



Franc Grünberg

O3 HAAGISE RAAMI PROJEKTEERIMINE

LÕPUTÖÖ

Tehnikainstituut

Õpperühm: KAT2019

Juhendaja: lektor Raiko Annask

Tallinn 2023

Autori deklaratsioon ja lihtlitsents

Mina, Franc Grünberg, tõendan, et lõputöö on minu kirjutatud. Töö koostamisel kasutatud teiste autorite, sh juhendaja teostele on viidatud õiguspäraselt. Kõik isiklikud ja varalised autoriõigused käesoleva lõputöö osas kuuluvad autorile ainuisikuliselt ning need on kaitstud autoriõiguse seadusega.

Annan Tallinna Tehnikakõrgekoolile (edaspidi kõrgkool) tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose „**O3 haagise raami projekteerimine**“

- Reprodutseerimiseks paberkandjal kõrgkooli raamatukogus avaldamise ja säilitamise eesmärgil;
- Elektroonseks avaldamiseks kõrgkooli repositooriumi kaudu;
- Kui lõputöö avaldamisele on instituudi direktori korraldusega kehtestatud tähtajaline piir, lõputöö avaldada pärast piirangu lõppemist;
- Ning kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest tulenevaid ega muid õigusi.

Autor: Franc Grünberg

/allkirjastatud digitaalselt, 08.05.2023/

Juhendaja kinnitus

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

Juhendaja: Raiko Annask

/allkirjastatud digitaalselt, 08.05.2023/

SISUKORD

SISSEJUHATUS	4
1. O3 TÜÜPI POOLHAAGIS	5
1.1. Populaarsus Euroopas	5
1.2. O3 haagised eesti registris.....	6
1.3. Hanekaela tüüpi poolhaagiste tootjad Euroopas.	7
2. HANEKAELA TÜÜPI O3 HAAGISE RAAMI PROJEKTEERIMINE.....	9
2.1. Haagise mõõdud ja mass	9
2.1.1 Haagise gabariidid	9
2.1.2 Haagise massid.....	13
2.2. Raami projekteerimine	14
2.2.1 Haagise raami talad.....	14
2.2.2 Haagise telgede valik ja asetus.....	19
2.3. Raami projekteerimine 3D tarkvaraga	23
2.3.1 Haagise raami konstruktsiooni koormusanalüüs	24
2.3.2 Raami konstruktsiooni projekteerimine.....	24
2.4. Projekteeritud haagise raam.	36
KOKKUVÕTE	37
SUMMARY.....	38
VIIDATUD ALLIKAD	39
LISAD.....	43

SISSEJUHATUS

Eriotstarbeliste haagiste kasutamine tänapäeval on üha populaarsem. Proovitakse leida erinevaid viise, kuidas transportida vajalikku vahendit või tehnikat sõltumata kaubavedajast. Seega, kui leida enda tehnikale või vahendile sobilik transpordilahendus, siis ei ole vaja ette planeerida kaubavedajaga transporti ja on võimalik reageerida transportimisele kiiremini. Autor leiab, et eriotstarbeline transportimine just haagisega on oluliselt mõistlikum, kuna jääb alles võimalus sõiduk haagise küljest lahti haakida. See säilitab ka võimaluse lihtsasti sihtpunkti liikumiseks. Lisaks saab haagist kasutada ka alusena, kus hoida vajalikku eset, näiteks paati.

USA-s on auto külge kinnituvad haagised läbi aegade juba väga populaarsed, eelkõige leebemate seadusandluse ja laiemate infrastruktuuride tõttu. Euroopas ei ole antud tüüpi haagised nii levinud, peamiselt seetõttu, et Euroopas teed ja infrastruktuur on oluliselt kitsamad kui Ameerika Ühendriikides ning seadusandlus erineb. Antud töös ei kirjuta autor põhjalikult lahti kõiki seadusandluse aspekte, vaid keskendub rohkem tüübikinnitusnõuetele vastava haagise raami projekteerimisele.

Autor valis haagise tüübiks O3 haagise, kuna suurema lubatud täismassi tõttu on võimalik valmistada haagist palju suurema kandevõimega, mis annab haagise raamile oluliselt suurema otstarbekuse. Näidisautoks, mille põhjal haagise raam projekteerida, valis autor Ford F350 mudeli, kuna leidis, et sellele autole on saadaval erinevaid haakeseadme lahendusi ning selle kohta on olemas palju tehnilisi parameetreid ja andmeid, mis on vajalikud haagise raami projekteerimisel.

Käesoleva töö eesmärgiks on projekteerida O3 kategooria haagise raam, mis vastab O3 haagise tüübi kinnitus nõuetele. Sellest tulenevalt on töö eesmärgid vastavad:

- Uurida, kui palju on O3 haagiseid liiklemas eesti teedel liiklemas ning kas lähiriikides toodetakse antud tüüpi haagiseid;
- Tutvuda O3 haagisega seotud nõuete ja seadusandlusega;
- Määrata haagise gabariidid ja kandevõime;
- Projekteerida haagise raam;
- Määrata kõige sobilikum teras haagise raami valmistamiseks;
- Viia läbi projekteeritud haagise raami jõuanalüüsid, sealhulgas teostada analüüside põhjal parendusi haagise raami ehituses ning koostada haagise raami valmistamiseks vajalikud joonised.

1. O3 TÜÜPI POOLHAAGIS

Hanekaelhaagise nimetus tuleneb ingliskeelsest väljendist "*Gooseneck trailer*". See on Ameerikas laialdaselt levinud haagisetüüp, mille nimetus tuleneb hanekaela meenutavast haagise tiisli ehitusest. Ameerika Ühendriikides jaotatakse sellised haagised kaheks rühmaks: viienda rattaga haagised ("*fifth wheels*") ja hanekaelhaagised ("*Goosenecks*"). Selline jaotus tuleneb haakeseadme tüübist. Viienda ratta all mõeldakse tavalist haakesadulat, samas kui hanekael viitab haagisele, mis kinnitub haakekuuli külge. Kuna antud haagis kinnitub veduki kasti tagumise telje kohale, siis sellel on suurim eelis suurema koormuse taluvusvõime osas haakeseadme jaoks ning väiksem pöörderaadius võrreldes olukorraga, kus haakeseadme oleks auto tagaosas. [1]



Sele 1. Hanekaela tüüpi haagis [2]

1.1. Populaarsus Euroopas

Autori arvates on hanekaelaga haagised Euroopas üsna haruldased, mis tuleneb seadusandlusest ja Euroopa infrastruktuuri ning sõiduautode suuruse erinevustest võrreldes Ameerika Ühendriikidega. Euroopa riikides on sõidukite klassifitseerimine ja juhtimisõiguse seadused üldiselt sarnased. Näiteks B-kategooria sõiduauto maksimaalne registreerimismass ei tohi ületada 3500 kg ning ilma täiendava juhtimisõigusega on B-kategooria juhiloaga lubatud autorongi kogumass samuti 3500 kg, sealhulgas haagise registreerimismassi ei tohi ületada sõiduauto tühimag. Lisaks on piiratud piduriteta haagise

maksimaalne registreerimismass 750 kg. BE-kategooria juhiloaga on lubatud vedada B-kategooria sõiduautoga piduritega haagist maksimaalse registreerimismassiga kuni 3500 kg. [3] [4]

Kuid Ameerika Ühendriikide seadusandluse kohaselt võib sõiduautode juhtimisõigusega juhtida sõidukit, mille täismass on 26 000 lbs (~11 800 kg), ning sõiduki taga võib vedada autorongi ilma piiranguteta, kui haagise täismass ei ületa 10 000 lbs (~4535 kg). Kui haagise täismass ületab seda piirmäära, ei tohi autorongi täismass olla suurem kui 26 000 lbs. [5]

Kuna tavapärase Ühendriikide turul müüdava hanekaelaga haagise täismass on alates 15 900 lbs (~7200 kg) [6], siis see viitab sellele, et Euroopa riikides pole sellise haagise ühendamine tüüpilise B-kategooria sõiduautoga võimalik. Näiteks Eestis kehtiva seadusandluse kohaselt kuulub haagis, mille täismass ületab 3500 kg, O3 kategooriasse, ja selle kategooria haagist võib vedada vähemalt N2 kategooria sõidukiga. Sellest tulenevalt on Euroopas hanekaelaga haagise transportimiseks vaja vähemalt C1E kategooria juhiluba. [7] [4]

Autor leiab, et suurim takistus hanekaelaga haagiste populaarsusele ja rahva huvi selle vastu Euroopas on just seadusandlusest tulenev keerukus selle haagise kasutamisel. Ameerika Ühendriikide seadusandlus võimaldab juba tavalise sõiduauto juhilubadega sõidukil sellist haagist vedada, samas kui Euroopas on selle haagise kasutamiseks vaja omandada C1-kategooria juhiluba ning selleks, et omandada C1-kategooria sõidukiga haagise vedamise õigus, tuleb veel omandada C1E-kategooria juhiluba.

1.2. O3 haagised eesti registris

Transpordiameti andmetel on Eestis Maanteeameti registris 431 O3 kategooria haagist, millest 60 on poolhaagised [8]. Lisaks on transpordiameti sõidukite statistika andmetel Eestis arvel 13 O2 kategooria poolhaagist [8]. Täpsemate andmete saamine nende haagiste kohta ei ole võimalik, kuna autor leidis, et transpordiameti statistikas esineb filtreerimise osas tõrkeid. Siiski õnnestus autoril leida Harjumaakonnas tegutsev ettevõtte Sauna Trans OÜ, mis osutab kaubaveoteenust O2 kategooria poolhaagisega, mille registrinumbr on 551YKY. Antud haagis on kohandatud sõidukite

vedamiseks ja selle täismass on määratud 5000 kg.



Sele 2. Eesti Maanteeameti registris olev O2 poolhaagis

1.3. Hanekaela tüüpi poolhaagiste tootjad Euroopas.

Kuigi hanekaela tüüpi haagised on Euroopas üldiselt vähem levinud, on siiski mõned haagisetootjad spetsialiseerunud või toodavad ka euroopa seadusandlusele vastavaid hanekaela tüüpi haagiseid.

Hollandis, Lelystadis asuva Fifth Wheel Europe'i ettevõtte on spetsialiseerunud erinevate hanekaela tüüpi haagiste tootmisele Euroopa turule. Kuigi nende tootevalikus on erinevat tüüpi haagiseid erinevateks otstarveteks, pole paraku täpsemaid haagiste parameetreid välja toodud [9].

Poolas, Rybnickas asuva ettevõtte nimega juzjade.pl pakub erinevaid lahendusi sõidukite pukseerimiseks ja transportimiseks. Nende tootevalikust võib leida ka O2 kategooria poolhaagiseid, mis on ühilduvad ettevõtte enda poolt kohandatud kaubikutega [10].

USA Caravans ei ole tootja, vaid Ühendriikides asuva matkahaagiste tootja esindaja ja edasimüüja Euroopas. Nende ettevõtte asub Hollandis, Amsterdavis ja nende tootevalikus on haagised, mis oma massi poolest kuuluvad O3 kategooria alla [11].

2. HANEKAELA TÜÜPI O3 HAAGISE RAAMI PROJEKTEERIMINE

Antud haagise raami projekteerimisel tugineb autor ideele, et haagis projekteeritud haagise raami peab saama kasutada erinevate otstarvetega haagistel. Ehk antud haagise raam peab olema sobilik kasutamiseks tavaliselt platvormhaagisel, treilerhaagisel, haagisuvila haagisel kui ka kaatri või jahi vedamiseks mõeldud haagisel. Autor leiab, et antud raami ehituses peab kõige enam jälgima just seda, et kaatri või jahi vedamisel peab raami vahele ära mahtuma kaatri või jahi kiil, selleks et laev oleks haagisele paigutatud võimalikult madalale.

2.1. Haagise mõõdud ja mass

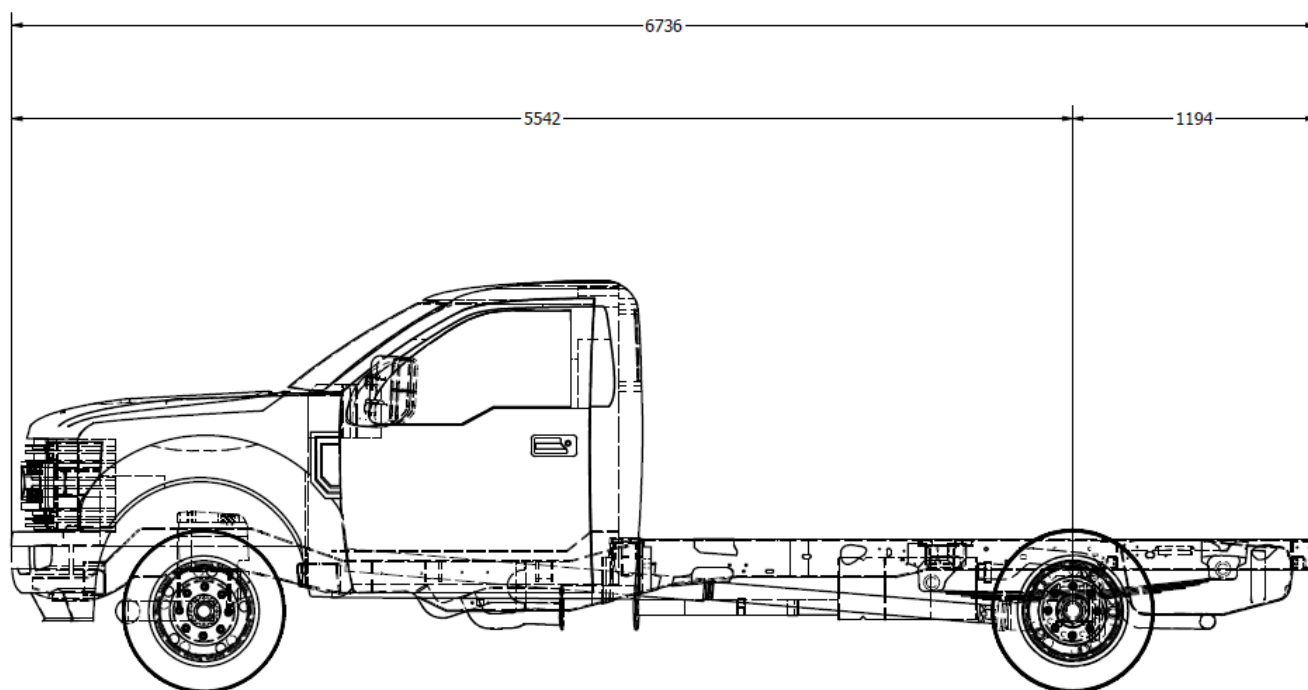
Raami projekteerimise alustamiseks on oluline määrata haagise gabariidid ja haagise prognoositav täismass, selleks et raam oleks ehitatud õigete mõõtude kohaselt ja piisavalt tugev.

2.1.1 Haagise gabariidid

Projekteeritava haagise gabariitide määramiseks on autor võtnud aluseks seadusandlusest tuleneva maksimaalse poolhaagisega autorongi lubatud suurima pikkuse, mis on 16,5 m. Samuti on arvestatud poolhaagise lubatud suurima pikkusega haakeseadme poldi tsentrist haagise tagaosani, mis on 12 m. Haagise raami projekteerimisel ei ole olulised haagise lubatud suurim laius (2,55 m) ega lubatud suurim kõrgus (4 m), kuna need parameetrid ei mõjuta raami ehitust. [3]

Haagise suurima pikkuse kontrollimiseks tuleb tagada, et autorongi pikkus koos näidisautoga ei ületa lubatud suurimat pikkust. Antud juhul kasutatakse haagise raami projekteerimiseks Ford F350 Super Duty Crew Cab'i modifikatsiooniga näidisautot. Selle auto kogupikkus on 6736 mm ja tagumise telje vertikaaltelje kaugus sõiduki tagaosast on 1194 mm [13]. Reeglina paigaldatakse haakeseadme tagumise telje lähedale või selle ette. Seega, näidisautoga maksimaalse pikkuse mõõtmine esiosast kuni haakeseadme veopoldi vertikaalse teljeni saadakse järgmiselt:

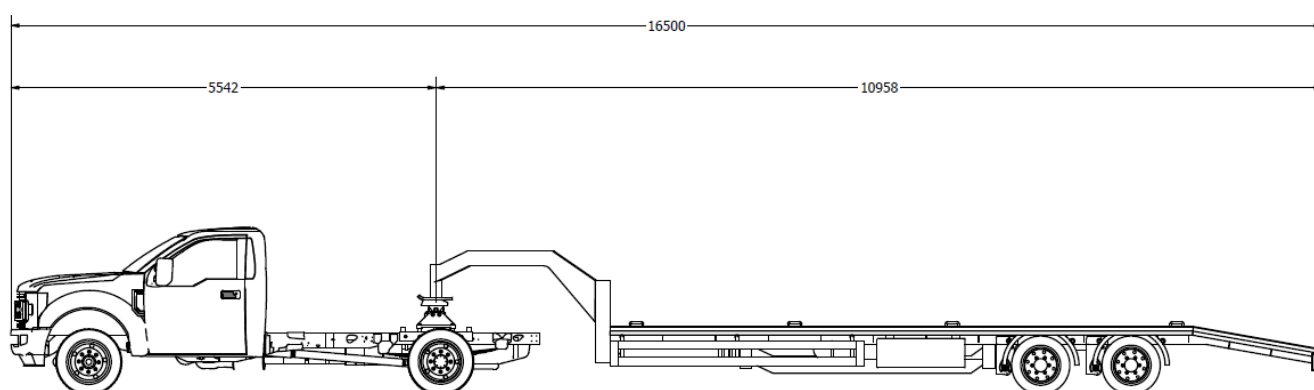
$$\begin{aligned} (\text{Kogu pikkus}) - (\text{Tagumise telje kaugus tagaosast}) &= (\text{Esiosa kuni haakeseadme veopoldi} \\ &\text{vertikaalne telg}) \quad 6736\text{mm} - 1194\text{mm} = 5542\text{mm} \end{aligned}$$



Sele 3. Näidissõiduki pikkused

Kuna näidissõiduki pikkus ehk haakeseadme veopoldi vertikaalteljest maksimaalne kaugus sõiduki esiosani on 5542 mm ning poolhaagisega autorongi lubatud maksimaalne pikkus on 16,5 m, saame haagise maksimaalse lubatud kogupikkuse järgmise arvutuskäiguga [12]:

$$16\,500\text{mm} - 5542\text{mm} = 10958\text{mm}$$



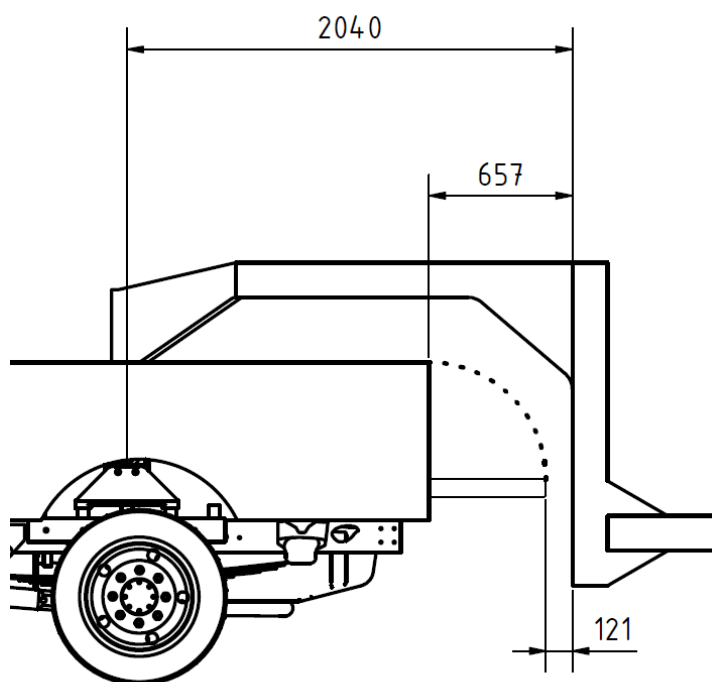
Sele 4. Autorongi pikkused

Haagise suurimaks kogupikkuseks antud näidissõiduki näitel on saadud läbi arvutuskäigu 10 958 mm. Haagise raami tiisli projekteerimisel tuleb arvestada sellega, et haagise haakimisel peab olema veduki kasti luuk avatud. Seega peab haagise raami eespoolne vertikaalne pind olema veopoldi telgjoonest piisavalt kaugel, et haagitud haagise korral saaks veduki kasti luuki avada. Näidissõiduki

haakeseadme veopoldi telgjoone kaugus sõiduki tagaosast on 1 321 mm. Kuid siinkohal tuleb arvestada ka sellega, et haagise lahtihaakimiseks on vaja reeglina avada kasti luuk. Tagumise luugi kõrgus on 536 mm, seega minimaalne haagise esiosa kaugus haakepoldi telgjoonest saadakse, kui sõiduki tagaosa kaugusele haakeseadme veopoldi telgjoonest liita sõiduki kasti luugi kõrgus (avatud luugi korral) [14].

$$1321\text{mm} + 536\text{mm} = 1857\text{mm}$$

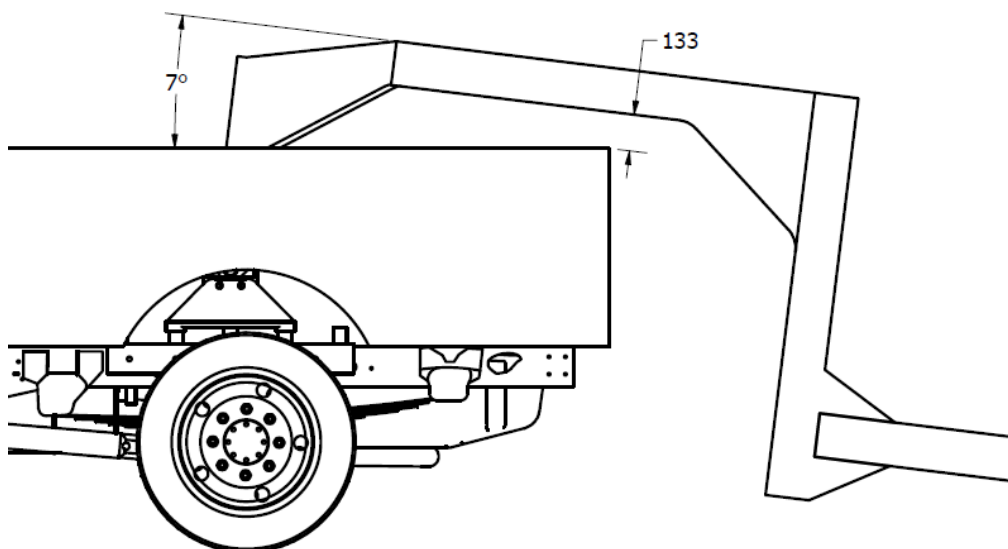
Võttes arvesse asjaolu, et haakeseadmeid nihutatakse vastavalt vajadusele erinevale kaugusele auto tagumisest teljest mööda horisontaalset telgjoont, et tagada autole parem läbi haakeseadme kanduv koormus sõiduki telgede vahel ning läbi selle hea ja stabiilne juhitavus, on antud haagise raami projekteerimisel haagise veopoldi telgjoone kaugus haagise raami esimesest mõõdetavast pinnast määratud 2,04 m.



Sele 5. Haagise raami tiisli mõõdud

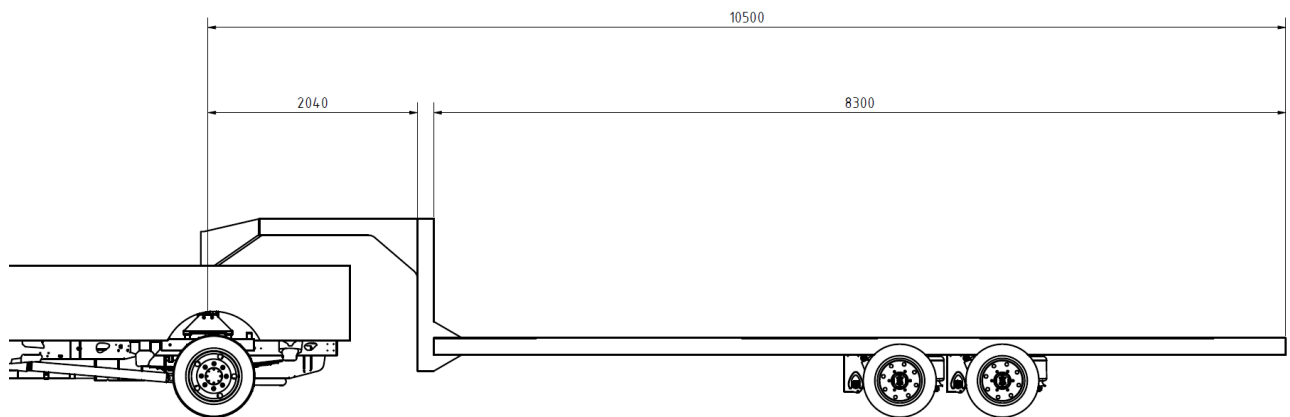
Haagise raami tiisli projekteerimisel on arvestatud ka seadusandlusest tuleneva nõudega, mille kohaselt ei tohi 7° haagise kaldenurga tahapoolle korral veduk ja haagis omavahel kokku puutuda. [4]. Kuna autor leiab, et seadusest tulenev minimaalne haagise kaldenurk on äärmiselt väike siis on projekteeritava haagise tiisli tala alumise pinna kauguseks maapinnast määratud 1770mm. Selle

kauguse korral on 7° haagise kaldenurga puhul haagise tiisli tala alumise pinna ja näidissõiduki kasti serva vaheline kaugus 133mm.



Sele 6. Haagise kaldenurk tahapoole

Näidissõiduki näitel jääb maksimaalseks lubatud haagise pikkuseks veidi vähem kui 11m, selleks et jääks pealisehitusest sõltuvalt väike varu haagise tagaosale määratakse haagise raami kogupikkuseks 10,5m.



Sele 7. Haagise raami pikkused

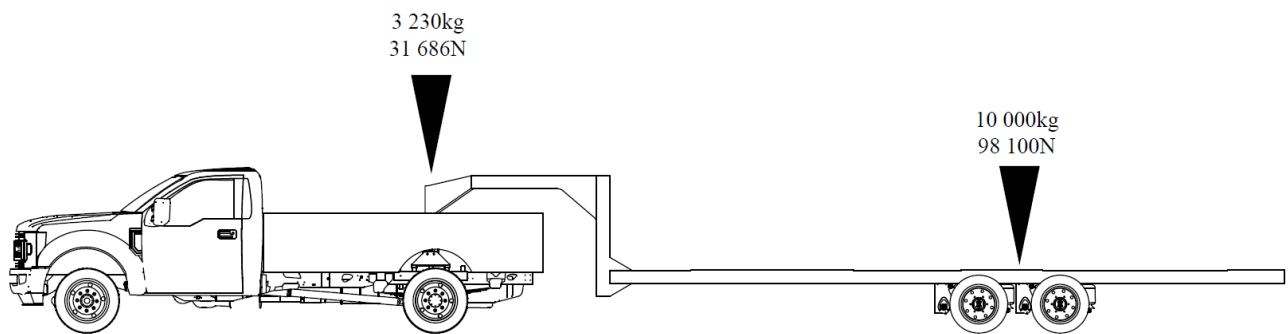
2.1.2 Haagise massid

Haagise raami projekteerimisel on arvestatud lubatud suurima täismassiga antud kategooria haagisele. Nimelt on O3 kategooria haagise lubatud maksimaalne täismass 10t ning sealhulgas on võetud arvesse seda, et poolhaagise massi määramisel võetakse arvesse ainult seda osa mis kandub haagise telgedele. [4]

Haakeseadmele kanduva massi määramisel tuleb arvestada sõiduki tagumise telje kandevõimega, kuna enamuse haakeseadmele kanduvast massist koormab just tagumist telge. Antud sõiduki tagumise telje lubatud suurim koormus on 4554kg ja telje tühimag on 1324kg [5]. Näidissõiduki tagumise telje kandevõime leiab autor telje lubatud maksimaalsest koormusest telje tühimagi lahutamise teel:

$$4554\text{kg} - 1324\text{kg} = 3230\text{kg}$$

Antud näidissõiduki tagumise telje kandevõime on 3230kg. Seega on haagise raami projekteerimisel lähtutud sellest et telgedele kanduv maksimaalne mass on 10t ja haakeseadmele kanduv maksimaalne mass on 3230kg. Selleks et haagise raami projekteerimisel läbi viia koormusanalüüsid on teisendatud massid ka jõuks. Massi teisendamisel jõuks on lähtutud sellest et 1kg massi on võrdeline 9,81N suuruse jõuga [6].



Sele 8. Masside jagunemine

2.2. Raami projekteerimine

Haagise raami projekteerimisel on lähtutud juba olemasolevate hanekaela tüüpi haagiste raami ehitustest. Haagise raami projekteerimisel on pööratud tähelepanu et raami valmistamine oleks võimalikult lihtne ja valmistatav standardsetest ostutoodetest. Sealhulgas on raami projekteerimisel ka arvestatud ka sellega et haagise raami mass oleks võimalikult väike ning samas oleks raam vastupidav lokaalsetele koormustele.

2.2.1 Haagise raami talad

Antud haagise raami talade valimisel on lähtutud põhilistele asjaoludele:

- Saadavus
- Kaal
- Tugevus
- Hind

Oluline tala valimisel on see et raami põhitala oleks saada sellises pikkuses et raami põhitala ei peaks kokku keevitama kahest või enamast talast vaid oleks võimalik raam valmistada nii, et põhitalad on täispikkuses tervikud ehk pikendamata. Seega on vaja et raamitala oleks saada vähemalt 8.3m pikkusena.

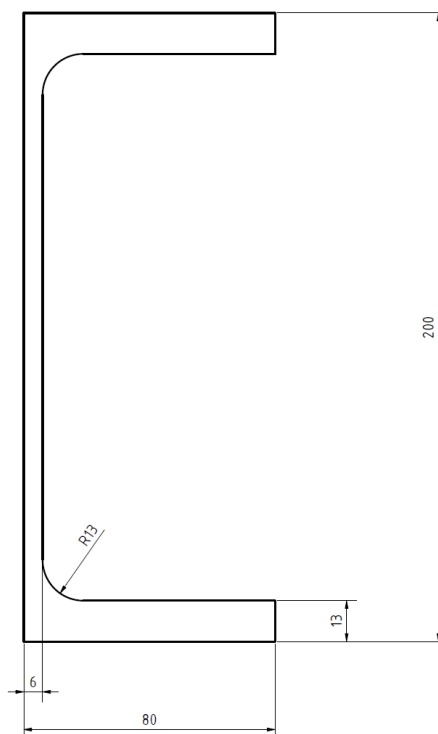
Raami tala profiil peab olema selline et sellele on lihtne kinnitada kinnitusi ja erinevaid seadmeid mida võib vaja minna kas haagise pealisehitusega seoses või siis ka kronsteine mida on vaja hiljem haagisele tüübikinnitamiseks (Näiteks allasõidutõkked).

Selleks et leida kõige optimaalsem raami tala tuleb leida esialgu maksimaalne koormus, mis kandub ühele raamitalale ning määrata koormus millele raami tala materjal vastu peab enne deformatsiooni. Maksimaalne vertikaalne koormus millele raamitala vastu peab pidama on kahekordne sõiduki

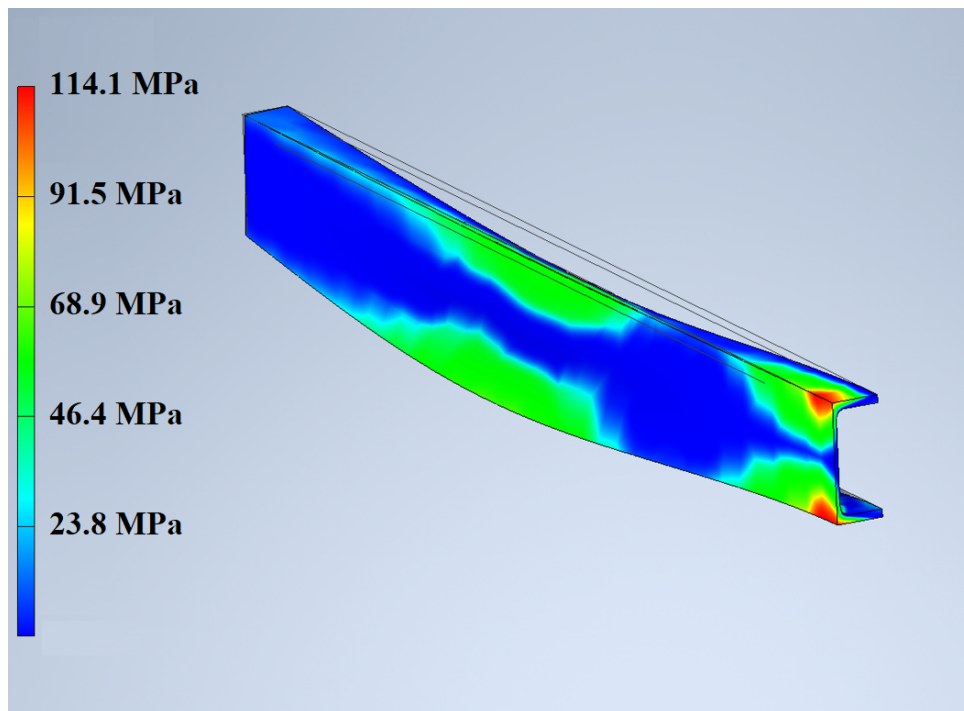
tagumise telje kandevõime haakeseadme ja haagise telje vahelises keskpunktis. Näidisauto tagumise telje kandevõime on 3,15t, seega haakeseadme ja haagise telje vahelisele keskpunktile paigutatud veose mass ei tohi olla suurem kui 6,3t, vastasel juhul on näidissõiduki tagumise telje kandevõime ületatud. 6,3t on võrdeline 62,8kN suuruse jõuga, seega ühele raamitalale mõjuv maksimaalne jõud on 30,9kN.

Selleks projekteeritud raami enda mass oleks väiksem on raamitalade materjaliks valitud S355 margitähisega teras. Juhul, kui materjali paksus on 16mm või õhem on antud terase voolepiir $355 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$ ehk 355MPa [7]. Haagise raami projekteerimise dimensioneerimise osas lähtun vastupidavate materjalide puhul varutegurist 3-4 [8]. Seega terase S355 puhul peaks koormusanalüüsis materjali tekkiv pinge olema 88,75-118,3MPa.

Raami tala valimisel on koormusanalüüs viidud läbi erinevatele I- ja U-tüüpi taladele ning läbi selle leitud kõige optimaalsem mõõdu ja paksusega talad. Koormusanalüüsides tuli välja et kõige optimaalsem U-tüüpi tala mida antud koormuse korral kasutada oleks UPE 200 standardile vastav tala. [9]

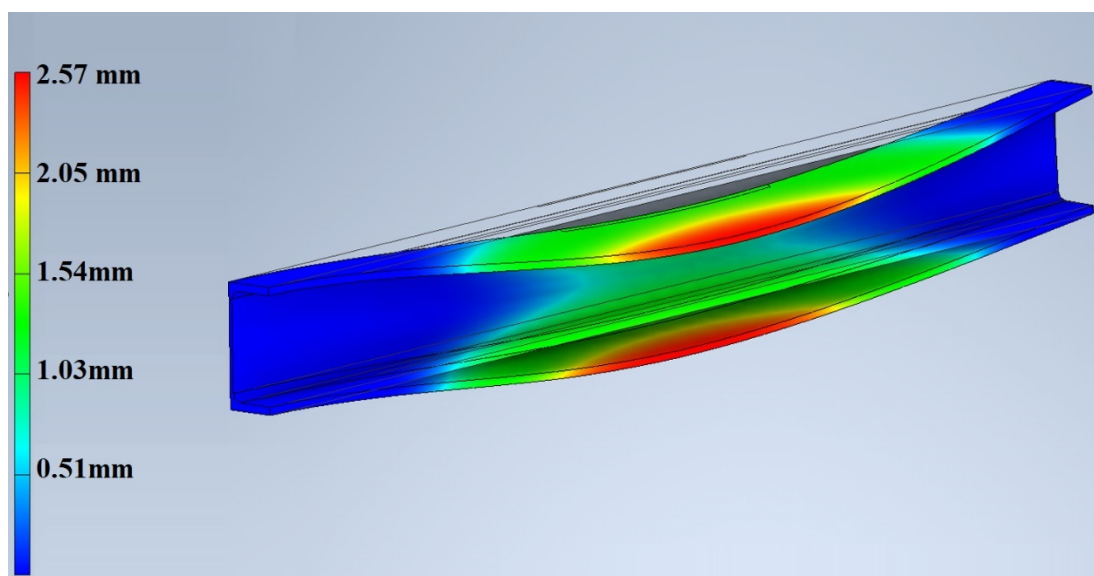


Sele 9. UPE 200 tala



Sele 10. UPE200 Koormusanalüüsi pinge

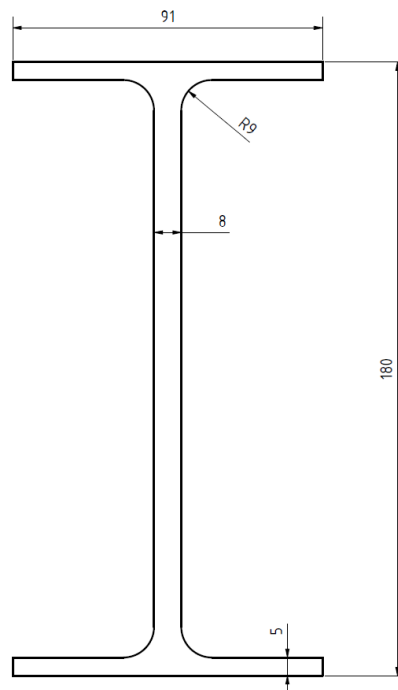
Koormusanalüüsiks on projekteeritud antud raamitala 2m pikkune osa, üks ots on keskkonda kinnitatud ning teisel otsal on ära kaotatud 2 vabadusastet, vabaks on jäetud tala suunaline vabadusaste. Tala keskosale on määratud mõjuv jõud 30,9kN. Maksimaalne pinge mis koormusanalüüsis tekib on keskkonda kinnitatud tala otsa piirkonnas ning selle suuruseks on 114,1MPa.



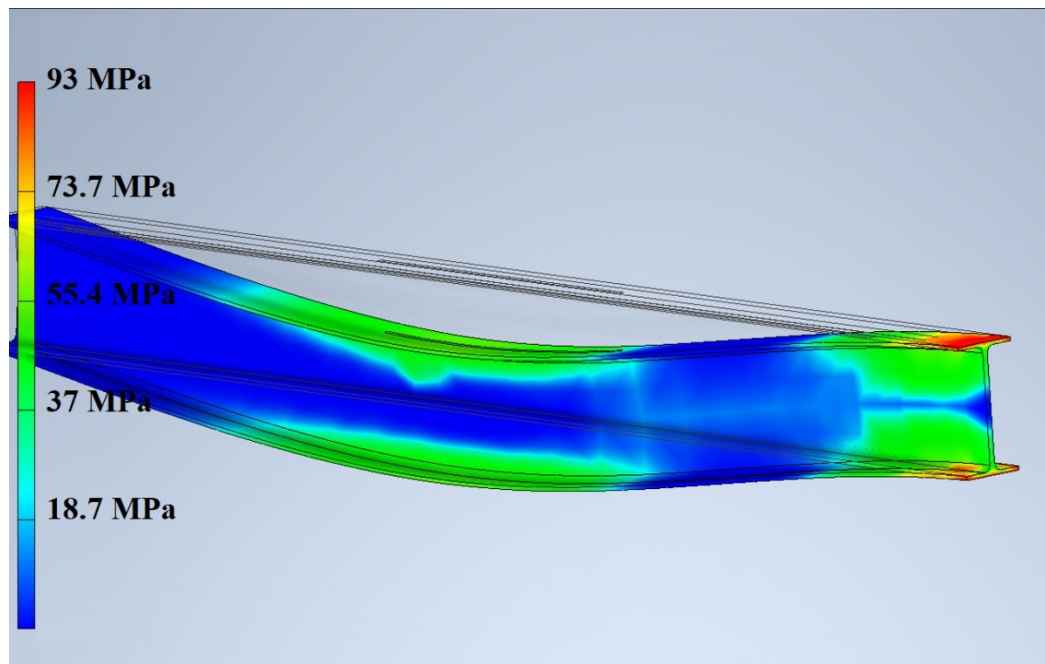
Sele 11 UPE200 koormusanalüüsi läbivajumine

Koormusanalüüsis selgub, et antud tüüpi tala halvimaks küljeks on läbipainumine koormuskatsel. Suurimaks läbivajumiseks antud koormusanalüüsis on 2,6mm, ning analüüsis selgub et vertikaalse koormuse jõu tulemusel hakka tala painduma samas suunas läbi kuhu tala ääred suunatud on.

I-tüüpi talade koormusanalüüside läbi viimisel selgub et optimaalseimaks talaks mida antud koormuse juures kasutada osutub IPE180 standardile vastav tala. [10]

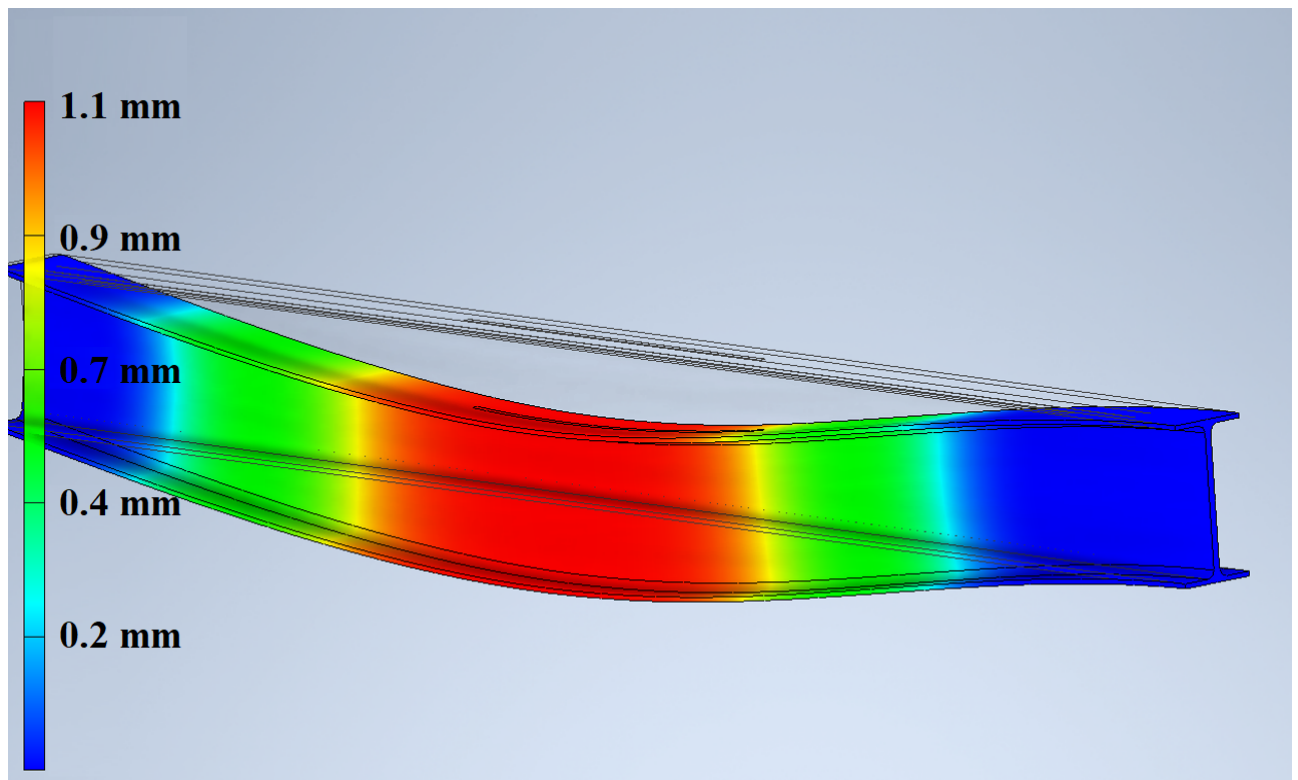


Sele 12. IPE 180 tala



Sele 13. IPE180 Koormusanalüüsi pinge

IPE 180 tala koormusanalüüsi tingimused on täpselt samad nagu UPE 200 tala koormusanalüüsi tingimused. Koormusanalüüsi tulemusel on näha et antud tala maksimaalne pinge tekib samuti tala otsa piirkonda must on võetud ära vabadusastmed, kuid erinevalt UPE talast kanduvad tekkinud suuremale piirkonnale laiali. Tekkinud maksimaalne pinge on 92,03MPa.



Sele 14 IPE 180 läbivajumine

Koormusanalüüsis selgub et antud I-tala läbipaindumine on poole väiksem kui UPE tala läbipaindumine samadel tingimustel läbi viidud koormusanalüüsis. Nimelt on IPE 180 tala maksimaalne läbivajumine 1,1mm 2m kohta vertikaalse suunalise mõjuva jõu korral.

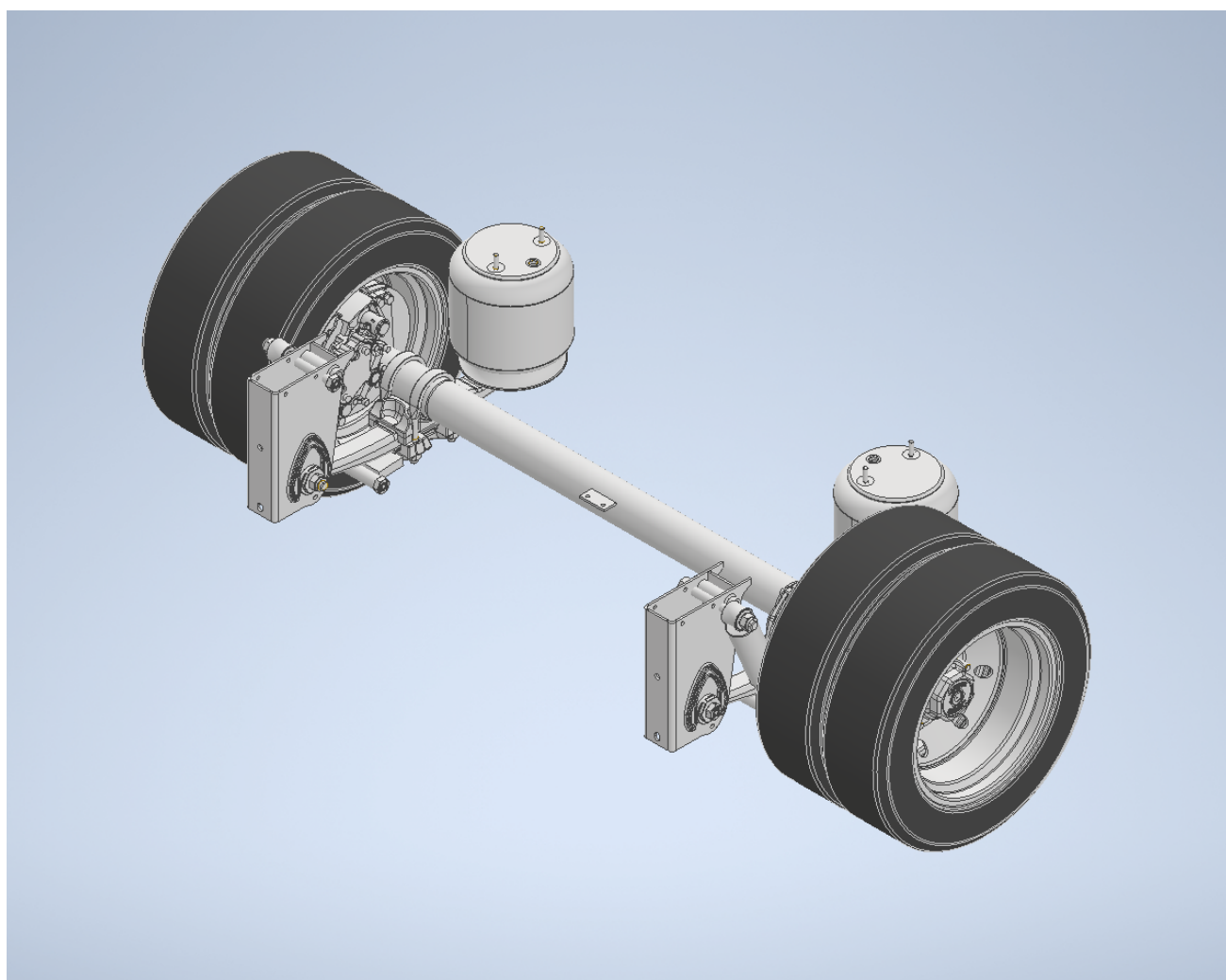
Tulenevalt väiksemast läbipaindumisest koormusanalüüsis ja asjaolust et IPE180 tala kasutamise juures hoiab raami valmistamisel 1m kohta kokku 4kg võrreldes UPE200 talaga on antud raami projekteerimisel otsustatud kasutada IPE180 standardile vastavat tala.

2.2.2 Haagise telgede valik ja asetus.

Kõige optimaalsem on kasutada haagisel võimalikult vähe telgesi, sellest tulenevalt on võimalik hoida kokku haagise enda massi, valmistamis kulu kui ka hilisemat haagise ülal pidamis kulu. Kuna haagise projekteerimisel on arvestatud sellega et haagise raami peale oleks võimalik kinnitada platvorm ilma kõrgendusteta, selleks et kauba vedamise pind oleks võimalikult madal oleks vaja kasutada haagisel võimalikult väikseid rattaid. Väiksemad rattad aga seavad piirangud ette koormuse osas, nimelt on reeglina väiksemate rehvide koormusindeks märkimisväärselt väiksem. Kõige väiksemad veljed mis O-3 kategooria haagisele sobiva teljega ühilduvad on 17.5 tolli suuruses, kui kasutada haagisel kahte telge siis üksikute rataste puhul kandub igale rehville 2500kg maksimaalse

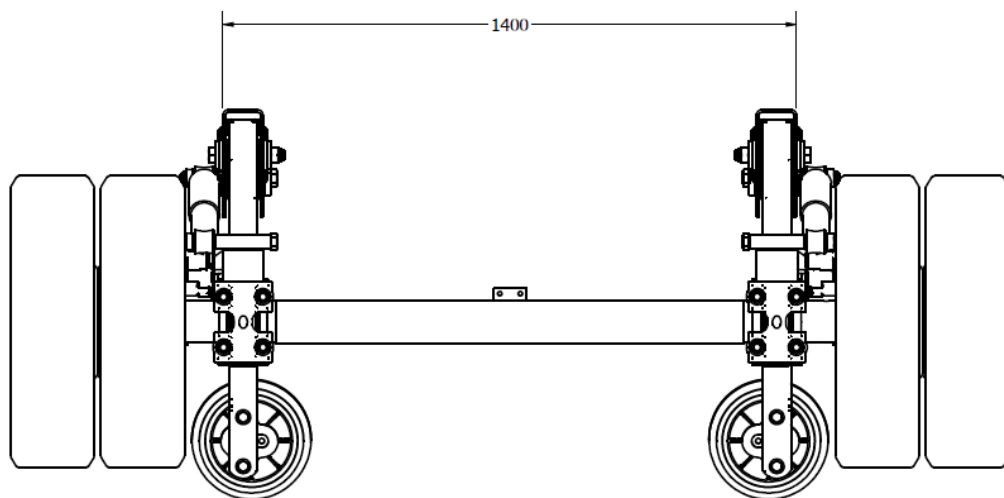
koormuse korral. 2500kg koormuse korral peab olema rehvi koormusindeks vähemalt 140 [11]. Kuna 17.5 tolli suuruses rehve mille koormusindeks oleks 140 või enam ei ole saada või hankimine oleks oluliselt keerukam on oluline kasutada haagisel topelt ratastega telgesi. Sellisel juhul oleks ühele rehvidele kanduv koormus 1250kg. Sellise koormuse juures peaks olema rehvi koormusindeks vähemalt 116 [11] ning selliste rehvide saadavus on juba väga hea.

Tulenevalt rehvidega tulenevatest piirangutest on haagise raami projekteerimisel kasutusele võetud näidisteljeks GIGANT tootja telg tootja tootenumbri DKH2 05506 3334. Antud teljele on ette nähtud 17.5 tolli suuruses rattad, võimalik on kasutada ka topelt ratastega lahendusega ning teljele lubatud maksimaalne koormus on 5500kg. [12]



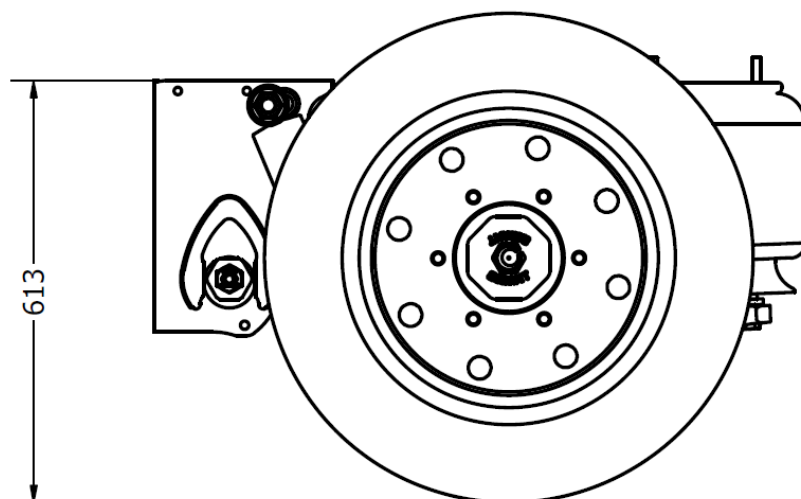
Sele 15. Gigant telg koos vedrustuse ja ratastega

Raami projekteerimisel on vaja arvestada telje kandurite vahelise kaugusega ja telje kinnituse pealmise pinna kaugusega maapinnast. Antud telje kinnituste vaheline kaugus on 1400mm mis määrab ära projekteeritava haagise raami laiuse.



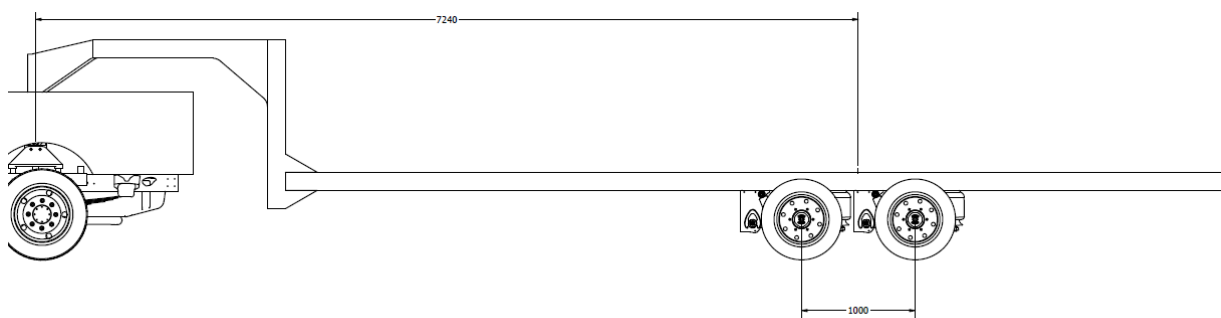
Sele 16. Gigant telje kandurite kaugus

Antud gigant tootja telje kanduri pealmise pinna ja maapinna vaheline kaugus juhul kui kasutada tootja poolt välja toodud näidis rehvimõõtu 205/65 R17,5 on 613mm, sellega määratakse ära haagise raami projekteerimisel haagise raami põhitala kõrgus maapinnast.



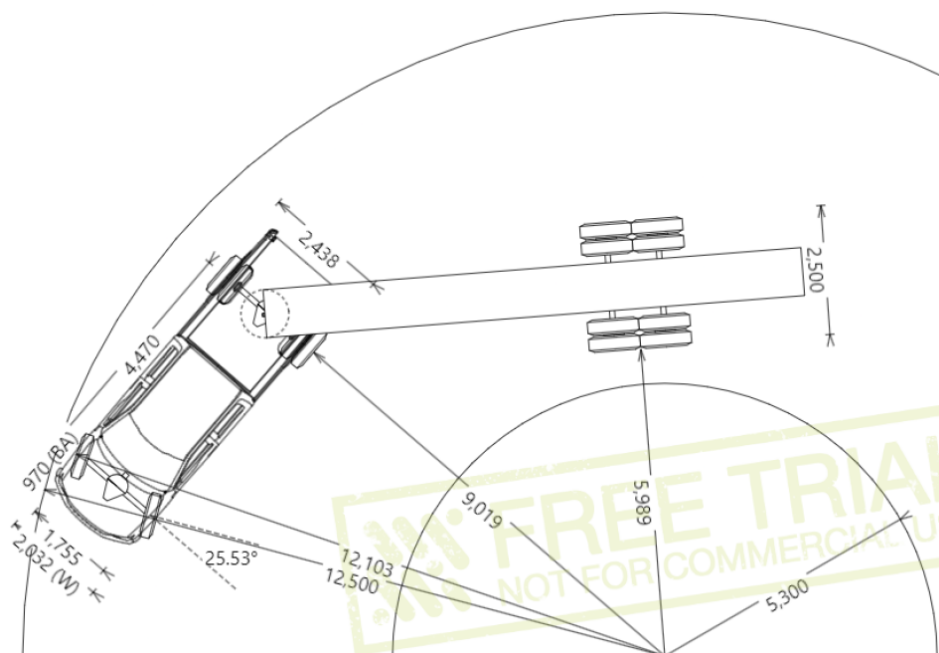
Sele 17. Gigant telje kanduri kõrgus maapinnast

Telgede asetuse juures raami ehitusel on tähelepanu pööratud massi jagunemisele ning seadusandluse nõudele mille kohaselt peab autorong suutma sõita ringteel mille välimine raadius on 12,5m nii et sisemine raadius ei ole väiksem kui 5.3m. Kuna suurem osa haagise kandevõimest kandub telgedele siis on teljed asetatud ka nii et suurem osa koormusest kanduks neile. Selleks et vähendada rehvide kulumist ja telgede rattalaagritele kanduvat koormust on haagise teljed paigutatud üksteisele võimalikult lähedale – antud telgede ja vedrustuse konfiguratsiooni puhul 1m.



Sele 18. Haagise telgede asetus

Autorongi pöörderaadius eelnimetatud näidissõiduki ja projekteeritava haagise näitel on simuleeritud läbi „truckscience“ simulaatori. Juhul kui autorong sõidab ringteel mille välimine raadius on 12,5m siis on sisemise puutumata ringi raadiuseks 5,9m, seega vastab autorong nõuetele.



Sele 19. Autorongi pöörderaadius

2.3. Raami projekteerimine 3D tarkvaraga

3D-tarkvaraga projekteerimine on protsess, mille käigus luuakse virtuaalne mudel objektist, mis võib olla mistahes objekt, toode või isegi bioloogiline keha. Selleks kasutatakse spetsiaalset tarkvara, mis võimaldab kujutada objekti kolmemõõtmelisena.

Projekteerimise alustamiseks tuleb esmalt valida sobiv 3D-tarkvara, mida kasutatakse mudeli loomiseks. Antud haagise raami projekteerimisel on valitud tarkvaraks Autodesk Inventor.

Mudeli loomisel on mitmeid viise, kuid üks levinumaid meetodeid on alustada 2D-plaaniga, ning seejärel muuta see 3D-mudeliks. Seejärel tuleb disainida mudeli kolmemõõtmeline kuju, kasutades selleks erinevaid tööriistu ja funktsioone mis on programmis olemas. Näiteks saab objekti vormi muuta kumeraks või teravaks, lisada sinna detaile, tühikuid jne.

Kui projekteerida suuremat objekti või toodet nagu haagise raam detailsemalt siis on hea projekteerida see koostuna, see annab võimaluse kasutada erinevaid mudeleid mitmes kohas, neid lihtsamalt ümber paigutada ning hiljem kui toode on valmis on võimalik igast mudelist eraldi lihtsalt joonis teha. Lisaks annab toote projekteerimine koostuna võimaluse koostada tootest lõhatud vaade kust on selgemalt aru saada kuidas mis sõlmed ühendatud on ja kus millised detailid asuvad. [13]

2.3.1 Haagise raami konstruktsiooni koormusanalüüs

Koormusanalüüs on vaja raami projekteerimisel viia läbi et selgitada välja kas raam on piisavalt tugev ja kannatab piisavaid koormusi. Vajadusel saab teha muudatusi raami ehituses või struktuuris, selleks et vähendada pingete ja koormuste mõju. Kui koormusanalüüs on edukalt lõpule viidud, võib projekteerija kindel olla, et projekteeritud raam peab vastu kõikidele talle mõjuvatele koormustele ning on turvaline ja usaldusväärne kasutamiseks.

Raami koormusanalüüsi koostamisel tuleb kõigepealt välja selgitada, millist tüüpi koormusi raam peab taluma. Näiteks võib raamile mõjuda dünaamilisi koormusi sõidu ajal nagu pöördejõud, kiirendus- ja pidurdusjõud, samuti staatilisi koormusi nagu haagise enda mass ja selle koorma mass. Koormused võivad olla erineva suuruse ja suuna ning mõjuda erinevatel punktidel raamil.

Koormus analüüsi läbi viimiseks on antud töös kasutatud programmi Autodesk Inventor. Antud programmis saab kasutaja valida erinevate analüüsi meetodite vahel, näiteks saab teostada staatilist analüüsi, dünaamilist analüüsi, termilist analüüsi jne. Lisaks saab kasutaja valida erinevate materjalide vahel, määrata nende omadused ning seadistada ka piirangud ja koormused vastavalt vajadusele.

Kui analüüs on lõpetatud, saab kasutaja vaadata tulemusi, mis võivad sisaldada erinevaid näitajaid, näiteks deformatsiooni, pinget, tugevusreserve jne. Tulemuste põhjal saab hinnata toote vastupidavust ja ohutust ning vajadusel teha täiendavaid muudatusi, et toode vastaks nõutavatele standarditele ja oleks turvaline kasutada. [14]

Antud töös on haagise projekteerimine teostatud pidevalt läbi koormus analüüsi tulemustele, kõik lahendused on jooksvalt teostatud koormus analüüsides tulnud pingede jagunemise ja läbipaindeid järgides.

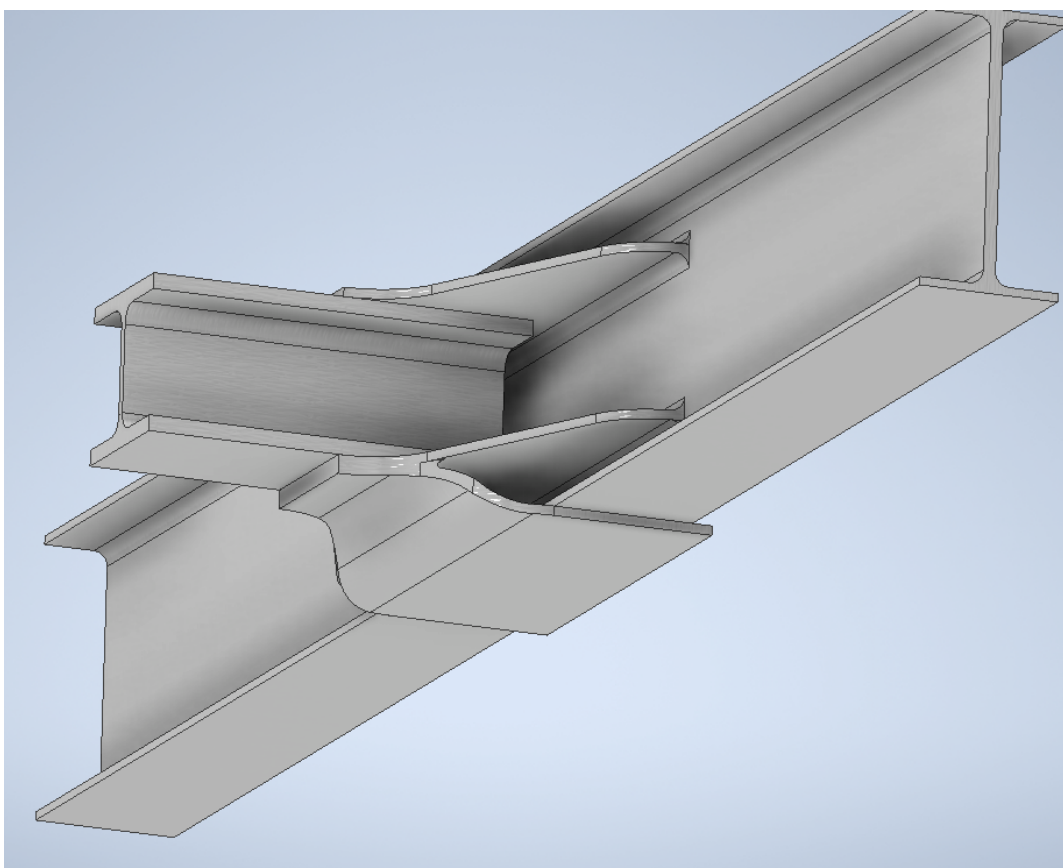
2.3.2 Raami konstruktsiooni projekteerimine

Vastavalt välja selgitatud lähteandmetele ning läbi koormusanalüüsides välja valitud raamitala on esimesena valmis projekteeritud haagise telgede kinnitused. Telje kinnituse projekteerimisel on võetud arvesse manööverdamisel tekkiva jõuga mis mõjub telje kinnitusele raamitala suhtes risti suunal. Selleks et leida maksimaalne jõu suurus tuleb määrata hõõrdejõud ideaalsetes tingimustes rehvi ja teepinna vahel. Hõõrdejõu leiame läbi järgneva valemi.

$$F_F = \mu * F_N$$

Kus F_F on hõõrdejõud, μ hõõrdetegur ja F_N normaaljõud ehk vertikaalselt hõõrdepinnale mõjuv jõud [15]. Ühele teljele maksimaalne lubatud mass on 5500kg ehk 53 955N, ning rehvi hõõrdetegur kuival asfaldil ideaalsetes tingimustes on 0,6 [16]. Antud lähteandmete põhjal valemi abil leitud hõõrdejõud on 32 373N.

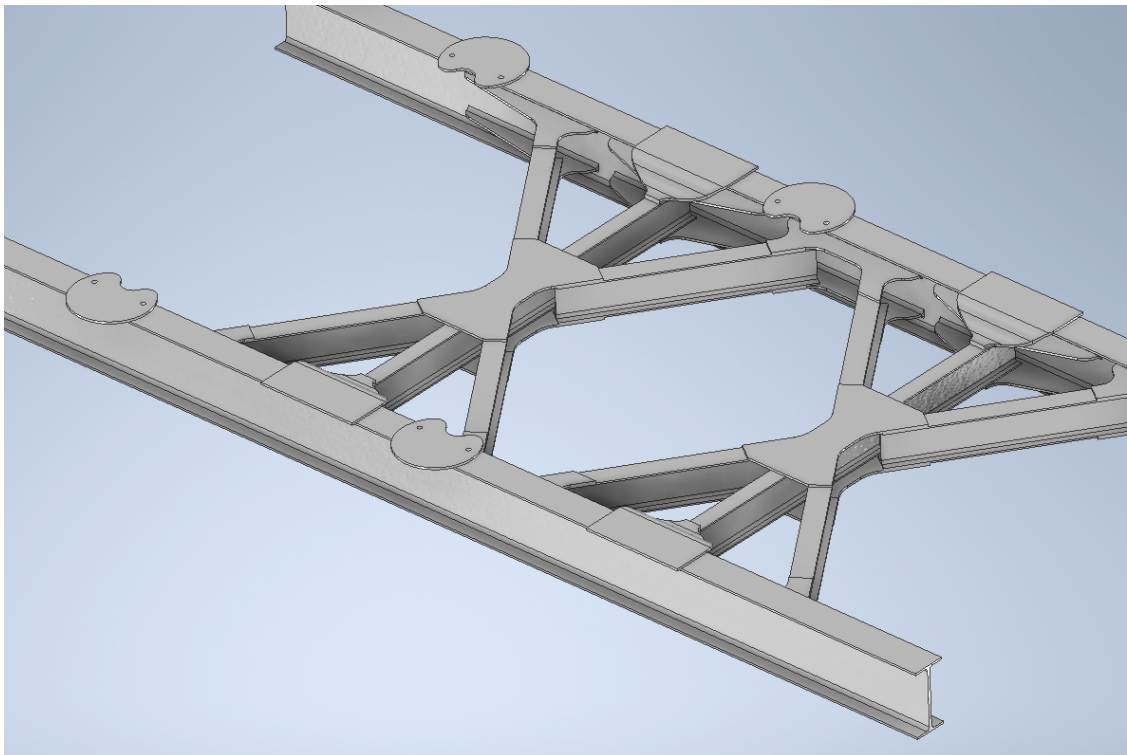
Selleks et telje kinnitusele mõjuv jõud mõjuks suuremale osale raamile ning raam oleks telgede kinnituste piirkonnast tugevam on teljekinnituste piirkonda projekteeritud raami vahetalad ning et telje kinnitusele mõjuv raami suhtes ristisuunaline jõud kanduks edasi ka vaheraamile on vaheraam ja telje kinnitus ühendatud painutatud lehtmetailiga (Sele 20).



Sele 20 Telje kanduri kinnitus

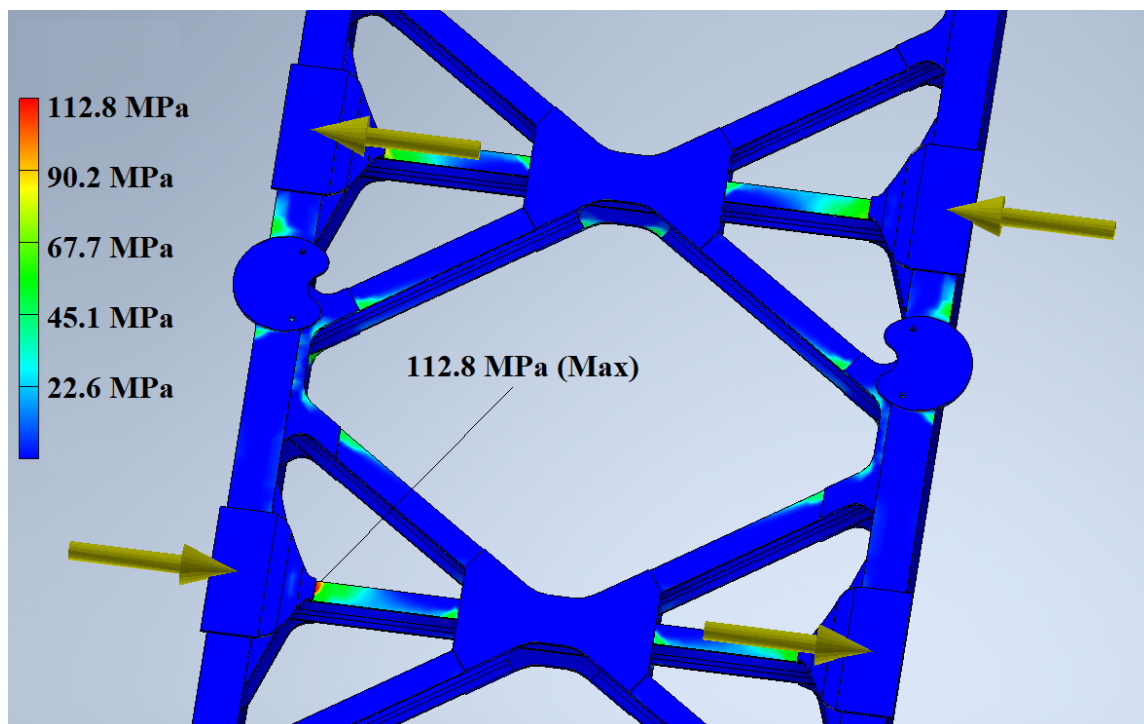
Mõlema telje kinnituse vahetalad on lisaks ühendatud raamiga diagonaaltaladega selleks et manööverdamisel kanda mõjuvas jõust tekitud pinge jagada suurema piirkonna peale laiali. Selleks et vedrustuse õhkpadjad oleksid telgede kandurite toetuspinna samal tasandil ning terve õhkpadja pealmine pind oleks toetatud on õhkpadjade kinnitusteks projekteeritud lehtmetailist kettad millel on

õhutoru ühenduse kinnitamiseks raami seespool süvendid. Õhkpadjad kinnituvad poltidega läbi raami alumise pinna.



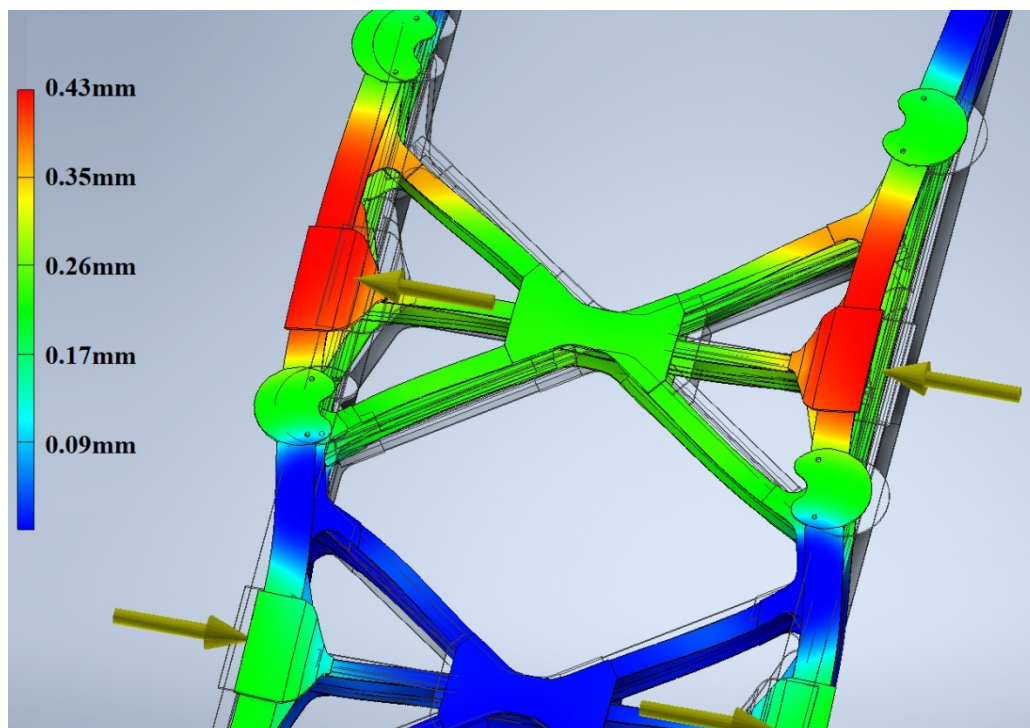
Sele 21 Telgede kandurite tugevdused

Telgede kandurite kinnituste koormusanalüüs on teostatud 3m pikkusel raami osal, raami ühel otsal on piiratud kõik vabadusastmed ning teisel otsal on raamitala suunaline vabadusaste vabaks jäetud kuid horisontaalne ja vertikaalne vabadusaste on piiratud. Selleks et analüüsida täis koormatud haagise manööverdamist on ühte telje kandurite kinnitustele määratud raami suhtes risti suunal eelnevalt välja arvutatud hõõrdejõud 32 373N ning teise telje kandurite kinnitustele sama suur jõud vastupidises suunas.



Sele 22 Telgede kandurite koormusanalüüs paindele

Koormusanalüüsis on näha et manööverdamisel raamile kanduv pinge on tänu vahetalade diagonaal taladele jagatud laiali erinevatesse piirkondadesse, tänu millele on vähendatud maksimaalne lokaalne pinge 112.8MPa-ni.



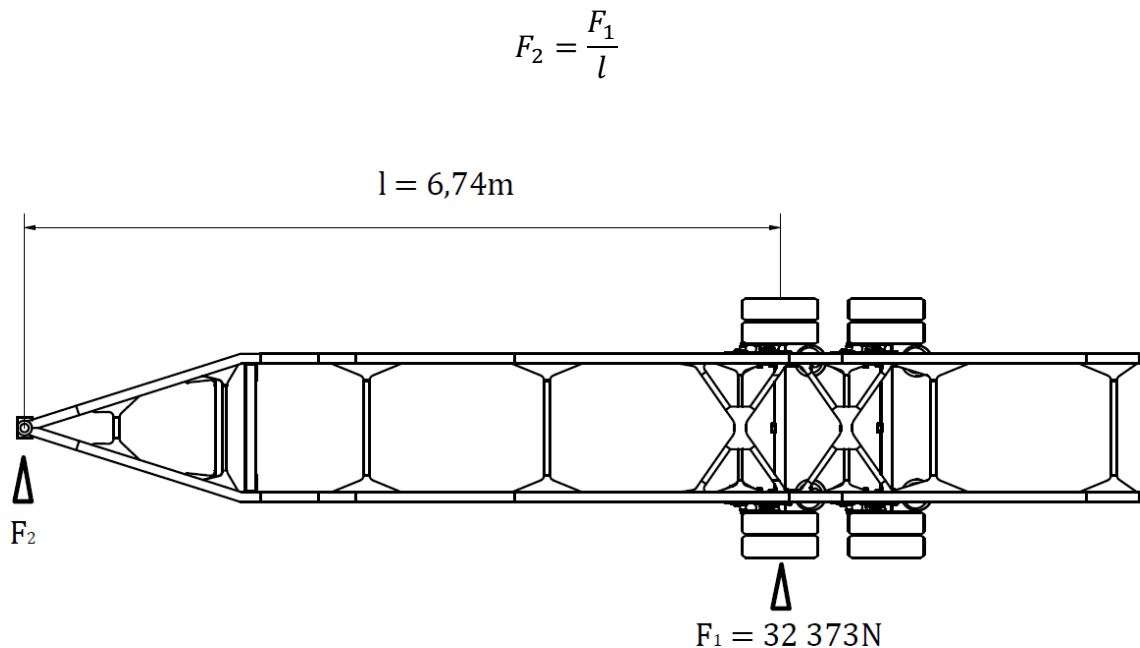
Sele 23 Telgede kandurite läbipaindumine

Läbi viidud koormusanalüüsis selgub, et raami maksimaalne läbipaindumine antud tingimustel on 0,43mm.

Haagise esiosa projekteerimisel on lähtutud samuti maksimaalselt koormatud haagisega manööverdamisele hea asfaltkattega teel. Selleks et leida jõu suurus mis on vaja rakendada haagisele läbi haakeseadme selleks et saavutada haagise esimese telje piirkonnas rehvide ja teepinna vaheline hõõrdejõud kasutatakse järgmist valemit.

$$F_1 = F_2 * l$$

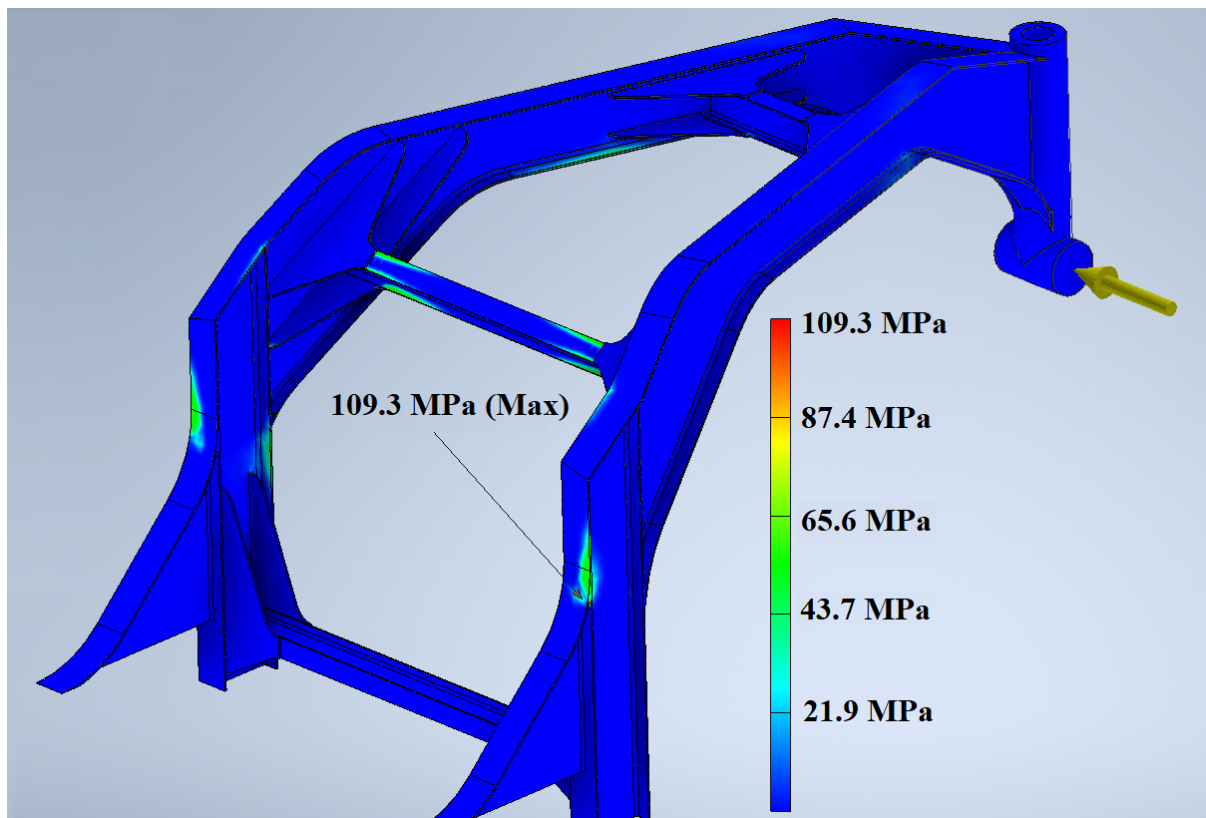
Kus F_1 on haakeseadmele mõjuv jõud, F_2 haagise eespoolse telje rehvide ja teepinna vaheline hõõrdejõud ning l on haakeseadme veopoldi kesk telje ja haagise eespoolse telje rehvide puutepunkti vaheline kaugus. Seega läbi haakeseadme mõjuva jõu leian läbi järgneva valemi.



Sele 24 Manööverdamisel läbi haakeseadme mõjuv jõud

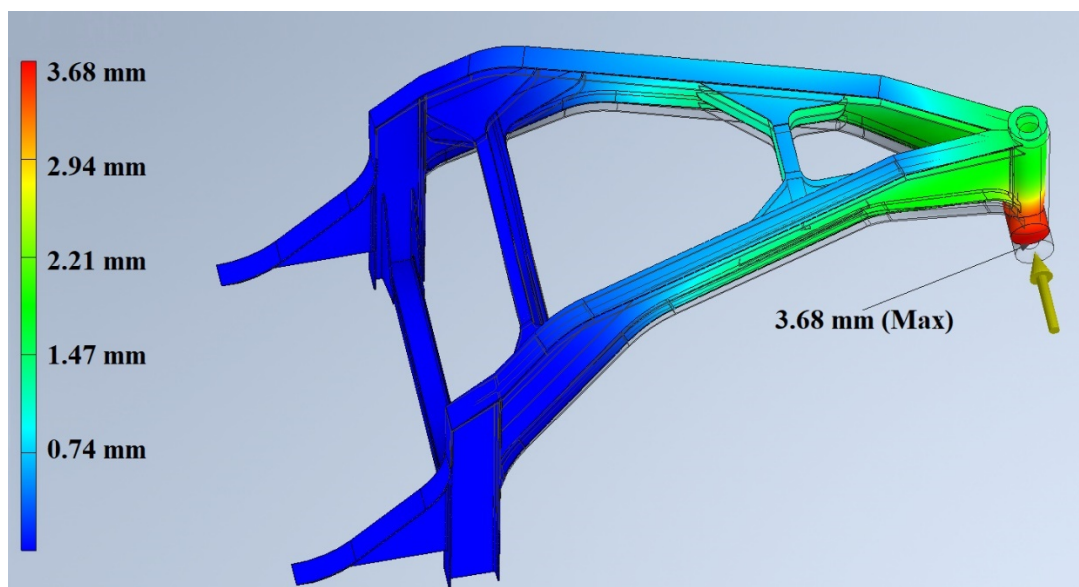
$$F_2 = \frac{32373}{6,74} = 4\,803\text{N}$$

Läbi ülaltoodud arvutuskäigu on leitud et haagise esimese telje rataste puutepunktis hõõrdejõu saavutamiseks on vaja haagise haakeseadmele avaldada 4803N suurune jõud. Antud jõud on avaldatud ka haagise esimese osa koormusanalüüsis haakeseadme veopoldi piirkonda. Koormusanalüüsis on kaotatud ära pindade kõik vabadusastmed mis puutuvad kokku raamiga.



Sele 25 Haagise raami esiosa koormusanalüüs paindele

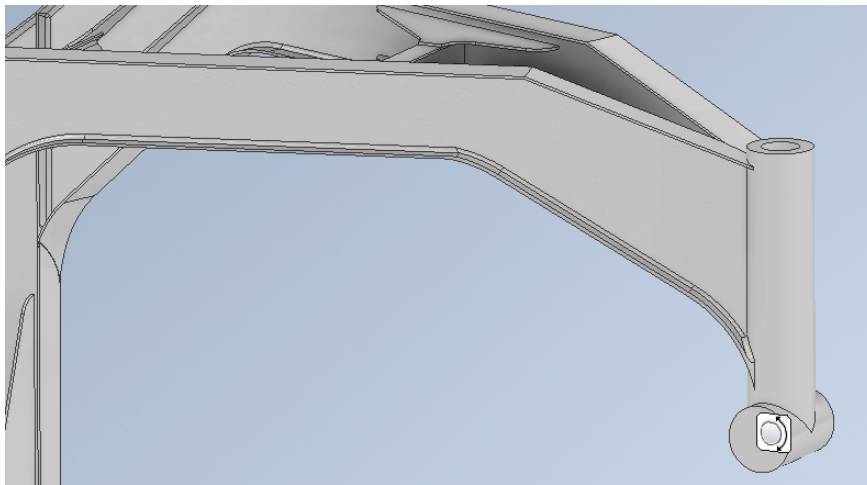
Haagise raami esiosa koormusanalüüsis on näha et suurim pinget tekib püsti oleva tala ja raamitala vahelise tugevduse nurka kuid tekkiv pinget on lubatud piirides on säilitatakse antud terase voolepiiri 3-4 kordne varutegur.



Sele 26 Haagise raami esiosa läbipaindumine

Antud analüüsis on haagise raami haakeseadme piirkonna maksimaalne läbipaine 3,68mm. Kuna antud analüüsis on piiratud ainult raamitaladega ühenduvad pinnad mis asuvad antud punktist kus on läbipaine kõige suurem ning analüüsis välja tulnud pinged selles piirkonnas äärmiselt väikesed siis on selline läbipaindumine täielikult normaalne ja lubatud.

Selleks et haagise raamile saaks teha täpsemaid realistlikemaid koormusanalüüse on vaja analüüsis lubada haakeseadme piirkonda tangentsiaalne vabadusaste ehk haakeseadme peab laskma haagise raami kaldenurka ilma takistusteta muutuda. Selleks et programmis saaks seda lubada on haagise esiosa haakeseadme piirkonda projekteeritud haagise raami suhtes pikali olev silinder.



Sele 27 Koormusanalüüsiks vajalik kinnitus

Haagise raami esiosa on ka äärmiselt kriitiline osa pidurdamisel ning seetõttu on raami esiosa projekteerimisel ka jälgitud seda et haagise raami esiosa peaks vastu pidurdusel tekkivate pingetega. Kehtiva seadusandluse kohaselt peab täiskoormatud N2 kategooria sõiduki aeglustus kõva kattega teepinnasel olema vähemalt 4 m/s^2 , vaatamata kas sõiduk on ühendatud haagisega või mitte [4]. Projekteeritava haagise maksimaalne kogumass on 13 230kg. Pidurdamisel haagise esiosale mõjuv jõud on leitud läbi kiirendusjõu valemi.

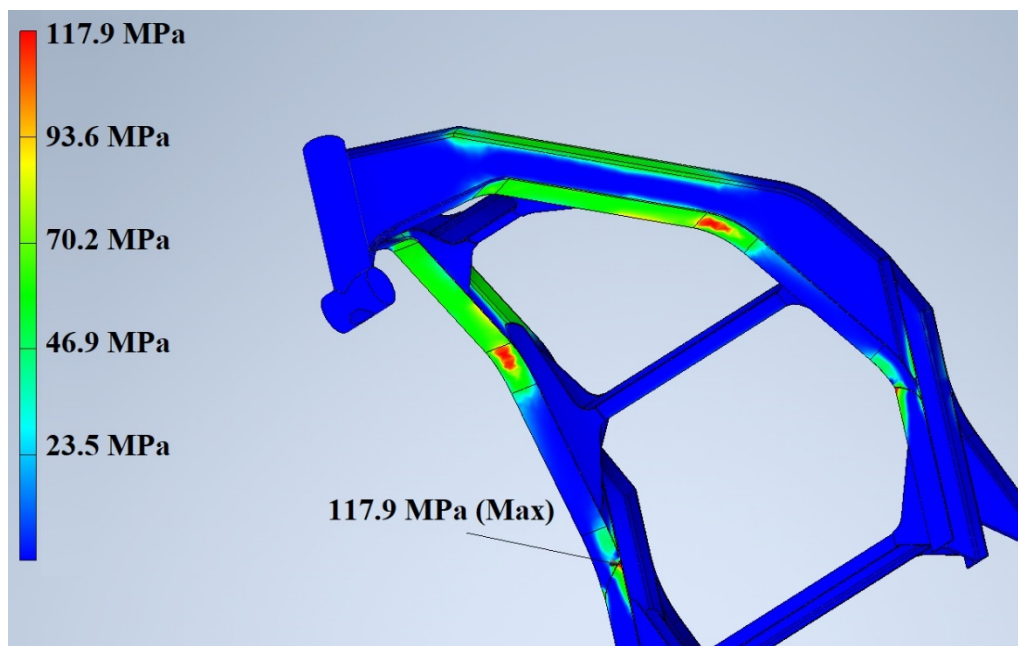
$$F = m * a$$

Kus F on kiirendusjõud, m kiirendava keha mass ning a kiirendava keha kiirendus. [6]

$$F = 13\,230 * 4 = 52\,920\text{N}$$

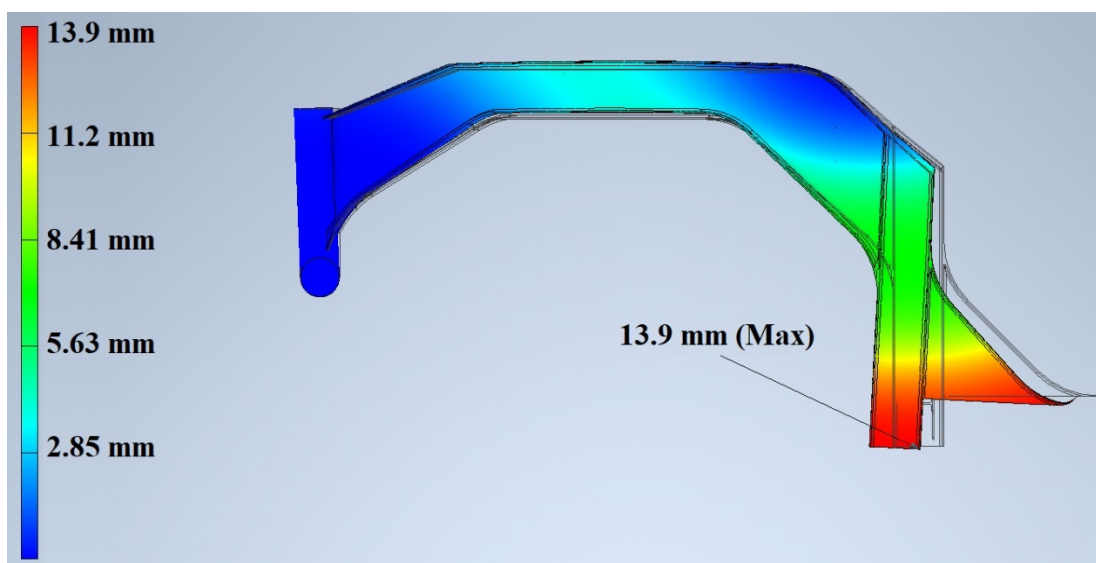
Aeglustuse koormusanalüüsis on haakeseadme piirkonda projekteeritud silindrile lubatud ainult tangentsiaalne vabadusaste ning piiratud on haagise esiosa kõige tagumise serva vertikaalne

vabadusaste selleks et analüüsi käigus ei saaks haagise raami esiosa liiga palju pöörelda. Haagise raami talade ühenduspindadele on määratud aeglustusest tulenev jõud.



Sele 28 Haagise raami esiosa koormusanalüüs aeglustusel

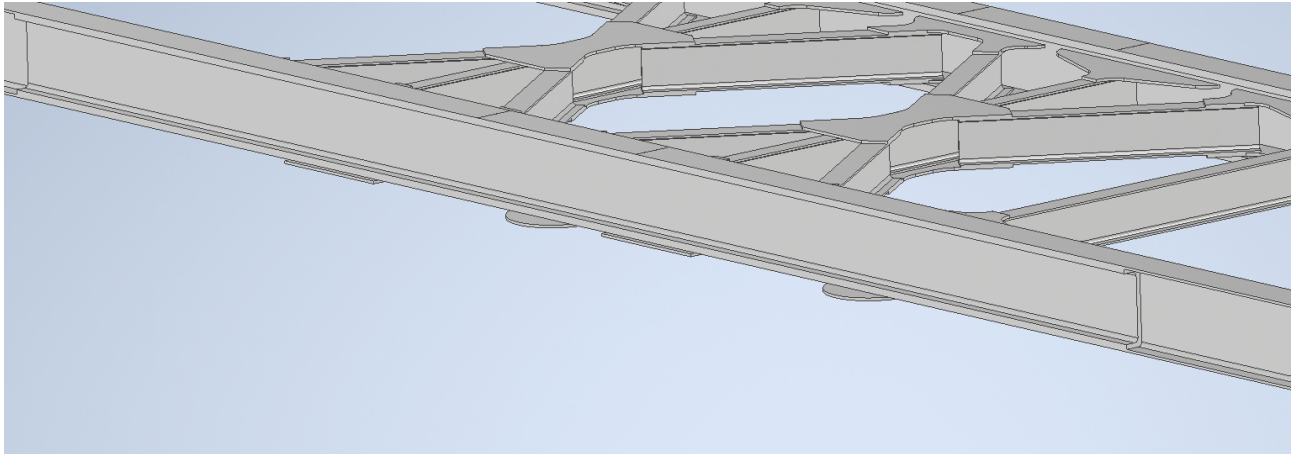
Antud koormusanalüüsis on näha et raami esiosa ehituses jagunevad pinged suurele osale laiali ning maksimaalne pinge 117.9MPa tekib pöördekohta nurka kus saab haagise raami esiosa diagonaaltala kokku püsti oleva talaga kui pinge on piisavalt väike et säilitada antud terase voolepiiri kolmekordne varutegur.



Sele 29 Haagise raami esiosa läbipaine aeglustusel

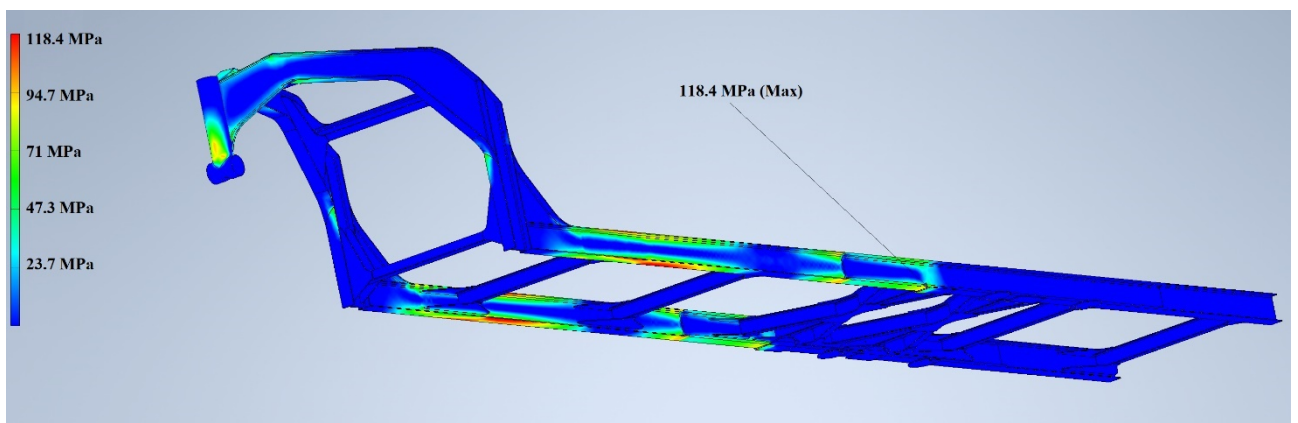
Analüüsis selgub et haagise raami esiosa maksimaalne läbipaine aeglustusel on 13.9mm. Kuna analüüsis välja tulnud pinged jagunevad laiali väga suurele osale raami esiosale siis leiab autor et antud analüüsis on selline läbipaine lubatud ning sellest ei teki terase struktuuris väsimust.

Selleks et vertikaalse koormuse korral kanduks haagise raami telgede kandurite kinnitustele mõjuv pinge laiali suuremale osale raamile on haagise raami põhitalad tugevdatud telgede kandurite kinnituspiirkonnast.



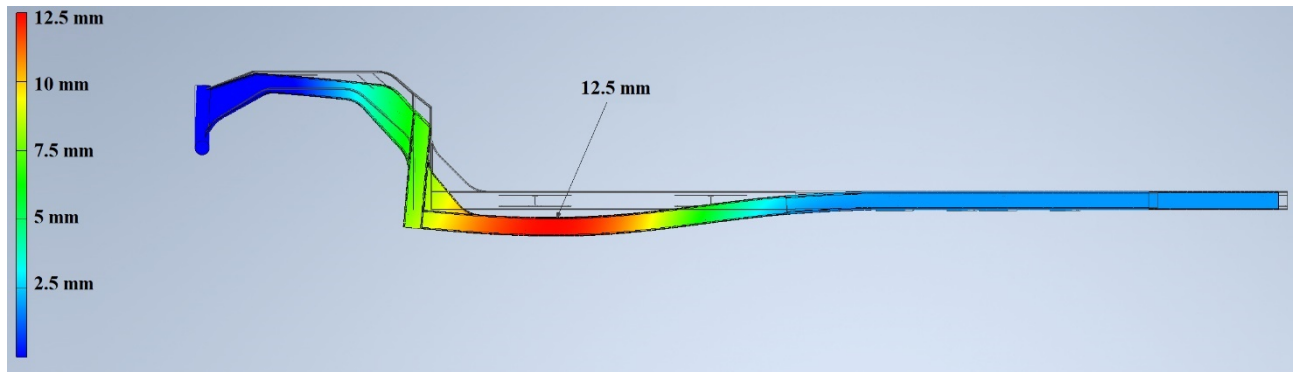
Sele 30 Raami põhitala tugevdused

Terviku raami tugevus kontrolliks vertikaalse koormuse korral on läbi viidud koormusanalüüs eelnevalt raami põhitalade koormusanalüüsis välja toodud lähteandmete põhjal, ehk haakeseadme kesk telje ja telgede kinnituste vahelisele keskpunktile mõjub kahe kordne näidissõiduki taga telje kandevõime suurune jõud ehk 62,8kN. Analüüsis on haakeseadme piirkonda raami esiosas lubatud ainult tangentsiaalne vabadusaste ning telgede kandurite kinnitus punktides on piiratud vertikaalne vabadusaste.



Sele 31 Haagise raami koormus analüüs vertikaalsele koormusele

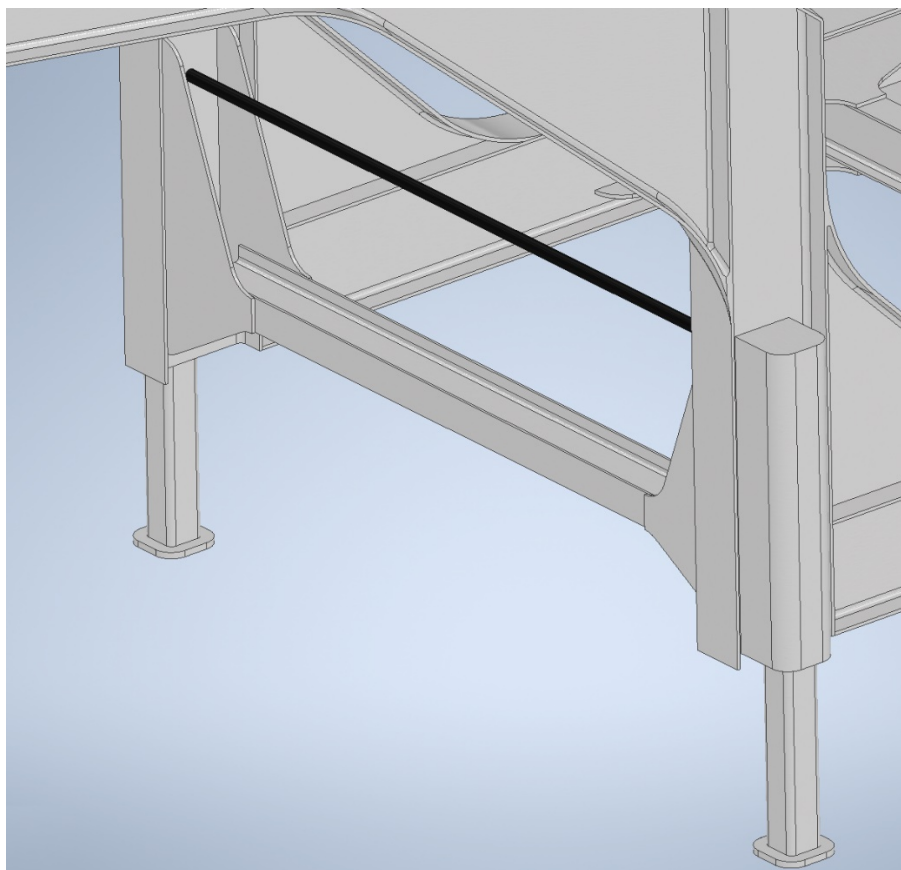
Koormus analüüsis vertikaalse koormuse korral tuleb selgelt välja raamitalade tugevduste mõju pinge jaotamisel raami ehituses. Maksimaalne pinge tekib küll telje kanduri kinnituse piirkonda kuid suur osa pingest on jaotatud tänu tugevdustele telje kandurist ettepoole.



Sele 32 Haagise raami läbipaine vertikaalse koormuse korral

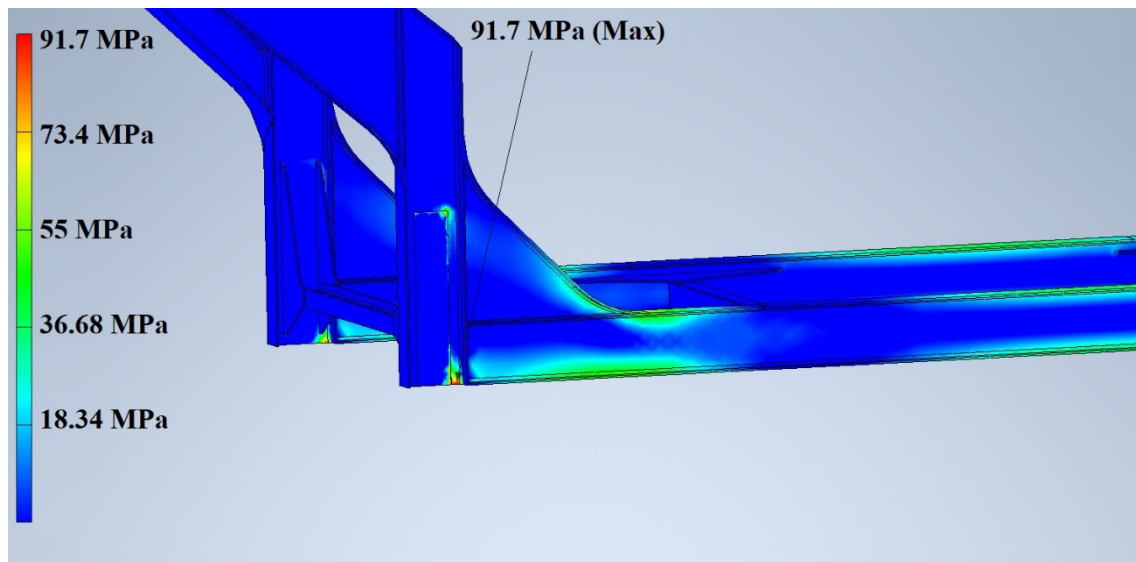
Läbi viidud analüüsis on ka näha et maksimaalne läbipaine haagise raamis on 12.5mm, kuna antud läbipaine tekib 6,7m pikkuse raami osa peale siis leiab autor et andur maksimaalne läbipaine on täiesti normaalne.

Oluline on siinkohal ka kontrollida kas antud projekteeritud haagise raam peab vastu samale vertikaalsele koormusele juhul kui haagis on asetatud tugijalgadele. Tugijalgade kinnitamiseks on projekteeritud haagise raami esiosale püsti talad mille süvendisse saab kinnitada tugijalad, püsti talade vahel ei ole vahetala selleks et talade vahelt saaks ühendada tugijalad võlliga mille abil saab tugijalgasi kerida alla või ülesse ühelt poolt haagist. Tugijalgade kinnitused tuleb projekteerida selliselt et nad oleksid raami põhitalast nõrgemad, et olukorraks kus haagise jalad on jäetud ülesse kerimata ja tugijalgadega sõidetakse kusagile otsa ei saaks kannatada haagise raam vaid murduksid tugijalad kinnitustest lahti.



Sele 33 Haagise tugijalad

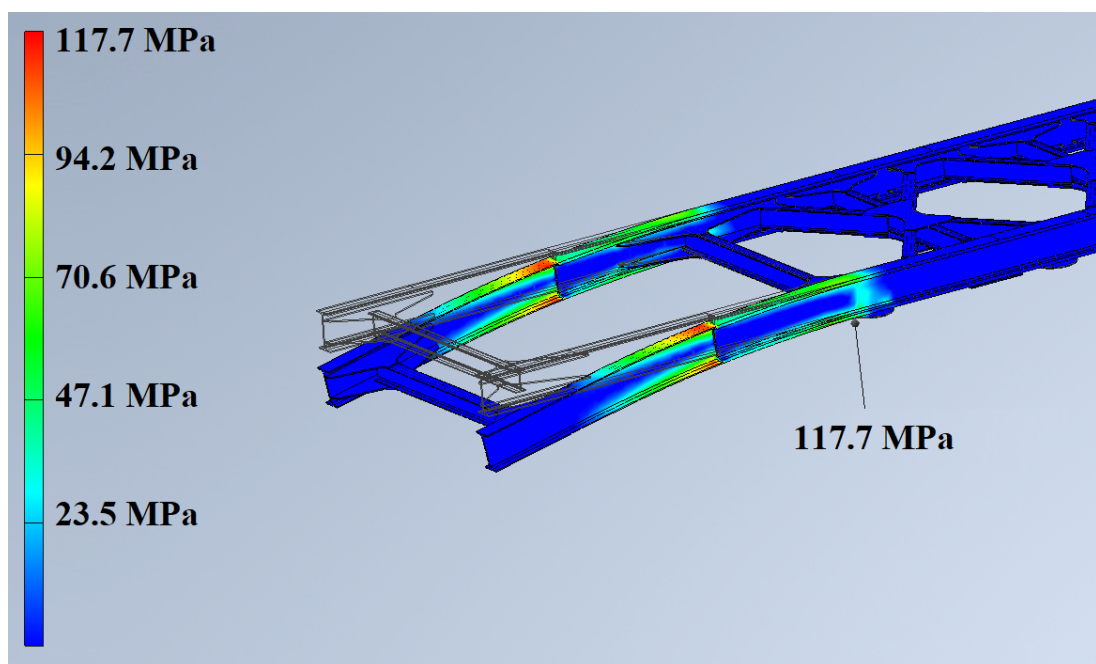
Järgnevas analüüsis on tekitatud olukord kus haagis seisaks tugijalgadel, selleks on tugijalgade kinnituste pindadel ära kaotatud kõik vabadusastmed, telgede kinnituste pindadel kaotatud ära vertikaalne ja raamiga ristisuunaline vabadusaste ning haagise raamile on määratud vertikaalne jõud 62,8kN.



Sele 34 Tugijalgade koormus analüüs

Antud analüüsis tekkiv maksimaalne pinge on väiksem kui olukorras kus haagis on autoga ühendatud ning maksimaalse minge asukoht on hoopis tugijala kinnituse piirkond. Koormusanalüüsis selgub et antud haagise saab toetada tugijalgadele täielikult koormatuna.

Raami taguosa vastupidavuse kontrolliks on läbi analüüsitud olukord kus haagisele sõidaks sõiduk mille telje mass on 5t ehk haagise raami taguosale mõjuva vertikaalse jõu suurus on 49 050N. Vabadusastmete kohapealt on tingimused antud analüüsis samad mis eelnevas analüüsis.



Sele 35 Haagise raami taguosa koormus analüüs

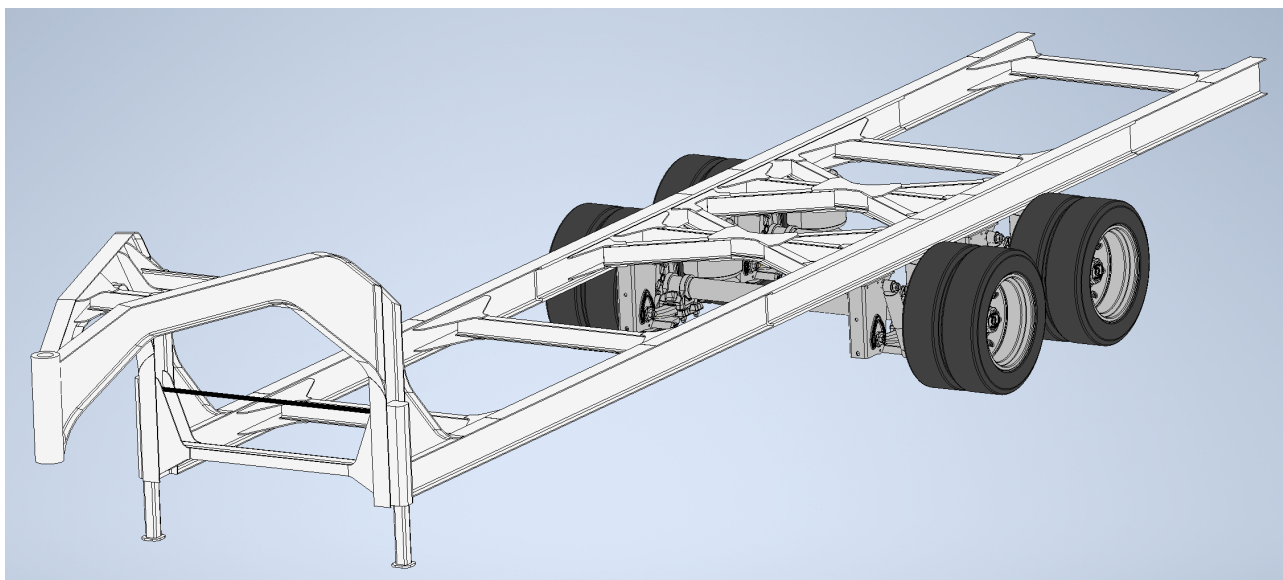
Antud analüüsis tekkinud maksimaalne pinge tekib haagise tagumise telje õhkpadja kinnituse piirkonda ja selle suurus on 117.7MPa. Koormusanalüüsi põhjal saab kindel olla et antud haagise raamile saab sõita peale sõidukiga mille teile reaalne mass on 5t.

2.4. Projekteeritud haagise raam.

Antud töös projekteeritud haagise raami tugevuses on projekteerimise käigus autor veendunud läbi tugevus analüüside, haagis on projekteeritud jälgides järgmisi ette seatud eesmärke:

- Optimaalne raami mass
- Reaalselt koostatav raam standard materjalidest
- Seadusandlustele vastav haagise raam

Sealhulgas on raam projekteeritud selliselt et seda oleks võimalik kasutada erinevate kasutuseladel, ka platvorm haagisena, liikuva töökojana, loomade veo haagisena või näiteks treilerina. Haagise raami ehituses on järgitud et raam oleks ühendatav välja valitud telgedega ning haagist saaks kasutada nii veokuuli tüüpi haakeseadme kui ka haakesadulaga. Autodesk Inventori arvutuskäigu põhjal on projekteeritud haagise raami mass ilma tugijalgade ja telgedeta 1036,6kg ehk 7,8% haagise potentsiaalsest täismassist.



Sele 36 Projekteeritud haagise raam

KOKKUVÕTE

Lõputöö eesmärk oli projekteerida O3 kategooria haagise raam, mis vastab O3 haagise tüübi kinnitus nõuetele. Lõputöö raames projekteeriti O3 haagise raam lähtudes staatiliste koormusanalüüsides.

O3 kategooria haagise raam projekteeriti Autodesk Inventori keskkonnas. Sama keskkonda kasutati ka koormusanalüüsides läbiviimiseks. Seadusandluse uurimiseks kasutati kehtivaid riigiseadusi. Erinevate füüsikaliste seaduste ja haagise raamile mõjuvate jõudude välja selgitamiseks kasutas autor mehaanikainseneri käsiraamatut, mis on koostatud TalTech ülikooli poolt.

Töö hõlmas ka Koormusanalüüsi. Koormusanalüüsis selgus, et vastavalt lähteandmetes välja toodud koormustele peab projekteeritud haagise raam vastu nii, et raamistruktuuri tekivad pinged ei ületa valitud voolepiiri kolmekordset varutegurit.

SUMMARY

The aim of the thesis was to design a frame for an O3 category trailer that meets the attachment requirements of the O3 trailer type. The design of the O3 trailer frame was carried out based on static load analysis within the scope of the thesis.

Autodesk Inventor was used as the environment for designing the O3 category trailer frame. The same environment was also used for conducting load analysis. Valid national laws were consulted for the study of legislation. In order to determine the various physical laws and forces acting on the trailer frame, the author referred to a mechanical engineering handbook compiled by TalTech University.

The work also included load analysis, which revealed that the designed trailer frame withstands the specified loads with stress levels not exceeding three times the selected safety factor.

VIIDATUD ALLIKAD

- [1] J. Harmer, „Camperreport.com,“ Camper Report, 27 04 2021. [Võrgumaterjal]. Available: <https://camperreport.com/fifth-wheels-vs-goosenecks-whats-the-difference/>.
- [2] EBY, „mheby.com,“ EBY, [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.mheby.com/product/gooseneck-equipment-trailer-16k>.
- [3] E. L. Nõukogu, „eur-lex.europa.eu,“ EUR-Lex, 14 08 2019. [Võrgumaterjal]. Available: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ET/TXT/?uri=CELEX%3A31996L0053&qid=1679493101209>.
- [4] T.-. j. Sideminister, „riigiteataja.ee,“ Riigi Teataja, 18 05 2001. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.riigiteataja.ee/akt/85417>.
- [5] Ford, „madocumentupload.marketingassociates.com,“ Ford, [Võrgumaterjal]. Available: <https://madocumentupload.marketingassociates.com/api/Document/GetFile?v1=6104457&v2=072321105101&v3=60&v4=b3955ba398dcddc1b66fb637f0708b5057048c362b8c3df1bc14f298&v5=False>.
- [6] R. Gomeringer, M. Heinzler, R. Kilgus, V. Menges, S. Oesterle, T. Rapp, C. Scholer, A. Stenzel, A. Stephan ja F. Wieneke, „Jõudude liigid,“ %1 *Mehaanikainseneri käsiraamat*, Verlag Europa-Lehrmittel, 2021, p. 34.
- [7] R. Gomeringer, M. Heinzler, R. Kilgus, V. Menges, S. Oesterle, T. Rapp, C. Scholer, A. Stenzel, A. Stephan ja F. Wieneke, „Terased,“ %1 *Mehaanikainseneri käsiraamat*, Verlag Europa-Lehrmittel, 2021, p. 136.
- [8] R. Gomeringer, M. Heinzler, R. Kilgus, V. Menges, S. Oesterle, T. Rapp, C. Scholer, A. Stenzel, A. Stephan ja F. Wieneke, „Väsimustugevus, Väsimusvarutegur,“ %1 *Mehaanikainseneri käsiraamat*, Verlag Europa-Lehrmittel, 2021, p. 48.

- [9] MetalurgijaLT, „<http://www.b2bmetal.eu/>“, [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.b2bmetal.eu/upe-european-standard-u-channels-u-profile-with-parallel-flanges--upe-steel-beam-specifications-dimensions-properties>.
- [10] MetalurgijaLT, „www.b2bmetal.eu“, [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.b2bmetal.eu/ipe-beams-european-standard-universal-i-beams-i-section-with-parallel-flanges-dimensions-specifications-accordance-with-former-standard-eu-19-57>.
- [11] Pirelli, „[pirelli.com](http://www.pirelli.com)“, Pirelli Tyre S.p.A, [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.pirelli.com/tyres/en-gb/car/driving-and-tyre-tips/how-to-read/tyre-load-index>.
- [12] Gigant, „[Gigant.com](http://www.gigant.com)“, Gigant GmbH, [Võrgumaterjal]. Available: https://www.gigant.com/fileadmin/media/documents/broschuere/Produkt-Katalog_final_GB_lowresneu.pdf.
- [13] J. Duhovnik, „3D modelling“, %1 *Space Modeling with SolidWorks and NX*, Springer, Cham, 2014, pp. 49-70.
- [14] Autodesk, „About Stress Analysis“, Autodesk, [Võrgumaterjal]. Available: <https://help.autodesk.com/view/INVNTOR/2021/ENU/?guid=GUID-61F01A5D-7E54-45A1-9698-7BB11F0AEE94>.
- [15] R. Gomeringer, M. Heinzler, R. Kilgus, V. Menges, S. Oesterle, T. Rapp, C. Scholer, A. Stenzel, A. Stephan ja F. Wieneke, „Hõõrdejõud, hõõrdemoment“, %1 *Mehaanikainseneri käsiraamat*, Verlag Europa-Lehrmittel, 2021, p. 38.
- [16] Bosch, „Basic principles“, %1 *Automotive Handbook*, Robert Bosch, 2018, p. 47.
- [17] F. M. f. D. a. Transport, „bmdv.bund.de“, Federal Ministry for Digital and Transport, 20 03 2013. [Võrgumaterjal]. Available: <https://bmdv.bund.de/SharedDocs/EN/Articles/StV/Roadtraffic/driving-licence-categories-overview.html>.
- [18] D. o. M. Vehicles, „dmv.ny.gov“, Department of Motor Vehicles, [Võrgumaterjal]. Available: <https://dmv.ny.gov/driver-license/nys-driver-license-classes>.

- [19] B. Trailers, „bigtextrailers.com,“ BigTex Trailers, [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.bigtextrailers.com/flatbed-gooseneck-trailers>.
- [20] Transpordiamet, „Transpordiamet.ee,“ Transpordiamet, [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.transpordiamet.ee/soidukite-statistika>.
- [21] U. caravans, „usacaravans.nl,“ [Võrgumaterjal]. Available: https://usacaravans.nl/stock?token=PDjPopXbvaCXFn9s4KDXJjFhIwzVZXts85yQxwgX&vehicle_type%5B0%5D=fifth-wheel&page=3.
- [22] F. W. Europe, „<https://www.fifthwheeleurope.eu>,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.fifthwheeleurope.eu/en/products/>.
- [23] juzjade.pl, „<https://www.wypozyczalnia-autolawet.pl/>,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.wypozyczalnia-autolawet.pl/en/home-page/>.
- [24] Riigikogu, „riigiteataja.ee,“ Riigi Teataja, 27 06 2022. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.riigiteataja.ee/akt/120062022070>.
- [25] M.-. j. kommunikatsiooniminister, „riigiteataja.ee,“ Riigi Teataja, 25 10 2022. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.riigiteataja.ee/akt/122102022002>.
- [26] F. M. Company, „ford.com,“ Ford Motor Company, 2021. [Võrgumaterjal]. Available: https://www.ford.com/cmslibs/content/dam/brand_ford/en_us/brand/resources/general/pdf/guides/21Towing_Ford_SuperDuty_PU_Dec3.pdf.
- [27] Ford, „<https://madocumentupload.marketingassociates.com>,“ Ford Motor Company, [Võrgumaterjal]. Available: <https://madocumentupload.marketingassociates.com/api/Document/GetFile?v1=5229324&v2=010620102043&v3=60&v4=847800f5274b68ab1b1e6ba0f00a71a4368d68ed0f7432aea6c6fb6b7&v5=False>.
- [28] M. 24, „Metall24.ee,“ Corm OÜ, [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.metall24.ee/tooted/karp-upe-160x12000-s355j2m/karp-upe>.

- [29] M. 24, „Metall24.ee“, Corm OÜ, [Võrgumaterjal]. Available:
<https://www.metall24.ee/tooted/u---painutatud-profiil-120x60x60-x6000-s235/u-profiil>.
- [30] TruckScience, „www.truckscience.com/“, TruckScience, [Võrgumaterjal]. Available:
<https://app.truckscience.com/>.

LISAD

Lisa 1. Joonis raam_tervik

Lisa 2. Joonis raam_tervik_lõhatud

Lisa 3. Joonis raam_esiosa_koost

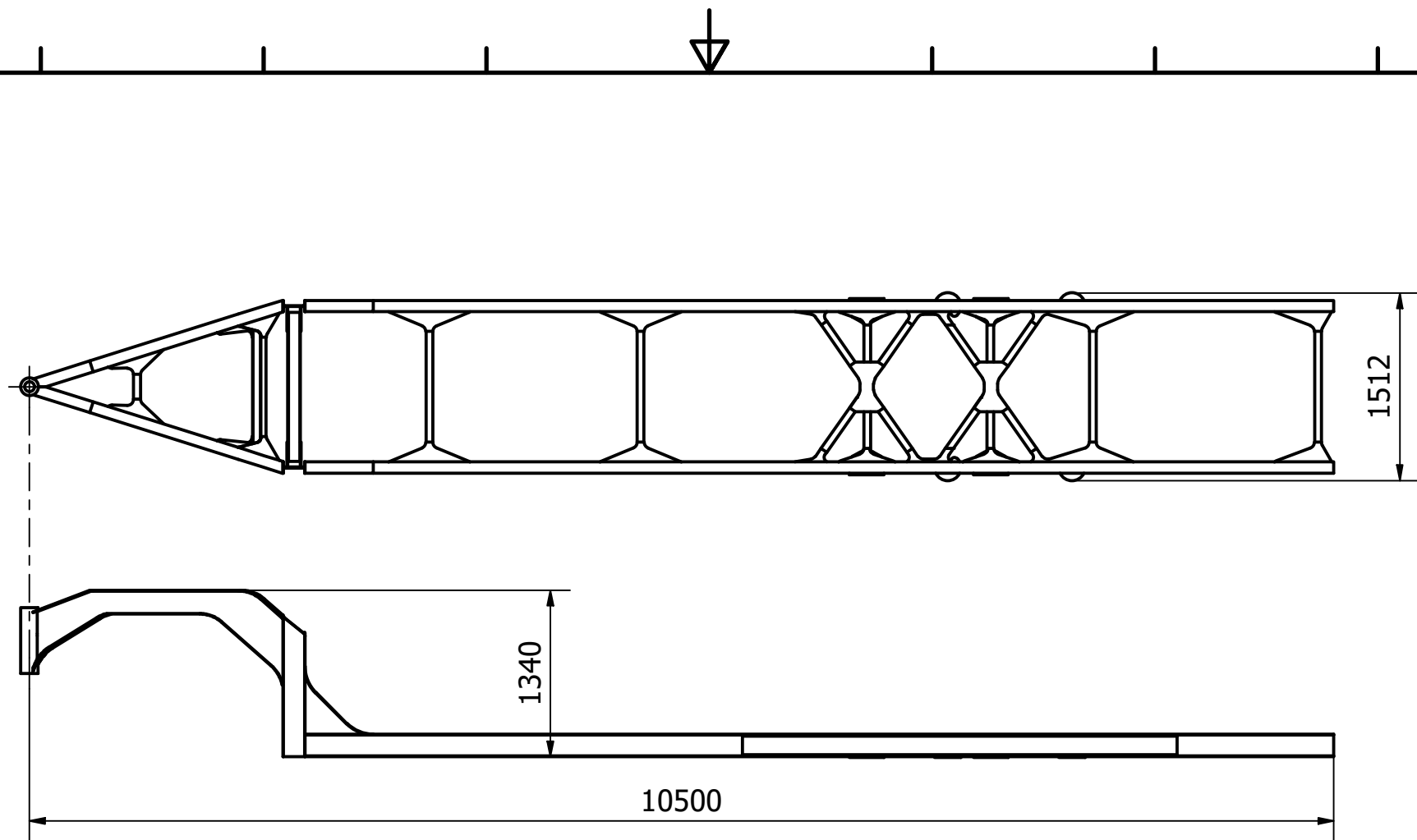
Lisa 4. Joonis raam_esiosa_lõhatud

Lisa 5. Joonis raam_esiosa_detailide_nimekiri

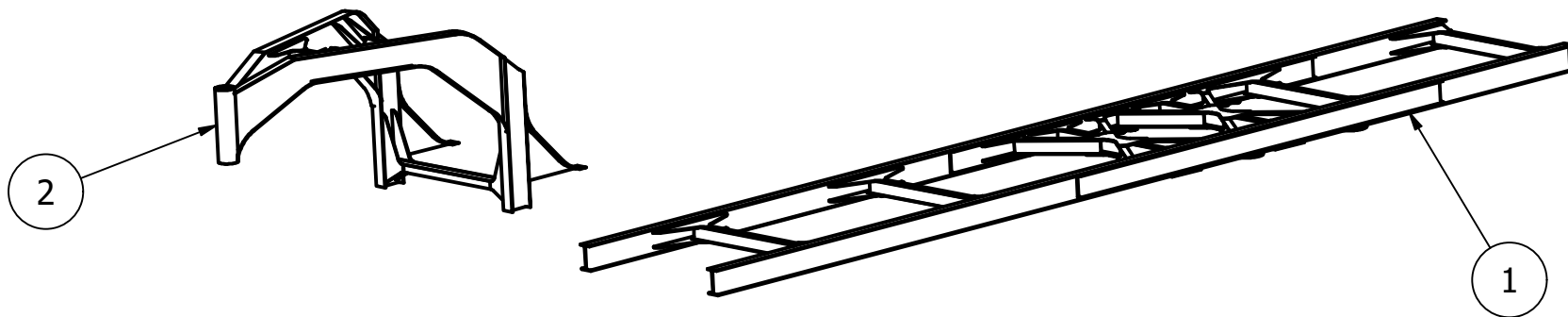
Lisa 6. Joonis raam_07_koost

Lisa 7. Joonis raam_07_koost_lõhatud

Lisa 8. Joonis raam_07_detailide_nimekiri

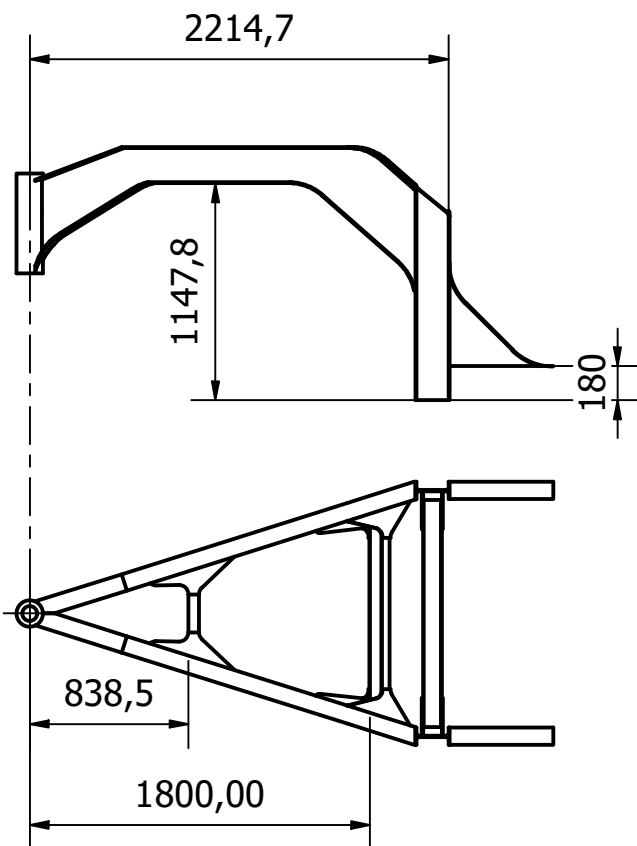


	Materjal:	Näitamata piirhälbed:	Mass: N/A	Mõõt: 1:50
Teostas:	frank	Nimetus:		
Kontrollis:				
Kinnitas:				
TALLINNA TEHNIKAKÕRGKOO		Leht: 1/1	Tähis: Raam_Tervik	

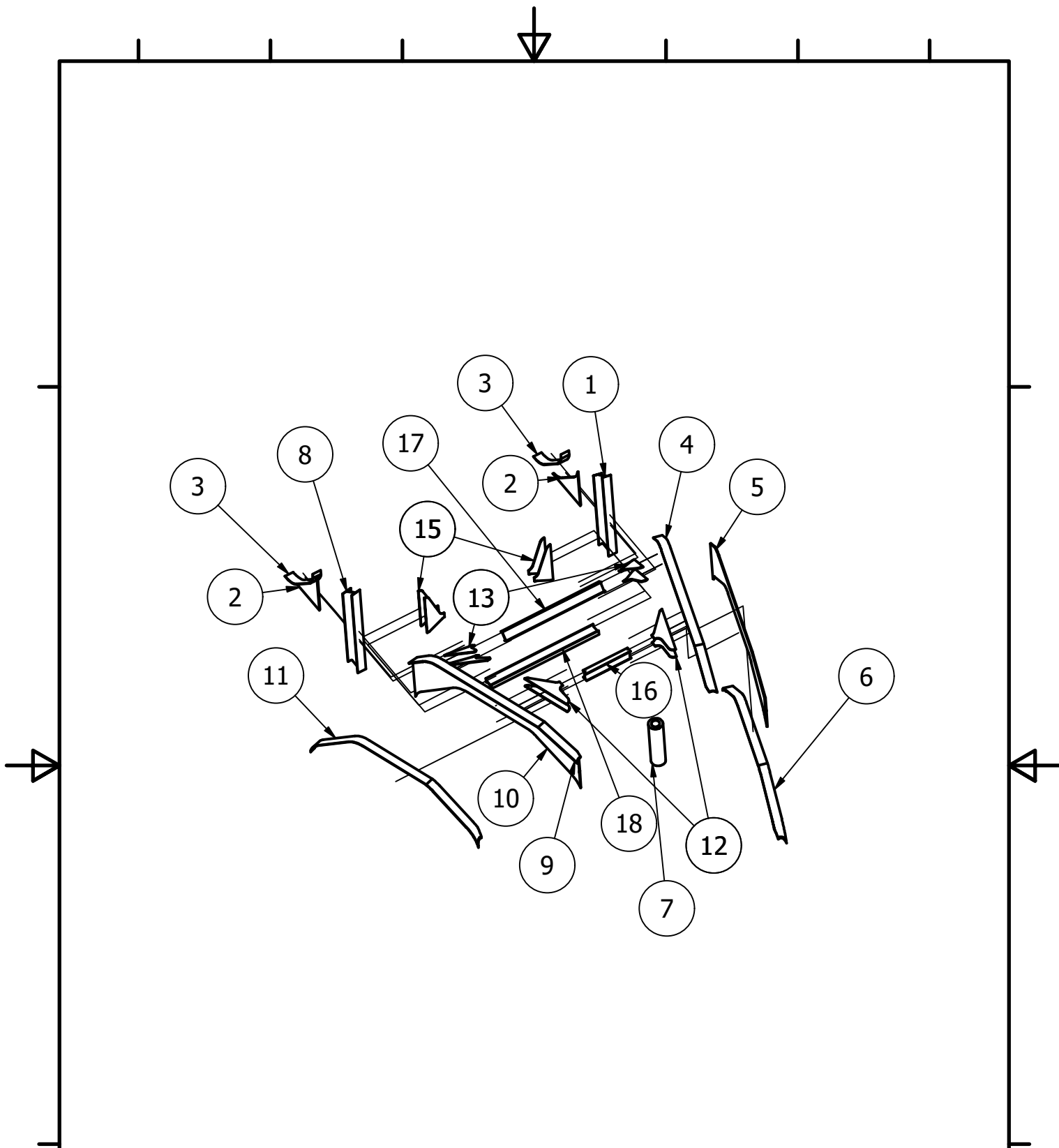


PARTS LIST			
ITEM	QTY	PART NUMBER	DESCRIPTION
1	1	Raam_07_Koost	
2	1	Esiosa_Koost	

	Materjal:	Näitamata piirhälbed:	Mass: N/A	Mõõt: 1 : 50
Teostas:	frank	Nimetus:		
Kontrollis:				
Kinnitas:				
TALLINNA TEHNIKAKÕRGKOOL		Leht: 1/1	Tähis: Raam_Tervik	

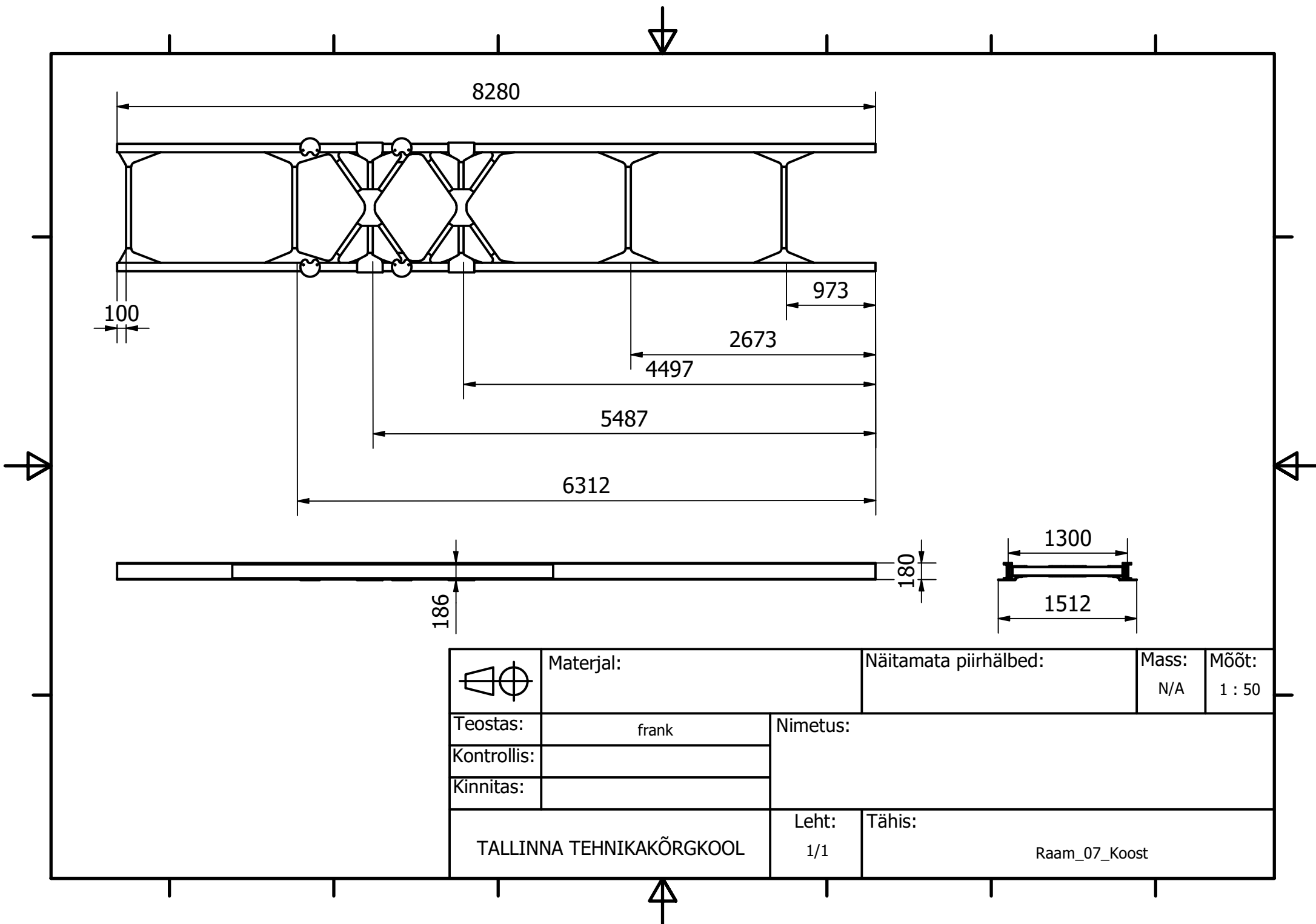


	Materjal:	Näitamata piirhälbed:	Mass:	Mõõt:
			N/A	1 : 40
Teostas:	frank	Nimetus:		
Kontrollis:				
Kinnitas:				
TALLINNA TEHNIKAKÕRGKOOL		Leht:	Tähis:	
		1/1	Esiosa_Koost	

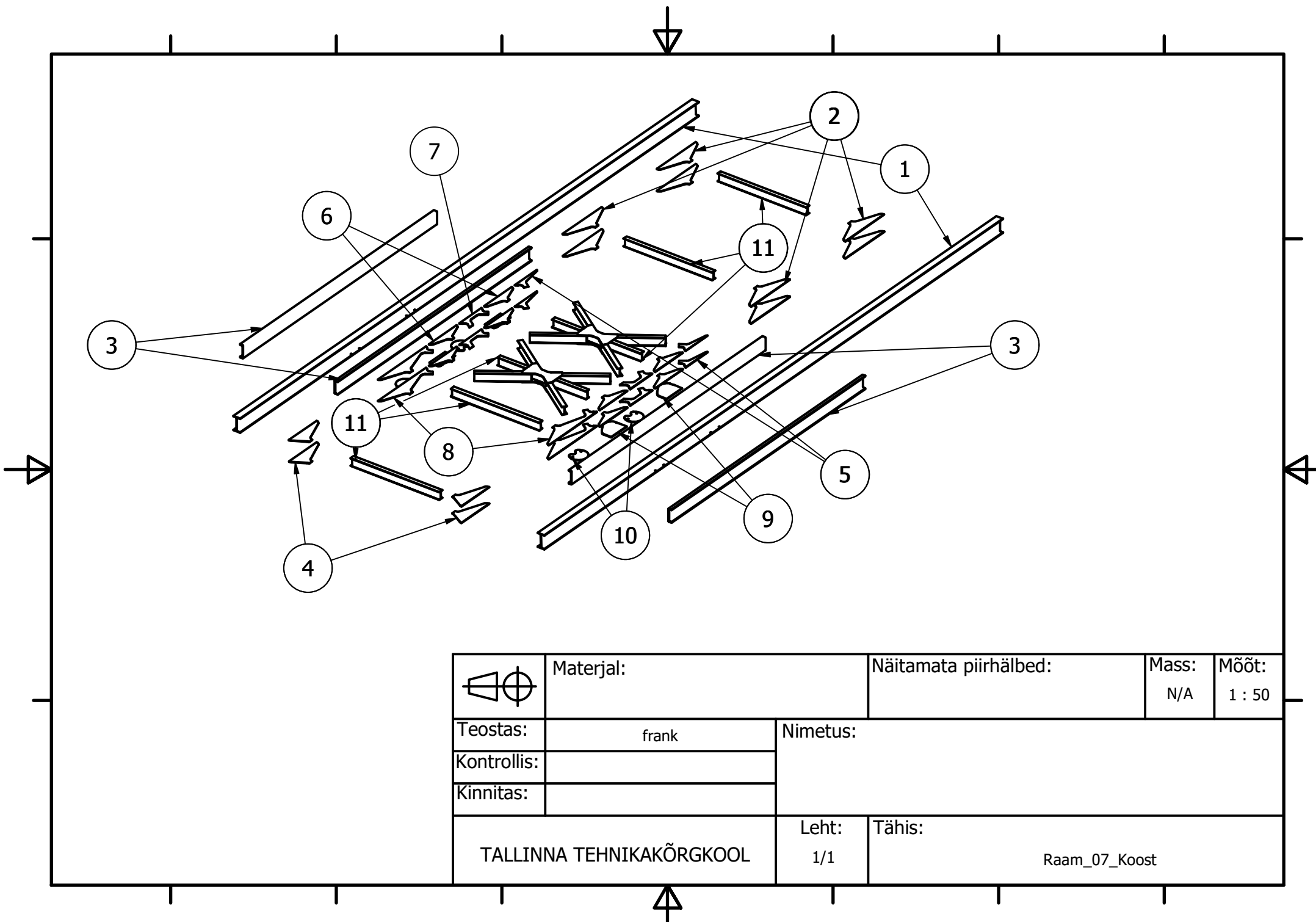


	Materjal:	Näitamata piirhälbed:	Mass: N/A	Mõõt: 1 : 50
Teostas:	frank	Nimetus:		
Kontrollis:				
Kinnitas:				
TALLINNA TEHNIKAKÕRGKOOL		Leht: 1/1	Tähis: Esiosa_Koost	

PARTS LIST			
ITEM	QTY	PART NUMBER	DESCRIPTION
1	2	IPE180_8280mm	
2	8	Haagise_Raam_Vahetala_Tu gi_10	
3	4	Haagise_Raam_Tugevdus	
4	4	Esiosa_Vahetala_kinnitus_3 0	
5	4	Haagise_Raam_Vahetala_Tu gi_20	
6	8	Haagise_Raam_Vahetala_Tu gi_30	
7	4	Haagise_Raam_Vahetala_Tu gi_40	
8	4	Haagise_Raam_Vahetala_Tu gi_50	
9	4	Haagise_Raam_Telje_kandu ri_Kinnitus	
10	4	Haagise_Raam_Õhkpadsja_T ugi	
11	6	IPE100_1200mm	
12	8	IPE100_620mm	
13	4	Haagise_Raam_Vahetala_Üh endusplaat	



	Materjal:	Näitamata piirhälbed:	Mass: N/A	Mõõt: 1 : 50
Teostas:	frank	Nimetus:		
Kontrollis:				
Kinnitas:				
TALLINNA TEHNIKAKÕRGGKOOOL		Leht: 1/1	Tähis: Raam_07_Koost	



	Materjal:		Näitamata piirhálbed:	Mass: N/A	Mõõt: 1 : 50
Teostas:	frank	Nimetus:			
Kontrollis:					
Kinnitas:					
TALLINNA TEHNIKAKÕRGKOOL		Leht: 1/1	Tähis: Raam_07_Koost		

PARTS LIST			
ITEM	QTY	PART NUMBER	DESCRIPTION
1	1	Esiosa_püstitala	
2	2	Esiosa_püstitala_tugi_sein	
3	2	Esiosa_püstitala_tugi_Serv	
4	1	Esiosa_Põhitala_Serv_Ülemi ne	
5	1	Esiosa_Põhitala_sein	
6	1	Esiosa_Põhitala_Serv_Alumi ne	
7	1	Esiosa_Post	
8	1	Esiosa_püstitala_MIR	
9	1	Esiosa_Põhitala_Serv_Ülemi ne_MIR	
10	1	Esiosa_Põhitala_sein_MIR	
11	1	Esiosa_Põhitala_Serv_Alumi ne_MIR	
12	4	Esiosa_Vahetala_kinnitus_1 0	
13	2	Esiosa_Vahetala_kinnitus_2 0	
14	2	Esiosa_Vahetala_kinnitus_2 1	
15	4	Esiosa_Vahetala_kinnitus_3 0	
16	1	IPE100_500mm	
17	1	IPE100_1100mm	
18	1	IPE100_1200mm	