



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL

INSENERITEADUSKOND

Mehaanika ja tööstustehnika instituut

Elektilise abimootoriga järelhaagise projekteerimine

Development of a car trailer with assisted electric motor

MAGISTRITÖÖ

Üliõpilane: Rene Jürnaste

Üliõpilaskood: 123456MATM

Juhendaja: Prof. Martin Eerme

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.

“18” mai 2021

Autor: Rene Jürnaste

/ allkiri /

Töö vastab bakalaureusetöö/magistritööle esitatud nõuetele

“.....” 2021

Juhendaja: prof. Martin Eerme

/ allkiri /

Kaitsmisele lubatud

“.....”2021

Kaitsmiskomisjoni esimees

/ nimi ja allkiri /

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks¹

Mina Rene Jürnaste (sünnikuupäev: 05.04.1991)

1. Annan Tallinna Tehnikaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose
Elektilise abimootoriga järelhaagise projekteerimine

mille juhendaja on prof. Martin Eerme

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)

Mehaanika ja tööstustehnika instituut

LÕPUTÖÖ ÜLESANNE

Üliõpilane: Rene Jürnaste 211236MATM

Õppekava, peeriala: MATM Tootearendus ja tootmistehnika

Juhendaja: Programmijuht , Martin Eerme

Lõputöö teema:

Elektrilise abimootoriga järelhaagise projekteerimine

Development of car trailer with assisted electric motor

Lõputöö põhieesmärgid:

1. Töötada välja elektrilise abimootoriga järelhaagise prototüübi projekt
2. Leida ja arvutada sobiv elektriajam ning akude lahendus
3. Projekteerida ja dimensioneerida haagise konstruktsioon
4. Formuleerida esialgne lähteülesanne elektrimootori juhtimisskeemiks

Lõputöö etapid ja ajakava:

Nr	Ülesande kirjeldus	Tähtaeg
1.	Teema püstitus, turu-ja konkurentsianalüüs, lähteülesanne	31.12.2020
2.	Mootori ning aku arvutused	28.02.2021
3.	Konstruktsiooni lahendused ja dimensioneerimine	15.04.2021
4.	Lõputöö ning lisade lõplik vormistus	20.05.2021

Töö keel: eesti keel **Lõputöö esitamise tähtaeg:** 26 mai 2021a

Üliõpilane: Rene Jürnaste ".....".....2021a

/allkiri/

Juhendaja: prof. Martin Eerme ".....".....2021a

/allkiri/

Programmijuht: ".....".....2021a

/allkiri/

Kinnise kaitsmise ja/või lõputöö avalikustamise piirangu tingimused formuleeritakse pöördel

1 SISUKORD

1 SISUKORD	5
2 SISSEJUHATUS.....	7
3 LÄHTEÜLESANDE KOOSTAMINE	8
3.1 Haagise täismassi valik.....	8
3.2 Haagise mõõtude määramine	8
3.3 Lähteülesanne	9
3.4 3 Mootori arvutus	10
3.5 Konkurentsianalüüs.....	13
4 TEHNILISTE LAHENDUSTE VALIK	14
4.1.1 Haagise tüübi valik	14
4.1.2 Elektrimootori paigutus	15
4.1.3 Elektrimootori valik.....	16
4.1.4 Aku dimensioneerimine	16
5 HAAGISE KONSTRUKTSIOONI PROJEKTEERIMINE	20
5.1 Sild	20
5.1.1 Sillatala dimensioneerimine	21
5.2 Haagise raam.....	23
5.2.1 Raami konstruktsiooni valik	23
5.2.2 Tiisli projekteerimine ja dimensioneerimine.....	26
5.2.3 Akumooduli aluse projekteerimine ja dimensioneerimine.....	29
5.2.4 Ristala projekteerimine ja dimensioneerimine.....	30
6 TRANSPORDILAHENDUS	33
6.1 Lahenduste kirjeldus	33
6.2 Lahenduste võrdlus.....	35
7 MOOTORI JUHTIMINE.....	36
8 VÕIMALIKUD TÄIENDUSED	37
9 KOKKUVÕTE.....	38

10 SUMMARY	39
11 KASUTATUD KIRJANDUS	40
12 LISAD	41

2 SISSEJUHATUS

Käesoleva töö eesmärgiks on arendada ning projekteerida järelhaagise prototüübi projekt, mille liikumist abistab elektrimootor. Töö on valminud koos Tiki Treiler järelhaagiseid tootva ettevõttega Bestnet AS, mille arendusosakonnas töö autor töötab. Projekteeritud kastihaagise prototüüp ehitatakse ettevõtte poolt valmis vastavalt käesoleva töö lahendustele.

Tarvidus elektrilise abimootoriga järelhaagise järele on tekkinud seoses elektriautode kasvava levikuga, paraku vähendab haagisega lisanduv koormus elektriauto sõiduulatust. Eeltoodud probleemi lahendamine lihtsustab üleminekut elektrilistele sõidukitele säilitades sealjuures võimaluse vedada harjumuspäraseid veoseid.

Analoogset lahendust kasutatakse haagissuvilate küljes, esmalt oli need mõeldud haagise manööverdamiseks ilma autota. Praeguseks on välja töötatud ka lahendus mis on mõeldud elektriauto ja pistikhübriidi sõiduulatuse pikendamiseks.

Bestnet AS eksportturgudest on enim elektriautosid kasutusel Norras, mistõttu on projekteerimiseks vajalikud lähteandmed võetud sealsest turust ning haagisekasutajate eelistusi arvestades. Need andmed on saadud Norra avalikest allikatest või Bestnet AS Müügiosakonna statistikast.

Töö põhiosa algab lähteülesande koostamisega, kus on välja toodud projekteerimise kriteeriumid ja antud töösse kaasatud ning välja jäetud tegevused. Järgneb elektriajami arvutus ning paigutuse valik, seejärel haagise kerekonstruktsiooni dimensioneerimise ning projekteerimisega. Haagis peab olema väikese tühimassiga, mistõttu on oluline konstruktsiooni optimeerimine. Elektrimootori juhtumine, akud ning akude juhtimine on antud töös käsitletud pinnapealselt ning vajavad täiendavat konsulteerimist vastava ala spetsialistidega.

Peaasjalikult on keskendunud kastihaagise konstruktsiooni projekteerimisele ja erinevate lahendusvariantide analüüsile. Seletuskirjas on põhjalikumalt selgitatud kandvate keredetailide dimensioneerimist ja disainimist, ülejäänud detailid ning sõlmed on projekteeritud vastavalt valdkonna varasemale praktikale ning nende kirjeldust ei ole kajastatud.

Toimiva lahenduse väljatöötamise korral on peab olema sama tehnilist süsteemi võimalik skaleerida suuremaks ning rakendada ka paadihaagistel, kus keskkond lisab täiendavad nõudeid elektriseadmetele.

3 LÄHTEÜLESANDE KOOSTAMINE

3.1 Haagise täismassi valik

Haagise täismassi määramiseks vaadatakse 2019a jooksul Norras registreeritud elektriautode suurimat lubatud veovõimet. Tabelis 1 on välja toodud 10 enimregistreeritud automudelit ning sellele mudelile tootja poolt lubatud maksimaalne haagisemass.

Tootja	Mudel	Arv	Haagise mass kg pidurita / piduriga
Tesla	Model 3	15701	750 / 910 [2]
Volkswagen	E-golf	9160	0 [3]
Nissan	Leaf	6133	0 [4]
Audi	E-tron	5352	750 / 1800 [5]
BMW	I3	4847	0 [6]
Hyundai	KONA	3437	0 [7]
Jaguar	I-pace	3058	750/750 [8]
Hyundai	Ioniq	2087	0 [9]
Renault	Zoe	1971	0 [10]
Tesla	Model X	1713	450 / 2250 [11]

Tabel 1. 2019a. Norras registreeritud elektriautod [1]

Tulenevalt tabelis 1 näidatud massidest, valitakse haagise täismassiks 1000 kg.

3.2 Haagise mõõtude määramine

Veokasti mõõtude määramiseks kasutatakse Bestnet AS müügistatistikat Norra turul 2019. aasta kohta

Positsioon	Veokasti mõõt mm.
1.	3000x1500
2.	2000x1330
3.	2500x1450

Tabel 2. Veokasti mõõdud [12]

Haagise veopinna mõõtudeks valitakse 3000 x 1500 mm.

3.3 Lähteülesanne

- Piduriga haagis täismassiga 1000 kg
- Veokasti mõõdud 3000 x 1500 mm
- Elektriline abimootor, mis annab kuni 95% vajaminevast veojõust
- Sõiduulatus vähemalt 200 km
- Maksimaalne sõidukiirus 100 km/h
- Konstruktsioon peab võimaldama efektiivset maanteetranspordi
- Disain peab vältima koostamis – ja tootmisvigade hulka

3.4 3 Mootori arvutus

Mootor arvutusel lähtutakse vajaminevast pöördemomendist, et ületada haagise liikumiseks vajalik sisejõud

$T_W = F_T \times R_W$, kus:

T_W - vajaminev pöördemoment (Nm)

F_T - Sisejõud (N)

R_W - ratta raadius (m)

Sisejõud leitakse järgnevast valemist :

$F_t = 2F_r + F_g + F_d + F_{ie}$, kus:

F_R - Ratta veeretakistusest tingitud jõud (N)

F_g - Teepinna tõusust või langusest tingitud jõud (N)

F_d - Õhutakistuse vastujõud (N)

F_{ie} - Inertsüü ületamiseks vajalik jõud (N)

Ratta veeretakistuse jõud

$F_R = C_{rr} \times N$, kus

C_{rr} - Hõõrdumiseta veeretakistuse koefitsent

N - Ratta toereaktsioon (N)

Ratta veeretakistuse koefitsent sõiduauto/haagise ratta ning asfalttee korral on vahemikus 0,01 – 0,015 [13]. Antud arvutuseks valitakse 0,012

Ühe ratta toereaktsioon leitakse valemist:

$N = 0,5 \cdot m \cdot g$, kus:

m - haagise mass (kg)

g - raskusjõu konstant 9,81

$N = 0,5 \cdot 1000 \cdot 9,81 = 4905$ (N)

Leitakse ratta veeretakistuse ületamiseks vajalik jõud

$F_R = 0,012 \times 4905 = 58,86$ (N)

Järgmiseks leitakse tee tõusu korral vajaminev jõud, tee tõusunurgaks arvestatakse 5 kraadi.

Mäkketõususeks vajalik jõud leitakse valemist:

$$F_g = m \cdot g \cdot \sin \alpha, \text{ kus:}$$

m - haagise mass (kg)

g - raskusjõu konstant 9,81

α - tee tõusunurk

$$F_g = 1000 \cdot 9,81 \cdot \sin 5 = 855 \text{ N}$$

Õhutakistuse F_d ületamiseks vajalik jõud jäetakse hetkel arvutusest välja, sest õhutakistust mõjutavad arvutuskäigu tegemisel määratud : sõidukiirus, vedava auto ning veose geomeetria.

Seisva haagise inertsit ületamiseks vajalik jõud leitakse valemist

$$F_{ie} = m \cdot a, \text{ kus:}$$

m - haagise mass (kg)

a - haagise kiirendus (m/s^2)

Haagise 0-50 km/h kiirendusajaks valitakse 15 s. Lõppkiiruseks on 50 km/h valitud, sest tegemist on abimootoriga, mille puudujääva võimsuse kompenseerib vedava sõiduki mootor. Võttes inertsit ületamiseks aluseks maksimaalse sõidukiiruse, suurendab see asjatult abimootori vajaminevat võimsust. Samal põhjusel jäetakse sisejõudude arvutusest välja ka mootori pöörlevate osade inertsit arvestamine. Elektrimootori suurim nõutav pöörlemissagedus peab siiski võimaldama sõitmist 100 km/h.

Kiirendus leitakse järgnevast valemist

$$a = (v_1 - v_0) / t, \text{ kus:}$$

v_0 - algkiirus (m/s)

v_1 - lõppkiirus (m/s)

t - kiirendusaeg (s)

Teisendus 50 km/h meetrit sekunditeks = $50 * 1000 / 3600 = 13,89$ ms

Leitakse kiirenduse väärtus:

$$a = (13,89 - 0) / 15 = 0,926 \text{ m/s}^2$$

Seejärel leitakse inertsüületamiseks vajalik jõud

$$F_{ie} = 1000 * 0,926 = 926 \text{ N}$$

Järgnevalt leitakse kõikide sisejõudude summa

$$F_t = 2F_r + F_g + F_d + F_{ie} = 2 * 58,86 + 926 + 0 + 833 = 1899 \text{ N}$$

Leitakse sisejõudude ületamiseks vajalik pöördemoment

$$T_w = F_t * R_w = 1899 * 0,29 = 550,61 \text{ Nm}$$

Pöördemomendi ning pöörlemissageduse abil leitakse mootori vajalik võimsus 50 km/h kiiruse korral valemist:

$$P = T_w * n / 9500 \text{ [14]}, \text{ kus:}$$

n – pöörlemissagedus (1/min)

Pöörlemissageduse arvutamiseks on vajalik teada kui pikk distants läbitakse ratta ühe pöörde korral, selleks on vajalik arvutada ratta übermõõt valemist:

$$C = 2R_w * n = 0,58 * 3,14 = 1,82 \text{ m}$$

Ratta pöörlemissagedus leitakse valemist:

$$n = v_1 / C * 60 = 13,89 / 1,82 * 60 = 457,34 \text{ 1/min}$$

Mootori vajaminev võimsus seega:

$$P = T_w * n / 9500 = 550,61 * 457,34 / 9500 = 26,37 \text{ kW}$$

Edasi leitakse ratta pöörlemissagedus 100 km/h sõidukiiruse korral

$$n_{\max} = 2 * v_3 / C * 60 = 27,78 / 1,82 * 60 = 915,82 \text{ 1/min}$$

v_3 – haagise maksimaalne kiirus (m/s)

3.4.1.1 Mootori arvutuse kokkuvõte

Eelneva peatükist lähtuvalt peavad abimootori näitajad vastama järgnevatele tingimustele:

Võimsus: 26,37 kW (minimaalselt)

Pöörlemissagedus: 915,82 1/min (minimaalselt)

Mootori täiendavad kriteeriumid:

- Pidurdusenergia regenereerimine
- Mehaanilised pidurid
- Eelistatud energia-allikaks alalisvool

Tulenevalt mootori arvutuse tulemustest on valitakse sobivad tooted. Regeneratiivne pidurdamine võimaldab vähendada energiakadusid, mehaanilised pidurid on vajalikud nt. käsipiduri rakendamiseks akude tühjenemise korral. Alalisvoolumootori korral on võimalik ära jätta elektrivoolu muundamine akupaki alalisvoolust vahelduvvoolu. Viimase kriteeriumi täitmise sõltub mootori valikust ja saadaolevatest võimalustest.

3.5 Konkurentsianalüüs

Praeguse seisuga turul kättesaadavat ning laialt levinud toode puudub. Elektrilise abimootori lisamise võimalust uurivad teadaolevat USA haagissuvilate tootja Airstream [24]. Elektrilise abimootori platvorm on väljaarendamisel ka Saksa haagise ja haagiselamute komponentide tootjal AL-KO [25]. Analoogse süsteemi esitluse tegi 2017.aastal haagissuvilate tootja Dethleffs, paigaldades haagissuvilale 80 kWh aku ning 2x 40kW rummusisesed mootorid sillas [26]. Eeltoodud nimekirjast on välja jäetud tootjad, kelle sihtturg ei ole Euroopa, kes on väikesed nišitootjad või kelle toodang ei ole võrreldav, nt. elektrilise abimootoriga jalgratas.

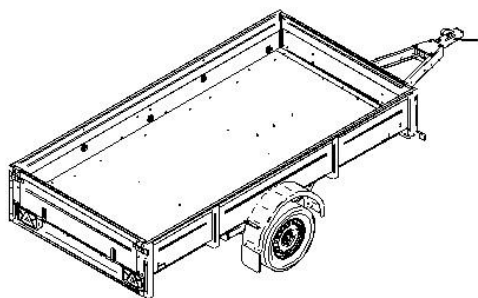
Potentsiaalsed konkurendid pakuvad abimootorit haagisesuvilatele, mille põhjuseks võib pidada toote kõrget hinda ning sellest tulenevalt on abimootori hinnalisa proportsionaalselt väiksem. Kastihaagise korral eeldatakse märgatavat hinnalisa elektrilise abimootori lisamise korral.

Potentsiaalseks probleemiks võib saada ka elektrimootori juhtimine. Kogu info elektrimootori tööks tuleb saada haagise enda küljest, sest 7 või 13 klemmilise tulepistikuga ei ole võimalik vedavalt sõidukilt edastada informatsiooni veduki kiiruse, kiirenduse jms kohta. Lisaks ei pruugi see info olla ühtsel kujul kättesaadav.

4 TEHNILISTE LAHENDUSTE VALIK

4.1.1 Haagise tüübi valik

Haagise kere valikus on 2 varianti: klassikaline kastihaagis, millel on rattad veopinna küljel ning platvormhaagis, millel on rattad veopinna all.



Illustratsioon 1 – vasakul kastihaagis, paremal platvormhaagis

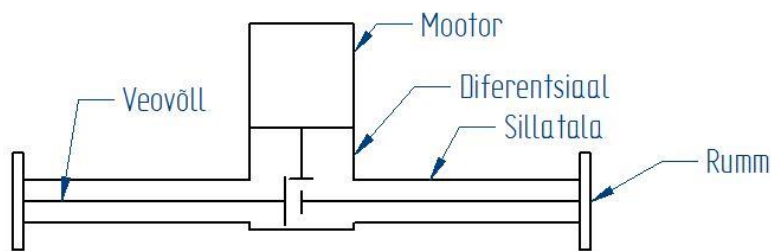
Omadused

Kastihaagis	Platvormhaagis
<p>Eelised:</p> <ul style="list-style-type: none">• Lihtsam konstruktsioon• Madalam masskese• Madalam laadimiskõrgus <p>Puudused:</p> <ul style="list-style-type: none">• Piiratud ruum elektriajami komponentidele• Veosele ligipääs ainult otstelt• Rattad ulatuvad veopinnast välja	<p>Eelised:</p> <ul style="list-style-type: none">• Veopinna all vaba ruum elektriajami komponentidele• Veopind ligipääsetav kõikidelt külgedelt• Suurem kasulik pind <p>Puudused:</p> <ul style="list-style-type: none">• Konstruktsioon keerukam• Suurem laadimiskõrgus• Kõrgem masskese

Valitakse tüübiks platvormhaagis, mis võimaldab suuremat ruumi elektriajami komponentidele. Aku paigutusega veopinna alla on võimalik tuua haagise raskuskeset madalamaks. Platvormhaagise puuduvad väljaulatuvad poritiivad, mis vähendavad haagise tuuletakistust.

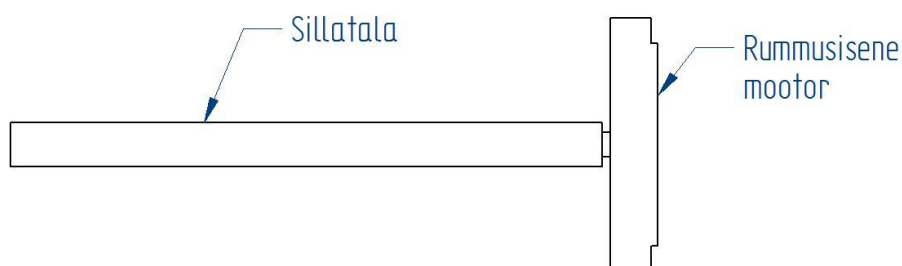
4.1.2 Elektrimootori paigutus

Abimootori paigutamiseks on 2 võimalikku lahendust: üks mootor kinnitatakse sillatalale ning läbi diferentsiaali suunatakse pöördemoment ratastele. Teine lahendus on kasutada sillatala mõlemas otsas rummusiseseid elektrimootoreid. Mõlema paigutuse korral on arvestatud lehtvedru sillaga.



Illustratsioon 2 Sillatalasse integreeritud mootor koos diferentsiaaliga

Illustratsioon 2. näidatud lahendusvariant nr.1, mille juures on diferentsiaal ehitatud sillatalasse, mootori pöördemoment antakse kantakse läbi kahe veovõlli rummudele.



Illustratsioon 3 Sild rummusisese mootoriga

Illustratsioon 3. on näidatud lahendusvariant nr.2 , milles on kasutatud rummusiseseid mootoreid.

Valitud mootoripaigutuseks saab rummusisene lahendus. Kahe väiksema võimsusega mootori eeldatavat kõrgemat hinda ühe mootori ees kompenseerib mehaanilise diferentsiaali puudumine. Rummusise lahendusel asendatakse diferentsiaal mootoreid individuaalselt juhtides ning omavahelisi pöörlemiskiiruseid võrreldes. Rummusiseste mootorite kasutamise puuduseks on suurem vedrutamata mass.

4.1.3 Elektrimootori valik

Rummusise mootori esmane valik tehakse tootjalt QS Motors mudel 138-4 BLDC, mille andmed[15] on:

Tüüp: Sünkroonmootor (harjasteta alalisvoolumootor)

Nominaalne pinge: 96 V

Nominaalne/maksimaalne väljundvõimsus: 14/17,5 kW

Maksimaalne pöördemoment: 307 Nm

Suurim pöörlemissagedus: 1400 1/min

Voolutarbimine: 167,9 A (13880 W väljundvõimsuse korral)

4.1.4 Aku dimensioneerimine

Akude määramisel lähtutakse mootori ning projekti lähteülesande andmetest

- Aku pinge: 96 V
- Voolutugevus: 335,8 A (mõlemad mootorid 13880 W väljundvõimsusel)
- Sõiduulatus: 200 km

Antud töös on aku mahtuvuse ja tüübi valik indikatiivne, mille peamine eesmärk on leida teoreetiliselt sobiv toiteallikas, võttes arvesse selle geometriat ja massi haagise konstruktsiooni projekteerimisel. Olulisel kohal on ka akude maksumus toote omahinna arvutamisel.

Aku mahtuvuse määramiseks on vaja teada sõiduki energiatarbimist, mille täpset suurust on projekteerimise faasis keeruline hinnata. Lisaks on see sõltuvuses sõidu- ja keskkonnatingimustest ning veose massist.

Energiatarbimise hindamiseks on võetud referentsiks 2020 aastal Hunani Ülikoolis läbi viidud elektriauto voolutarbimise simulatsioon, milles analüüsitud sõiduki andmed on [16] :

- Sõiduki mass 1800 kg
- Püsimagnetitega sünkroonmootor
- Mootori võimsus 60 kW
- Suurim pöördemoment 300 Nm

Analüüsitud sõiduki võimsuse ning massi põhjal võib järeltada, et ligi poole väiksema massi ning võimsusega haagise abimootor tarbib samuti poole vähem energiat, võrrelduna simulatsioonisõidukiga. Eelduseks on võetud ka asjaolu, et püsimagnetiga sünkroonmootori suuremat kasutegurit kompenseerib alalisvoolu-vahelduvvoolu muundamise puudumine haagise elektrisüsteemis.

Analüüsitud elektrisõiduki energiatarbimiseks WLTC (*Worldwide harmonized Light vehicles Test Cycles*) testimetodil on 17,08 kWh/100 km.

Eeltoodud lähtuvalt valitakse haagise abimootori energiatarbimiseks 8 kWh/100km

Vastavalt energiatarbimisele peab aku mahtuvus olema 16 kWh
Aku mahtuvus saamiseks Ampertundides tuleb eeltoodud väärtus jagada aku pingega

$$Ah = 16000/96 = 166,67 \text{ Ah}$$

Saadud tulemus on minimaalne vajalik kasutatav mahtuvus, tulenevalt aku tehnoloogiast peab reaalne mahtuvus olema suurem. Eri akutüüpide kasulikku mahtuvust (*dod- depth of discharge*)[17], mis on üldjuhul akutootja poolt näidatud suhtena aku mahtuvusse, tuleb arvesse võtta aku valikul. Teine oluline parameeter akutüübi valikul on aku C-arv, mis näitab akult mahalaadimise voolutugevuse suhet aku mahtuvusse. Näiteks 1Ah aku 1C tähendab, et aku annab 1 tunni jooksul 1 A voolu ning sama mahtuvusega aku 2C annab 2A voolu 30minuti jooksul. [18]

Haagise prototüübi projektiks valitakse akud tootjalt WS Technical, mille tehnilised andmed on esitatud järgnevas tabelis [19]. Akupaki täiendavad andmed on toodud lisa 2.

Pinge (V)	24
Mahtuvus (Ah)	39,6
Suurim püsiv voolutugevus (A)	50
Suurim lühiajaline vool (A)	120
Kasulik mahtuvus <i>DOD</i>	80%
Aku mass (kg)	8,2

Leitakse jadamisi ühendatavate akude arv mootorile vajamineva pinge saavutamiseks

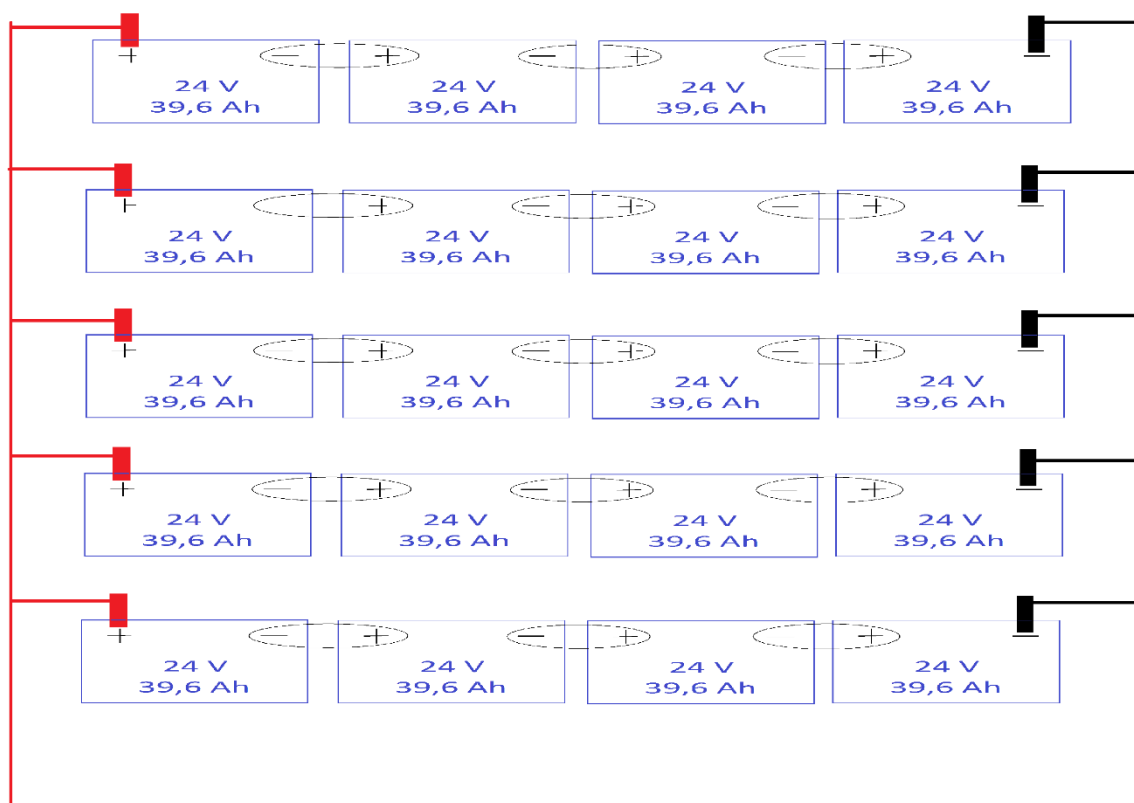
$$N_{\text{jada}} = 96 \text{ V} / 24\text{V} = 4$$

Leitakse paralleelselt ühendavate jadade arv, et saada vajalik mahtuvus. Saadud tulemusele lisatakse 20% varu tulenevalt aku kasulikust mahtuvusest.

$$N_{\text{paralleel}} = (166,67 \times 1,2) / 39,6 = 5,05$$

Saadud paralleelsete ühenduste arv 5,05 tähendab, et kasutusele tuleb võtta 6 akupakkide jada.

Antud töös ümardatakse paralleelsete ühenduste arv allapoole, vähendades sellega vajaminevate akupakkide koguarvu.



Illustratsioon 4. Akude ühendusskeem

Vastavalt akude ühendusskeemile on vajamineva pinge ning mahtuvuse saavutamiseks akupakis kokku vaja kasutada 20 akut. Järgmiseks leitakse akupaki mass:

$m_{\text{pakk}} = N_{\text{akud}} \times m_{\text{aku}}$, kus:

N_{akud} - akude arv

m_{aku} - aku mass (kg)

$m_{\text{pakk}} = 20 \times 8,2 = 164 \text{ kg}$

Akupaki mõõt pikkus, laius, kõrgus: 199, 163, 154 mm

5 HAAGISE KONSTRUKTSIOONI PROJEKTEERIMINE

Käesolevas töö osas kirjeldatakse konstruktsiooni projekteerimist, välja on toodud kandvate sõlmede tugevusanalüüs ning tehnilise lahenduste valikupõhimõtted. Projekteerimine toimub Solid edge tarkvaraga ning tugevusanalüüsiks on kasutatud lõplike elementide meetodit Solid Edge Simulation keskkonnas. Haagise projekteerimisel järgitakse järgmisi põhimõtteid:

- Minimaalne mass
- Detailide lihtne toodetavus
- Disain peab minimeerima tootmisvigade hulka
- Ergonoomiline kasutus

5.1 Sild

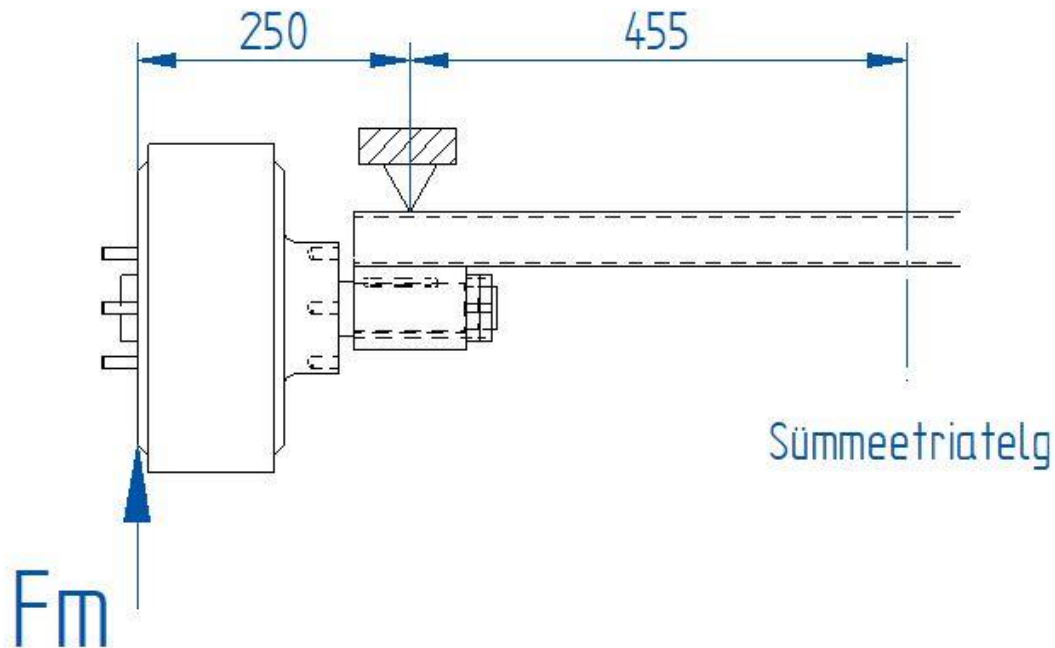
Haagise sillad jagunevad kaheks vastavalt vedrustuse tüübile: lehtvedrusild ning kummitorsioonsild

Lehtvedrusild	Kummitorsioon
<p>Eelised</p> <ul style="list-style-type: none"> • Võimalik majasiseselt toota • Rumm on sillatala suhtes fikseeritud – lihtsustab pidurisadula konstruktsiooni • Komponentide vahetatavus 	<p>Eelised</p> <ul style="list-style-type: none"> • Väiksem mass • Kiirem paigaldus
<p>Puudused</p> <ul style="list-style-type: none"> • Suurem mass ja keerukam paigaldus 	<p>Puudused</p> <ul style="list-style-type: none"> • Rummu sisene mootor vajab silla erilahendust • Silla komponendid ei ole vahetatavad

Tabel 5.1 Silla lahendused

Prototüübi tööprojektiks valitakse lehtvedrusild, peamiseks argumendiks majasisene tootmisvõimalus, ning komponentide vahetatavus. Need eelised võimaldavad tootmise ja katsetuste käigus ilmnenud muudatusi väiksema ajakuluga ellu viia.

5.1.1 Sillatala dimensioneerimine

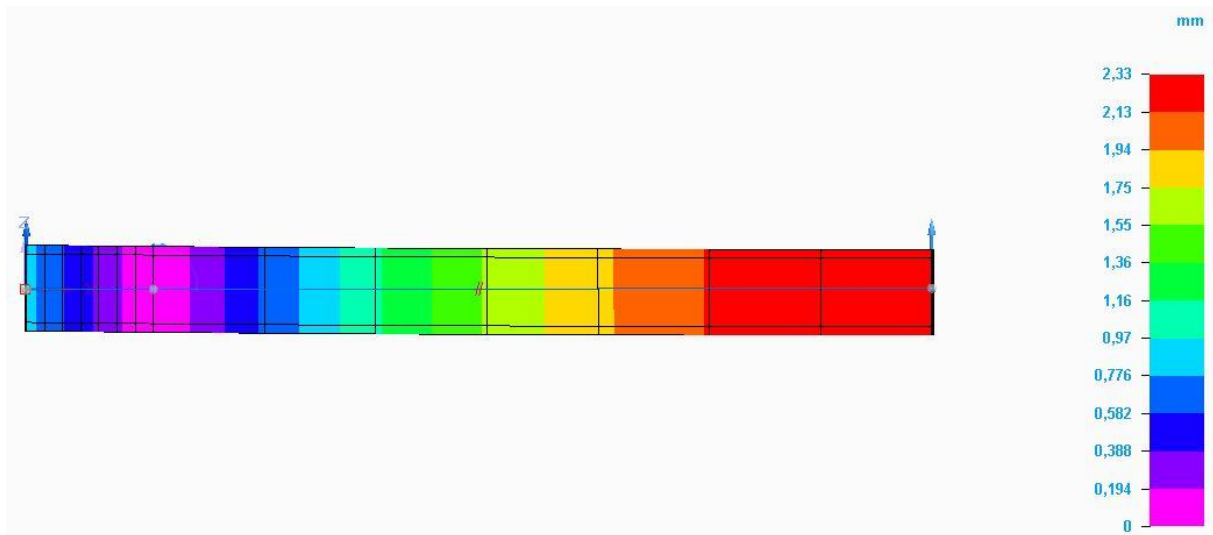


Illustratsioon 5. Sillatala koormusskeem

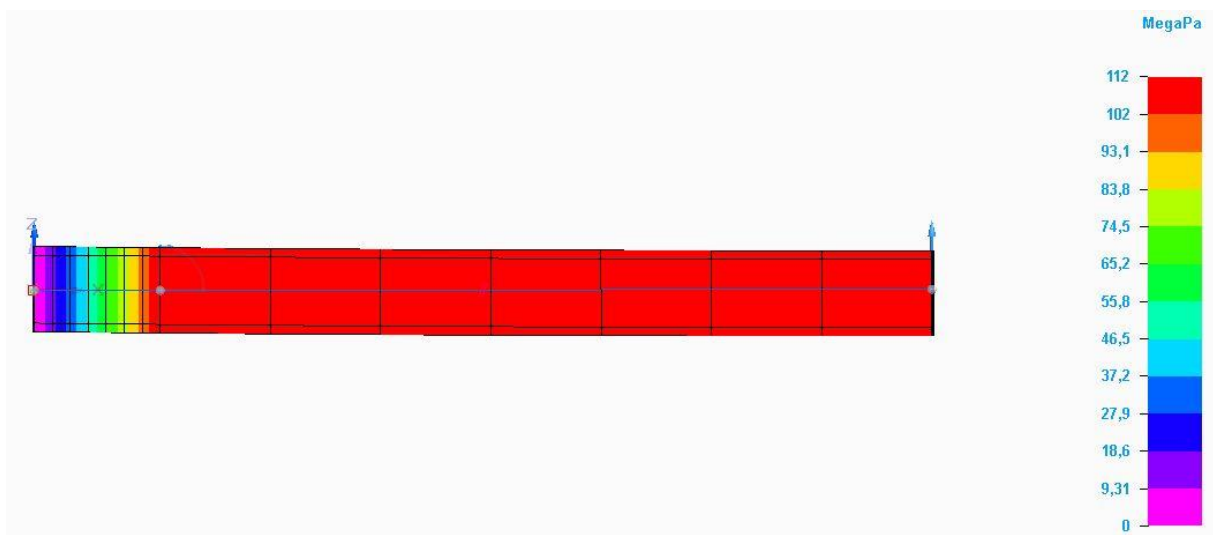
Sillatalaks kasutatakse nelikanttoru, mis on rummupoolsest otsast toetatud lehtvedru poolt. Geomeetria sümmeetria tõttu on võimalik analüüsida vaid sillatala ühte poolt. Jõud F_m on ratta poolt tekitatud koormus sillatalale haagise täismassi korral.

$$F_m = 0,5 \cdot m \cdot g = 4905 \text{ N}$$

Saadud koormus ümardatakse konservatiivses suunas ning tugevusanalüüsis arvestatakse jõuga 5 kN. Analüüsis kasutatakse joonmudelit, elemendi suurusega 10mm. Lehtvedru toetav pind asendatakse punktiga, mille vastav liikumissuund on piiratud. Reaalsete töötingimuste korral vähendab lehtvedru pind koormuseid. Talaks valitakse nelikanttoru 50 x 50 x 4 materjaliga S355J2, mille voolepiir $\delta_y = 355 \text{ MPa}$



Illustratsioon 6. Sillatala deformatsioon



Illustratsioon 7. Sillatala pinged

Illustratsioonil 6 on välja toodud tala läbipaine suurusega 2,3 mm ja illustratsioonil 7 on näidatud talas tekkivad maksimaalsed pinged $\delta_b = 112$ MPa. Järgmiseks leitakse sillatala varutegur valemist

$$S = \delta_y / \delta_b = 355 / 112 = 3,17$$

Võttes arvesse sillatala tsüklilist koormust, vedrustuse mõju tsüklilise koormuse ajalisele kestvusele, sillatala pingekontsentratsioonide puudumist ning tugevusanalüüsis arvesse võetud kitsendusi, loetakse varutegur piisavaks ja sillatala sobivaks.

5.2 Haagise raam

Platvormhaagisel, millel on otsa- ja küljeporte eemaldatavad, on põhiliseks koormust kandvaks osaks pikitalad. Võimalikud konstruktsioonilised lahendused on:

- Terastorudest keevitatud ferm-tüüpi raam kuumtsink pinnakattega
- Lehtmetallist painutatud profiil galvaniseeritud pinnakattega
- Alumiiniumlehest painutatud profiil

Raami projekteerimisel võetakse arvesse järgnevaid tehnoloogilisi piiranguid

Lehtmaterjali korral [20]:

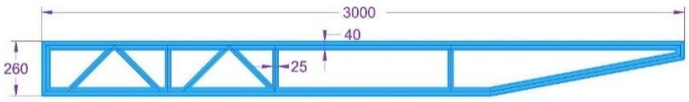
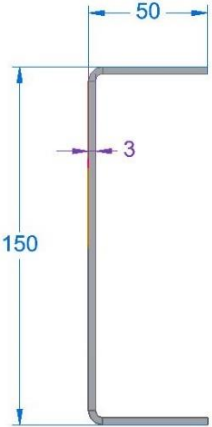
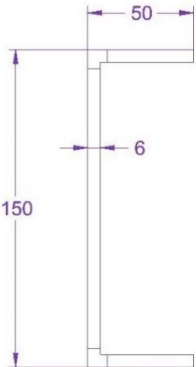
- Lehelaseri tööala 3074 x 1565 mm
- Lehtmaterjal paksus: 0,5-25 mm
- Alumiiniumi paksus: 0,5-8 mm
- Stantsimiskeskuse tööala 4300 x 1565 mm
- Maksimaalne materjali paksus 8 mm või 200 kg lehe mass

Torumaterjali korral[21]:

- Nelikanttoru diagonaalmi maksimummõõt 170 mm
- Nelikanttoru küljepikkus vähemalt 20 mm
- Maksimaalne seinapaksus terasel 8 ning alumiiniumtorul 6 mm

5.2.1 Raami konstruktsiooni valik

Raami konstruktsiooni määramiseks projekteeritakse ning dimensioneeritakse kõik lahendusvariandid ligikaudselt. Seejärel võrreldakse neid omavahel ning tehakse valik, mis hilisemas faasis projekteeritakse ning optimeeritakse. Võrreldavad massid on teoreetilised CAD mudeli poolt arvutatud. Tekkiva pinge ja läbipainde tulemused on saadud FEM analüüsi tulemusel muudel võrdsetel tingimustel. Erinevad pikitalade lahendused on välja toodud järgnevas tabelis.

Konstruktsiooni tüüp ja materjal	Mass kg	Deformatsioon mm	Pinge MPa
Torudest keevitatud raam, materjal S355J2 $\delta_y = 355 \text{ MPa}$ 	16,7	1,31	70
Lehtmetailist painutatud profiil, materjal DX52D $\delta_y = 273 \text{ MPa}$ (Materjali sertifikaat lisas 3) 	19,1	2,92	97,7
Alumiiniumist profiil, materjal AW-1050A $\delta_y = 75 \text{ MPa}$ [22] 	12,8	3,07	35,6

Tabel 5.2 Pikitala lahendused

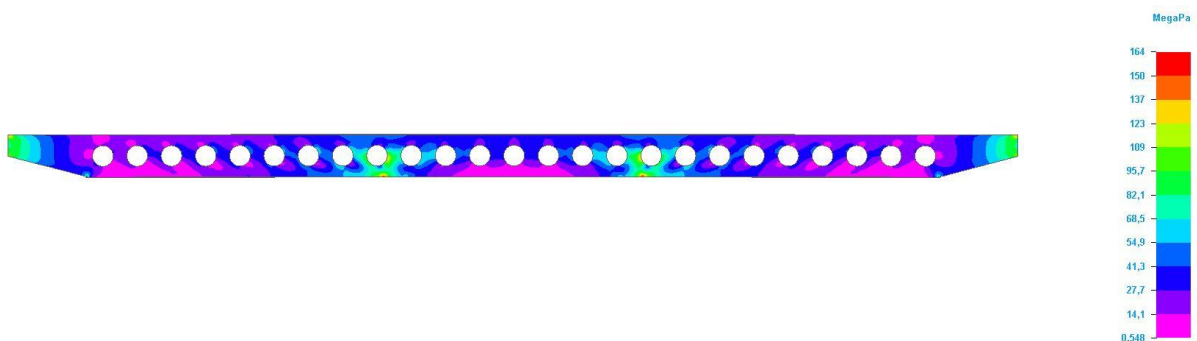
Toruraam	Terasest profiil	Alumiiniumist profiil
<p>Eelised:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Suur jäikus • Väike mass 	<p>Eelised:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Lihtne toodetavus • Madal hind • Galvaniseeritud 	<p>Eelised:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Lihtne toodetavus • Väike mass • Korrosioonikindlus
<p>Puudused:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Vajadus tsinkida • Laserlõikuse suur maht • Keevituse suur maht 	<p>Puudused:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Suur mass 	<p>Puudused:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Kõrge hind • Madal tugevus/jäikus

Tabel 5.3 Lahenduste võrdlus

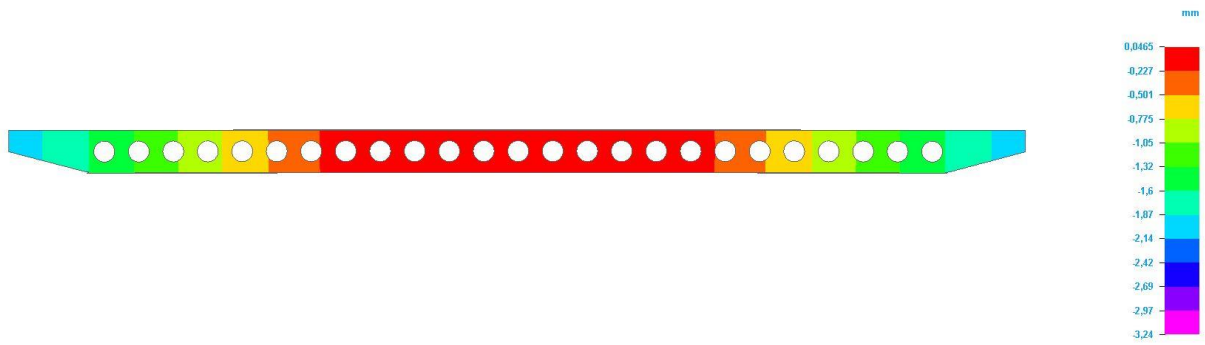
Haagise raamiks valitakse terasest painutatud profiil madala hinna, toodetavuse ning korrosioonikindluse tõttu. Puudusena väljatoodud suurt massi on võimalik vähendada avade lõikamisega ning täiendava massi optimeerimisega.

5.2.1.1 Pikitala massi vähendamine

Massi vähendamine toimub pikitalast materjali eemaldamise teel iteratiivsel meetodil, pärast igat sammu kontrollitakse tulemust tugevusanalüüsi teel. Rajatingimused ja koormused on samad, mis pikitala esialgsed dimensioneerimisel. Lehtmaterjalist konstruktsioon võimaldab kasutada LEM analüüsis pindelemente. Pikitala esialgne mass: 19,1 kg

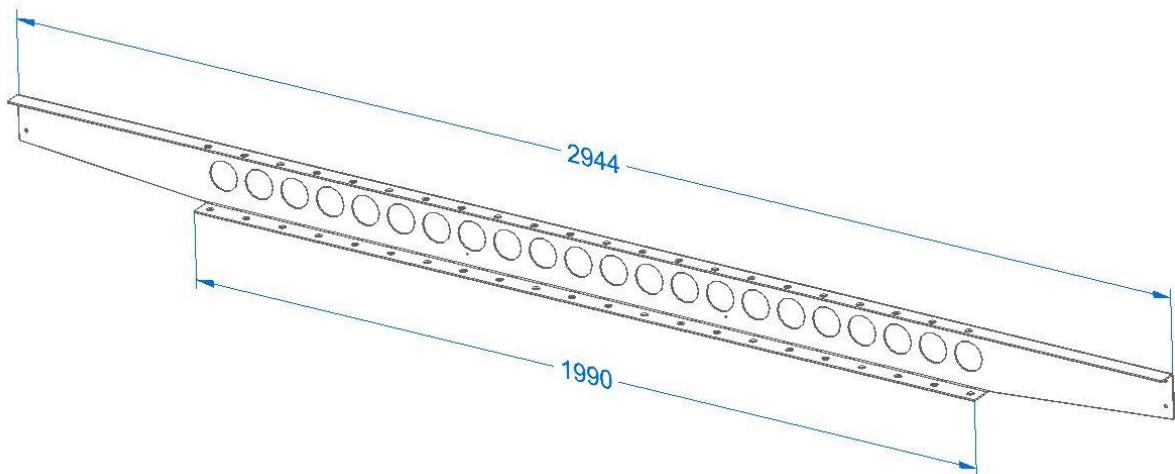


Illustratsioon 8. Pikitala pinged



Illustratsioon 9. Pikitala läbipaine

Muudetud geomeetriaga pikitala pinge on 164 MPa ning läbipaine 3,2 mm. Saavutatud teoreetiline mass on 12,5 kg, ehk ca. 35% väiksem. Eeltoodud massi ja läbipainde juures on pikitala omadused samas suurusjärgus alumiiniumtalaga, mis on välja toodud tabelis 4.2



Illustratsioon 10. Lõplik pikitala lahendus

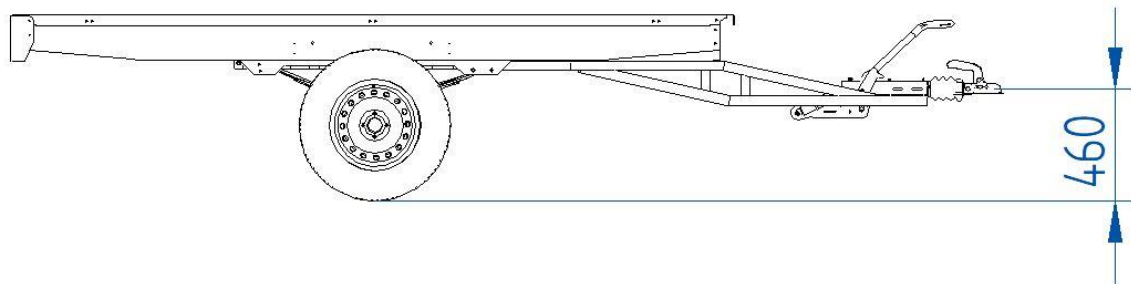
Vähendatud massiga pikitala suurim tekkinud pinge on 164 MPa ning illustratsioonilt 8 võib näha, et tegemist on väga väikese alaga, mis on tekitatud lehtvedru tugipinna poolt. Leitakse pikitala varutegur S .

$$S = \delta_y / \delta_b = 355/164 = 2,16$$

Saadud tulemus loetakse piisavaks

5.2.2 Tiisli projekteerimine ja dimensioneerimine

Tulenevalt Euroopa komisjoni direktiivi 94/30 (lisas 4) peab haagise veokuuli ühenduse kõrgus maapinnast olema 460 (+- 35mm) kõrgusel.



Illustratsioon 11. Veetiisel

Haagise konstruktsiooni eripärast ning ratta mõõdust tingituna tuleb veopea tuua nõutavale kõrgusele. Tiisliks valitakse terastorudest keeviskonstruktsioon, mis korrosiooni kaitseks kuumtsingitakse. Tiisel dimensioneeritakse lõplike elementide meetodil, kasutatakse joonelemente ning sümmeetriat.

Tiisli tugevuse analüüsis lähtutakse maksimaalsest koormusest, milleks on sõiduki puhul B-kategooria lubadega registrimass 3500 kg ning projekteeritava haagise täismass 1000 kg. Vastavalt ISO 7641:2012 standardile kasutatakse tiisli ja haakeseadme arvutamiseks väärtust D [23].

$$D = g \times \frac{T \times R}{T + R}$$

Kus D – teoreetiline horisontaalne jõud haagise ja vedava auto vahel (kN)

T – vedava auto täismass (t)

R – haagise täismass (t)

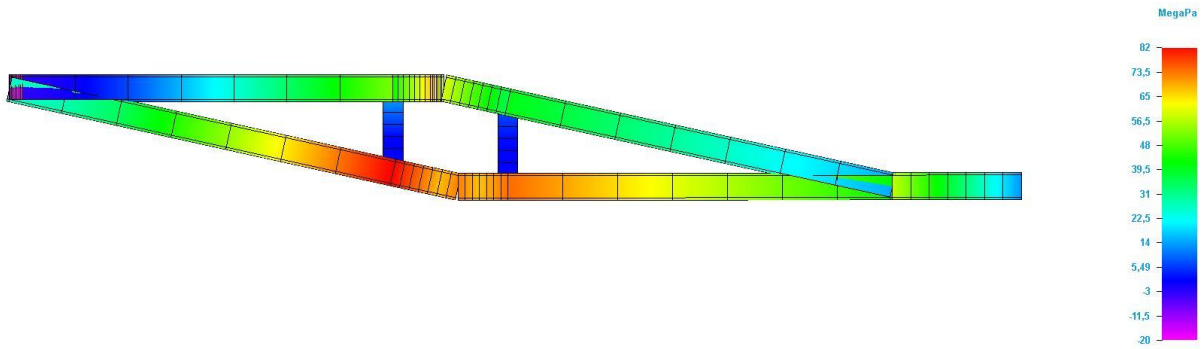
g – raskuskiirendus (9,81 m/s²)

Vastavalt valemile leitakse jõud D:

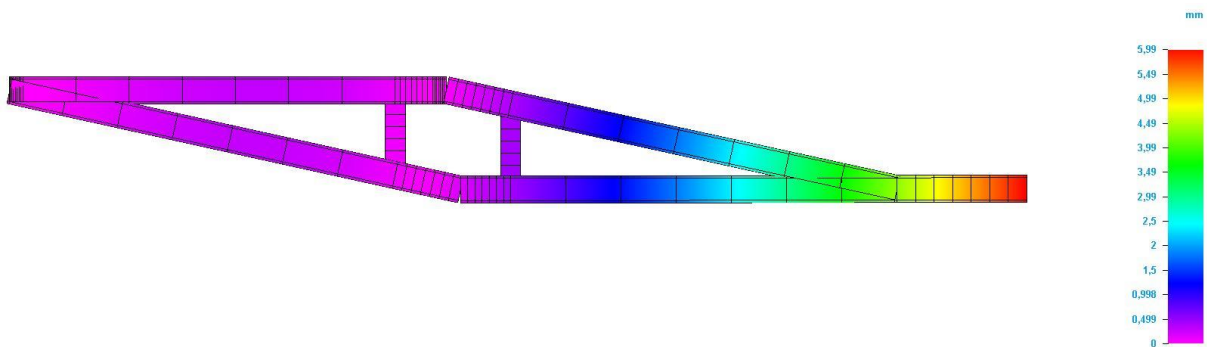
$$D = 9,81 \times \frac{3,5 \times 1}{3,5 + 1} = 7,63 \text{ kN}$$

Tiislile mõjuvaks vertikaalkoormuseks valitakse 1 kN. Eeltoodud koormuste põhjal teostatakse tiislile tugevusanalüüs. Veopea puudumist tugevusanalüüsis kompenseeritakse suurema vertikaalkoormusega.

Tiislihaaradeks on nelikanttoru 40x40x2 ning vertikaalsed vahepostid 30x30x2, mõlemad positsioonil materjaliks teras S355J2.

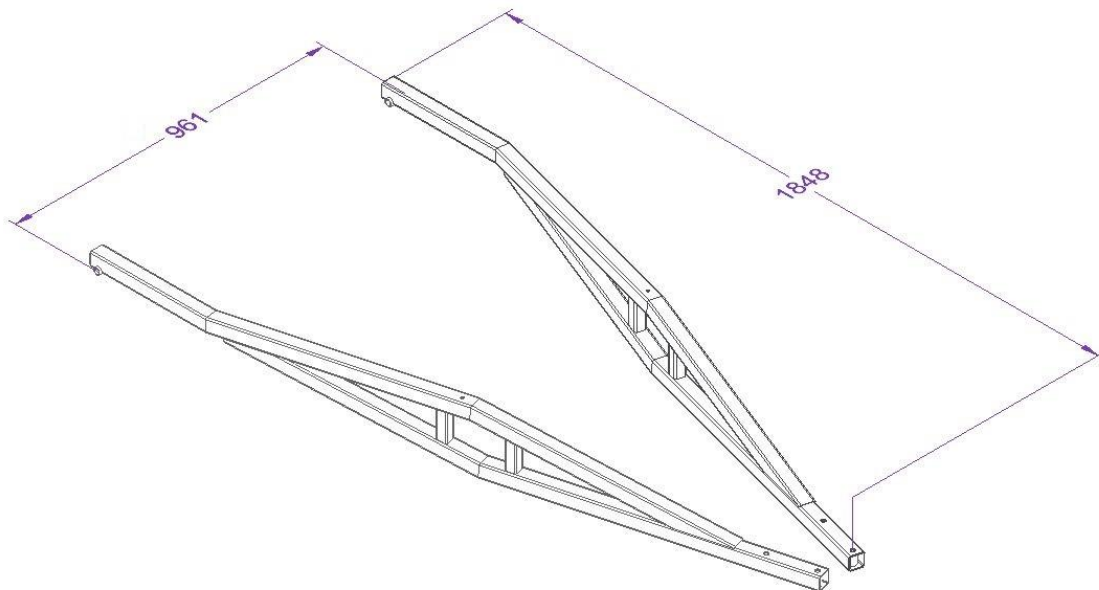


Illustratsioon 12. Tiislihaara pinged



Illustratsioon 13. Tiislihaara deformatsioon

Illustratsioonidel 9 ja 10 näidatud tugevusanalüüsi tulemuseks on tiisli tekkinud maksimaalne pinge 82 MPa ning suurim läbipaine tiisli otsas 6 mm. Need tulemused loetakse sobivaks ning järgneb tiisli detailne projekteerimine.



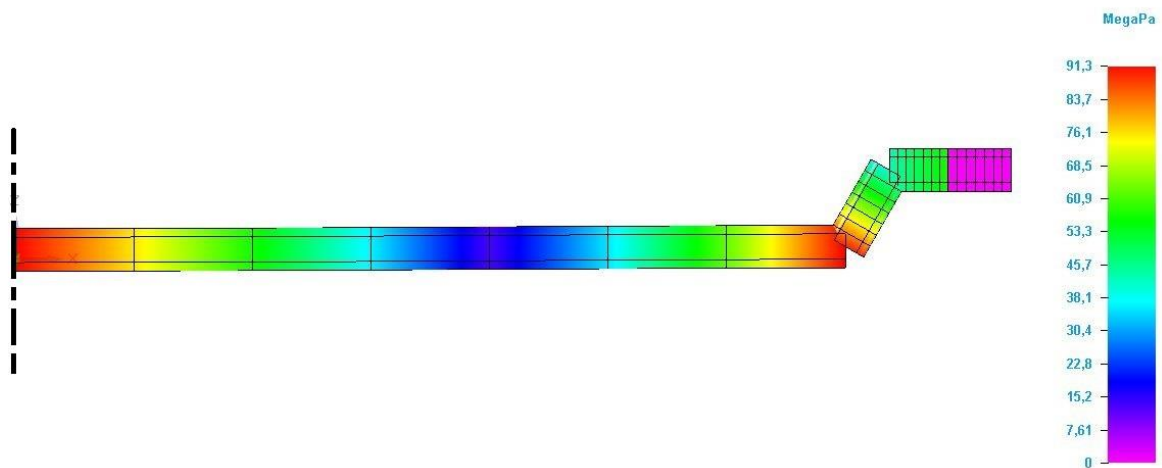
Illustratsioon 14. Haagise veotiisel

Illustratsioonil 11 näidatud haagise tiisel koosneb kahest keevitatud haarast, mis haagise koostamise käigus polditakse raamile. Tiislihaar koosneb kolmest erinevast detailist: haara alumine osa, ülemine osa ning vertikaalne vahepost. Torulaseri lõikus võimaldab haara üla- ja alaosal sisse lõigata painutuskohad ning vertikaalpostidele tappliited, vähendades aega detailide positsioneerimiseks, minimeerib koostamisvigu ja kaotab vajaduse rakise projekteerimiseks.

5.2.3 Akumooduli aluse projekteerimine ja dimensioneerimine

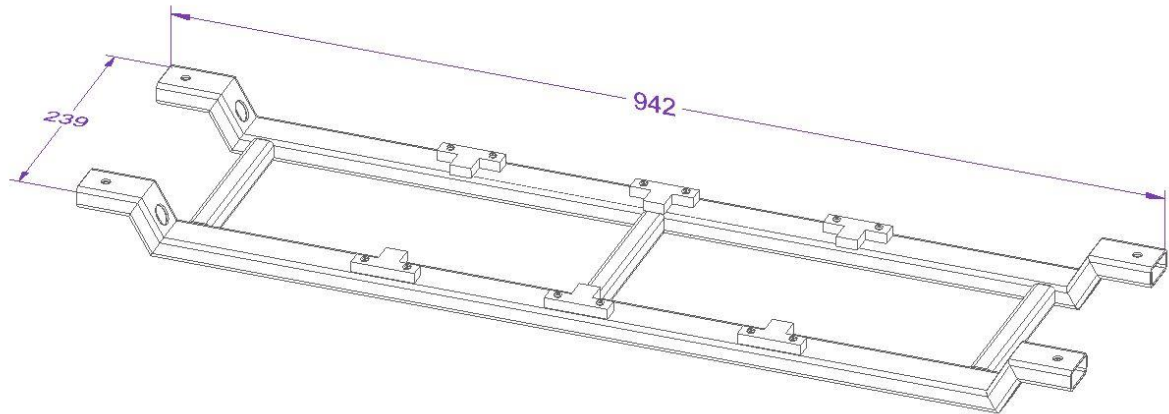
Akumoodulist nimetatakse antud töös jadamisi ühendatud akude pakki, peatükis 3.5.4 näidatud illustratsiooni järgi on igas moodulis 4 akut ning moduleid on 5 tükki. Akumoodul kinnitatakse haagise raamile pikitalade vahele.

Akumooduli alusraami dimensioneerimiseks kasutatakse joonelemente ning mudeli lihsustamiseks sümmeertriati.



Illustratsioon 15. Akumooduli aluse pinge

Illustratsioon 12 on näidatud akude kandetalas tekkiv staatiline pinge – 91,3 MPa, see suurus loetakse sobivaks. Konstruktsioon nelikanttorust 40x20x2 ning materjaliks S355J2.



Illustratsioon 16. Akumooduli alus

Akumooduli alus koosneb keevitatud alusraamist ning sellele needitud POM plastikust vahetükkidest, mis fikseerivad akusid. Akude fikseerimiseks kasutatakse prototüübi projektis koormarihma, edasise arenduse käigus on see võimalik asendada kinnituslatiga, mis pingutatakse akude peale keermevardaga.

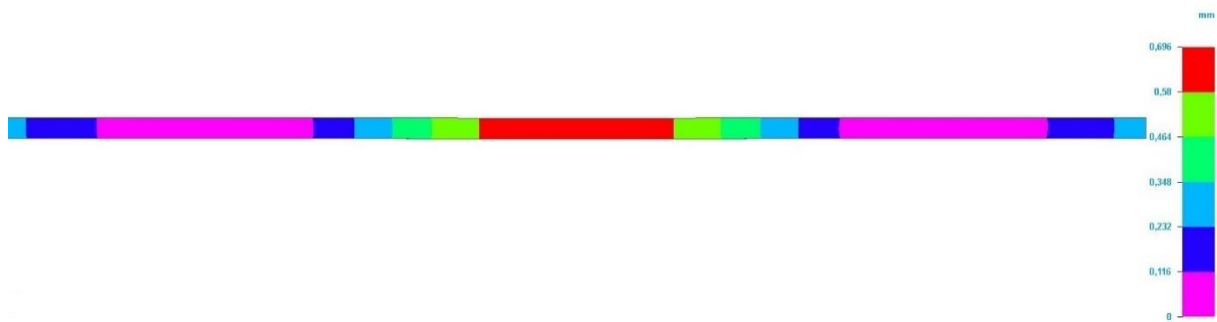
Tehnoloogiselt on akumooduli alus sarnane tiisliga – torude paindekohad on laseriga sisse lõigatud ning omavahelistes ühendustes kasutatakse tappliiteid. Torude alumisse pinda on lõigatud massi säästmise huvides ovaalsed avad.

5.2.4 Risttala projekteerimine ja dimensioneerimine

Haagise risttalad kannavad veose koormust edasi pikitadele. Risttalade arvuks valitakse antud haagisele kogemuslikult 4 tk. Risttala koormuseks valitakse 4000 N jagatuna ühtlaselt kogu talale. Üksiku risttala suur koormus võrreldes haagise täismassiga on tingitud veose määramatusest – võib tekkida olukord, kus koorma mass ei jagune ühtlaselt kogu haagise veoplatvormile. Risttalade vahel aitab omakorda koormust jaotada põhjavineer. Risttala profiiliks valitakse painutatud kübarprofiil, mille eeliseks on suur vertikaalne pind ning lihtne paigaldus. Tugevusanalüüsis on lihtsa geomeetria tõttu loobunud sümmeetriast, kasutatud on pindelemente ning lihtsustusena on ära kustutatud painderaadiused ning kinnitusavad.

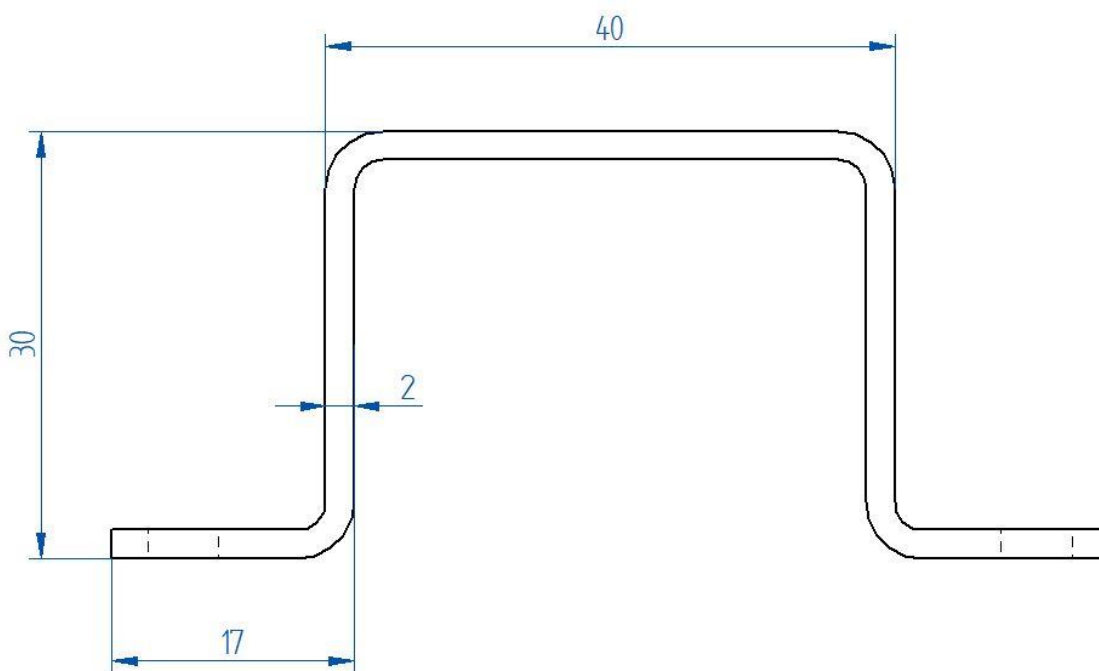


Illustratsioon 17. Ristala pinged



Illustratsioon 18. Ristala deformatsioon

Vastavalt illustratsioonidele 17 ja 18 tekkis risttalas pinge 80,7 MPa ning sellega kaasnes deformatsioon 0,7mm. Mõlemad tulemused loetakse vastuvõetavaks. Lõpliku profiili mõõdud on välja toodud illustratsioonil 19.

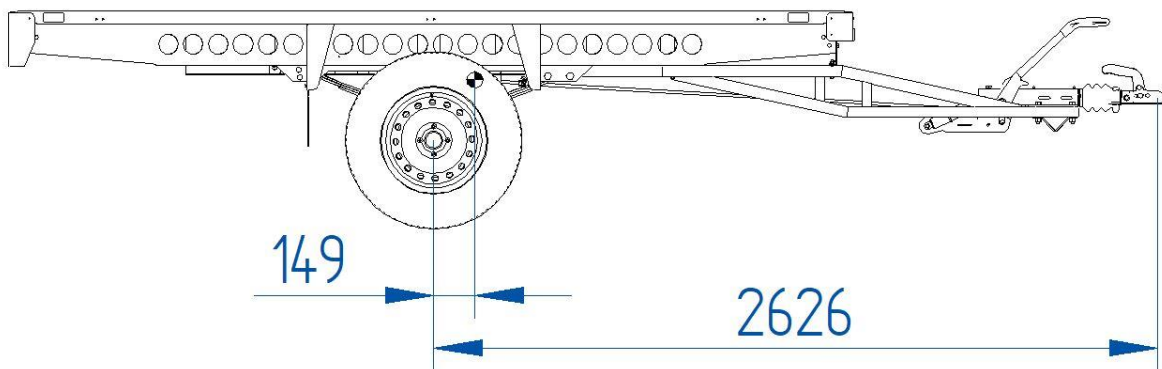


Illustratsioon 19. Ristala profiil

5.2.4.1 Konstruksiooni projekteerimise kokkuvõte

Eeltoodud seletuskirja peatüki tulemusena on detailselt projekteeritud haagise kandvad osad, mis annavad võimaluse hinnata haagise massi ning käitumist koormuse all. Seletuskirjast on välja jäetud komponentide kirjeldus, mis ei ole koormatud konstruktsiooni osad, näiteks akude porikaitse ja ääretalad.

Valminud haagise arvestuslik tühimass on 520 kg, mis 1000 kg täismassi korral jätab kandevõimeks 480 kg. Järgnevalt leitakse tühja haagise veopea koormus, mis on oluline haagise manööverdamisel käsitsi ning ühendamisel auto haakeseadmega.



Illustratsioon 20. Haagise raskuskese

Esmalt leitakse tühimassi poolt ümber telje tekitatud pöördemoment

$M_m = m \times g \times l_1$, kus:

l_1 – kaugus telje ja massikeskme vahel (m)

$$M_m = 520 \times 9,81 \times 0,149 = 760,1 \text{ Nm}$$

Seejärel leitakse veopeale vajalik vertikaaljõud, et pöördemoment M_m ületada

$F_{vv} = M_m / l_2$, kus:

l_2 – kaugus telje ja veopea vahel vahel (m)

$$F_{vv} = 760,1 / 2,626 = 289,4 \text{ N}$$

Sama koormus kilogrammides:

$$289,4 / 9,81 = 29,5 \text{ kg}$$

Veopea vertikaalkoormusest järeldub, et tühja haagise ühendamiseks või käsitsi manööverdamisel on tõstetav koormus võrreldav ca. 30 kg tõstmisega

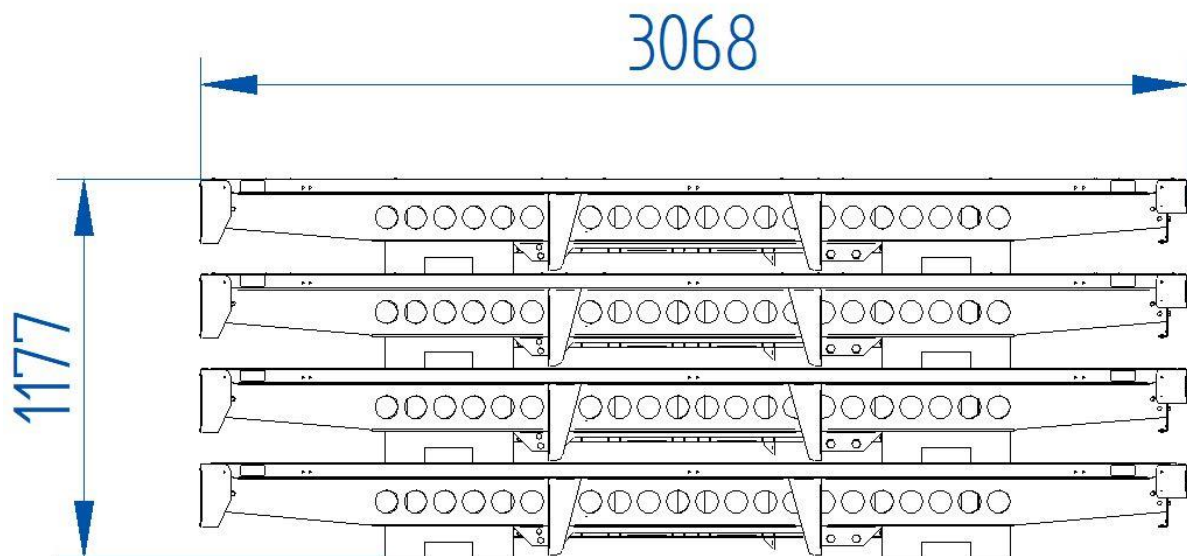
6 TRANSPORDILAHENDUS

Tulenevalt lähteüleandest toodud sihtturust peab olema haagiseid võimalik ruumisäästlikult maanteetranspordiga liigutada. Oluline on sealjuures teha töömahukad ning eritehnikat nõudvad koostamisoperatsioonid ära Eestis asuvas tehases. Pakkelahenduse väljatöötamisel tuleb arvesse võtta poolhaagisega veoki kaubaruumi mõõte: [27]

- Pikkus 13,6 m
- Laius 2,45 m
- Kõrgus 2,6 m

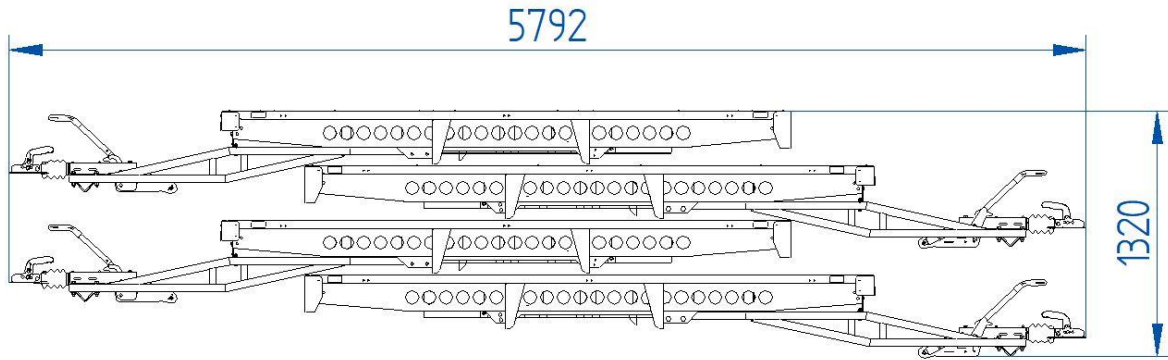
6.1 Lahenduste kirjeldus

Sobiva transpordilahenduse leidmiseks koostatakse võimalike variantide võrdlus 3D mudelite põhjal. Pakkelahenduse korral ei tohi haagisele toetuv koormus ületada selle kandevõimet



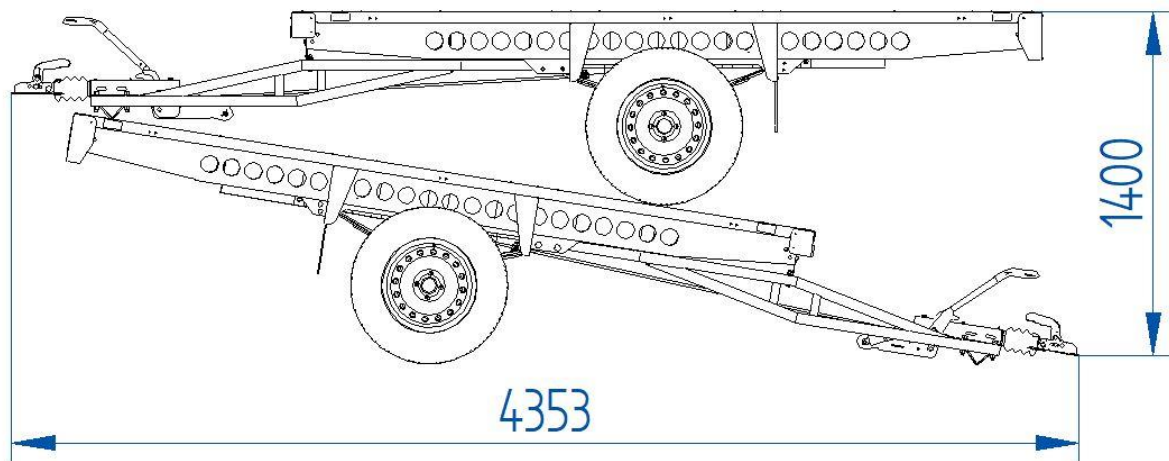
Illustratsioon 21. Pakkelahendus nr.1

Illustratsioonil 21 on kujutatud 1. pakkelahendust, mille teostamiseks eemaldatakse haagistelt rattad, sild, porilapakad ning tiisel koosveopeaga. Kõik eemaldatavad detailid kinnitatakse transpordijärgselt poltliitega. Haagiste vahele puitprussid ning pakk fikseeritakse koormarihmadega.



Illustratsioon 22. Pakkelahendus nr. 2

Illustratsioonil 22 on kujutatud 2. pakkelahendust, mille teostamiseks eemaldatakse haagistelt rattad, sild ja porilapakad. Kõik eemaldatavad detailid kinnitatakse transpordijärgselt poltliitega. Paki toetamiseks aluspinnale ning haagise omavahelise distantssi tagamiseks kasutatakse puitprusse. Pakk fikseeritakse koormarihmadega



Illustratsioon 23. Pakkelahendus nr. 3

Illustratsioonil 23 on kujutatud 3. pakkelahendust, mille korral on haagis täiesti komplektne. Haagised fikseeritakse tõkiskingade ja koormarihmaadega. Haagise laetakse veoautosse ükshaaval ning pakk kujundatakse pealelaadimise käigus.

6.2 Lahenduste võrdlus

Pakkelahenduse eri kriteeriume hinnatakse punktidega 1-3, kus suurem number on parem tulemus. Kriteeriumid on järgmised:

- Töömaht – erinevate sõlmede arv, mis on vaja paigaldada sihtkohas
- Ruumikasutus – arv haagiseid, mida saab koormasse panna. Võrreldakse vaid pikkusmõõtu, sest veokasti laius ja kõrgus ületab oluliselt vajaminevat suurust
- Keerukus – Pakkelahenduse keerukus ning nõutav täpsus
- Abivahendite hulk – täiendavad rakised, prussid, hoidikud ja kinnitusvahendid

Kriteeriumeid arvestatakse võrdse osakaaluga

Lahendusvariant	Lahendus	Lahendus	Lahendus
Kriteerium	1	2	3
Töömaht	1	2	3
Ruumikasutus	2*	2	2
Keerukus	2	1	1
Abivahendite hulk	3	2	1
Hinne kokku	8	7	7

Tabel 6.1 Transpordilahenduste hindamismatriks

* – esimese lahenduse ruumikasutuselt võetakse 1 hindepall maha, sest eemaldatud osad (sild, tiisel jne) ei kajastu mõõdus.

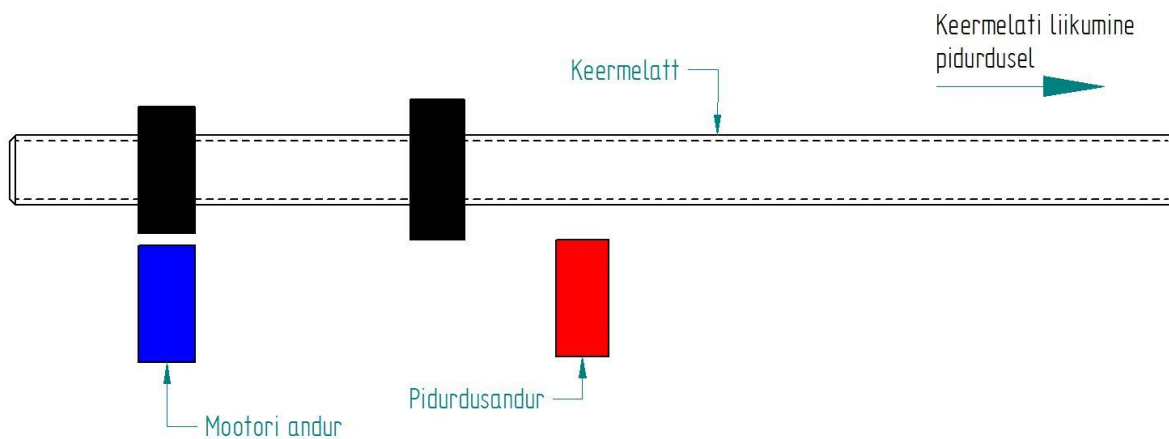
Vastavalt tabellele 6.1 valitakse transpordilahenduseks variant nr.1

7 MOOTORI JUHTIMINE

Elektrimootori juhtimisel lähtutakse järgnevalt:

- Mootor peab andma kuni 95% vajaminevast veojõust, st. haagis ei tohi ühelgi hetkel autot edasi lükata
- Auto ja/või haagise piduritulede põlemise korral peab mootor peatama töö
- Auto ja/või haagise piduritulede põlemise korral läheb mootor regeneratiivse pidurdamise faasi

Lisaks haagise intertspidurisüsteem keermetatile asendilülitid, mis tuvastavad pidurdust ning olukorda, kus abimootor ei tööta piisava võimsusega.



Illustratsioon 24. Mootori juhtimine

Illustratsioonil 24 on näidatud mehaanilised andurid ohtuse tagamiseks. Pidurdusanduri aktiveerumisel peatub mootori töö. Mootori anduri aktiveerumisel suurendatakse abimootori tööd.

8 VÕIMALIKUD TÄIENDUSED

Käesoleva töö raames projeteeritud haagise prototüübi ehituse järgselt on võimalik juurde projeteerida täiendavad omadusi, lisavarustust või teha muudatusi haagise massis ning veopinna mõõtudes vastavalt turu tagasisidele.

Võimalikud edasiarendused müügivalmis haagisele:

- Kergmetallist valuvelgede kasutamine
- Põhjavineeri asendamine komposiitmaterjaliga
- Akude vahetus kergemate vastu
- Raami konstruktsiooni muudatused vastavalt katsetuse tulemustele
- Alalisvoolu mootori asendus vahelduvoolu mootoriga

Võimalike lisade arendus müügivalmis tootele

- Alumiiniumist või komposiitmaterjalist külje- ja otsaported
- Tugiratas
- Mobiilirakendus aku ja mootori info kuvamiseks
- Varustusekast laadimiskaablitele ja koormakinnitustarvikutele

9 KOKKUVÕTE

Töö teostamise käigus täideti püstitatud eesmärk, elektrilise abimootoriga järelhaagise prototüübi projekteerimine. Lähteülesande koostamise käigus määratleti haagise parameetrid, arvatati abimootori vajalik võimsus ning viidi läbi esmane konkurentsianalüüs. Leitud mootori võimsus vajab täiendavat kontrolli ning praktilist katsetust.

Töö järgnev osa on konstruktsiooni projekteerimise täiendav lähteülesanne, mille käigus määratu haagise keretüüp, silla ja moori paigutus, aku dimensioneerimine ning valiti välja esialgne sobiv rummusisene elektrimootor. Valituks osutus alalisvoolumootor, mis võimaldab töötada otse akudelt, selle lahenduse efektiivsus vajab täiendavat analüüsi.

Konstruktsiooni projekteerimise osas on võrreldud erinevaid võimalikke konstruktsioonilisi lahendusi vastavalt tehnoloogilistele võimalustele. Kirjeldatud on kriitiliste ning kandvate sõlmede projekteerimist ning tugevusanalüüsi, vähem oluliste komponentide korral on kasutatud ettevõttes olevad standardtooteid või kogemuslikke lahendusi. Suuremate detailide korral teostati iteratiivsel meetodil massi optimeerimine.

Projekteerimise tulemusena valmis haagise lõplik lahendus, mille pakkelahenduste variante on analüüsitud, võimaldamaks kulutõhustat transporti Eestis asuvast tehastest Norrassa. Pakkelahenduse võrdluses võeti arvesse nii ruumi kasutust kui ka ettevalmistavaid ning transpordi järgselt vajaminevaid tegevusi. Haagise lõplik disain saab eelduslikult muudatusi pärast prototüübi valmistamist.

Haagise elekroonikat ei kajastatud antud töös põhjalikult, kõik arvutatud mootori ja akuga seotud väärtused on indikatiivsed. Mootori juhtimise raames on välja toodud lähteülesanne juhtimissüsteemi valmistamiseks ning võimalik lahendusskeem mehaaniliste lõpulülite abil abimootori juhtimiseks.

Käesoleva töö jätkuna on vajadus lahendada elektrimootorite juhtimine, millele järgneks projekteeritud haagise prototüübi valmistamine ning katsetamine. Seejärel on võimalik juurutada prototüüp seeriatootmisesse ning laiendada abimootori lahendust teistele haagisemudelitele.

10 SUMMARY

The aim of this of this thesis, the set goal was achieved, to design a prototype trailer with an electric motor assist. During the preparation of the requirements, the parameters of the trailer were determined, the required power of the assist motor was calculated and an initial market analysis was performed. The calculated motor power needs further analysis and real-life testing.

The next part of the work is an additional task of structural design, during which the type of the trailer, the arrangement of the axle and the motor, dimensioning of the battery and the initial suitable electric hub motor were selected. A DC motor has been chosen that allows operation directly from batteries, the efficiency of this solution needs further analysis.

In terms of structural design, different possible structural solutions were compared according to manufacturing possibilities. The design and strength analysis of critical and load-bearing parts was described and in the case of less important components, standard products or experiential solutions have been used in the company. For larger details, weight optimization was performed by an iterative method.

As a result of the design, the final solution of the trailer was completed, the variants of the packaging solutions of which have been analyzed to enable cost-effective transport from the factory in Estonia to Norway. Different packing solutions were compared to achieve optimal transportation and to reduce both post ja pre-transport manual work. Final design of the production ready trailer is likely going to bring changes into the packing solution.

The electronics of the trailer were not thoroughly reflected in this work, all calculated values related to the motor and battery are preliminary. Within the framework of motor control, the initial task for the manufacture of a control system and a possible solution scheme for controlling an auxiliary motor by means of mechanical limit switches is presented.

As a continuation of this work, it is necessary to solve the control of electric motors, followed by the production and testing of a prototype of a designed trailer. It is then possible to implement the prototype in series production and extend the electric motor assist to other models in the range.

11 KASUTATUD KIRJANDUS

1. <https://eu-evs.com/>
2. <https://ev-database.org/car/1177/Tesla-Model-3-Standard-Range-Plus>
3. <https://ev-database.org/car/1087/Volkswagen-e-Golf>
4. <https://ev-database.org/car/1106/Nissan-Leaf>
5. <https://ev-database.org/car/1209/Audi-e-tron-50-quattro>
6. <https://ev-database.org/car/1145/BMW-i3-120-Ah>
7. <https://www.topauto.ee/et/hyundai-kona-electric-tehnilised-andmed>
8. <https://www.jaguar.co.uk/towing.html>
9. <https://www.topauto.ee/et/hyundai-ioniq-electric-tehnilised-andmed>
10. <https://ev-database.org/car/1164/Renault-Zoe-ZE50-R110>
11. <https://ev-database.org/car/1198/Tesla-Model-X-Long-Range>
12. Statistika Bestnet AS müügiosakonnast
13. https://www.engineeringtoolbox.com/rolling-friction-resistance-d_1303.html
14. Mehaanikainseneri käsiraamat / üldtoimetaja P. Kulu. Tallinn: TTÜ Kirjastus, 2012.
15. Mootoritootja andmeleht (vt. Lisa 1)
16. Microsimulation of electric vehicle energy consumption and driving range (05.2017) Yunkun Xiea, Yangyang Lia, Zhichao Zhao, Hao Donga, Shuqian Wanga, Jingping Liu, Jinhuan Guana, Xiongbo Duana, State Key Laboratory of Advanced Design and Manufacturing for Vehicle Body, Hunan University, Changsha 410082, China; Research Center for Advanced Powertrain Technologies, Hunan University, Changsha 410082, China ; China Automotive Engineering Research Institute Co., Ltd, Chongqing 401122, China
17. https://energypedia.info/wiki/Batteries#Lead_Acid_Batteries
18. http://web.mit.edu/evt/summary_battery_specifications.pdf
19. <https://wstech.dk/wp-content/uploads/2020/08/ADL24LINMC-39AH-50A-CB.V.2.pdf>
20. <http://www.bestnet.ee/et/teenused/leht-ja-profiilmaterjalide-toeetlemine>
21. <http://www.bestnet.ee/et/teenused/torulaserloikus>
22. <https://matmatch.com/materials/minfm1980300-en-573-1-grade-aw-1050a-h24>
23. ISO 7641:2012 Road vehicles - Trailers up to 3,5 t — Calculation of the mechanical strength of steel drawbars
24. <https://www.motor1.com/news/397556/airstream-developing-electric-assist-trailer/>

25. <https://www.alko-tech.com/en/trailer-platform>
26. <https://newatlas.com/dethleffs-electric-coco-caravan/56056/>
27. <https://www.etslogistika.ee/teadmiseks/veokite-ja-haagiste-mahutavus/>

12 LISAD

Lisa 1. Mootori andmeleht

Lisa 2. Akupaki andmeleht

Lisa 3. Lehtmaterjali 3mm sertifikaat

Lisa 4. Euroopa komisjoni direktiiv 94/20EC

Lisa 5. Koostejoonis