matkamiseks sobivate haagiste järele.

Töö esimeses kahes peatükis antakse ülevaade haagistest ning nende kasutusvaldkondadest, tehakse turu-uuring ning analüüsitakse olemasolevate toodete eeliseid ja puudusi. Selles osas vaadeldakse ka erinevates Euroopa riikides kehtivaid nõudeid mootorrattaste haagistele ja nende kasutamise tingimusi.

Kolmandas peatükis luuakse haagise kontseptsioon, kasutades selleks projekteerimise meetodikaid VDI2225 järgi [2]. Selleks koostatakse nõuete loetelu, mille alusel saab paika panna ja hinnata erinevaid lahendusi. Parima lahenduse leidmiseks kasutatakse korrastusskeemi, mille abil on võimalik luua ülevaatlik tabel erinevate lahendusvariantidega ning teostatakse lahenduste hindamine. Parima tulemuse saanud lahendusega minnakse edasi projekteerimise etappi.

Neljandas osas projekteeritakse haagise osad, teostatakse nende tugevusarvutused ning optimeeritakse konstruktsiooni vastavalt võimalustele kasutades SolidWorks tarkvarapaketti. Lisaks enda poolt loodavatele detailidele valitakse välja ostutooted sobivad ostu tooted ning luuakse haagise mudel.

Viimasena koondatakse tabelisse kõikide detailide maksumus, et selgitada välja prototüübi ehitamise eeldatav maksumus ning antakse hinnang, kas niisugune toode on konkurentsivõimeline.

1. HAAGISTE ÜLEVAADE

Haagis on mitte iseliikuv ratastel sõiduk, mis on kavandatud ja konstrueeritud vedamiseks mootorsõiduki poolt ja mis suudab liikuda vähemalt vedava mootorsõiduki pikisuunalise kesktasapinnaga risti asuva horisontaaltelje ümber ning pikisuunalise kesktasapinnaga paralleelselt oleva vertikaaltelje ümber [1].

Maanteetranspordis kasutatavad haagised saab jaotada järgmiselt: pool- ja täisaagised veoautodele, eriotstarbelised haagised põllutöö masinatele, järelhaagised alla 3,5 t täismassiga autodele.

Tabelis 1.1 on näidatud Euroopa Liidus kasutatavad haagiste kategooriad.

Tabel 1.1 [2]

Haagiste kategooria	Haagise täismass
O ₁	<750 kg
O ₂	750kg...3,5 t
O ₃	3,5t...10 t
O ₄	>10 t

Alla 3,5 t täismassiga mootorsõidukitel kasutatavad järelhaagised jagunevad omakorda piduritega ja piduriteta haagisteks. Pidurite vajaduse määravad haagise mass ning sõiduki tüübikinnitus. Selle kategooria alla kuuluvad ka mootorrattastel kasutatavad haagised.

Mootorrattale kinnitatavaid haagiseid saab omakorda jaotada kahte rühma: vedukiga kaasa kallutatavad või veduki kaldest sõltumatud haagised.

1.1 Kaasa kallutatavad haagised

Selline haagis on ühe rattaga, mis asub haagise tagumises otsas. Haagis ühendatakse vedukiga nii, et see on sõltuv veduki külgmisest kaldenurgast. Niisugust haagist loetakse Eesti ja paljudes Euroopa riikides kehtiva seaduse mõttes samaväärseks külghaagisega (külgorviga). Sellega seoses ei ole vaja haagist eraldi Maanteeametis registreerida, kuid puuduseks on, et see on seotud ainult ühe vedukiga ning ei saa kasutada ühegi teise mootorratta küljes.



Joonis 1.1 - Kaasa kallutav haagis

1.2 Kaldest sõltumatud haagised

Kaherattalised haagised, mis ühendatakse vedukiga sarnaselt sõiduauto järelhaagisega. Enamasti kasutatakse kuulkinnitust, kuid levinud on ka alternatiivsed lahendused. Tavapärase kasutuse juures ei ole haagise kaldenurk veduki omast sõltuv. Niisuguseid haagiseid on võimalik kasutada ka haakekonksu omava sõiduauto taga.



Joonis 1.2 Kaldest sõltumatu haagis

2. TURU ÜLEVAADE

Teadadaolevalt ei toodeta Eestis ainult mootorrattale suunatud väikeseid kerghaagiseid. Peamiselt toodetakse neid üksikkorras ja vastavalt tellija soovidele ja vajadustele. Samuti ei ole mootorratta taga haagise vedamine Eestis väga populaarne.

Euroopa mastaabis vaadates leidub haagiste tootjaid, kes keskenduvad ainult mootorratastele mõeldud kerghaagiste tootmisele või tootjad, kelle tootevalikus leidub väikese tühimassiga haagiseid.

Tabelisse 2.1 on koondatud interneti otsingu põhjal leitud võimalikult madala tühimassiga haagised, mida hetkel osta saab.

Tabel 2.1 Haagiste võrdlus [5, 6, 7, 8]

	Tourmaster TM350	Daxara 107.2	Neptun City N5-145	Stema Mini 350
Kasti pikkus	118 cm	105 cm	145 cm	134 cm
Laius	70 cm	85 cm	95 cm	108 cm
Tühimass	55 kg	55 kg	67 kg	80 kg
Kandvõime	75 kg	295 kg	333 kg	270 kg
Vedrustus	Sõltumatu	Sõltuv	Sõltuv	Sõltuv
Materjal	Klaasplast	Tsingitud teras	Tsingitud teras	Tsingitud teras
Hind	1,995€	556€	475€	461€

Uuritud haagistest on spetsiaalset mootorratta taga kasutamiseks loodud ainult Tourmaster TM350 (joonis 2.1). See on valikust kõige väiksem, kuid kõige kallim. Tühimassilt on sarnane Daxara 107.2, kuid kandevõime poolest ületab see Tourmasteri haagist $295/75=3,9$ korda. Antud töö kontekstis ei ole sellest kasu, sest mootorratta taga ei tohi nii suurt koormat vedada. Stema mini 350 ja Neptun City N5-145 ületavad samuti Tourmasteri kandevõimet ning on sellest tunduvalt soodsamad.

Erinevalt teistest haagistest kasutab Tourmaster enda tootel sõltumatut vedrustust, mis suurendab haagise stabiilsust. Lisaks on kasutusel ka keerlev veopea, mis lubab mootorratta ja haagise vahelist kaldenurka suurendada, võimaldades nii paremat kurvide läbimist.



Joonis 2.1 Haagis Tourmaster TM350

Loodava haagise sihtturuks oleks peamiselt Euroopa ning selle tõttu uurisin erinevates Euroopa riikides kehtivaid nõudeid haagiste kasutamise kohta mootorratta taga. Kahjuks ei ole Euroopa Liidus harmoniseeritud seadusandlust mootorratta ja haagise kombinatsioonile ning selle tõttu tuleb vaadelda võimalike sihtturgude nõudeid eraldi. Peamiselt erinevad nõuded gabariitidele ja massidele, mis on välja toodud tabelis 2.2. Näiteks Taanis tohib haagise täismass olla 200 kg, samal ajal on see enamikes teistes riikides kuni pool veduki massist, mis jääb enamasti 100-150 kg juurde. Ka on erinevused suurimas lubatud kiiruses, varieerudes 60 km/h Saksamaal kuni 110 km/h Eestis.

Tabel 2.2 [9, 10, 11, 12, 13, 14]

	Eesti	Rootsi	Soome	Norra	Saksamaa	Taani
Suurim kiirus	90 km/h / 110 km/h	80 km/h	100 km/h	80km/h	60 km/h	80 km/h
Pikkus	<250 cm	<400 cm	<400 cm	<400 cm	<400 cm	<400 cm
Laius	<150 cm	<125 cm	<150 cm	<125 cm	<100 cm	<130 cm
Mass	<0,5 veduki massist	<0,5 veduki massist	<0,5 veduki massist	<0,5 veduki massist	veduki + juhi mass / 2	<200 kg
Märkused		Ei pea registreerima			Ei pea registreerima	

Tabelis 2.2 esitatud andmetest saab järeldada, et enamuse riikide nõuded on sarnased, välja arvatud Saksamaa, kus on rangemad piirangud haagise mõõtmetele ja maksimaalsele kiirusele. Antud töös loodav haagis sellele turule ei sobiks. Lähtuvalt teiste võimalike sihtturgude laiuse nõudele, milleks on maksimaalselt 125 cm, planeeritakse ka loodava haagise maksimaalseks laiuseks 125 cm.

Muude tehniliste nõuete poolest liigitub loodav haagis O1 kategooria alla ning peab täitma Euroopa Liidus kehtivaid sõidukitele esitatavaid nõudeid valgustuse ja varustuse osas. Eestis saab sellekohast infot määrusest "Mootorsõiduki ja selle haagise tehnonõuded ning nõuded varustusele" [15].

3. KONTSEPTSIOON

Haagise projekteerimiseks tuleb leida parim tehniline lahendus, luua kontseptsioon. Haagise tehnilise lahenduse loomise eelduseks olevad nõuded on esitatud nõuete loetelu tabelis 3.1. Nõuete loetelu järgi saab kontrollida, kas projekteeritav toode vastab püstitatud nõuetele ja eesmärkidele.

Tabel 3.1 Nõuete loetelu

	Nõue / Soov	Koostatud: 4.10.2020, viimane muudatus: 3.05.2021	
1	N	Tuleb kohaldada kõiki seadustest ja eeskirjadest tulenevaid nõudeid	
1_1	N	Mõõtmed	Pikkus <2500 mm Laius <1250 mm kõrgus <2000 mm
1_2	N	Mass	Tegelik mass 50% veduki tegelikust massist, antud juhul <153 kg Tühimass <43 kg Kandevõime >110 kg
1_3	N	Valgustusseadmed	Tagumised ääretuled, suunatud, pidurituled ühendatud veduki elektrisüsteemiga
1_4	N	Numbrimärgi kinnitus	Haagise tagumisel küljel, nähtaval
2		Omadused	
2_1	N	Vedrustus	Jah
2_2	N	Veose tüüp	Väikesegabariidilised rasked esemed, puistained (liiv, kruus, muld jms), matkavarustus
2_3	N	Veose laadimine	Võimalikult lihtne
2_4	N	Elektrisüsteem	12V
2_5	N	Ühendus vedukiga	Kiirelt ühendatav ja eemaldatav
2_6	N	Material	Korrosioonikindel, kergelt puhastatav
2_7	N	Veokasti suurus	>1200*800*350 mm (pikkus, laius, kõrgus)
2_8	S	Muudetav kliirens	
2_9	S	Kallutatav	Veose kiireks mahalaadimiseks
2_10	S	Aastaringelt kasutatav	Soovi korral saab lisada suusad, muuta nõ kelguks
2_11	N	Koormakinnitused	Koormakinnituse aasad kasti sisekülgedel
2_12	N	Maastikusuutlikkus	Peab olema võimalik kasutada ebatasasel pinnasel
2_13	N	Kasutatav avalikel teedel	

Tabel 3.1 jätkub

	Nõue / Soov	Koostatud: 4.10.2020, viimane muudatus: 3.05.2021	
2_14	N	Lubatud vertikaalne koormus haakeseadmele	<10 kg (98N)
2_15	N	Käsitsi teisaldatav	

Tabelis 3.1 toodud nõuded 1_1...1_4 tulenevad otseselt hetkel kehtivast määrusest "Mootorsõiduki ja selle haagise tehnonõuded ning nõuded varustusele" [15], välja arvatud laius, ning on kirjeldatud selle määruse lisas 1. Nende nõuete täitmine on eelduseks haagise registreerimisel Maanteeameti liiklusregistris.

3.1 Lahendusvariandid

Parima tulemuse saamiseks on mõistlik kasutada korrastusskeemi (Zwicky klassifitseerimisskeemi)[2, lk201]. Korrastusskeemis tuuakse välja haagise erinevad komponendid ning võimalikud sobivad lahendused. Lõpuks kombineeritakse nendest lahendustest tervik. Lahenduste kombineerimisel tuleb silmas pidada erinevate lahenduste ühildatavust.

Tabel 3.2

		Lahendused			
Komponendid		1	2	3	4
Haagis	A	Kaherattaline haagis, rattad külgedel, sõltumatu	Üherattaline haagis, ratas taga, kallutav	Kaherattaline haagis, rattad taga, sõltumatu	
Kast	B	tagumine külj avatav	tagumine + küljed avatavad	eesmine + tagumine	kõik küljed eemaldatavad
Kast	C	mitte kallutatav	kallutatav, käsitsi	kallutatav, mehaaniliselt	
Raam	D	Eraldi raam kasti all	Veokast, mis toimib ka raamina		
Vedrustus	E	Sõltuv	Sõltumatu	Sõltumatu, reguleeritav	
	F	Lehtvedru koos amordiga	Keerdvedru koos amordiga	Torsioonvedru	

Tabel 3.2 jätkub

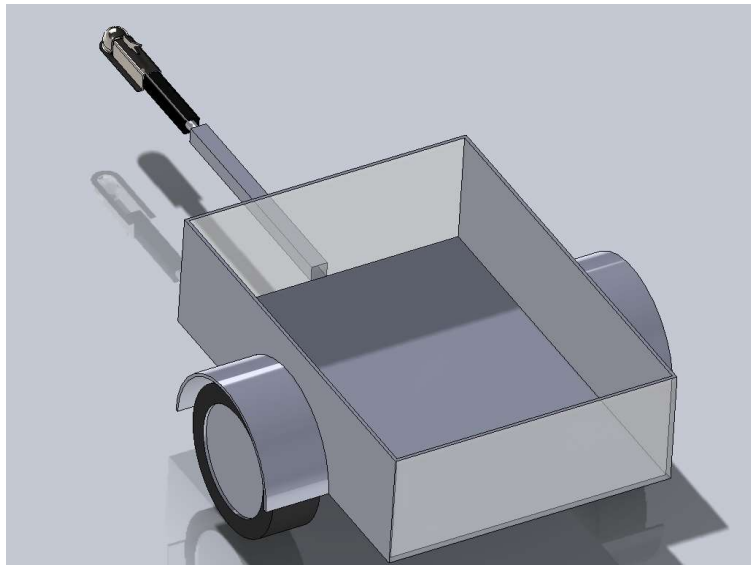
Tiisel/kinnitus	G	Fikseeritud kuulkinnitus	Pöörlev kuulkinnitus	Kardaani risti tüüpi kinnitus	Jäik kinnitus
Tugijalg	H	Ainult jalg	Jalg koos rattaga		

Lahendusvariandid:

1. A1 - B3 - C1 - D2 - E3 - F3 - G2 - H1
2. A1 - B4 - C1 - D2 - E3 - F3 - G2 - H1
3. A1 - B4 - C2 - D2 - E3 - F3 - G2 - H1

3.2 Lahenduse valik

Lahendus 1

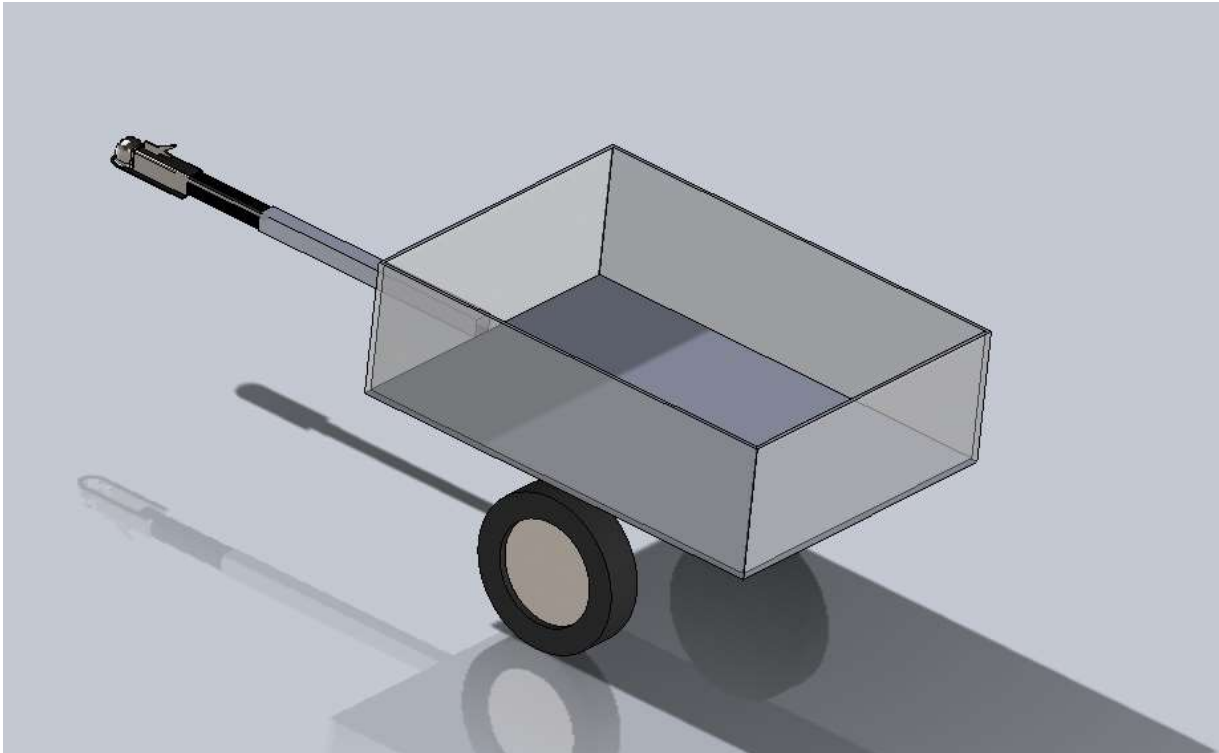


Joonis 3.1

Esimese lahenduse puhul ehitatakse haagis, mis on veduki kaldest sõltumatu. Haagise rattad on külgedel, väljaspool veokasti. Selle konstruktsiooni puhul on võimalik saavutada madalam raskuskese. Vedrustus on sõltumatu ning kasutatakse torsioonvedrusid, mis on oma ehituselt lihtsad ning valmistootena tellitavad. Et tagada veduki ja haagise vaheline suurem sõltumatus kalde suhtes, kasutatakse telje sihis pöörlevat haagise veopead. Veokasti esimene ja tagumine külg on avatavad, et lihtsustada kauba laadimist ning võimaldada transportida

kastist pikemaid veoseid. Hoiustamiseks on haagisel tugijalg ning see on ka käsitsi teisaldatav. Seda haagist ei ole võimalik veduki külge ühendatuna veose maha laadimise eesmärgil kallutada.

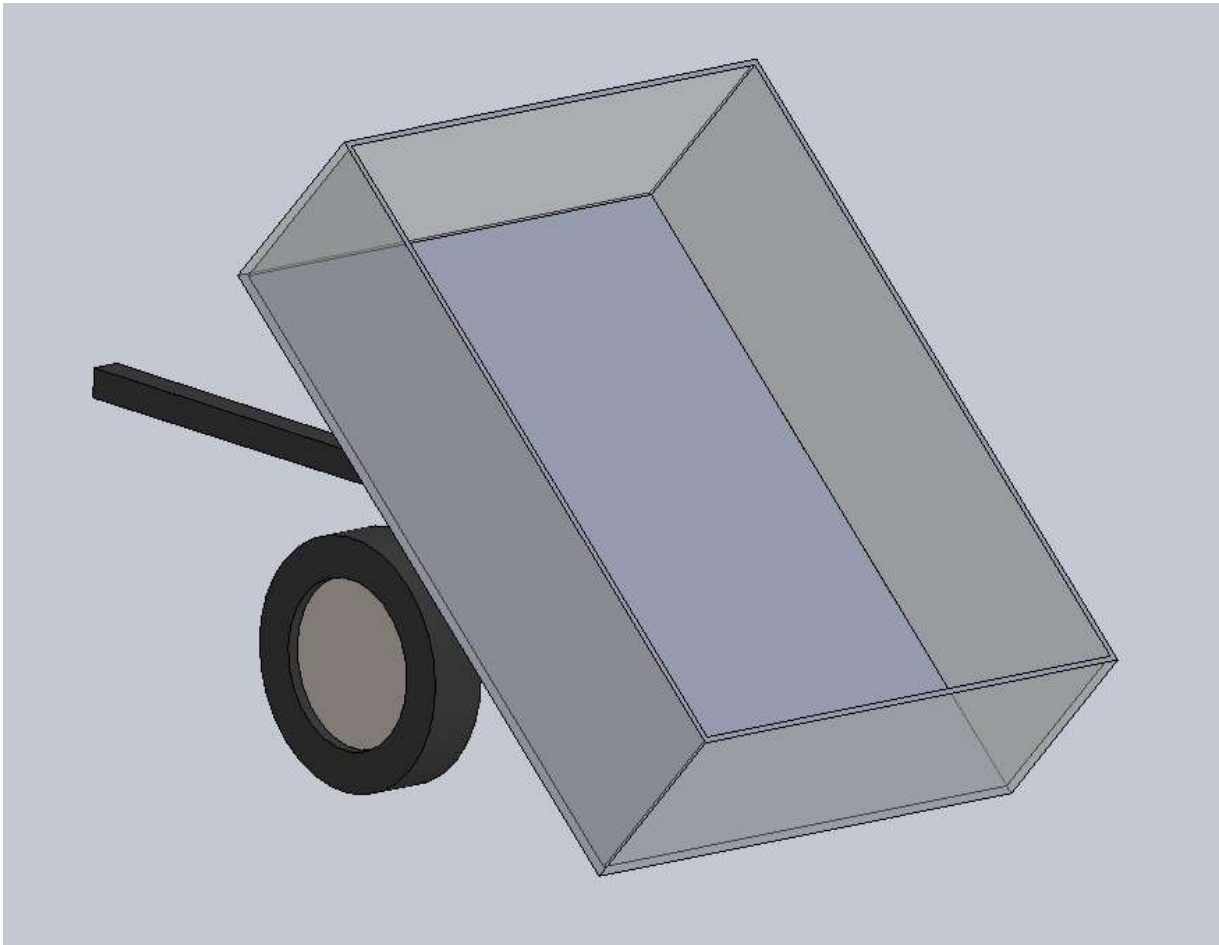
Lahendus 2



Joonis 3.2

Selle lahenduse puhul ehitatakse haagis, mis on veduki kaldest sõltumatu. Haagise rattad on külgedel, veokasti all. Kasti kõik küljed on eemaldatavad. Selle konstruktsiooni puhul raskuskese kõrgem kui esimese variandi puhul. Vedrustus on sõltumatu ning kasutatakse torsioonvedrusid, mis on oma ehituselt lihtsad ning valmistootena tellitavad. Et tagada veduki ja haagise vaheline suurem sõltumatus kalde suhtes, kasutatakse telje sihis pöörlevat haagise veopead. Seda haagist ei ole võimalik veduki külge ühendatuna veose maha laadimise eesmärgil kallutada.

Lahendus 3



Joonis 3.3

Kolmanda variandi puhul ehitatakse haagis, mis on veduki kaldest sõltumatu. Haagise rattad on külgedel, veokasti all. Selle konstruktsiooni puhul on raskusest kõrgem kui esimese variandi puhul. Kallutatav kast muudab konstruktsiooni keerulisemaks ning see suurendab tühimaassi. Vedrustus on sõltumatu ning kasutatakse torsioonvedrusid, mis on oma ehituselt lihtsad ning valmistootena tellitavad. Et tagada veduki ja haagise vaheline suurem sõltumatus kalde suhtes, kasutatakse telje sihis keerlevat haagise veopead.

3.3 Hindamine

Parima lahenduse välja selgitamiseks on vaja leitud variante objektiivselt hinnata. Selleks kasutatakse hindamismatriksit, milles on näidatud hindamiskriteerium, kriteeriumile antav

kaal ning lõplik hinne. Hindamine toimub skaalal 1...5, kus viis on parim ja üks kõige kehvem hinne. Iga punkti eest saadav hinne korrutatakse selle punkti kaaluga ning kaalutud hinded liidetakse kokku. Suurima kaalutud hinde saanud lahendusega liigutakse edasi projekteerimise etappi. Tabelis 3.3 on toodud hindamiskriteeriumid, hinnete kaalud ja teostatud hindamine.

Tabel 3.3 Hindamismaatriks

		1		2		3	
Kriteerium	Kaal	Hinne	Kaalutud hinne	Hinne	Kaalutud hinne	Hinne	Kaalutud hinne
Mass	0,3	5	1,5	4	1,2	3	0,9
Vastavus nõuetele	0,3	5	1,5	5	1,5	5	1,5
Konstrueerimise keerukus	0,15	5	0,75	4	0,6	3	0,45
Hind	0,15	5	0,75	4	0,6	3	0,45
Vastupidavus	0,1	5	0,5	5	0,5	5	0,5
Standardosade kasutatavus	0,1	5	0,5	5	0,5	4	0,4
Kokku			5,5		4,9		4,2

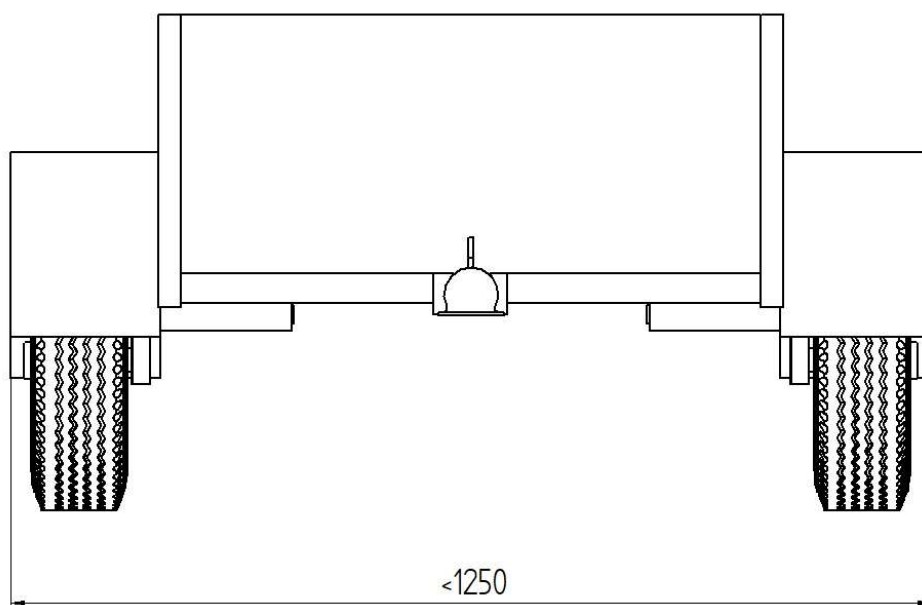
Hindamisel osutus parimaks lahendus number 1 ning selle alusel jätkatakse projekteerimisega.

4. PROJEKTEERIMINE

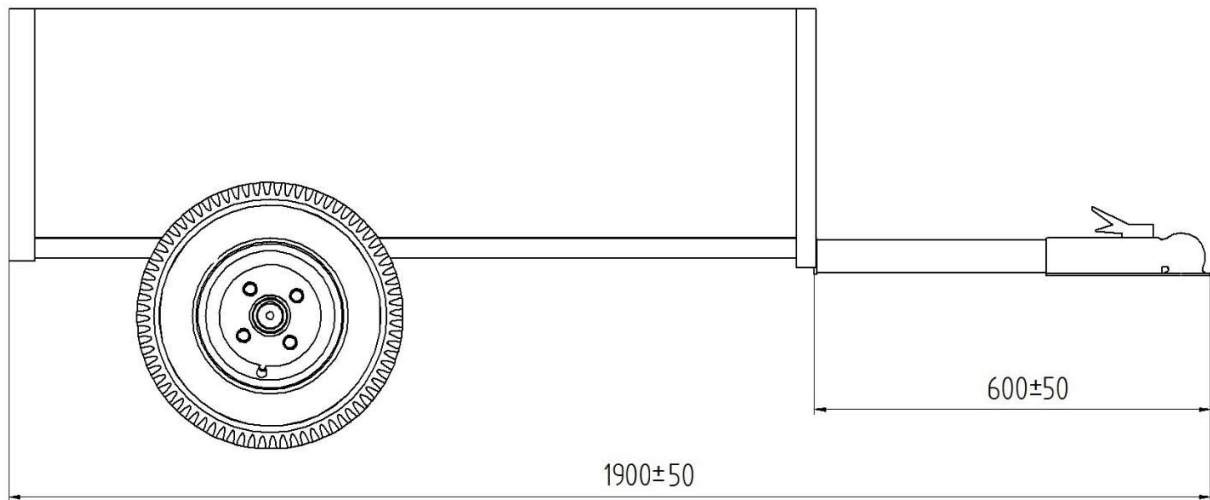
Projekteerimise osas leitakse konstruktiivne lahendus erinevatele haagise osadele. Võimalikele ostu toodetele otsitakse sobivad tooted, projekteeritavatele detailidele tehakse tugevuse analüüs.

4.1. Gabariitmõõtmed

Enne projekteerimisega alustamist on vaja määrata haagise gabariitmõõtmed. Vastavalt turu uuringule võetakse maksimaalseks laiuks 1250 mm. Veokasti sisemine suurus vastavalt nõuete loetelu punktile 2_7 on 1200*800*350 mm, tiisli pikkus koos veopeaga 600-700 mm, sõltuvalt kujust. Kogupikkus 1900 +/-50 mm. Haagise põhja maksimaalne kõrgus maapinnast ei ole määratud ja see selgub pärast sobilike veermiku detailide valikut.



Joonis 4.1 Haagise laius

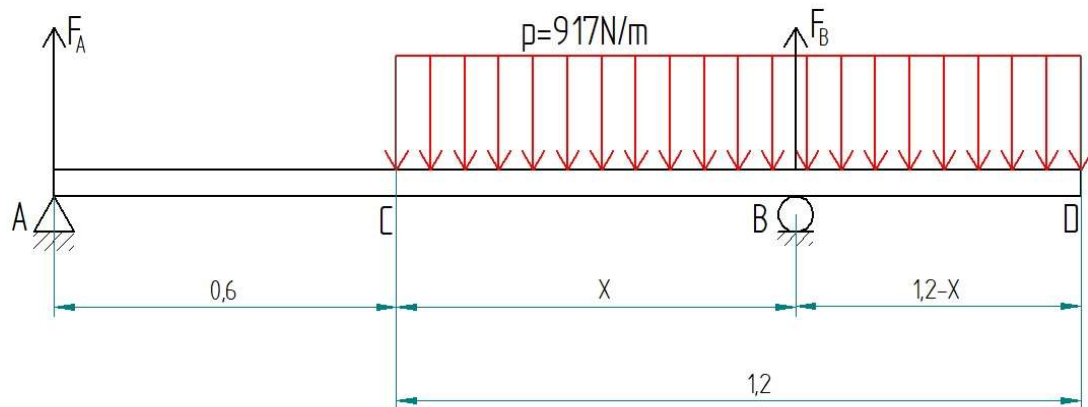


Joonis 4.2 Haagise pikkus

4.1.2 Haagise tasakaal

Vastavalt nõuete loetelus esitatud nõudele 2_14 (tabel 4) tohib veduki haakeseadmele mõjuv maksimaalne koormus olla 10kg. Selle põhjuseks on asjaolu, et suurem koormus võib haagist vedava mootorratta ebastabiilseks muuta. Selleks, et seda ühtlaselt koormatud haagisega mitte ületada, tuleb haagise sild paigutada selliselt, et haagise veopea mõjutaks veduki haakeseadet $10 \cdot 9,8 = 98$ N suuruse jõuga.

Selleks koostatakse haagise arvutuskeem (joonis 4.3) ja leitakse läbi toereaktsioonide ratta optimaalne asukoht.



Joonis 4.3 - Ratta asukoha arvutuskeem

Arvutustel arvestatakse, et haagise koorma suurim mass on 110 kg ehk $110 \cdot 9,81 = 1079,1$ N. Lihtsustamise mõttes ümardatakse see 1100 N peale. Seega mõjub pikitelje sihis ühtlane joonkoormus $1100/1,2=916,6 \sim 917$ N/m.

Teada on tiisli pikkus ja joonkoormuse mõjuala pikkus. Silla soovitud kaugus veopeast (punkt A) on $0,6+X$ m. Kuna punktis A tekkiva toereaktsiooni suurim lubatud väärtus on teada ($F_a \leq 98\text{N}$), siis avaldatakse X läbi momentide punktis B.

$$\Sigma M^{(B)} = 0 \quad (4.1)$$

$$F_A * (AC + X) - p * \left(\frac{X^2}{2}\right) + p * \left(\frac{(CD - X)^2}{2}\right) = 0$$

$$98 * (0,6 + X) - 917 * \left(\frac{X^2}{2}\right) + 917 * \left(\frac{(1,2 - X)^2}{2}\right) = 0$$

$$719,04 - 1003,12X = 0$$

$$X = 0,716 \text{ m} \approx 0,71 \text{ m}$$

Vastavalt võrrandi lahendile tuleb sild paigutada veopeast $0,6+0,71=1,31\text{m}$ kaugusele.

Sel juhul leitakse haagise poolt haakeseadmele mõjuv jõud järgmise lahenduskäiguga:

$$\Sigma M^{(A)} = 0$$

$$p * CD \left(AC + \frac{CD}{2}\right) - F_B * AB = 0$$

$$917 * 1,2 * \left(0,6 + \frac{1,2}{2}\right) - F_B * 1,31 = 0$$

$$F_B = 1008 \text{ N}$$

Süsteem on tasakaalus, kui jõudude summa on 0. Seega:

$$\Sigma F = 0$$

$$FA = p * 1,2 - FB$$

$$FA = 1100 - 1008 = 92 \text{ N}$$

Silla paigutus vastab tasakaalutingimusele ning maksimaalne teoreetiline vertikaalne koormus haakeseadmele on 92N, mis vastab nõuete loetelus punktis 2_14 esitatud nõudele.

4.1.3 Veose asetus

Et haagise tasakaalu tingimus säiliks ka haagist kasutades, tuleb kindlasti jälgida veose paigutust haagisel. Olukorra näitlikustamiseks vaadeldakse kolme koormusolukorda, kus haagisel on maksimaalne lubatud koorem, mis on jaotatud haagise kastis erinevalt. Koorma mass on maksimaalne lubatud ehk 110kg. Kui maksimaalne koorem laadida veokasti esimesele kolmandikule, siis suureneb vertikaalne koormus haakeseadmele 428 N suuruseks. See muudab vedava sõiduki juhitavust ja võib põhjustada tagumise rehvi enneagset kulumist.

Kui maksimaalne koorem laadida ühtlaselt veosilla kohale, siis haakeseadmele vertikaalset koormus ei mõju.

Kui maksimaalne koorem laadida veosillast taha poole, siis tekib staatilisel koormusel haakeseadmele 206 N suurune tõstejõud. See võib põhjustada vedava sõiduki ootamatut stabiilsuse muutust ning viia avariolukorrani.

Parim koht veose laadimiseks on ühtlaselt veokasti keskel, seejärel kasti esimene osa ning sillast taha poole ei soovita veost üldse laadida.

4.2 Rattad ja vedrustus

4.2.1 Rattad

Rehvide valikul tuleb lähtuda kehtivast määrusest, aluseks tuleb võtta haagise maksimaalne kiirus ja koormus. Rehvi kiiruskategooria peab olema vähemalt võrdne sõiduki valmistaja poolt ettenähtud näitajaga ning koormusindeks peab rehvide üksikasetuse korral olema vähemalt võrdne 0,5 kordse suurima lubatud teljekoormusega või rehvide topeltasetuse

korral vähemalt võrdne 0,25 kordse suurima lubatud teljekoormusega. Kui sõiduki valmistaja on ette näinud suuremad koormusindeksid, peab kasutama valmistaja poolt ettenähtud suurusi [15].

Antud haagise puhul on maksimaalne lubatud kiirus 110 km/h ja suurim lubatud teljekoormus 153 kg. Selle järgi leitakse rehvi koormusindeksi valimiseks vajalik arv: $0,5 \cdot 153 = 76,5$ kg. Tulenevalt ülekoormamise võimalusest valitakse rehvi haagise kahekordse kandevõime järgi ning sel juhul tuleb rehvi valida 153 kg koormuse järgi.

Tabelitest 4.X ja 4.X valitakse saadud väärtustele lähimad kiirus- ja koormusindeksid.

Tabel 4.1 Valik rehvide koormusindekseid [11]

Koormusindeks	Koormus (kg)	Koormusindeks	Koormus (kg)	Koormusindeks	Koormus (kg)
33	115	53	206	66	300
35	121	54	212	67	307
37	128	55	218	68	315
40	136	58	236	69	325
41	145	59	243	70	335
42	150	60	250	71	345
44	160	61	257	72	355
46	170	62	265	73	365
47	175	63	272	74	375
48	180	64	280	75	387
50	190	65	290	76	400
51	195	66	300	77	412
52	200	65	290	78	425

Tabel 4.2 Rehvide kiirusindeksid[11]

Kiiruskategoria	Piirkiirus (km/h)	Kiiruskategoria	Piirkiirus (km/h)	Kiiruskategoria	Piirkiirus (km/h)
A1	5	D	65	Q	160
A2	10	E	70	R	170
A3	15	F	80	S	180

Tabel 4.2 jätkub

A4	20	G	90	T	190
A5	25	J	100	U	200
A6	30	K	110	H	210
A7	35	L	120	V	240
A8	40	M	130	W	270
B	50	N	140	Y	300
C	60	P	150	Z	>240

Rehvi koormusindeks peab olema vähemalt 44 ning kiirusindeks peab olema minimaalselt K. Nendele tingimustele vastab ratas 401717.003 [16], mille indeksid on 71M ning koostatud ratta mass 4,9 kg.

Koormusindeksile 71 on lubatud koormuseks 335 kg ja kiirusindeksile M on lubatud maksimaalseks kiiruseks 130 km/h. Mõlemad arvud täidavad esitatud nõuded.

Ratta iseloomulikud näitajad on toodud tabelis 4.3

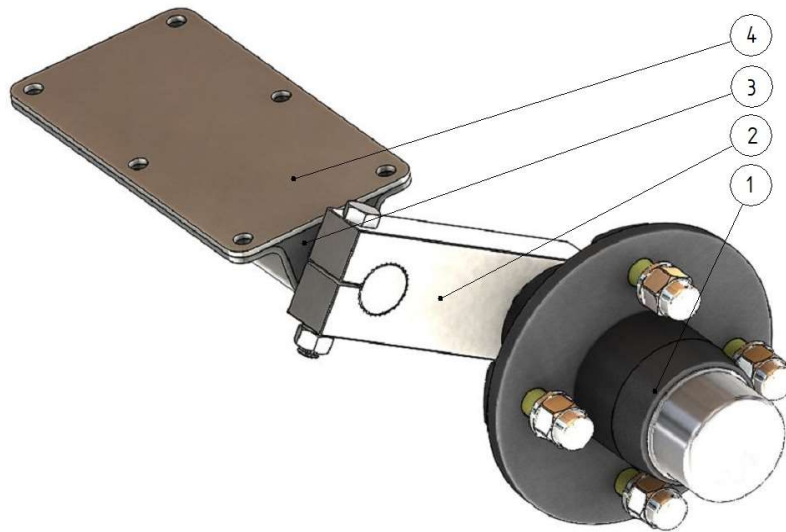
Tabel 4.3 Valitud ratta iseloomulikud näitajad

Rehvi mõõt	4.00-8
Kiirusindeks	71
Koormusindeks	M
Velje läbimõõt	8"
Velje laius	2,5"
Poldiavade läbimõõt	4*101,6 mm
Ratta mass	4,9 kg

Et vältida pori, kivide või muude objektide lendumist, kasutatakse rataste kohal ka nõuetekohaseid porikaitsemeid. Sobiv porikaitse on Knotti tootekataloogist toode 418361.001 [16] massiga 0,66 kg/tk.

4.2.2 Vedrustus

Selleks, et leevendada tee või pinnase ebatasasustest tekkivaid ning haagise raamile üle kanduvaid dünaamilisi koormusi, tuleb kasutada ka vedrustust. Vedrustuse puhul osutus valituks torsioonsild (joonis 4.4), mis koosneb rummust (1), õõtsuovast (2), kummitorsioonvedrust (3), kinnitusplaadist (4) ning mis toimib nii amordi kui ka vedruna.

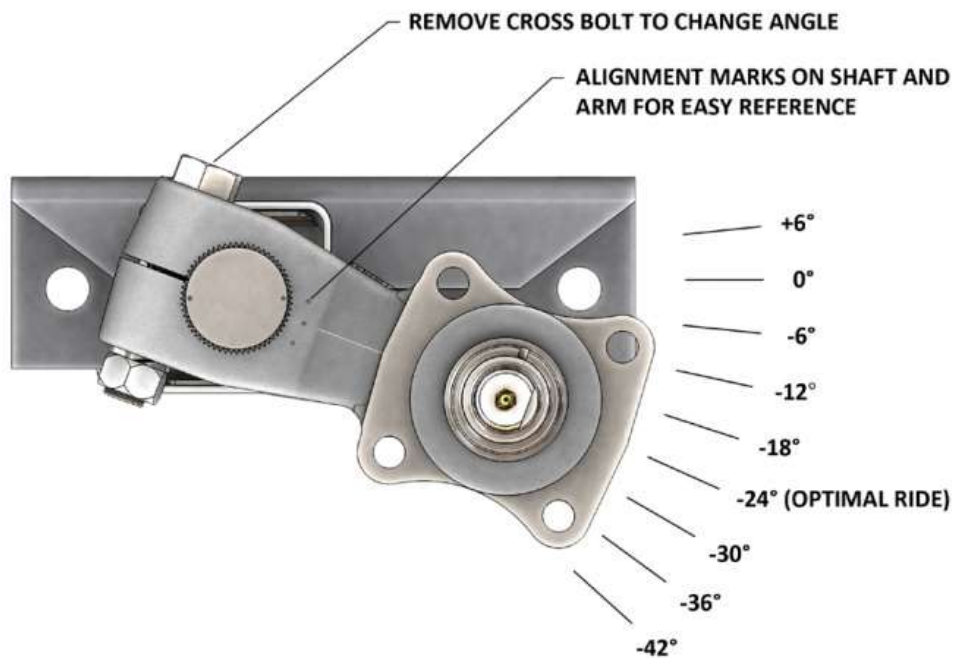


Joonis 4.4 Torsioonvedrustuse koost[17]

Torsioonsilla valik tehti kandevõimest lähtuvalt (tabel 4.4). Valitud vedrustuse kandevõime on ~250kg (550lbs) [viide!] mis teeb 125 kg ühe poole kohta, ning see täidab kõik vajadused. Vedrustuse kinnitus raamile on lahendatud poltliitega, et vajadusel oleks võimalik komponenti hõlpsasti vahetada. Sellise lahenduse puhul on haagise raami tootmine lihtsam, sest tuleb luua ainult üks kinnituspunkt ühe poole kohta. Projekteerimise seisukohast on eeliseks see, et saadaval on valmis koostud ning toote arendusel ei tule eraldi tegeleda vedrustuse komponentide projekteerimisega.

Tabel 4.4

Tüüp	Kummitorsioon vedrustus
Kandevõime	~250 kg (550lbs)/paari kohta
Kliirens (koormuse all)	Reguleeritav 169mm...215 mm
Mass	11,8 kg (26,04lbs)/paar



Jooni 4.5 Vedrustuse hoova muutmise skeem [17]

Kasutatava lahenduse puhul on haagise kliirens reguleeritav vedrustuse hoova nurga muutmise kaudu, kuid see nõuab vastavate tööriistade olemasolu ning selleks on vajalik rataste eemaldamine. Kliirensi muutmist selgitab joonis 4.5.

Vedrustus ühendatakse raami külge poltliitega. Kuna vedrustuse koostus on juba 9mm avad sisse lõigatud, siis detailide ühendamiseks kasutatakse sinna sobivaid 8 mm polte.

4.3 Raam

Kuna raam on põhiline osa, millega loodava haagise massi mõjutada saab, **siis on selle osa õnnestumine oluline**. Raami madala tühimassi saavutamiseks on mõistlik kasutada alumiiniumi. Kättesaadav materjali mark on 6060-T6 (Al MgSi), mille põhilised omadused on toodud tabelis 4.5.

Tabel 4.5

Materjal	AlMgSi (6060)
Termotöötlus	T6 - karastatud ja kunstlikult vanandatud
Tihedus	2710 kg/m ³
Tõmbetugevus	215 N/mm ²
Voolavuspiir	160 N/mm ²

Raam moodustab kastiga terviku. Kasti põhjaplaat ja vedrustuse komponendid kinnituvad otse raami külge.

4.3.1 Raami tugevuse analüüs

Selleks, et konstruktsioon oleks piisavalt vastupidav, aga samas majanduslikult ökonoomne, tuleb tugevusarvutusteks leida optimaalne tugevuse varutegur. Arvestades, et haagise kandevõime on võrdlemisi väike ning seda on lihtne üle koormata ning teel liigeldes mõjuvad sellele tee ebatasasusest tingitud dünaamilised koormused, määratakse varuteguriks $[S]=2$. Seda suurust soovitatakse kasutada, kui tegemist on hästituntud materjalidega ja vähe muutuvate keskkonnatingimustega ning kui koormused ja pinged on hõlpsasti määratavad [18, lk162].

Et haagise raam kasutamisel liigselt ei deformeeruks, peab olema rahuldatud ka maksimaalse läbipainde nõue, milleks määratakse $[\Phi]=1$ mm.

Valemi 4.1 järgi arvutatakse konstruktsioonile lubatud suurim pinge.

$$\sigma_{\max} = \frac{\sigma}{[S]} \quad (4.2)$$

kus:

σ_{\max} - lubatud pinge, Pa

σ - tugevuspiir, Pa

[S] - ohutustegur

$$\sigma_{\max} = 160/2 = 80 \text{ Mpa}$$

Esiatsel pikisuunalise tala dimensioneerimisel arvutatakse minimaalne nõutav ristlõike tugevusmoment. Selleks on vaja leida talas tekkiv suurim paindepinge. Paindepinge leidmiseks koostatakse paindepinge epüür, mis on näidatud lisas 2. Suurim leitud paindepinge asub silla kinnituse kohal ning on $M=110 \text{ N}$.

Ristlõike tugevusmomendi leian valemiga:

$$\max \sigma = \frac{M}{W} \leq [\sigma] \quad [24] \quad (4.3)$$

kus $\max \sigma$ = Suurim pinge

M = Suurim paindemoment, 0,11 kN

$[\sigma]$ = Suurim lubatud pinge, 80 MPa

W = otsitav ristlõike tugevusmoment

Antud valemist avaldame W :

$$W = \frac{M}{\sigma} \quad (4.3)$$

Asendame valmis arvväärtused

$$W = \frac{0,11 * 10^{-3}}{80 * 10^6} = 1,375 * 10^{-6} \text{ m}^3 = 1,38 \text{ cm}^3$$

Nõutava telg tugevusmomendiga profiile võib olla mitu ning need võivad olla väga erineva massiga. Sobiva profiili leidmiseks on need koondatud tabelisse 4.6.

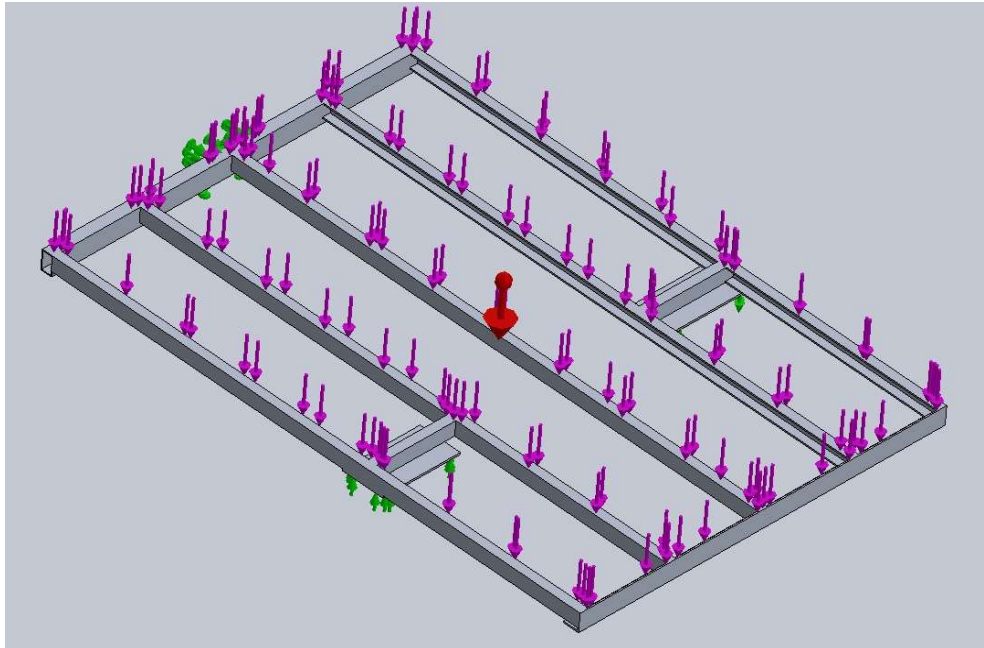
Tabel 4.6 Valik alumiiniumprofiile

Profiil		Wx	Mass kg/m
Nelikant	30*20*2	1,43	0,5
U-profiil	30*20*2	1,69	0,51
T-profiil	40*40*4	1,61	0,84
Toru	35*2	1,62	0,56

Antud profiilidest valin pikitalade jaoks C-profiili 30*20*2 mm, mis on parima tugevuse ja massi suhtega.

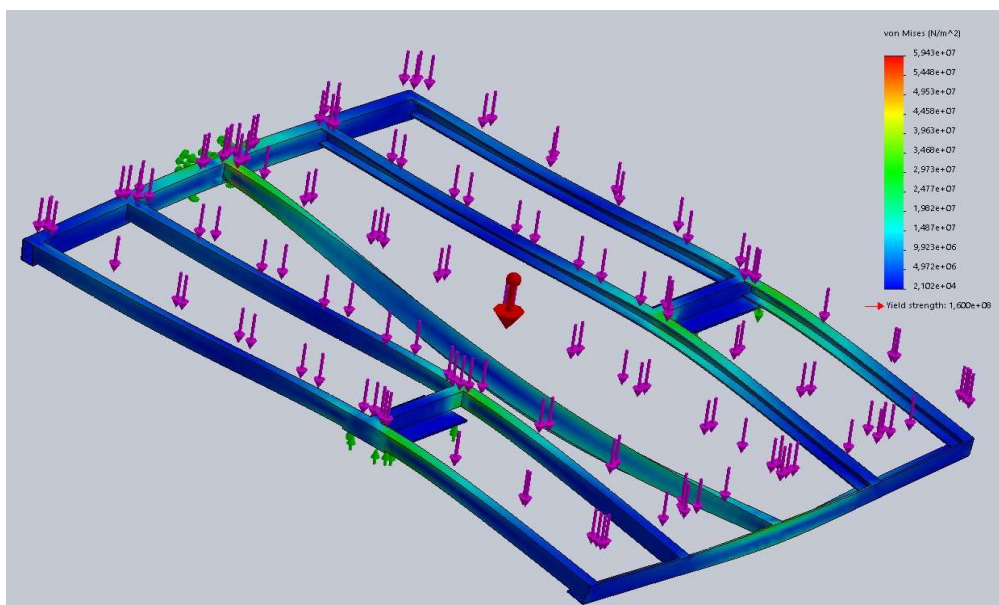
Pikitaladega risti olevate talade jaoks kasutatakse esialgu 30*20*2 mm nelikant profiile. Esimene ja viimane risti olev tala tulevad erinevad. Esimene tala tuleb valida kõrgem, et sinna saaks kinnitada sobiva veotiiisli. Raami tagumisse otsa tuleb paigaldada plaat, mille külge saab kinnitada numbrimärgi ja valgustid.

Kõigepealt koostatakse SolidWorksis raami esialgne mudel, määratakse sellele materjal ja korrektsed materjali omadused ning analüüsitakse seda kasutades lõplike elementide meetodit (LEM) *Simulation*-keskkonnas. Raamile seatakse rajatingimused ning koormuseks kahekordne haagise kandevõime, milleks on 220 kg ehk $220 \cdot 9,81 = 2158,2 \text{ N}$, mis ümardatakse 2200 N peale. Joonisel 4.6 on näha, et raam on jäigalt tiisli külge kinnitatud (*fixed* kinnitus) ja vedrustuse kinnituste kohal saab liikuda piki haagise telge (*roller/slider* kinnitus).



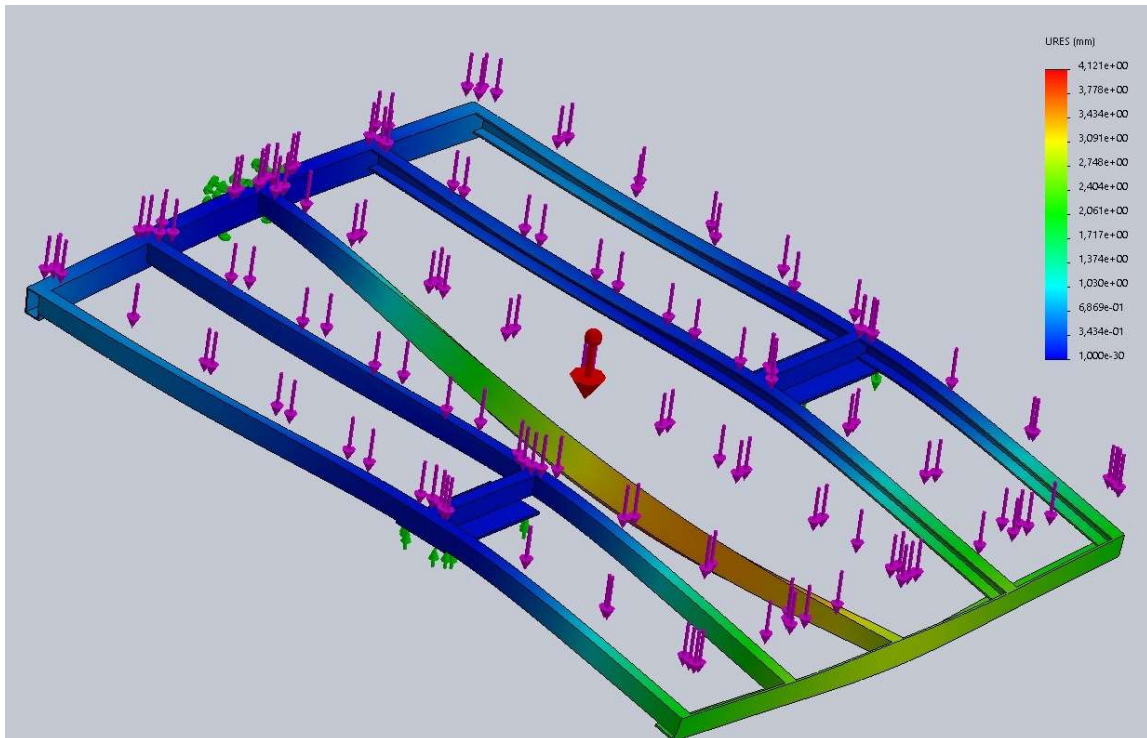
Joonis 4.6 Rajatingimused ja koormus

Raami esialgne mudel koosneb viiest võrdsel kaugusel olevast pikitalast, eesmisest 40*25*2 mm nelikant talast ja tagumisest 30*30*3 mm L-talast. Äärmiste talade vahel on vedrustuse kinnitusplaatide kohal risti olevad 30*20*2mm talad. Raami teoreetiline mass on 4,68 kg. Joonistel 4.7 ja 4.8 on kujutatud esialgse raami pinged ja läbipaine.



Joonis 4.7 Esialgse raami pinged

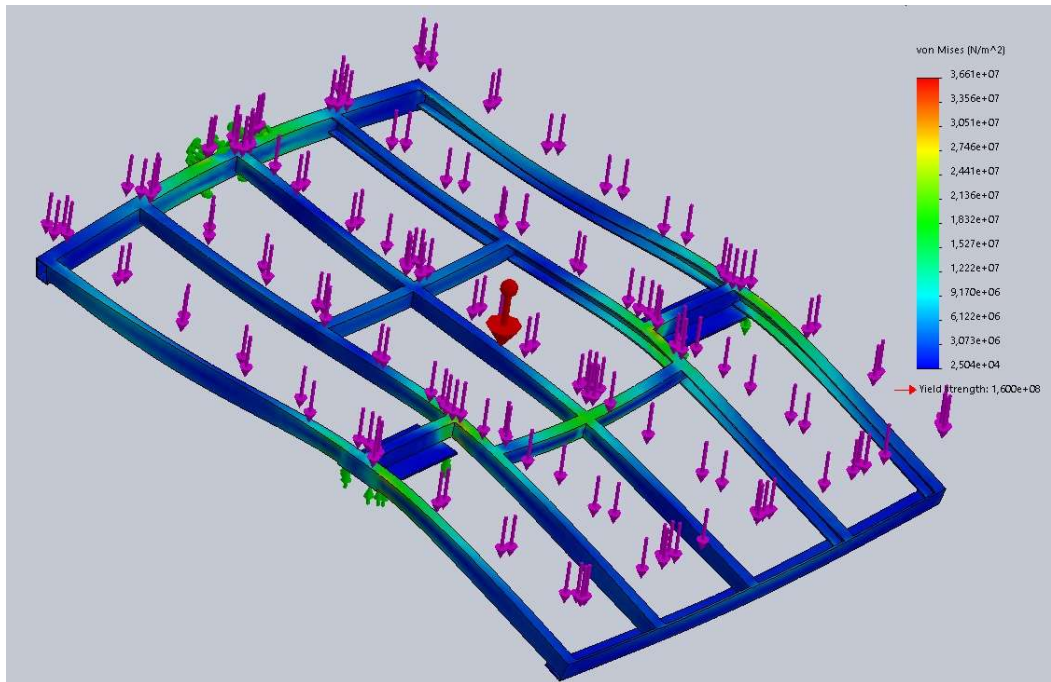
Esialgse variandi suurimad pinged jäävad lubatud 80 Mpa piiresse, olles 59,4Mpa. Läbipaine kuju vastas ootustele, aga ulatus oli liialt suur, olles üle 4,1 mm raami keskmisel talal. Siit järeldatakse, et raami keskmist tala tuleb tugevdada. Selleks kasutatakse 30*20*2 mm nelikant profiile keskmise ja sellest väljaspool asuvate pikisuunaliste talade vahel.



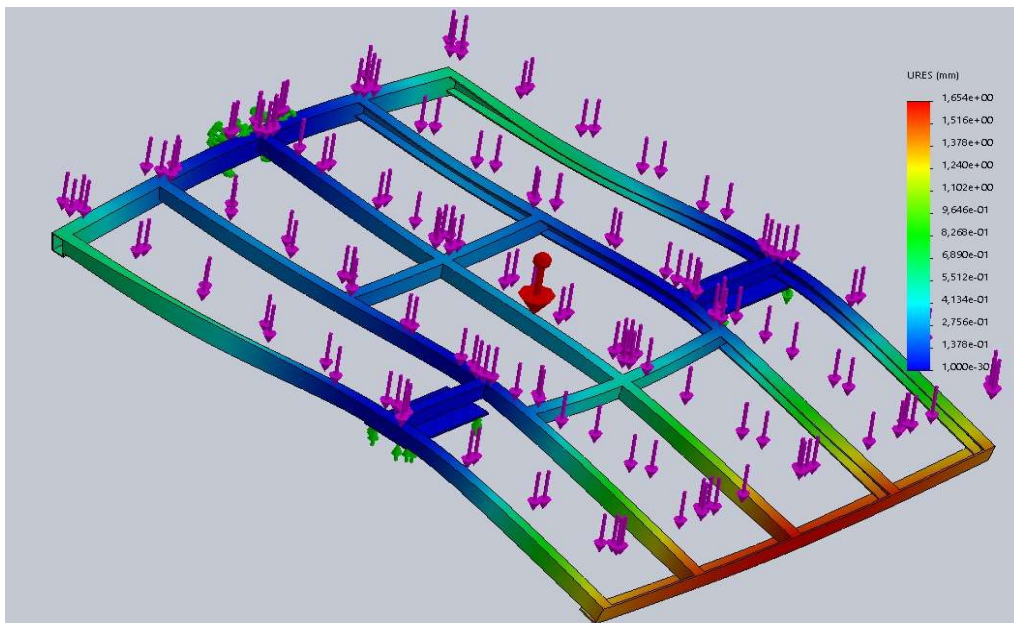
Joonis 4.8 Esialgse raami läbipaine

Joonistel 4.9 ja 4.9 on kujutatud raami täiendatud variandi analüüsi tulemused. Suurimad pinged on väiksemad kui esialgsel variandi, olles maksimaalselt 36,6 MPa vedrustuse kinnituste juures. Suurim läbipaine on endiselt lubatust suurem, olleks maksimaalselt 1,65mm. Selle raami teoreetiline mass on 5,08 kg.

Kuna nüüd asub suurim läbipaine raami tagumises osas, siis lisatakse sinna vedrustuse kinnituskohtade ja sisemiste pikisuunaliste talade vahele lisa talad, mis muudavad selle osa konstruktsiooni jäigemaks.

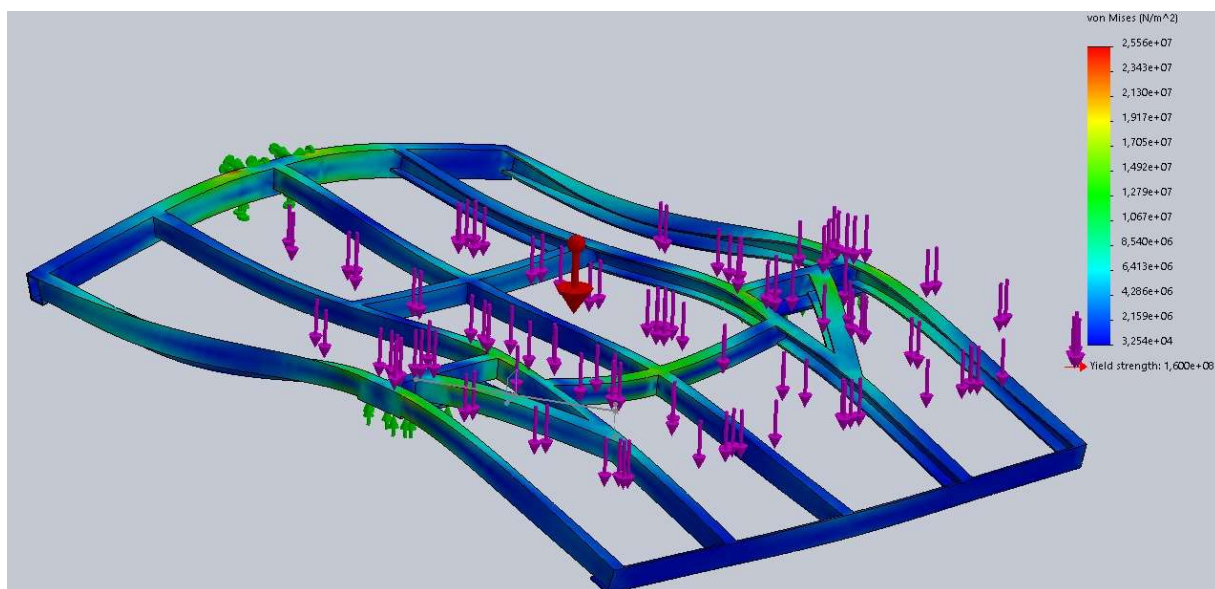


Joonis 4.9 Raami 1. parendatud variandi pinged

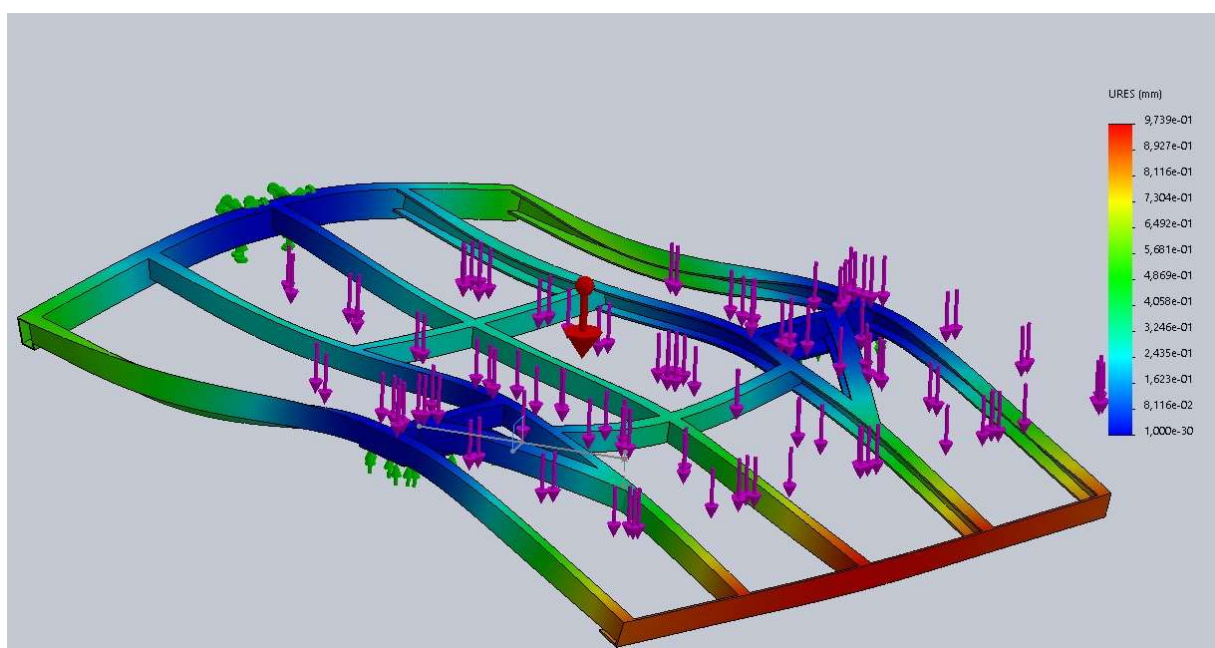


Joonis 4.10 Raami 1. parendatud variandi läbipäine

Joonistel 4.11 ja 4.12 on näidatud raami teise täiendatud versiooni analüüsi tulemused.



Joonis 4.11 Raami 2. parendatud variandi pinged



Joonis 4.12 Raami 2. parendatud variandi läbipaine

Talade lisamine andis järgmise tulemuse: maksimaalne pinge 25,5 MPa ja maksimaalne läbipaine 0,97 mm. Mõlemad tulemused rahuldavad seatud tingimusi. Raami teoreetiline mass on 5,42 kg.

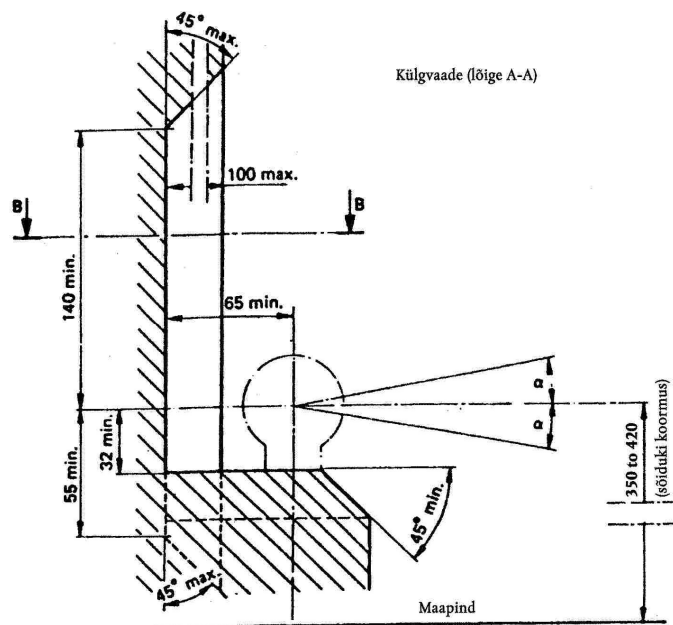
4.4. Haagise ja veduki ühendus

Haagise ja seda vedava mootorsõiduki ühendamiseks kasutatakse mootorsõiduki pool haakekuuli ning haagise pool sfäärilist veopead, mis lukustatakse haakekuuli külge. Selleks, et haagis ei põhjustaks mootorratta ebastabiilsust ning et mootorrattal oleks võimalik kurvis kallutada, kasutatakse kallutatavat veopead. See on loodud nii, et esimese ja tagumise osa vahel on laagrisõlm, mis võimaldab haagise 360 kraadist keerlemist ümber enda pikitelje, olles samal ajal ühendatud vedava masinaga. Tööpõhimõte on näidatud joonisel 4.13.



Joonis 4.13 Kallutatav veopea [19]

Et projekteeritavat haagist saaks kasutada vajadusel ka sõiduauto taga, siis lähtutakse nõudest, et haakekuulid ja pukseerimiskonksud tuleb paigaldada M₁-kategooria sõidukitele, alla 3,5 t M₂-kategooria sõidukitele ja N₁-kategooria sõidukitele viisil, mis tagaks joonisel 4.14 esitatud kliirensi ja kõrguse mõõtmed. [20]



Joonis 4.14 Veokuuli kõrgus maapinnast[20]

Haakekuuli paigalduse nõude järgi selgitatakse veotiisli ligikaudne kuju. Kui vedrustuse tugiplaadi kõrgus maapinnast töösendis on 215 mm ning veopea kõrguseks 420, siis jääb tiisli haagise poolse kinnituse ja veopea vahe $380 - 215 = 205$ mm. Kuna tiisel peab olema nurga all või painutatud ning soovitakse kasutada keerlevat veopead, siis tellitakse sobiv tiisel koos tugijalaga (joonis 4.15) Hollandi ettevõtte Tourmaster valikust. Erinevalt Eesti saada olevatest on sellel veotiisil müüja kinnitusel olemas luba kasutuseks avalikel teedel.



Joonis 4.15 Kasutatav keerleva veopeaga tiisel koos tugijalaga

4.5 Veokast

Veokast koosneb kasti põhjast ja külgedest ning nende lukkudest, hingedest ja koormakinnitustest.

4.5.1 Kasti põhi

Kasti põhi peab olema vastupidav ilmastikule, väikese massiga ning piisavalt tugev, et kanda haagisele lubatud maksimaalset koormat. Üks enim kasutatavaid materjale selle ülesande jaoks on veekindel vineer. Veekindel vineer on fenool- ehk filmikihiga kaetud niiskuskindel kasevineer. Lamineerimine parandab vineeri pealispinna vastupanuvõimet väliskeskkonna mõjudele [21]. Selleks valitakse 4mm paksusega vineer plaadi suurusega 1250mmx2500mm, mis on kolmekihiline ja kaetud mõlemalt poolt veekindlust parandava laminaadiga. Selline vineer talub 300mm vahedega talade peale asetatult kuni 6kN suurust koormat[22]. Antud haagise puhul on raami talade vahekaugus 180mm, seega on valitud materjal piisavalt tugev. Vastavalt vineeri tootja soovitusel paigaldatakse vineer nii, et selle tugevam suund (välimiste paneelide kiu suund) on risti haagise pikiteljega[23]. Vineeri omadused on toodud tabelis 4.7.

Tabel 4.7 Vineeri omadused [22]

Tüüp	Lamineeritud kasevineer
Paksus	4mm
Kihtide arv	3
Tihedus	650-720 kg/m ³
Laminaadi mass	120 g/m ²
Kandevõime	6 kN/m ² (talade vahe <300mm)
Tõmbetugevus	52 MPa (pikikiudu)
Survetugevus	38,7 MPa (pikikiudu)

Põhjaplaadi suuruseks on 1222*828*4 mm ning teoreetiline mass arvestades ka laminaadi massi on 3kg.

4.5.2 Kasti seinad

Veokasti seinad peavad toetama veost ning takistama asjade maha veeremist. Seinte vähim kõrgus on nõutud nõuete loetelu punktis 2_15 ning see on 350mm. Peatükis 3.3 valitud lahenduse järgi peavad kasti esimene ja tagumine külj olema avatavad. Pärast veotiisli projekteerimist ei ole esimese seina eemaldamine otstarbekas, sest painutatud veotiisel jääb pikemate asjade laadimist segama. Sellest lähtuvalt projekteeritakse kast nii, et ainult tagumine sein on avatav.

Kasti külgede materjali valikul on võimalik valida olemasolevate seinapaneelide profiilide vahel või kasutada ka põhjal kasutatavat vineeri. Vineeri kasutamine on massi seisukohast otstarbekam, sest ostetavad alumiinium või terasprofiilid on vineerist tunduvalt raskemad. Tabelis 4.8 võrreldakse erinevate seinapaneelide omadusi.

Tabel 4.8 [22, 27, 28]

Materjal	Suurus	Mass
Alumiiniumprofiil	350*25 mm	4,55 kg/m
Tsingitud terasplaneel	350*15 mm	4,11 kg/m
Vineer	350*4 mm	0,95 kg/m

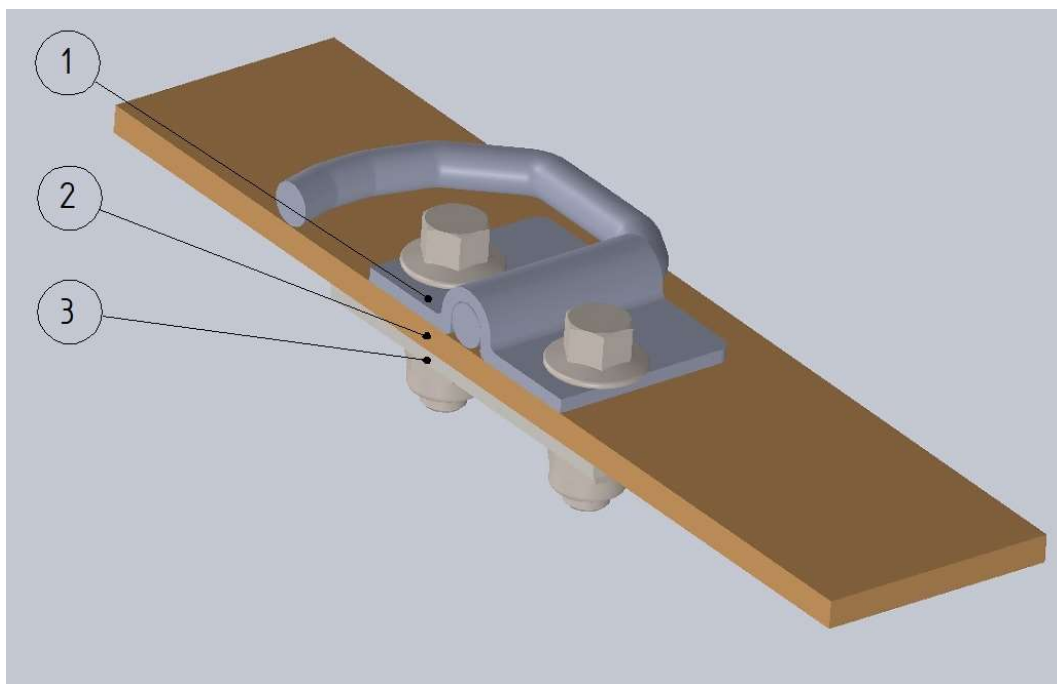
Tabeli 4.8 järgi on otstarbekas kasti küljed ja esimene sein teha 4mm paksusest veekindlast vineerist. Seinad kinnituvad nurgapostide külge neetidega, nurgapostid omakorda on raami külge keevitatud. Et seinad koormuse all läbi ei painduks, siis kasutatakse seinte tugevdamiseks seina pikema küljega paralleelses suunas paigutatud lisatalasid suurusega 15*15*1 mm. Nurgapostidena kasutatakse 3mm paksusest alumiiniumist L-profiile, esimestele nurkadele mõõduga 30*30*3 mm ning pikkusega 390 mm ja tagumistele nurkadele 40*20*2 mm ning pikkusega 380mm. Külgmiste seinte ja nurkade teoreetiline mass kokku on 4,09 kg.

Koorma kinnitamiseks on kasti ette nähtud koormakinnituse aasad (joonis 4.16), mis paigaldatakse poltliitega. Läbi vineeri kinnitamisel paigaldatakse vineeri vastaspoolele metallplaat, mis aitab vähendada poldi poolt põhjustatud kohalikke pingeid ja takistab kinnitusaasa mittesoovitud eemaldumist vineeri küljest. Joonisel 4.17 on näidatud läbilõige koormakinnituse asukohast, kus 1 - koormakinnitus, 2 - vineer, 3 - metallplaat.



Joonis 4.16 Paigaldatav veose kinnitusaas

Kinnitusaasade valikul oli oluline nende pinnapealne kinnitusviis ning vähemalt kahe kinnituspoldi kasutamise võimalus, et vähendada vineerile tekkivat pinget.

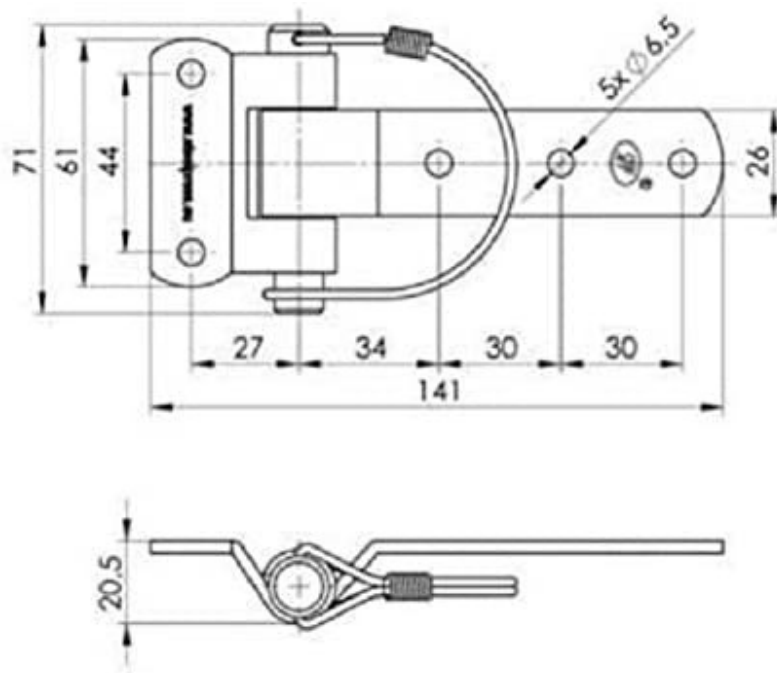


Joonis 4.17 Läbilõige kinnitusaasa paigalduse viisist, 1 - kinnitusaas, 2- vineer, 3 - tugiplaat

Kinnitusaasad paigaldatakse kasti sisse esimese seina alumistesse nurkadesse, külgmiste seinte tagumistesse alumistesse nurkadesse ja kasti põhja külge äärmiste talade keskkohdadesse.

Kasti tagumine luuk tehakse avatav, et lihtsustada koorma maha- ja pealeladimist. Luugi moodustavad alumiiniumprofiilist raam ja veekindel vineer. Luugi avamist võimaldavad hinged on näidatud joonisel 4.18 ja suletud asendis fikseerimiseks vajalikud lukud on näidatud joonisel 4.19. Kasti hingede valikul sai määravaks nende alumise kinnituse kuju, millel peavad kinnituspoltide avad asuma kõrvuti, mitte üksteise kohal.

Tagumise luugi külge paigaldatakse ka haagise registreerimismärk.



Joonis 4.18 Kasti luugi hing koos vastusega [29]

Kasti luugi hingede konstruktsiooni tõttu muudetakse ka raami kõige tagumise tala kuju, sest muidu ei saa hinge alumist poolt raami külge soovitud kohale paigaldada. Uus tala valiti alumiiniumist U-profiil mõõduga 50*30*4 mm. Sellega seoses muutub raami mass 0,5 kg võrra suuremaks. Päärast muudatust kontrolliti ka raami jäikust ja pingeid ning need jäid lubatu piiresse.



Joonis 4.19 Kasti luugi lukk [24]

Kuna joonisel 4.19 toodud lukusti on projekteeritud ning toodetud spetsiaalselt sarnaseks eesmärgiks nagu käesolev toode siis sai projekteerimise aega siinkohal kokku hoitud ning alternatiivseid valikuid ei kaalutudki.

4.5.3 Veokasti tugevusanalüüs

Veokasti seinad peavad vastu pidama koorma poolt tekitatud koormustele kiirendamisel, aeglustamisel ja kurvides. Vastupidavuse kontrolliks kasutatakse lõplike elementide meetodit Solidworks *Simulation* keskkonnas. Kõigepealt luuakse kasti mudel, määratakse materjalid ning nende omadused ning seejärel analüüsitakse tekkivaid pingeid ja deformatsioone.

Koorma poolt tekitatavate jõudude puhul arvestatakse olukorraga, kus kasti on asetatud 110 kg kaaluv kinnitamata veerev ese. Töö aluseks oleva mootorratta kiirendus 0-100 km/h on 3,8 s[25]. Teades koorma massi ja kiirendust, arvutatakse valemi 4.3 alusel koorma poolt tekitatud jõud tagumisele luugile.

$$F = m * a \quad (4.4)$$

kus m – veose mass, kg

a – mootorratta kiirendus, m/s^2

Kiirenduse väärtus leitakse valemiga 4.4

$$a = \frac{v-v_0}{t} \quad (4.5)$$

kus a – kiirendus, m/s^2

v_0 – algkiirus, 0 m/s

v – lõppkiirus, 100km/h = 27,78 m/s

t – aeg, 3,8 s

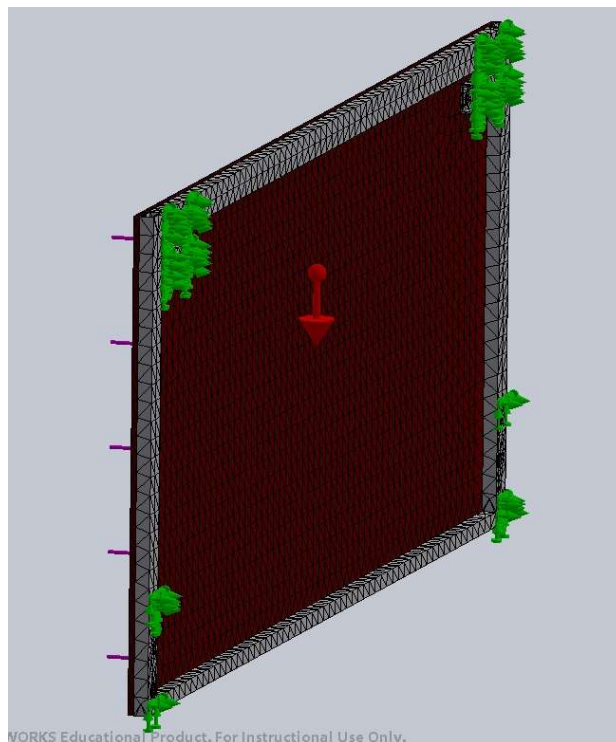
Valemi 4.4 järgi leitakse mootorratta kiirendus $a = 7,31 m/s^2$.

Koorma poolt tagumisele seinale mõjuv jõud:

$$F = m * a$$

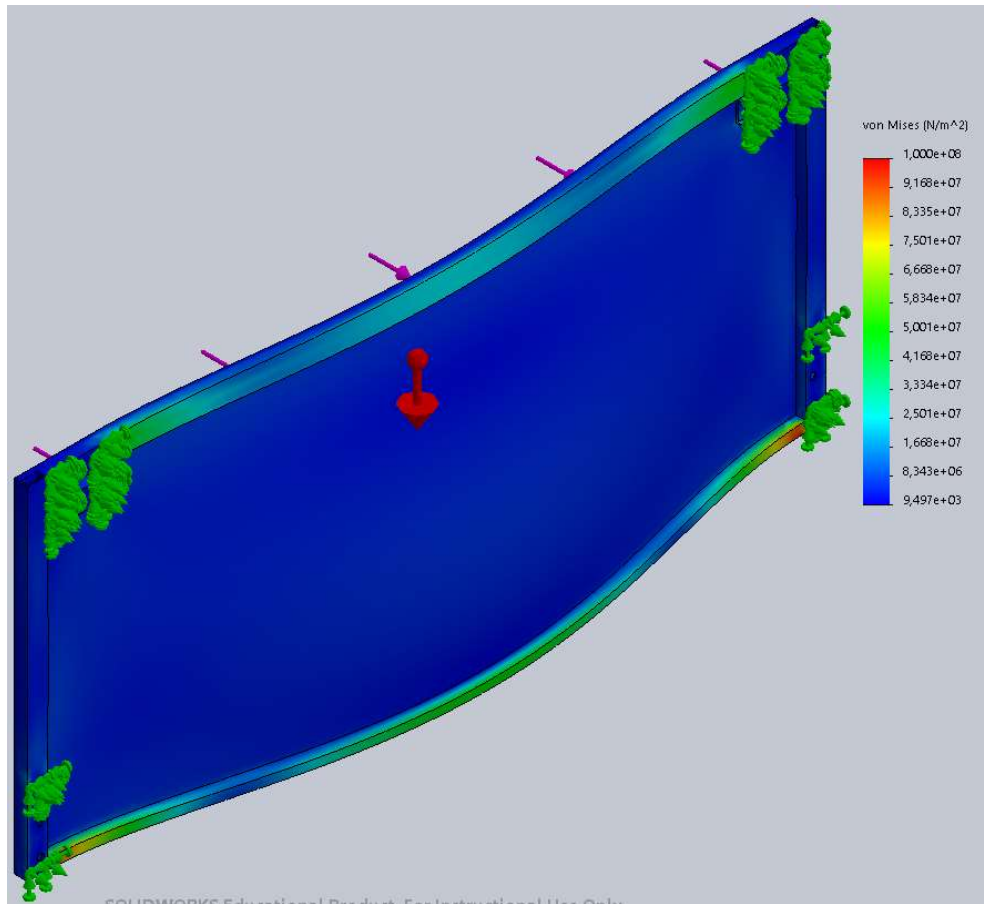
$$F = 110 * 7,31 = 804,1 \text{ N}$$

Tagumise seina tugevuse kontrolliks kiirendusel koostatakse kõigepealt luugi koostu mudel. Seejärel määratakse rajatingimused ning koormuse suund ja suurus. Antud juhul fikseeriti luuk hingede ja lukkude asukohast (joonis 4.20).

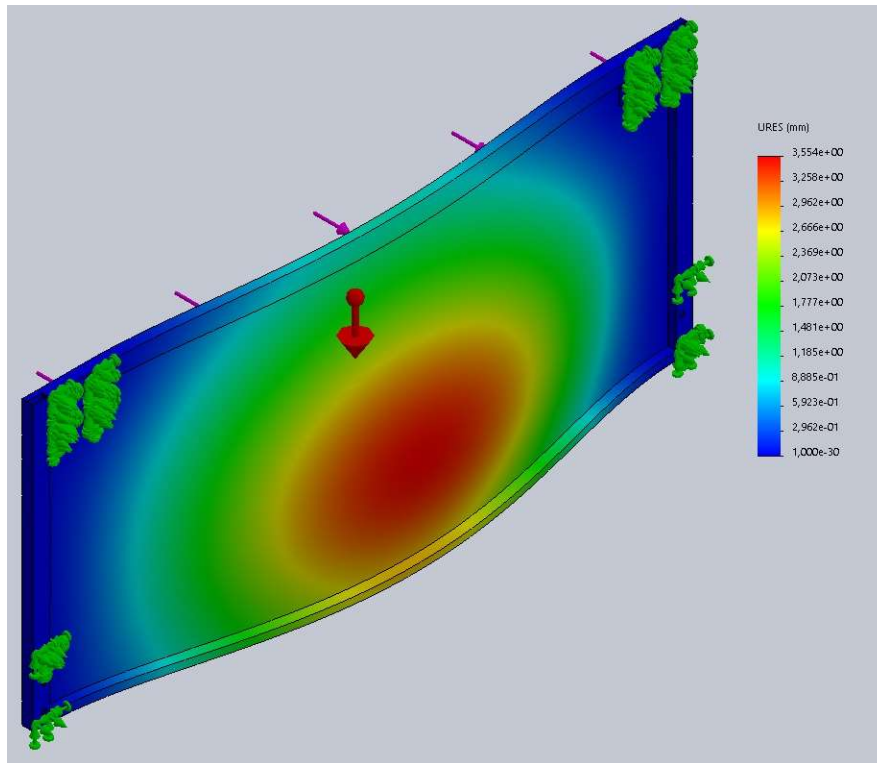


Joonis 4.20 Tagaluugi simulatsiooni rajatingimused

Kiirenduse olukorra simulatsiooni tulemused on näidatud joonistel 4.21 ja 4.22. Suurimad pinged tekkisid alumise ristitala otstes, olles 100 Mpa juures. Kasutatava matejali voolepiir on 160 Mpa, seega on selline konstruktsioon vastupidav. Suurim läbipaine oli luugi keskosas suurusega 3,55 mm.



Joonis 4.21 Tagaluugi pinged kiirendusel



Joonis 4.22 Tagaluugi mooned kiirendamisel

Sarnaselt leitakse koorma poolt tekitatud jõud pidurdamisel, sel korral mõjutab see esimest seina. Ideaaltingimustes on töö aluseks oleva mootorratta pidurdusmaa kiiruselt 100 km/h seisma jäämiseni 37,7 m [24].

Kiirenduse väärtus leitakse valemiga:

$$v_2^2 - v_1^2 = 2 * a * s \quad (4.6)$$

kus v_2 - lõppkiirus, 0 m/s

v_1 - algkiirus, 27,78 ms/s

s - teepikkus, 37,7 m

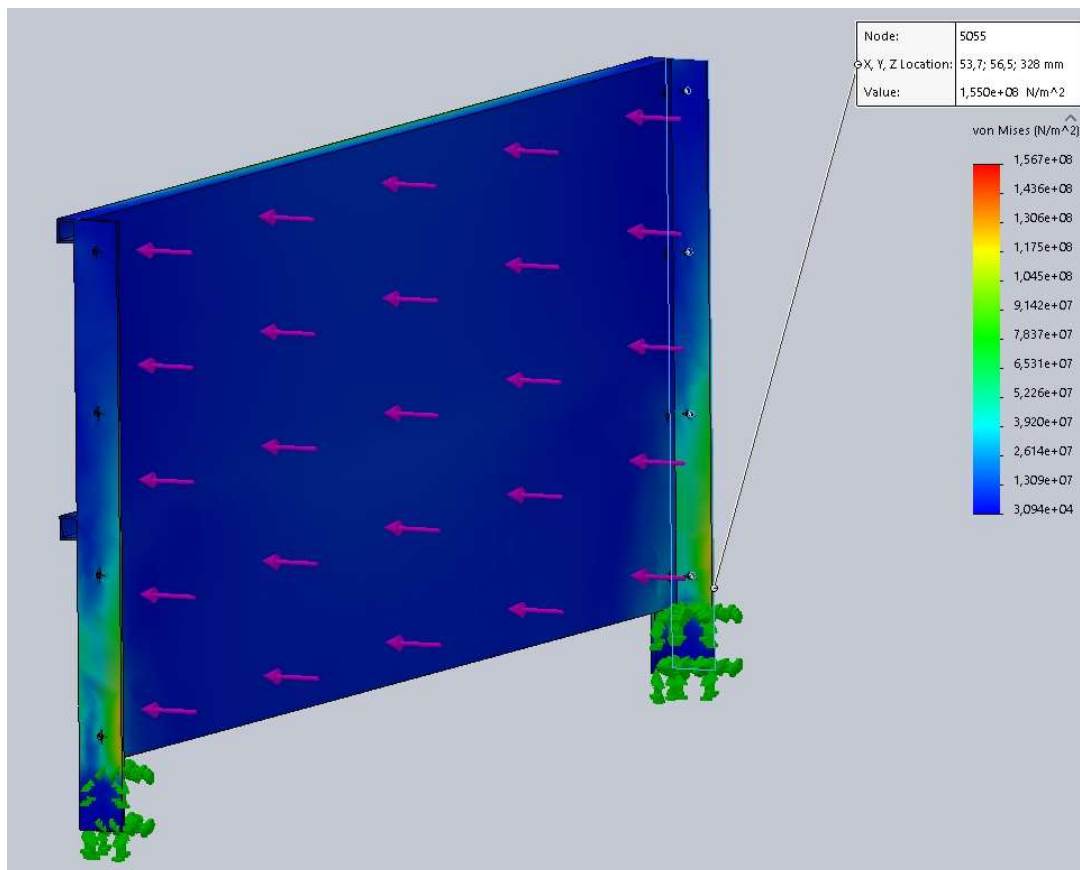
$$0^2 - 27,78^2 = 2 * a * 37,7$$

$$a = \frac{0^2 - 27,78^2}{2 * 37,7} = 10,23 \text{ m/s}^2$$

Otsaseinale pidurdamisel tekkiv koorma poolt mõjuv jõud:

$$F = 110 * 10,23 = 1125,3 \text{ N}$$

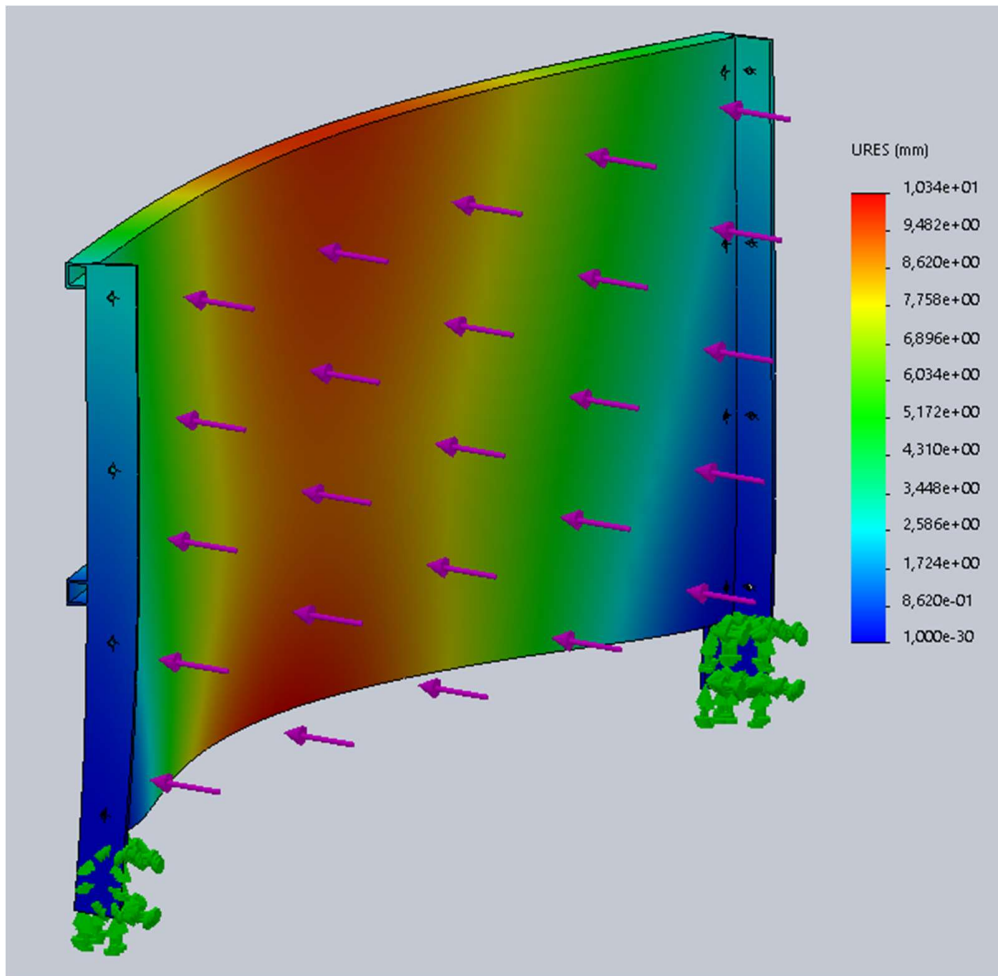
LEM analüüsiks luuakse kasti seinte lihtsustatud mudelid, mis koosnevad küljepostitest, seinapaneelist ja paneeliga risti asetsevatest tugevdustaladest. Koorma liikumisest tekkiv jõud suunatakse ühtlaselt analüüsitava seinal. Küljepostide alumised otsad on kinnitatud jäigalt nii nagu need oleks raami külge keevitatud.



Joonis 4.23 Esimese seina konstruktsiooni pinged äkkpidurdusel

Lihtsustatud mudelil tekivad äkkpidurduse olukorras suurimad pinged seinte tugipostide keevisõmbluste kõrvale (joonis 4.23). Suurimad pinged on 156 Mpa, mis on lähedal kasutatava materjali voolepiirile (160 Mpa). Reaalses kasutuses ei tohiks nii suuri pingeid esineda, sest kasti küljed on samuti esimeste tugipostide külge ühendatud ja leevendavad tekkivaid pingeid. Antud situatsioonis ei tohiks esimese seina konstruktsioon puruneda.

Joonisel 4.24 on näha simese seina suurim läbipaine äkkpidurdusel, mis on teoreetiliselt 10,34 mm.



Joonis 4.24 Esimese seina läbipaine äkkpidurdusel

Külgmistele seintele tehakse arvutus vastavalt mõjuvale tsentrifugaaljõule, arvestades, et mootorratas liigub kurvis ühtlase kiirusega 110km/h ning kurvi raadius on 600m [26, tabel 2.8].

$$F = \frac{m \cdot v^2}{r} \quad (4.7)$$

kus m - veose mass, 110kg

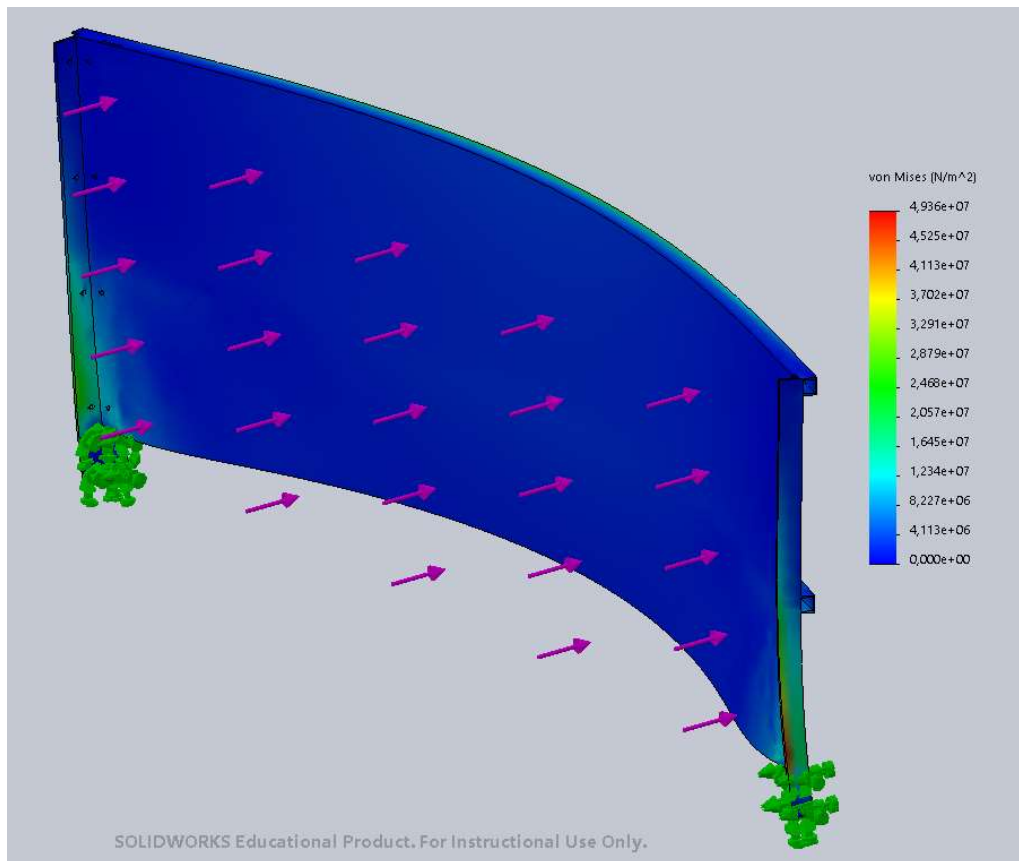
v - mootorratta kiirus, 30,56m/s

r - kurvi raadius, 600m

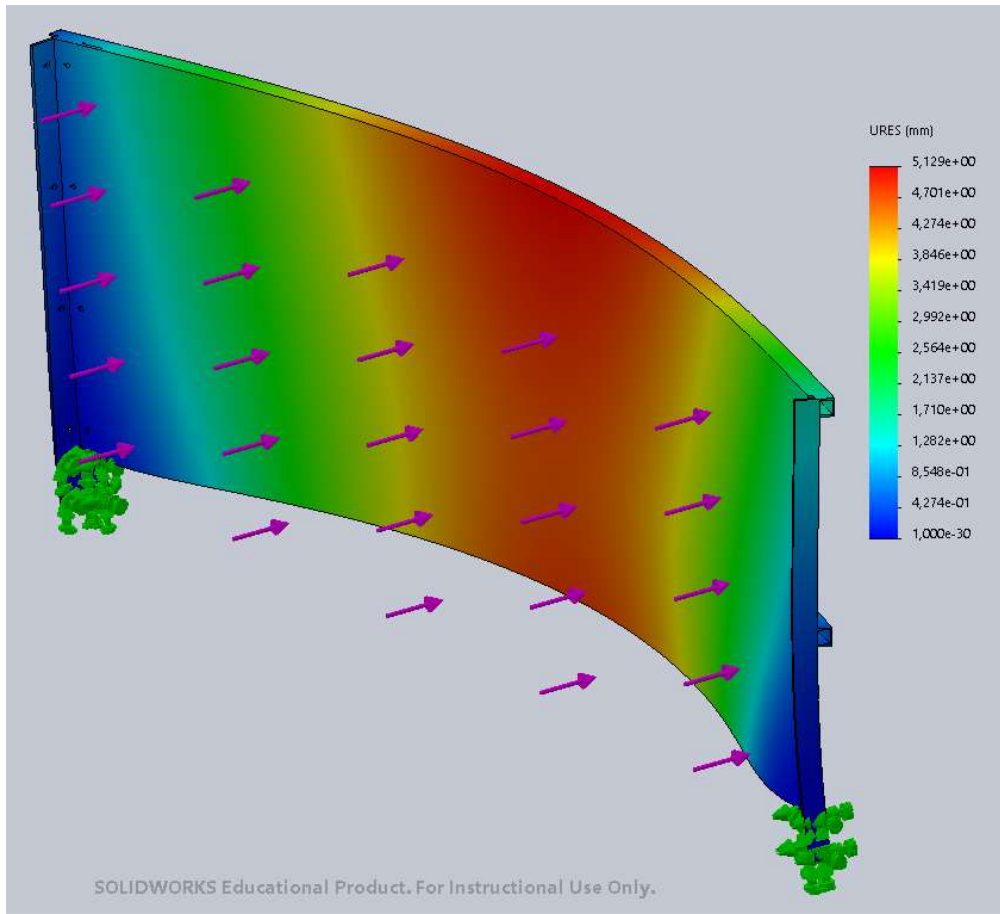
Mõjuva jõu väärtus on:

$$F = \frac{110 \cdot 30,56^2}{600} = 171,3 \text{ N}$$

Külgede analüüsi tulemused on kujutatud joonistel 4.25 ja 4.26. Suurimad pinged on oodatult küljepostidel suurusega 49 Mpa. Suurim läbipaine on 5,2 mm küljepaneeli keskel.



Joonis 4.25 Küljepaneeli pinged



Joonis 4.26 Küljepaneeli läbipaine

Nõuetekohase kasutuse puhul ei tohiks seintele ega tagumisele luugile arvatud jõudusid mõjuda.

4.6 Elektrisüsteem ja valgussignalisatsiooniseadmed

Avalikel teedel kasutamiseks paigaldatakse projekteeritavale haagisele ka nõuetele vastavad valgustid ja helkurid. Kasutatakse 12V alalisvoolu elektrisüsteemi. Haagise elektrisüsteemi ühendamiseks veduki elektrisüsteemiga kasutatakse seitsme klemmiga ISO1724 standardile vastavat pistikut(joonis 4.27).

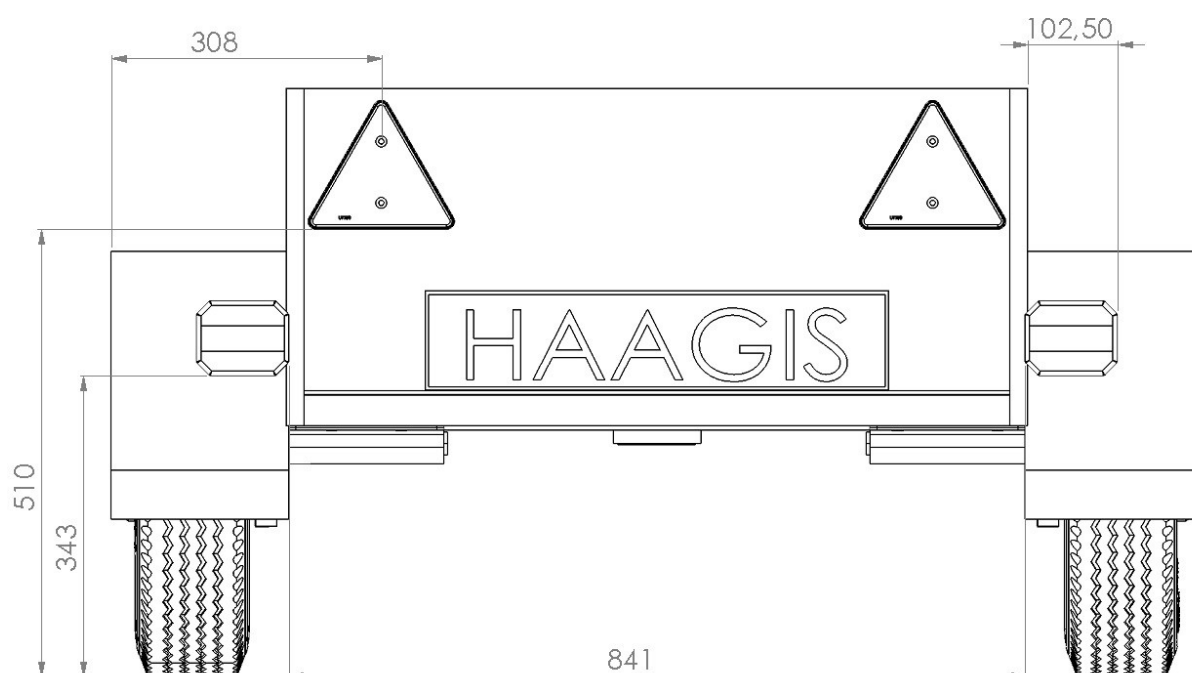


Joonis 4.27 Haagise valgustuse pistik

Valgusallikatena kasutatakse tänapäevased madala võimsusega valgusdioodidel põhinevad valgusteid. Tulede ja reflektorite paigaldusel on aluseks ÜRO Euroopa Majanduskomisjoni (UNECE) eeskiri nr 48: sõidukite tüübikinnituse ühtsed sätted seoses valgustus- ja valgussignaalseadmete paigaldusega [2019/57] [27]. Valgustite paigalduse nõuded on koondatud tabelisse 4.9 ning paigalduskeem on näitatud joonisel 4.28.

Tabel 4.9 Nõuded valgustite paigaldusele

	Kohustuslik/valikuline	kõrgus, mm	kaugus servast, mm	omavaheline kaugus, mm	kogus
Tagurdustuli	valikuline				1
Suunatud	kohustuslik	250-1500	max 400	min 400	2
Eesmine ääretuli	valikuline				
Tagumine ääretuli	kohustuslik	250-1500	max 400	min 400	2
Udutuli	valikuline				1
Pidurituli	kohustuslik	250-1500	max 400	min 400	2
Kolmnurkhelkur	kohustuslik	250-900	max 400	min 400	2
Külgmine helkur	kohustuslik	250-900	max 3000		2

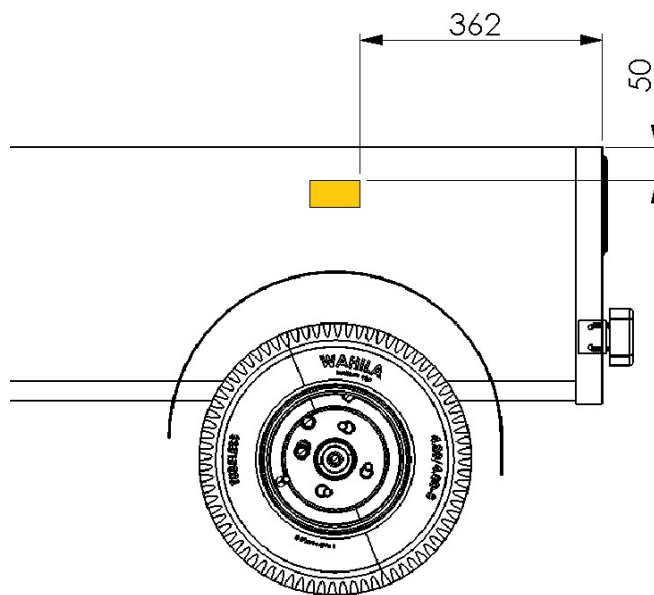


Joonis 4.28 valgustite ja helkurite nõuetekohase paigalduse skeem

Projekteeritava haagise valgustid kinnitatakse kasti kasti külgedele, suunaga taha. Valgustid kinnitatakse lehtmetailist painutatud kõrvadega kasti külje külge. Põhivalgustitena kasutatakse kombineeritud valgusteid, millesse on integreeritud suuna-, ääre-, pidurdus- ja numbrituled. Lisaks on komplektis olemas ka sobiv juhtmestik, mis on juba valgustitega ühendatud. Sellise kombinatsiooni kasutamine võimaldab vähendada komponentide arvu ja lihtsustab haagise koostamist. Joonisel 4.29 on kujutatud kasutatavaid tulesid. Nende massi teada saamiseks käidi neid müüja juures kaalumas ja valgustite mass koos juhtmestikuga on 0,99 kg.



Joonis 4.29 Kasutatavad kombineeritud valgustid [23]



Joonis 4.30 Küljereflektori asukoha skeem

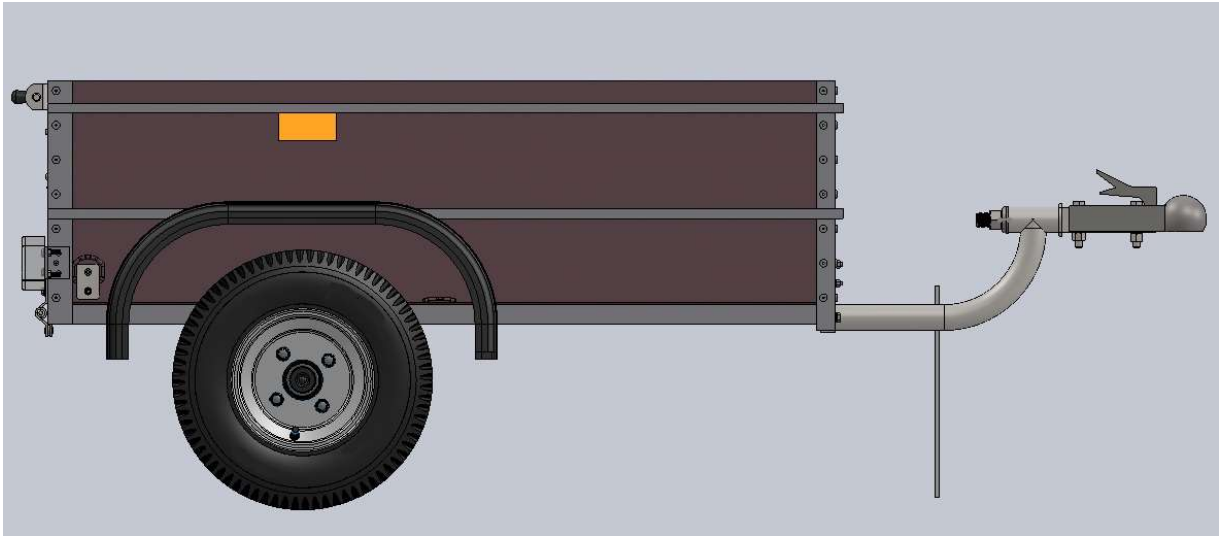
Nõuete kohaselt paigaldatakse haagisele ka reflektorid. Tagumisel küljel suunaga taha peab olema vähemalt 2 kolmnurkset punast helkurit, nende paigaldus on näidatud joonisel 4.28. Külgedel kasutatakse kollast nelinurkset helkurit, mis paigaldatakse kasti küljele ratta tsentrisse, kasti külje ülemisest äärest 50 mm kaugusele. Reflektori paigaldus on näidatud joonisel 4.30.

5. VALMIS TOOTE KOOST

Haagise raami detailid koostatakse keevituse abiga, kasutades TIG keevitust. TIG keevitus on sulamatu elektroodiga elekterkaarkeevitus kaitsegaasi keskkonnas[30]. Raami külge keevitatakse ka seinte tugipostid, tugevdustalad ja vedrustuse kinnitusplaadid. Seinapaneelid ja poritiivad kinnitatakse külge neetidega. Veotiisel, kasti hinged, kasti luugi luku vastused, tulede toed ja vedrustus paigaldatakse poltliidetega. Alumiiniumist ja terasest detailide koostamisel tuleb galvaanilise korrosiooni vältimiseks kindlasti veenduda, et terasest toodete värvkate oleks kvaliteetne. Poltide, mutrite ja seibide puhul tuleb eelistada tsingitud tooteid. Protoüübi virtuaalne mudel on esitatud joonisel 5.1 ja 5.2.

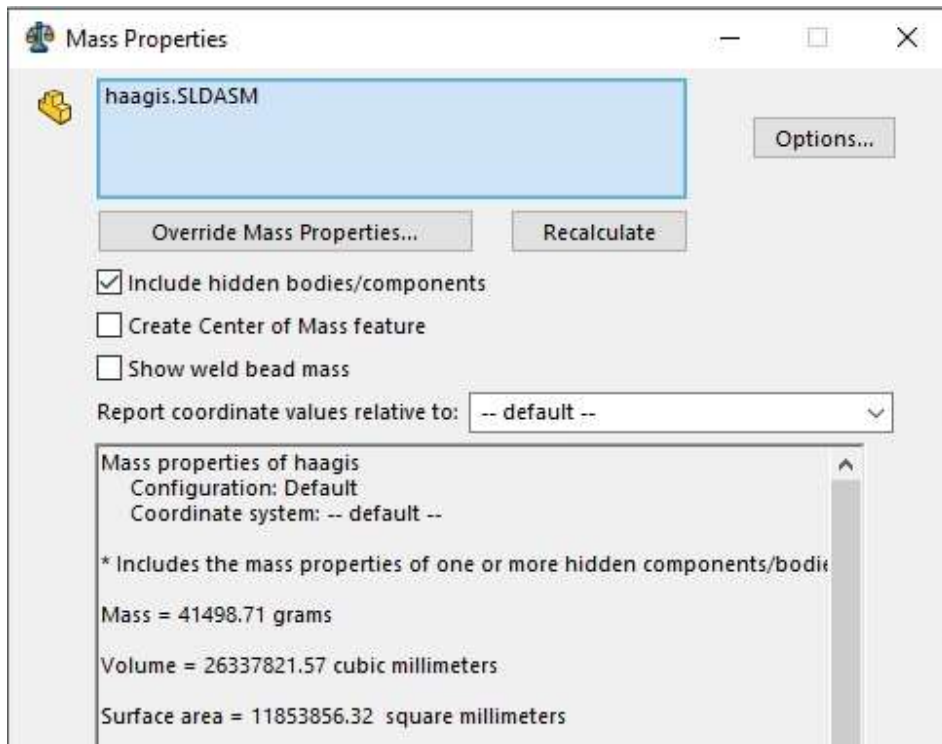


Joonis 5.1 Haagise virtuaalne mudel



Joonis 5.2 Haagise virtuaalne mudel

Joonisel 5.3 on näidatud valmis toote teoreetiline mass, milleks on 41,5 kg. See on madalam, kui töö alguses eesmärgiks seatud 43 kg ja tunduvalt madalam peatükis 2 võrreldud haagistest.



Joonis 5.3 Haagise teoreetiline tühimass

Haagise teoreetiline mass arvetati kokku Solidworks keskkonnas. Igale mudeltatud detailile määrati kasutatav materjal ja selle läbi tekkis sinna juurde ka detaili reaalne mass. Ostutoodete mudelitele, mida autor ise ei loonud, määrati mass käsitsi.

5.1 Maksumuse analüüs

Tabelis 5.1 koondatakse haagise koostamiseks vajalike detailide ja ostutoodete nimekiri. Metallprofiilid info on võetud Metall24 OÜ veebikataloogist, kinnitusvahendite info Baltic Bolt OÜ veebikataloogist.

Tabel 5.1 Haagise detailide maksumus

	kood	kogus	hind
Alumiiniumprofiilid			
Nelikant 40*25*2		1,68m	26,88 €
U-profiil 30*20*3		6m	62,42 €
L-nurk 40*20*2		0,77m	5,84 €
L-nurk 30*30*3		0,78m	8,99 €
L-nurk 60*40*3		0,1	3,64 €
Nelikant 20*10*1,5		2,06	10,52 €
Nelikant 30*20*2		0,86	12,62 €
Nelikant 10*10*1		0,76	2,41 €
Vineer			
4*1500*3000		2,444m ²	59,00 €
Vedrustus			
Vasak	FR-550-SL	1	150,00 €
Parem	FR-550-SR	1	150,00 €
Tuled	ST860031	1	31,50 €
Helkur	ST100462	2	2,60 €
Kolmnurkne helkur	ST100608	2	2,20 €
Veotiisel	561493031	1	178,00 €
Turvatross	610435	1	2,50 €
Poritiivad	418361.001	2	20,24 €
Rattad	401717.003	2	73,78 €
Koormakinnitused	504402	6	10,80 €
Hinged	504407	2	3,24 €
Lukud	PV301006	2	14,80 €
Luku vastus		2	2,40 €
Neet M4*14		42	1,30 €
Polt M8*25 ISO4014		12	2,28 €
Polt M8*45 ISO4014		2	0,48 €

Tabel 5.1 jätkub

Nelikant mutter DIN557 M8		4	0,34 €
Mutter M8 ISO4034		14	0,40 €
Seib 8.4 DIN433		12	0,66 €
Polt M6*20 DIN961		20	0,73 €
Polt M6*35 DIN961		6	0,33 €
Polt M6*30 DIN961		8	0,38 €
Mutter M6 ISO4034		32	10,56 €
Seib 6.4 DIN433		56	14,17 €
	Kokku		866,01 €

Haagise ehituseks vajalike detailide maksumus kokku on 866,01€ käibemaksuga. See summa võib muutuda, sest sinna sisse ei ole arvestatud saamise ja tolli kuludid. Suurima osa kulust moodustavad ostututooded – vedrustus ja veotiisel kokku moodustavad $(2*150+178)/866,01*100 = 55,2\%$ kogu summast.

Konkurentidega võrrelduna oleks loodav haagis üldkasutatavatest kerghaagistest märkimisväärselt kallim, kuid spetsiaalselt mootorratta järgi vedamiseks mõeldud toodetest tuleks see kokkuvõttes tõenäoliselt soodsam.

KOKKUVÕTE

Lõputöö eesmärk oli konstrueerida kerghaagis L-kategooria sõidukile. Haagisele seatud peamine tingimus oli madal tühimag ja kandevõime vähemalt 110 kg. See pidi vastama kõikidele nõuetele, mis tuleb täita, et avalikel teedel liigelda.

Töö esimeses osas sai koostatud ülevaade haagistest ja täpsustati võimalikke mootorratta taga veetavate haagiste tüüpe.

Teises osas teostatud turu-uuringuga saadi ülevaade sarnastest toodetest. Lisaks kontrolliti võimalike sihtturgude tehnilisi nõudeid ja analüüsiti nende teostatavust antud töö raames.

Töö kolmandas osas koostati arendavale tootele nõuete loetelu, mis oli aluseks haagise kontseptsiooni välja töötamisel. Lõpliku valiku tegemiseks koondati erinevad lahendused korrastusskeemi, valiti välja kolm võimalikku kandidaati ning tabelhindamise abiga teostati lõplik valik.

Töö neljandas etapis projekteeriti haagise erinevad enda poolt koostatavad osad nagu haagise raam ja seinad ning leiti lahendus vedrustusele, valgustusele ja veetiislile ostutoodete näol

Raami projekteerimiseks arvutati kõigepealt vajalikud tala suurused ning hiljem analüüsiti koostatud raami SolidWorksi Simulation paketiga lõplike elementide meetodi abiga. Pärast esialgseid tulemusi parendati raami konstruktsiooni ning saavutati soovitud tulemused.

Seinte projekteerimisel arvutati koorma poolt seintele mõjuvad jõud kiirendamisel, pidurdamisel ja kurvides. Seinte tugevust kontrolliti samuti lõplike elementide meetodiga. Erinevatele ostutoodetele tugevusarvutusi ei teostatud.

Viimases peatükis modelleeriti haagis ning teostati esialgne hinnakalkulatsioon.

Kokkuvõttes sai töös seatud eesmärk täidetud. Projekteeriti haagis, mille teoreetiline tühimag on 41,5 kg ning mis vastab avalikel teedel liiklemiseks seatud tingimustele. Kindlasti tuleb arvestada, et antud töös on tegemist virtuaalse mudeliga, mille tegelikku vastupidavust ja kasutusmugavust saab hinnata alles pärast prototüübi ehitamist.

SUMMARY

The goal for this thesis was to construct a light trailer to be pulled behind a motorbike. The main constraint was the empty weight of the trailer and minimum carrying capacity of 110 kg. It had to apply to all legal requirements to be driven on public roads.

First, an overview of different trailers was made and possible trailer types for towing behind motorcycles was narrowed down.

In the second part, a market overview and analysis was made. Additionally, the legal requirements for possible markets were collected and analysed.

Thirdly, a requirements list was worked out for the trailer to be constructed. It was the main checklist for the construction process. Different designs were worked out and final design was selected.

Next the main chassis and all other necessary parts were constructed and standard or purchased parts were selected.

When constructing the chassis, the main beam dimensions were hand calculated and later the calculations were checked by finite element analysis. After first results the frame was redesigned by adding additional beams.

Trailer walls were constructed next. Possible loads for the walls were calculated considering different driving situations (maximum acceleration, emergency braking, centrifugal forces).

In the last chapter, the trailer was modelled and parts list with price estimates was made to analyze the cost of a prototype.

In conclusion the goal of the thesis was achieved. A light trailer was constructed which has a theoretical empty weight of 41,5 kg and which is legally allowed to be driven on public roads. It has to be considered that the constructed trailer is a virtual model only and to evaluate its strength and ease of usage a prototype has to be built.

Kasutatud allikad

1. Transpordiameti sõiduki taustakontroll, sõiduk 34PD
[ONLINE]<https://eteenindus.mnt.ee/public/soidukTaustakontroll.jsf?lang=et>
2. G. Pahl, W. Beitz, J. Feldhusen, K.-H. Grote - Engineering Design A Systematic Approach (2007)
3. Euroopa parlamendi ja nõukogu direktiiv 2007/46/eü
[ONLINE]<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ET/TXT/?uri=CELEX%3A32018R0858&qid=1606507163238>
4. Sõidukite kategooriad [ONLINE]<https://www.mnt.ee/et/soiduk/soidukite-ja-masinate-kategooriad/autod-ja-haagised>
5. Tourmaster TM350 [ONLINE]<https://en.tourmaster.nl/Webwinkel-Product-561492321/TM350.html>
6. Erde 102 [ONLINE]<http://www.erde.co.uk/product/erde-102-2-classic-box-trailer/>
7. Neptun City [ONLINE]<https://neptun-anhaenger.com/en/trailors/city-n5-145/>
8. Stema Mini 350 [ONLINE]<https://www.stema.de/de/kastenanhaenger/mini-350.71.html>
9. Nõuded alates 1. jaanuarist 1997. a liiklusregistrisse kantud või kantavale sõidukile, välja arvatud enne 1. jaanuari 1984. a valmistatud või esmregistreeritud sõidukid ning 30-aastased ja vanemad sõidukid,
[ONLINE]https://www.riigiteataja.ee/akt/1160/6201/1008/MKM42_lisa1.pdf#
10. Rootsi Kuningriigi liikluseadus (1998: 1276),
[ONLINE]https://www.riksdagen.se/sv/dokument-lagar/dokument/svensk-forfattningssamling/trafikforordning-19981276_sfs-1998-1276
11. Soome liikluseadus
[ONLINE]<https://finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2018/20180729?search%5Btype%5D=pika&search%5Bpika%5D=Tieliikennelaki>
12. Norra Kuningriigi liikluseeskiri
[ONLINE]<https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/1986-03-21-747>
13. Saksamaa liikluseeskiri [ONLINE]https://www.gesetze-im-internet.de/stvo_2013/_18.html
14. Nõuded mootorratta haagisele Taanis [ONLINE]<https://danskemotorcyklister.dk/nye-regler-for-trailer-til-mc/>
15. [ONLINE]<https://www.riigiteataja.ee/akt/116062011008?leiaKehtiv>
16. Knott e-pood [ONLINE]https://www.knott-trailer-shop.com/wheel_4_00_8_6pr_kenda.html
17. Flexiride vedrustuse tooteleht [ONLINE]<https://www.theuniversalgroup.com/ff-93-1-s.html>

18. A. Klauson, J. Metsaveer, P. Põdra, U. Raukas - Tugevusõpetus, teine, parandatud trükk (2017)
19. Keerlev haagise veo pea [ONLINE] <https://frielatvsales.com/atv-swivel-trailer-hitch-tr1010/>
20. EUROOPA PARLAMENDI JA NÕUKOGU DIREKTIIV 94/20/EÜ
[ONLINE] <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ET/TXT/HTML/?uri=CELEX:01994L0020-20130701&qid=1620763297278&from=EN#tocId80>
21. Veekindla vineeri tutvustus ja tootevalik
[ONLINE] <https://puumarket.ee/tootekategooria/ehitusplaadid/vineerplaadid/vineer-veekindel/>
22. Latvijas Finieris Plywood Handbook
[ONLINE] https://www.finieris.lv/docs/Produkti/Bukleti/Handbook_2017.pdf
23. Haagise põhja paigalduse juhend
[ONLINE] <https://www.metsawood.com/global/Tools/MaterialArchive/MaterialArchive/MetsaWood-Trailerfloor-Installation-English.pdf>
24. Haagiste osad, Tööriistamarketi veebikataloog [ONLINE] <https://www.xn--triistamarket-imba.ee/et/tooted/j%C3%A4relhaagised-ja-tarvikud>
25. Suzuki GSX750f tehnilised andmed
[ONLINE] https://www.motorcyclespecs.co.za/model/suzu/suzuki_gsx750f%2090.htm
26. Maanteede projekteerimismid
[ONLINE] https://www.riigiteataja.ee/aktiiv/1070/8201/5014/MKM_m106_lisa.pdf
27. Ühinenud Rahvaste Organisatsiooni Euroopa Majanduskomisjoni (UNECE) eeskiri nr 48: sõidukite tüübikinnituse ühtsed sätted seoses valgustus- ja valgussignaalseadmete paigaldusega [2019/57],
[ONLINE] <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ET/TXT/?uri=CELEX:42019X0057&qid=1617692805878>
27. Alumiiniumist küljepaneeli andmed [ONLINE] <https://www.anhaengerteile-schroeder.de/aufbau-bordw%C3%A4nde-bordwandprofile/bordwandprofile-lieferwerk-b/-alubordw%C3%A4nde-350-mm-eloxiert/alubordwand-350-x-25-mm-mit-eloxierter-oberfl%C3%A4che-und-nase>
28. Terasest küljepaneeli andmed [ONLINE] <https://www.tiki.ee/pood/lisavarustus-ja-varuosad/poordikorgendused/poordikorgendi-cs300-lh-korgus-35cm/>
29. Kasti luugi hinged [ONLINE] <https://www.amazon.de/COMANCHE-Abnehmbare-T%C3%BCrangel/dp/B00SNDB76W>
30. TIG keevitusest üldiselt, [ONLINE] <https://eprints.ttkk.ee/id/eprint/253/2/TIG/tig-keevitusest-uumlldiselt.html>

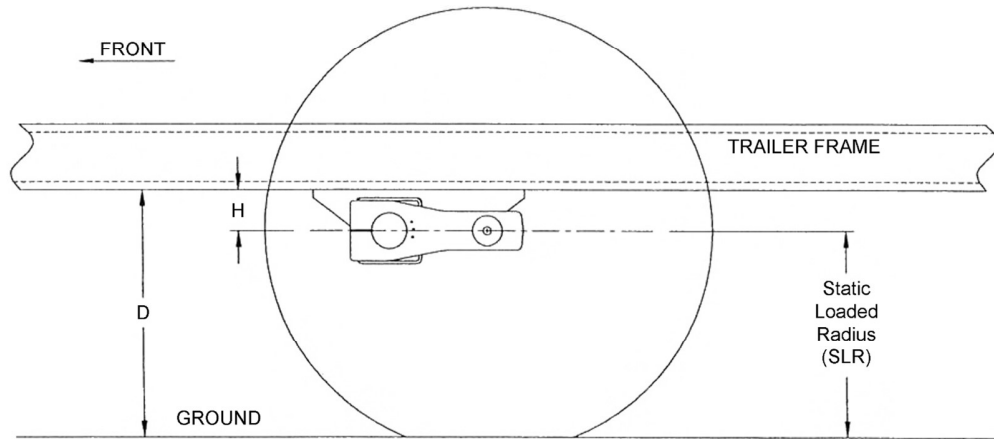
31. Baltic Bolt tootekataloog [ONLINE] <https://www.balticbolt.ee/>

LISAD

1. Torsioonvedrustuse andmeleht
2. Tala sisejõudude epüürid

FLEXIRIDE® CARTRIDGE AXLES DATA SHEET

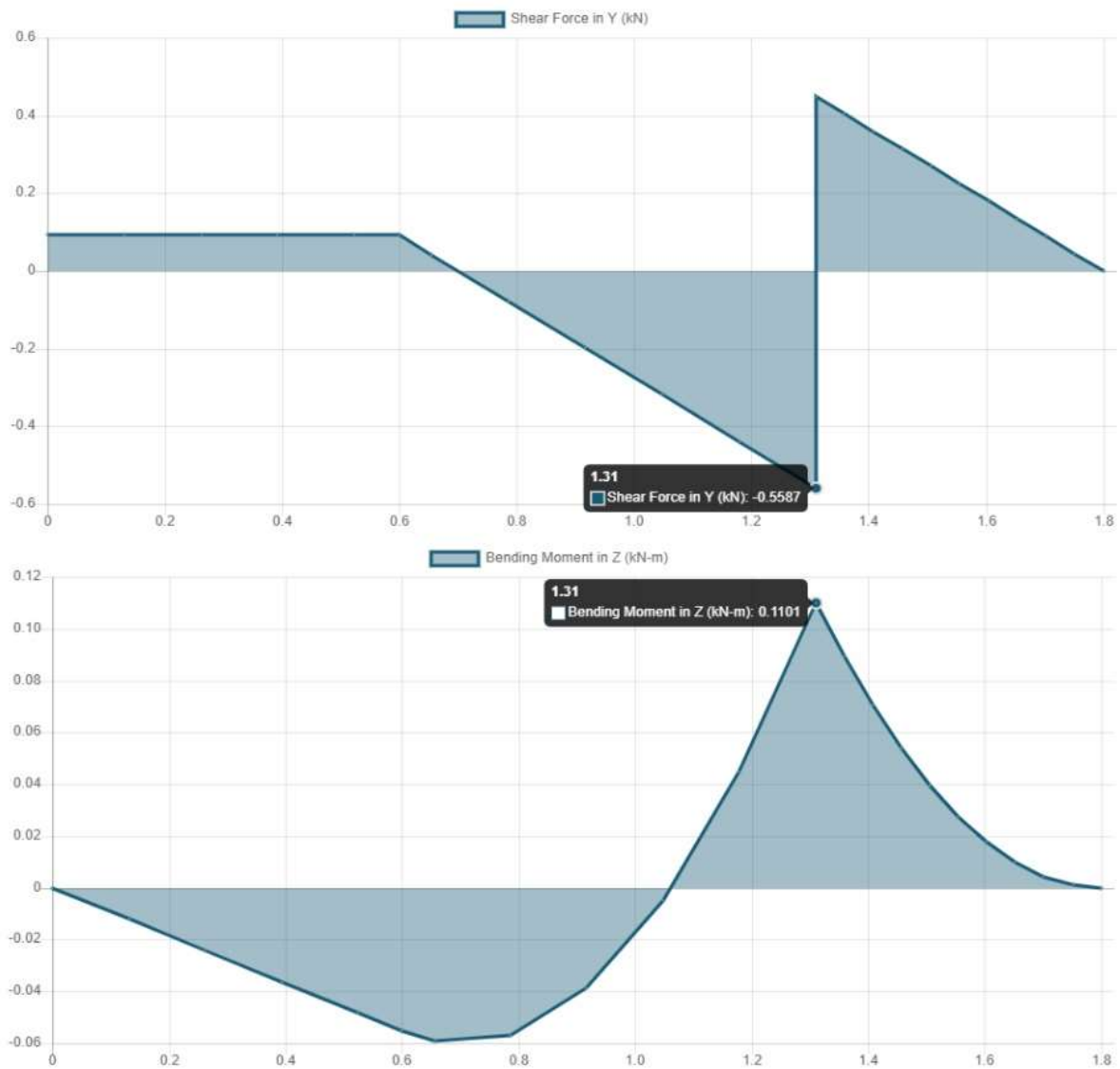
FRAME HEIGHT FROM TIRE SLR



THE OPTIMUM ARM ANGLE AT LOAD IS HORIZONTAL. THE TRAILER FRAME SHOULD BE LEVEL.

550 LB CARTRIDGE AXLE					22 DEG DOWN	10 DEG DOWN	0 DEG	10 DEG UP
Distance frame to ground loaded (D) = tire SLR + H - ht					D	D	D	D
ht = height to spindle above horizontal at load = ht					0	0.43	1.47	1.83
TIRE	LR	LOAD	SLR	H	D	D	D	D
4.80 - 8	B	590	7.6	0.88	8.48	8.05	7.01	6.65
5.70 - 8**	B	715	8.2	0.88	9.08	8.65	7.61	7.25
5.30 - 12	B	780	9.8	0.88	10.68	10.25	9.21	8.85

Lisa 2 – Tala sisejõudude epüürid



GRAAFILINE OSA