EESTI MAAÜLIKOOL
Tehnikainstituut

Janno Õunpuu

RALLIAUTO LADA S1600 SÕLTUMATU TAGASILLA VEDRUSTUSE ESKIISPROJEKT

RACE CAR LADA S1600 INDEPENDENT REAR AXLE SUSPENSION PROJECT

Bakalaureusetöö
Tehnika ja tehnoloogia õppekava

Juhendaja: lektor Aare Aan, *PhD*

Tartu 2017

SISUKORD

SISSEJUHATUS 5
1. EESMÄRK JA ÜLESANDED 6
2. SÕIDUKI TAGASILLA VEDRUSTUSED 7
2.1 Sõltumatu vedrustusega tagasillad 7
2.1.1 Topelt õõtshoobadega vedrustus 8
2.1.2 MacPherson küünalvedrustus 9
2.1.3 Piki- ja vildakõõtsharkidega vedrustus 10
2.1.4 Vabatelg-õõtshoobadega vedrustus 11
2.2 Sõltuva vedrustusega tagasillad 12
2.2.1 Jäik sild koos peaülekandega 13
2.2.2 Jäik sild eraldi peaülekandega 13
2.4. Pooljäik väänduva talaga tagasild 15
3. SÕIDUKI LADA S1600 TAGASILLA VEDRUSTUSE ALGSEADISTUS 16
3.1 Sõiduki iseloomustus 16
3.2 Sõiduki Lada S1600 tagasilla vedrustuse iseloomustus 17
3.2.1 Silla raami iseloomustus 17
4. UUE SÕLTUMATU TAGASILLA VEDRUSTUSE PROJEKTEERIMINE 21
4.1 Sõltumatu tagasilla vedrustuse projekteerimise eelne analüüs 21
4.1.1 Sõiduki kere kujutamine modelleerimine 21
4.1.2 Peaülekande valik 21
4.1.3 Peaülekande kinnitusraami modelleerimine 23
4.1.4 Sõltumatu vedrustuse tüübi valik tagasillale 24
4.2 Sõltumatu tagasilla vedrustuse projekteerimine 27
4.2.1 Rullumispunkti leidmine 27
4.2.2 Õõtshoobade konstrueerimine 29
4.2.3 Stabilisaatorvarda konstrueerimine 32
4.2.4 Sõltumatu vedrustusega tagasilla eskiis 33
5. PROJEKTEERITUD MACPHERSON VEDRUSTUSE ANALÜÜS 34
5.1 MacPhersoni geomeetria 34
5.2 Õõtshoobade materjalivaliku kontroll 39
5.3 Vedrustuse arvutus 40
5.4 Algvedrustuse ja projekteeritud vedrustuse võrdlus 42
KOKKUVÕTE 44
KASUTATUD KIRJANDUS 45
LISAD 47
LISA A. Projekteeritud sõltumatu vedrustusega tagasilla detailide joonised 48

<table>
<tr><td colspan="2">Eesti Maaülikool
Kreutzwaldi 1, Tartu 51014</td><td colspan="2">Bakalaureusetöö lühikokkuvõte</td></tr>
<tr><td colspan="2">Autor: Janno Õunpuu</td><td colspan="2">Õppekava: Tehnika ja tehnoloogia</td></tr>
<tr><td colspan="4">Pealkiri: Ralliauto Lada S1600 sõltumatu tagasilla vedrustuse eskiisprojekt</td></tr>
<tr><td>Lehekülgi: 61</td><td>Jooniseid: 41</td><td>Tabeleid: 3</td><td>Lisasid: 1</td></tr>
<tr><td colspan="4">Osakond: Põllundus- ja tootmistehnikaosakond
Uurimisvaldkond:
ETIS teadusvaldkond: 4. Loodusteadused ja tehnika
ETIS teaduseriala: 4.14. Tootmistehnika ja tootmisjuhtimine
CERCS teaduseriala: T280 Maanteetransporditehnoloogia
Juhendaja(d): lektor Aare Aan, PhD
Kaitsmiskoht ja -aasta: Tartu 2017</td></tr>
<tr><td colspan="4">Antud töö eesmärk püstitati, kuna lähtesõidukil, ralliautol Lada S1600, taheti parandada sõiduomadusi sh. juhitavust, kiirendamist ja teepinna konarluste põhjustatud löökkoormustele vastupidavust. Töö eesmärgiks seati projekteerida ralliautole LADA S1600 hetkel olemasoleva sõltuva tagasilla lahenduse asemel uus sõltumatu tagasilla lahendus. Töö käigus tutvustati erinevaid tagasilla vedrustuste lahendusi, tutvustati hetkel lähtesõidukil esinevat tagasilla vedrustuse süsteemi ning seejärel pakuti välja võimalik uus tagasilla vedrustuse süsteem. Tulemus tugineb puhtalt teoorial ning hetkel ei ole projekteeritud uus vedrustuse lahendus praktilist kasutust leidnud. Lähitulevikus on plaan antud eskiisprojekt ellu viia.</td></tr>
<tr><td colspan="4">Märksõnad: vedrustus, tagasild, ralliauto, juhitavus, peaülekanne.</td></tr>
</table>

www.emu.ee
Eesti Maaülikool
Estonian University of Life Sciences

Estonian University of Life Sciences Kreutzwaldi 1, Tartu 51014		Abstract of Bachelor's Thesis	
Author: Janno Õunpuu		Speciality: Production Engineering	
Title: Race car Lada S1600 independent rear axle suspension project			
Pages: 61	Figures: 41	Tables: 3	Appendixes: 1
Department: Agricultural and Production Engineering Field of research: ETIS category: 4. Natural Sciences and Engineering ETIS speciality: 4.14. Industrial Engineering and Management CERCS speciality: T280 Road transport technology Supervisors: lector Aare Aan, *PhD* Place and date: Tartu 2017			
This work's main goal was set because the need of improving the race car's, Lada S1600, quality of driving inc. handling, accelerating and resistance of hit loads, which are caused of bumpy roads. The main goal was set to replace Lada S1600's existing solid axle by projecting a new independent rear axle suspension. In the process of this work different rear suspensions and Lada S1600's existing solid axle were introduced and then the new independent rear axle was projected. The result relies on only theory and any practical using is not found at the moment. There is a plan to make this project real in the near future.			
Keywords: suspension, rear axle, race car, handling, differential.			

SISSEJUHATUS

Tavaline tänapäeva auto koosneb ehituselt mitmest põhikomponendist: kere, mootor, jõuülekanne, veermik ja elektrisüsteem. Auto sõiduomadusi mõjutab kõige rohkem veermikuehitus.

Antud töös on keskendatud tagasillaveolisele sõidukile. Täpsemalt on tegemist ralliautoga LADA S1600. Sõidukile on paigaldatud sõltuva vedrustusega tagasild. Kuna sõiduki sõiduomadused (kiirendamine ja juhitavus kurvides) ei ole piisavalt head ja kasutusel olev sillatala ei ole piisavalt vastupidav sõites saadavatele löökidele, projekteeritakse antud töös sõidukile sõltumatu vedrustusega tagasild. Sõltumatu vedrustuse eelised sõltuva vedrustuse ees on parem maapinna kopeerimise omadus, mis parandab juhitavust ja kiirendamist, samuti sõidul tekkivad löökkoormused ei mõjuta tervet silda terviklikult.

Töö sisu on jaotatud neljaks põhiosaks:

1. Esimeses peatükis tutvustatakse erinevaid tagasilla vedrustuse tüüpe. Peatükk annab hea ülevaate tagasilla vedrustuse liigitusest.
2. Teises peatükis keskendutakse sõiduki Lada S1600 hetkel olemas oleva tagasilla tüübile ja ehitusele. Tutvustatakse tagasilla detaile ning omadusi.
3. Kolmandas peatükis teostatakse kõigepealt ettevalmistus tagasillale uue sõltumatu vedrustuse projekteerimisele ning seejärel projekteeritakse uus tagasilla vedrustus.
4. Neljandas peatükis teostatakse valminud sillast analüüs, mis sisaldab silla tähtsamaid näitajaid ning arvutusi. Samuti antakse teoreetiline hinnang silla omaduste paranemisest.

Antud töö planeeritavast projektist vaid üks osa. Selle töö abil plaanitakse tulevikus vastav uus vedrustus valmis ehitada ja sõidukile paigaldada.

1. EESMÄRK JA ÜLESANDED

Töö eesmärgiks on projekteerida ralliautole LADA S1600 hetkel olemasoleva sõltuva tagasilla lahenduse asemel uus sõltumatu tagasilla lahendus, et parandada sõiduki omadusi juhitavuses, kiirendamisel ja pidurdamisel.

Eesmärgi saavutamiseks on püstitatud järgmised ülesanded:

1. tutvuda autode erinevate tagasilla lahendustega;
2. tutvuda teemakohase kirjanduse ja teooriaga;
3. kirjeldada hetkel olemasolevat tagasilla süsteemi;
4. leida uue sõltumatu vedrustusega tagasilla lahenduse projekteerimiseks vajalikud juhised;
5. teostada uue sõltumatu tagasilla vedrustuse projekteerimise eelne analüüs, millele on püstitatud järgmised etapid:
    1. kujutada lähtesõiduki kere raam, kuhu hiljemalt projekteeritakse uus vedrustus;
    2. valida peaülekanne;
    3. modelleerida peaülekandele toruraam, millega kinnitada see sõiduki kere külge;
    4. valida projekteeritava vedrustuse tüüp;
6. projekteerida uus sõltumatu vedrustusega tagasilla lahendus;
7. koostada tagasilla tehnilised joonised;
8. võrrelda vana ja uut tagasilla vedrustust.

Kõik projekteerimine jääb tuginema vaid teooriale ja praktilise pooleni antud töö raames ei jõuta.

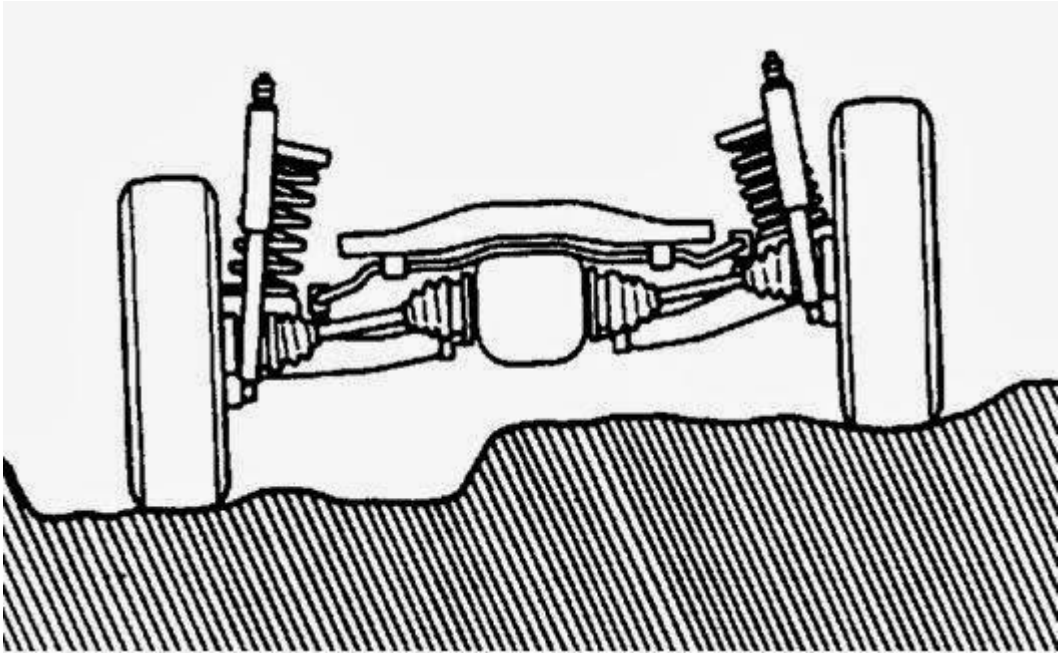
2. SÕIDUKI TAGASILLA VEDRUSTUSED

2.1 Sõltumatu vedrustusega tagasillad

Sõidukitel tuntakse mitmesuguseid tagasilla vedrustuse lahendusi. Eristatakse sõltumatu ja sõltuva vedrustusega tagasildu. [2]

Üheks auto tagasilla liigiks on sõltumatu vedrustusega sild (joonis 2.1). Sõltumatu vedrustus tähendab seda, et ühel sillal olevad rattad reageerides teepinnale liiguvad üksteisest eraldi ehk nad ei mõjuta üksteist.

Sõltumatu vedrustusega sillad jagunevad omakorda mitmeks. Eristatakse topelt õõtshoobadega-, piki- ning vildakõõtsharkidega-, vabatelg-õõtshoobadega- ja McPhersoni tagasilla vedrustust. [7]

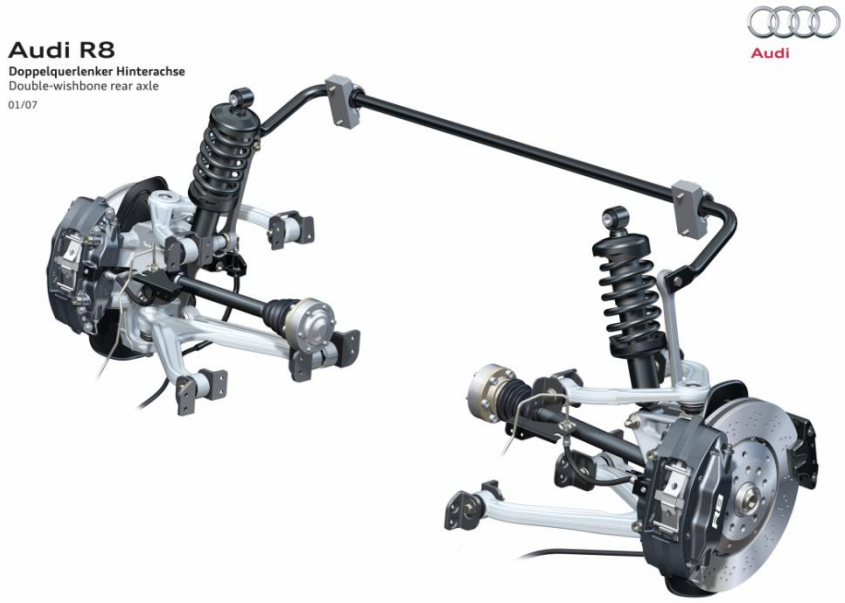


Joonis 2.1 Sõltumatu vedrustusega tagasild [17]

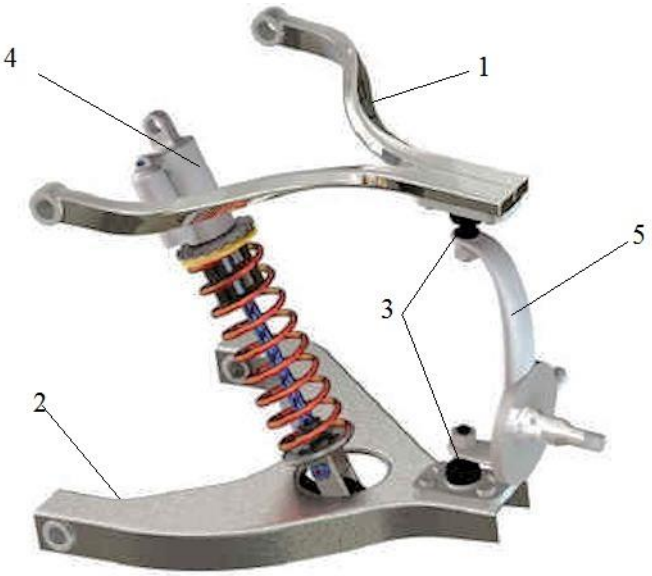
Sõltumatu vedrustusega tagasildade eelisteks sõltuva vedrustusega sildade ees on väiksem kaal, kompaktsus, parem juhitavus, ühe ratta mõju puudumine teisele rattale ja lihtne kokkulahku jooksu reguleerimine.[3]

2.1.1 Topelt õõtshoobadega vedrustus

Topelt õõtshoobadega tagasilla vedrustus (joonis 2.2) kujutab endast ühte tagasilla lahendust, kus mõlemal pool silda paiknevad üleval ja all erineva pikkusega kaks õõtshooba. Õõtshoovad on kas A- või L-kujulised. Tavaliselt on ülemine õõtshoob lühem kui alumine, et tekitada amordi lühenemisel negatiivset külgkallet, mis parandab juhitavust. [7]



Joonis 2.2 Audi R8 topelt õõtshoobadega tagasilla vedrustus [14]

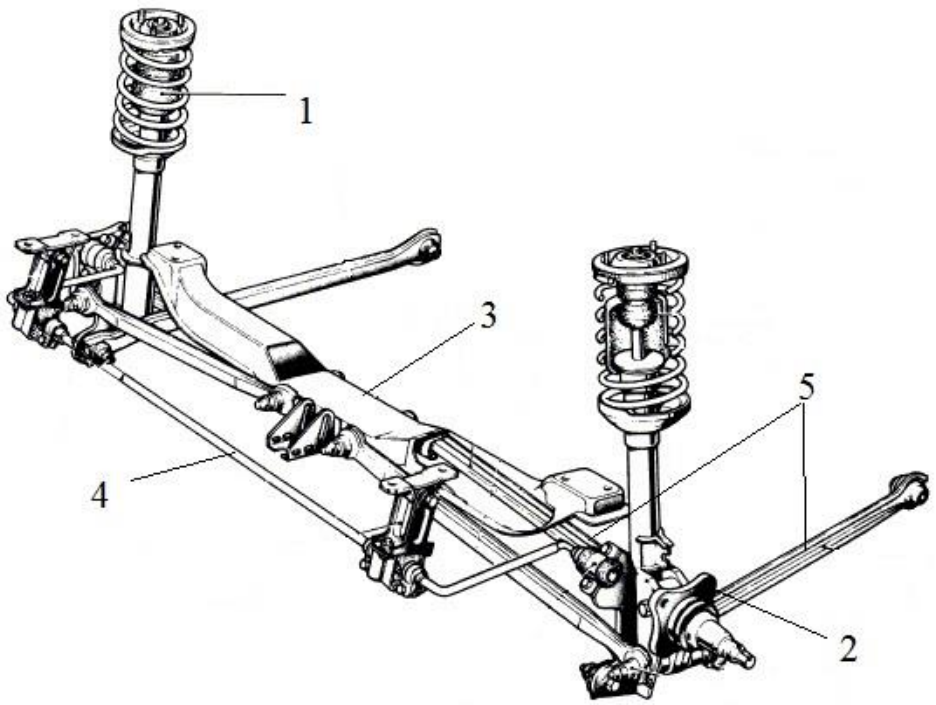


Joonis 2.3 1- ülemine õõtshoob, 2- alumine õõtshoob, 3- kuulliigendid, 4- amortisaator, 5- käänmik [15]

Topelt õõtshoobadega tagasilla eeliseks on see, et muutes õõtshoobade pikkusi on ratta kinemaatika reguleeritav. Nii saab parandada ratta omadust kopeerida teepinda, mis omakorda suurendab auto juhitavust ning teelpüsivust, samuti ei teki rattal ebaühtlast kulumist. [3]

2.1.2 MacPherson küünalvedrustus

MacPherson'i vedrustus (joonis 2.4) on edasi arendus topelt õõtshoobadega vedrustuse süsteemist, kus on ülemise õõtsa asemele on paigaldatud käänmik-amortisaator. Amortisaator on ülevalt kinnitatud rattakoopa lakke elastse toe abil ja alt käänmiku külge. [2]



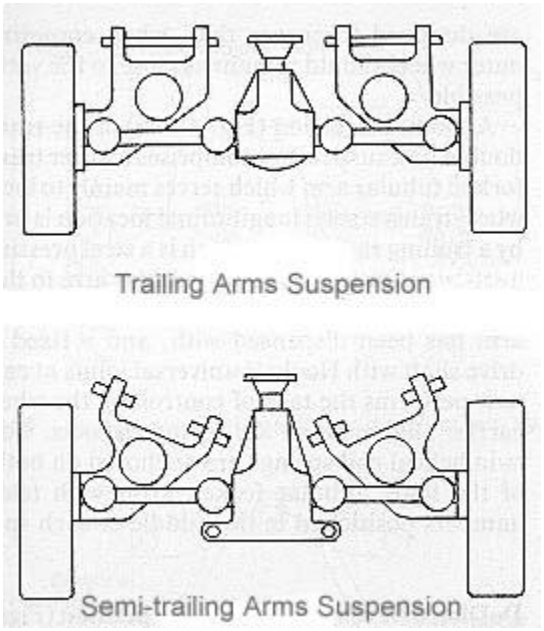
Joonis 2.4 MacPherson'i vedrustus: 1- amortisaator, 2- käänmik, 3- silla kinnitusraam, 4- stabilisaatorvarras, 5- tugihoovad [18]

MacPherson vedrustuse eelisteks on tema lihtne ehitus ja sellega kaasnev kompaktsus ja odavus. Veel on MacPhersonil vedrustamata mass väiksem, tänu millele on suurem kiirendamise tegur ning ka parem sõidumugavus.

2.1.3 Piki- ja vildakõõtsharkidega vedrustus

Piki-õõtsharkidega silla vedrustus on vedrustuse liik, mis koosneb kahest või rohkemast sõidusuunaga paralleelselt asetsevast silla raami külge kinnitatud õõtshargist. Kuna hargid on paralleelsed sõidusuunaga, siis tekib pöörlemistelg risti sõidusuunaga. See omakorda tagab sillal võimaluse üles-alla liikuda. [8]

Vildakõõtsharkidega sild on sarnane piki-õõtsharkidega sillaga, kuid erinev on õõtsharkide asend. Õõtshargid on paigutatud võrreldes sõidusuunaga viltu, et parandada sõiduomadusi. Viltused hargid põhjustavad ratta üles liikumisel negatiivse ja alla liikumisel positiivse külgkalde, mis tagab parema toetuse manööverdamisel. [2]

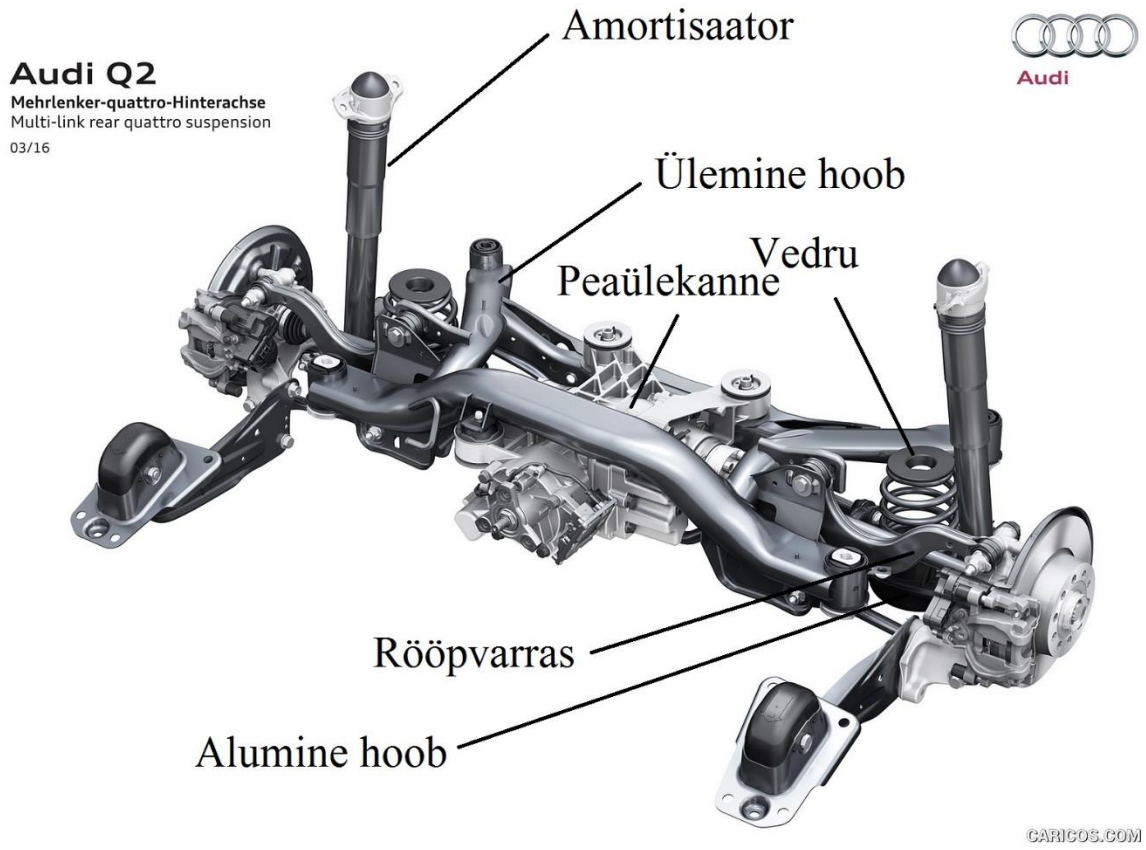


Joonis 2.5 Piki- (ülemine pilt) ja vildakõõtsharkidega (alumine pilt) silla vedrustused [8]

Piki-õõtsharkidega sillal puudub võimalus asendi muutuseks külgedele. See tähendab, et kui auto on kurvis, siis õõtshargid on kurvi suhtes sama nurga all, mis auto keregi ning tekib olukord, kus mõlemad rattad on suunatud kurvist välja. See olukord põhjustab alajuhitavust. Et seda vältida, siis võeti kasutusele vildakõõtsharkidega vedrustuse süsteem. Õõtshargid on kinnitatud silla raami külge 50-70 kraadisesse vahemikku jääva nurga alla, mis siis parandab ratta liikumist külgede peale. Kuna, aga õõtshargid on kinnitatud sillaraami külge jäigalt, siis alajuhitavust täiesti likvideerida ei suudetud. Lisaks ei ole õõtsharkidega vedrustus hea sõidumugavusele, kuna süsteem ei ole väga hea ebatasasel teel löökide ja aukude leevendamises. [8]

2.1.4 Vabatelg-õõtshoobadega vedrustus

Vabatelg-õõtshoobadega vedrustuse (joonis 2.6) süsteem koosneb mitmest hoovast. Kaks hooba on paigutatud ratta tsentrist kõrgemale ja 2 hooba madalamale. Et sild külgjõududele stabiilsemalt käituks, on sillale paigutatud rööpvarras. Kahe alumise hoova külge kinnituvad amortisaatorid ja vedrud. [2]

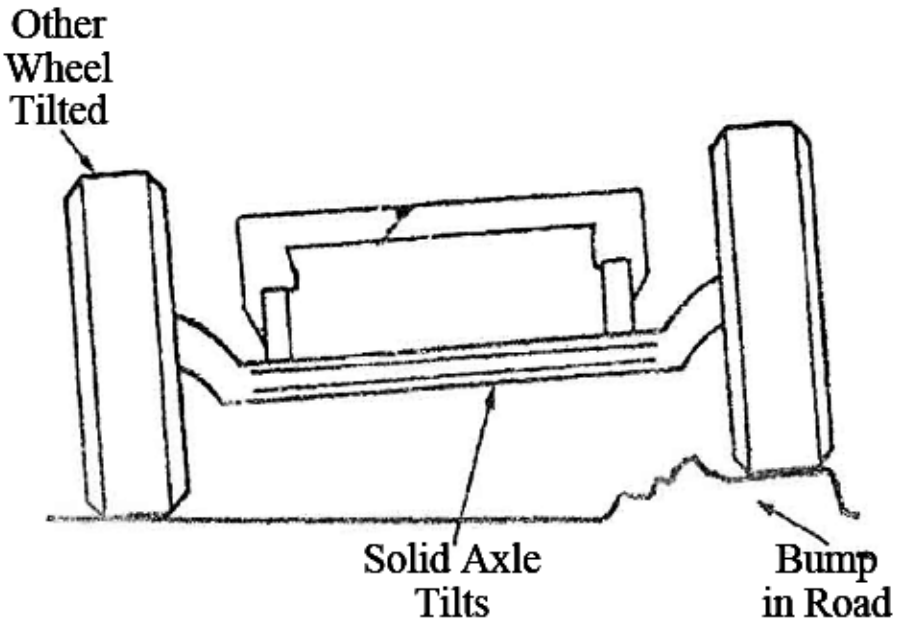


Joonis 2.6 Audi Q2 vabatelg-õõtshoobadega tagasild [16]

Vabatelg-õõtshoobadega vedrustuse süsteem on suhteliselt keerukas võrreldes teiste süsteemidega. Samas tänu keerukale ehitusele on tema seadistamiseks võimalusi palju rohkem. Saab muuta nii hoobade pikkuseid, asendeid kui ka kummiliigendite segusid. Kuna jõuõlad on sillasüsteemis üsnagi väikesed, siis sild peaaegu ei reageeri üldse ratast häirivatele jõududele.

2.2 Sõltuva vedrustusega tagasillad

Sõltuva vedrustusega tagasillad (joonis 2.7) erinevad sõltumatu vedrustusega variandist selle poolest, et sillatala on jäik ja ühe ratta liikumine teepinna ebatasasuste suhtes mõjutab ka teise ratta liikumist.



Joonis 2.7 Sõltuva vedrustusega tagasild [17]

Sõltuval vedrustusel on ka mitu varianti sarnaselt sõltumatu vedrustuse süsteemiga. Eristatakse:

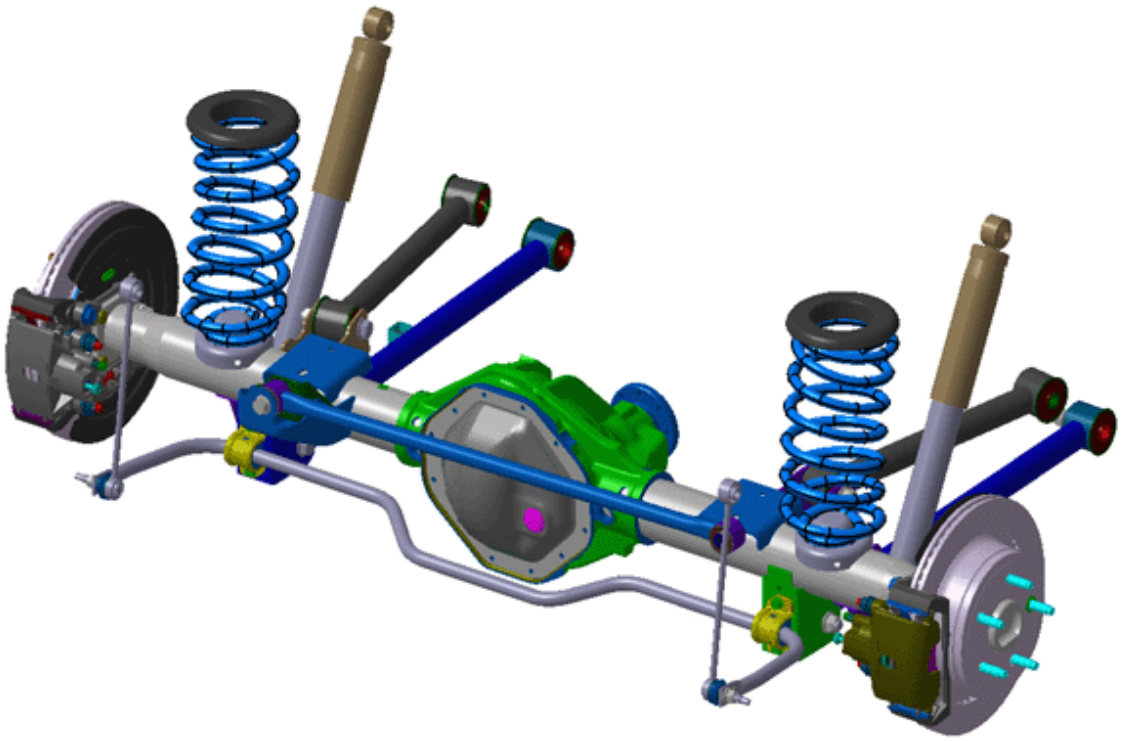
1. jäika silda koos peaülekandega;
2. jäika silda eraldi peaülekandega;
3. mittevedavat jäika silda;
4. pooljäika silda. [5]

Sõltuva vedrustuse eelised sõltumatu vedrustuse ees on väiksem rahaline kulu, kompaktsus, lihtne ehitus ja lihtsam hooldus.

Sõltuva vedrustuse puudujääkideks on rataste üksteisest sõltumine, mis vähendab sõidu stabiilsust ja mugavust ning piiratud reguleerimine.

2.2.1 Jäik sild koos peaülekandega

Jäik sild (joonis 2.8) on sildade lahendustest kõige lihtsama ehitusega variant. Jäik sild on sild, millel on mõlemad rattad ühendatud teljetalaga jäigalt. See tähendab seda, et ühele rattale mõjuvad igasugused teepinna eripärad avaldavad mõju ka teisele rattale. [12]

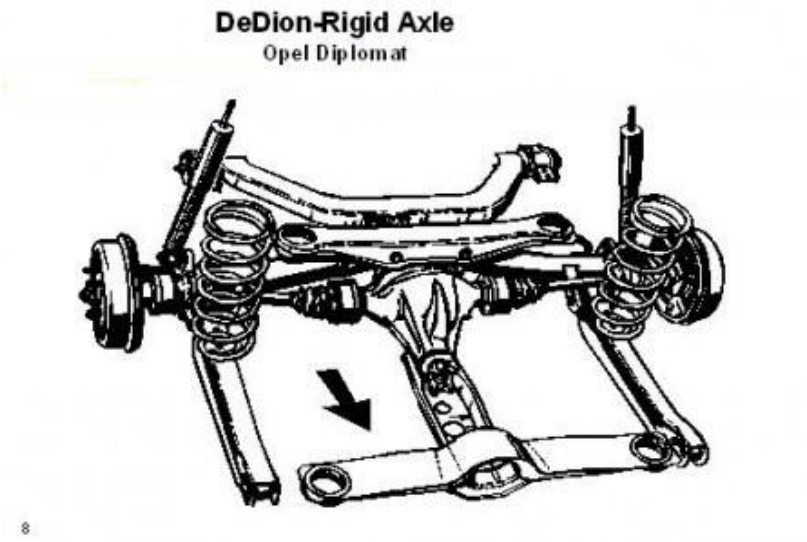


Joonis 2.8 Jäik tagasild koos peaülekandega [12]

Tagasillatala ehitus võib olla lahendatud kahte moodi. Ühel puhul on tegemist ühes tükis valatud tagasillatala koos peaülekande korpusega, teisel puhul on peaülekande keresse pressitud poolteljekojad, millele saab kinnitada pidurid ning rattalaagrid. Jäiga silla suureks miinuseks on halb sõidumugavus ja ohutus, mis on tingitud sellest, et sild ise oma suure raskusega on nii öelda vedrustamata. Jäik sild on kinnitatud auto kere külge kas leht-, keerd- või õhkvedrustusega, pluss on kinnitamiseks reaktiivvardad.[5]

2.2.2 Jäik sild eraldi peaülekandega

Eraldi peaülekandega jäik sild on tagasilla tüüp, kus silla vedrustamata massi vähendamiseks on peaülekanne kinnitatud auto kere külge või raamile. Peaülekanne on ratastega ühendatud pooltelgedega.

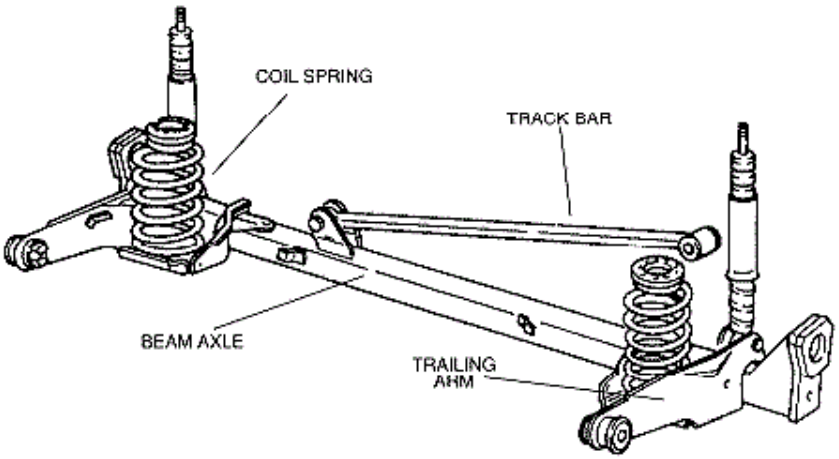


Joonis 2.9 De Dion'i eraldi peaülekandega jäik sild [13]

Selle tagasilla tüübi eelisteks tavalise jäiga silla ees on vedrustamata massi vähendamine peaülekande kaalu arvelt. See parandab sõidu mugavust ja silla liikuvust.

2.2.3 Mittevedav jäik sild

Mittevedav jäik sild on tagasilla tüüp, mida iseloomustab rattaid kandev tala, mis on keskelt ühendatud kere külge elastse liigendiga. Vedrustus on paigaldatud tala otstele ja sillale annab jäikuse ja stabiilsuse stabilisaatorvarras.



Joonis 2.10 Esisilla veolistel autodel kasutatav mittevedav jäik sild [18]

Mittevedava jäiga tagasilla lahendus on kasutusel autodel, millel vedav sild on esisild.

2.4. Pooljäik väänduva talaga tagasild

Pooljäik sild on tagasilla tüüp, mida iseloomustab rattaid kandev õõtshoova kujuliste otstega tala, mis on autokerega ühendatud kummipuksidega. Kui liigub vaid üks ratas üles-alla, siis sillatala väändub, kui kaks ratast korraga, siis sillatala ei väändu ja sild õõtsub üles-alla vaid kummipuksidest.

Joonis 2.11 Väänduva talaga tagasild [12]

Pooljäigal tagasilla eelis on lihtne ehitus. Sarnaselt mittejäik tagasillaga puudub ka pooljäigal sillal peaülekanne.

3. SÕIDUKI LADA S1600 TAGASILLA VEDRUSTUSE ALGSEADISTUS

3.1 Sõiduki iseloomustus

Eskiisprojekti lähtesõidukiks on valitud ralliauto Lada S1600. Tegemist on 1987. aastal toodetud sõiduauto VAZ 2105-ga, mis ehitati 2015. aastal ümber ralliautoks OT Racing rallitiimi poolt. Sõiduk on tagaveoline, 6-käigulise manuaalkastiga ja 1,6 liitrise ottomootoriga, mis aretab 157 hj jõudu ja 180 Nm väändemomenti.

Joonis 3.1 Ralliauto Lada S1600

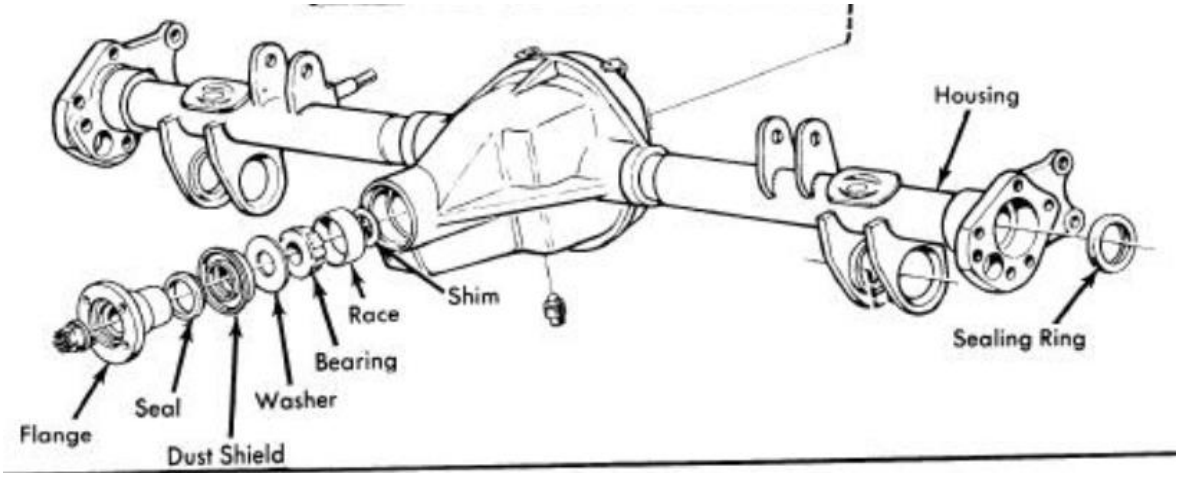
Sõiduk on kasutusel ja on sõiduvahendiks rallipaarile Janar Tänak ja Janno Õunpuu. Autoga on osaletud kokku 13 rallietapil, nendest neljal on tuldud oma masinaklassis võitjateks.

3.2 Sõiduki Lada S1600 tagasilla vedrustuse iseloomustus

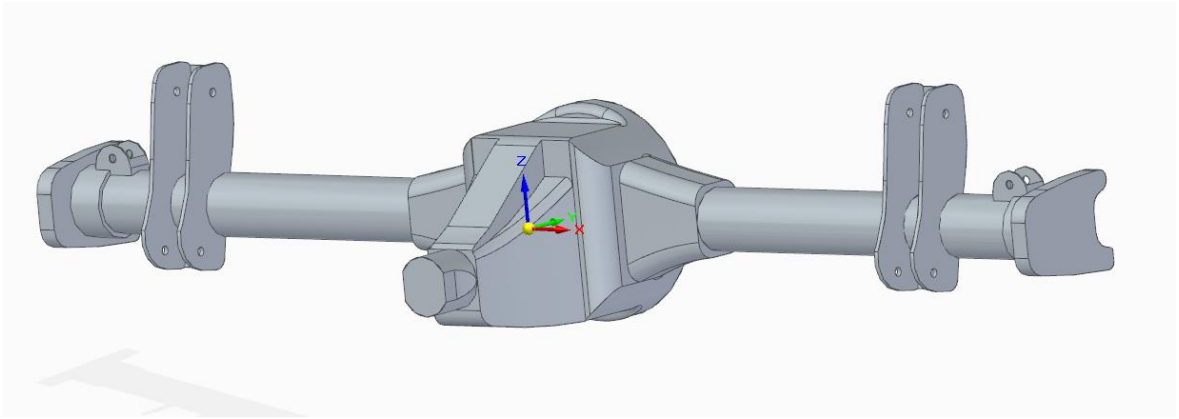
Sõiduki olemasolev tagasilla vedrustus on varemalt konstrueeritud arvestades sõiduki tüüpi ja sõiduki eesmärki. Selle tulemusena on sõidukil hetkel peaülekandega 4 hoova ja Watt'i varrastega jäik tagasilla vedrustus.

3.2.1 Silla raami iseloomustus

Sõidukil ei ole tagasild originaal, vaid on asendatud Volvo 240 tagasillaga. Silla raam koosneb peaülekande korpusest, mille sees on peaülekanne, ja korpusesse pressitud poolteljekodadest, mille eesmärk on katta ja fikseerida poolteljed. Sild on valmistatud malmist. Silla laius on 1137 mm.

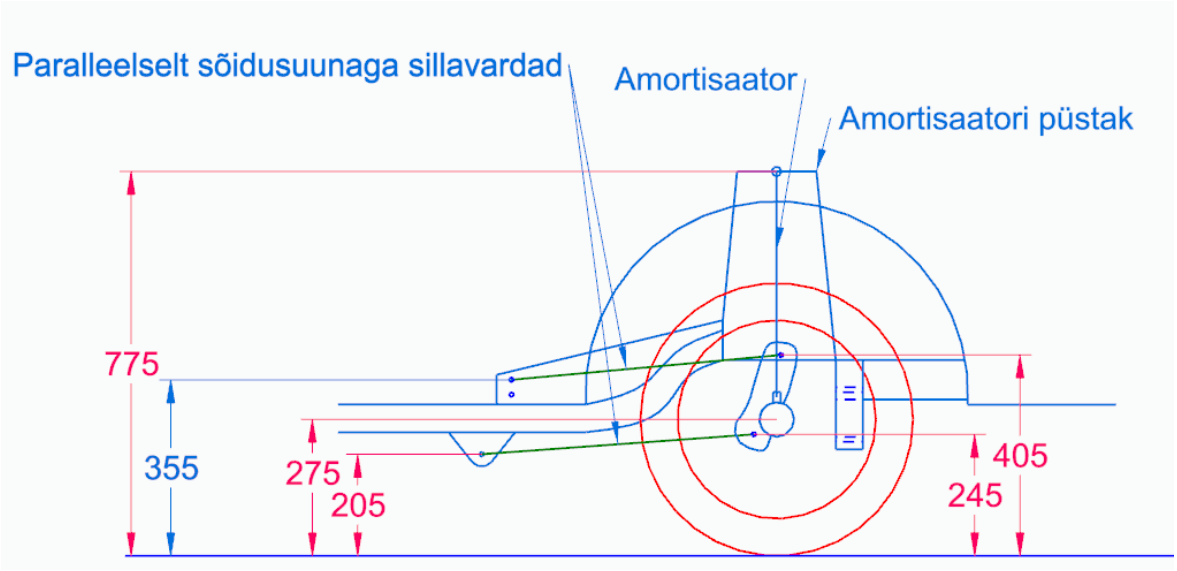


Joonis 3.2 Volvo 240 tagasild originaalkinnitustega [19]

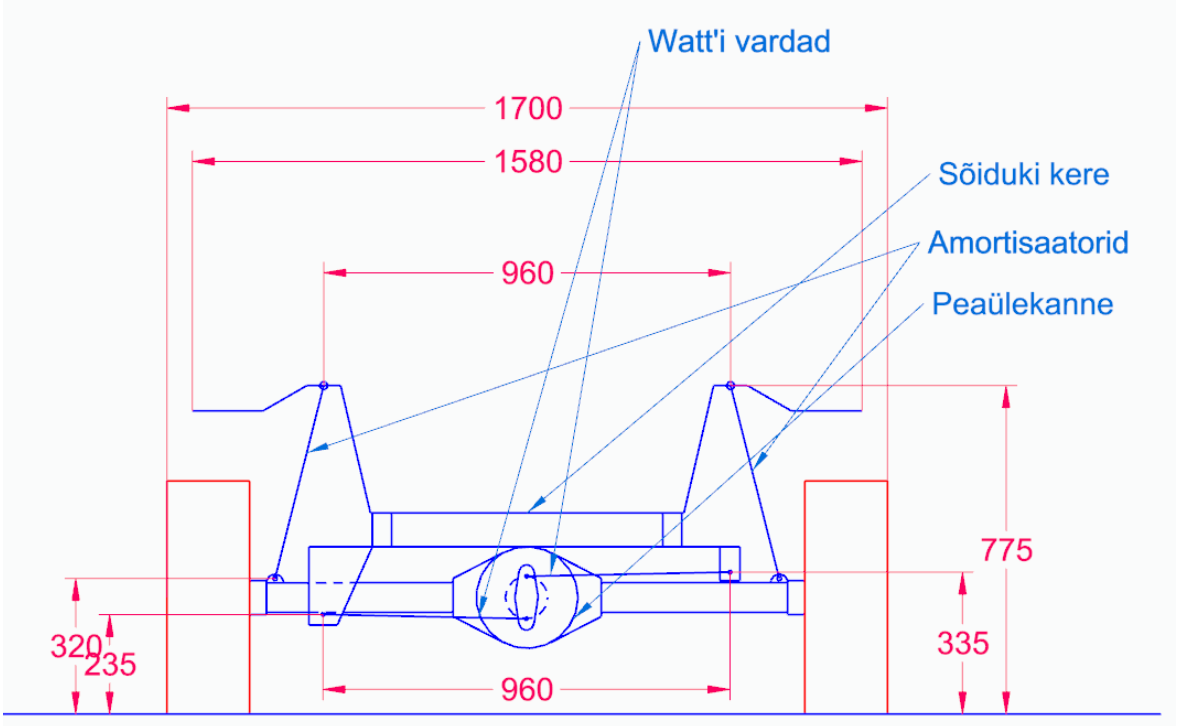


Joonis 3.3 Volvo 240 tagasild modifitseeritud kinnitustega

Et sild sobituks sõidukiga Lada S1600, on silla kinnitusi modifitseeritud. Sild kinnitub kere külge nelja paralleelselt sõidusuunaga oleva vardaga, Watt'i varrastega ning kahe amortisaatoriga. Sõidusuunaga paralleelselt olevate varraste ja amortisaatorite kinnitused asuvad sillatala poolteljekodadel ning Watt'i vardad on kinnitatud peaülekande korpuse kaane külge.



Joonis 3.4 Sõiduki Lada S1600 hetkel paigaldatud tagasilla tööasendi külgvaate eskiis



Joonis 3.5 Sõiduki Lada S1600 hetkel paigaldatud tagasilla tööasendi tagavaate eskiis

Sõiduki tagasilla kerekinnituspunktide kaugus maapinnast tööasendis on paralleelselt sõidusuunaga olevatel varrastel 205 mm alumise ning 355 mm ülemisel vardal. Watt'i varraste alumine kerekinnituspunkt asub 235 mm ja ülemine 335 mm kõrgusel maapinnast. Amortisaatorite kerekinnituspunktid asuvad sõiduki tööasendis 775 mm kaugusel vertikaalselt maapinnaga.

Sõidusuunaga paralleelsed silla vardad on valmistatud 35 mm diameetriga õmblusteta ümartorust terastorust, mille seina paksus on 3 mm. Varraste otstesse on keevitatud M12x1,75 keermega mutrid, kuhu on sisse keeratud M12x1,75 poldi otsa keevitatud sõiduauto Mitsubishi Lancer Evolutioni X sildadel kasutusel olevaid 40mm diameetriga uniballid-puksid. Varraste ja uniballide vaheline poltühendus lubab varraste pikkuseid vastavalt vajadusele muuta. Nii saab reguleerida rataste asendit auto kere suhtes.

Joonis 3.6 Mitsubishi Lancer Evolution X uniball-puksid [20]

Watt'i varraste otstel, mis auto kere külge kinnituvad, on samuti poltühendusega Mitsubishi Lancer Evo X uniballid. Varda otstel, mis kinnituvad peaülekande korpuse kaane külge, on poltühendusega M10 avaga väliskeermega kuulliigendid (joonis 3.7).

Joonis 3.7 Väliskeermega kuulliigend [24]

Joonis 3.8 Sellholmi *Watt*'i vardad Volvo 240 tagasillal [21]

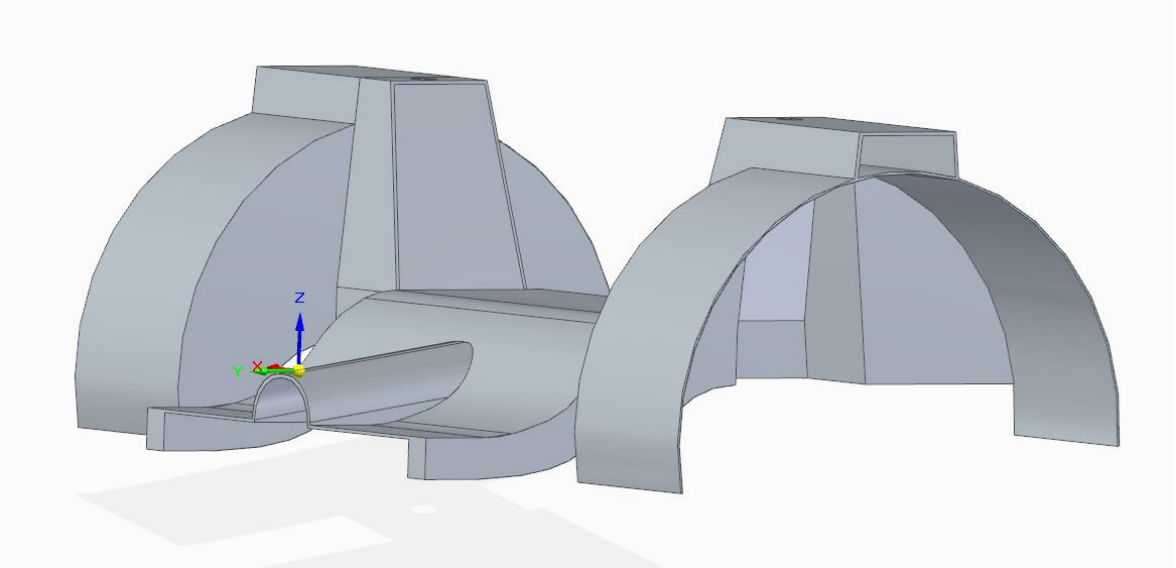
Watt'i varraste eelis Panhardi varda ehk ühe diagonaalvarda ees on rullumispunkti sirgjooneline liikumine vertikaalselt üles-alla. Samuti on plussiks silla identne liikumine nii vasakus, kui ka paremas kurvis. [9]

4. UUE SÕLTUMATU TAGASILLA VEDRUSTUSE PROJEKTEERIMINE

4.1 Sõltumatu tagasilla vedrustuse projekteerimise eelne analüüs

4.1.1 Sõiduki kere kujutamine modelleerimine

Uue tagasilla vedrustuse projekteerimise hõlbustamiseks kujutati tagasilla kinnitamiseks vajalik lähtesõiduki kere osa Solid Edge ST9 keskkonda. Tänu sellele saab hea ettekujutuse kere raami parameetritest, millega oleks vaja arvestada silla kinnituste projekteerimisel.



Joonis 4.1 Lada S1600 kere tagumine osa

Raami kujutamisel arvestati, et joonisele saaks kõik vajalikud osad, millele võiks silla kinnitused projekteerida. Nii kujutati joonisele kaks raami tala ning kaks olemasolevat amortisaatorite püstakut, kuhu ka edaspidi võiksid amortisaatorid kinnituda.

4.1.2 Peaülekande valik

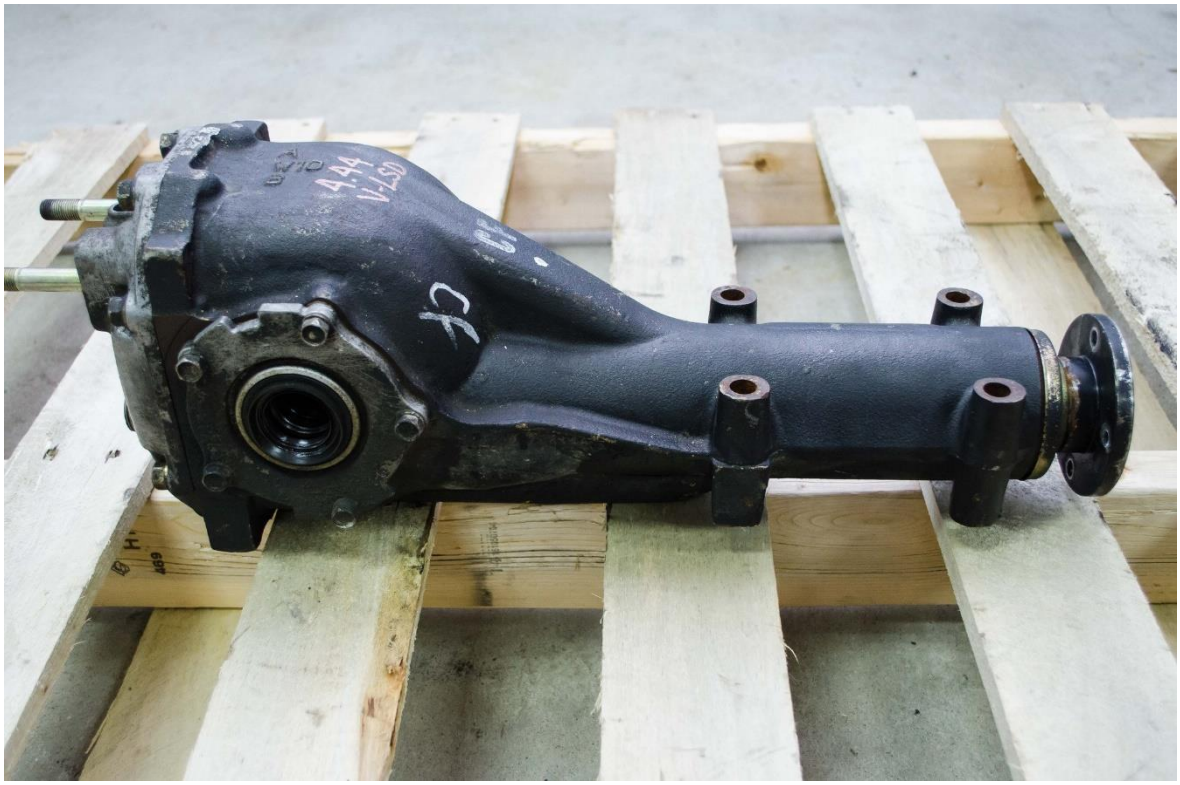
Kuna projekteeritav tagasild tuleb sõltumatu vedrustusega, on vaja leida sillale peaülekanne, mis sobib sõltumatu vedrustuse süsteemile. See tähendab, et peaülekanne peaks olema nii öelda sillast eraldi osa, mis oleks kinnitatud kere külge, et vähendada vedrustamata osa

massi. Peaülekandele esitati ka mõned nõudmised, mis garanteeriks just tema hea sobivuse vastavale lähtesõidukile.

Nõudmised on järgmised:

1. kompaktsus;
2. toruraamile kinnitamise võimalus;
3. vastupidavus lähtesõiduki 180 Nm suurusele väändemomendile;
4. lähtesõiduki käigukasti külge kinnitamise võimalus kardaanühendusega.

Arvestades, millised peavad olema peaülekande omadused, valiti küllaltki väike ning kompaktne Subaru R160 peaülekanne.



Joonis 4.2 Subaru peaülekanne R160 [22]

R160 peaülekanne on kasutusel Subaru Impreza WRX 2002- 2007 aasta mudelitel standardvarustuses. Selle peaülekande väändemomendi limiit on 400 Nm.

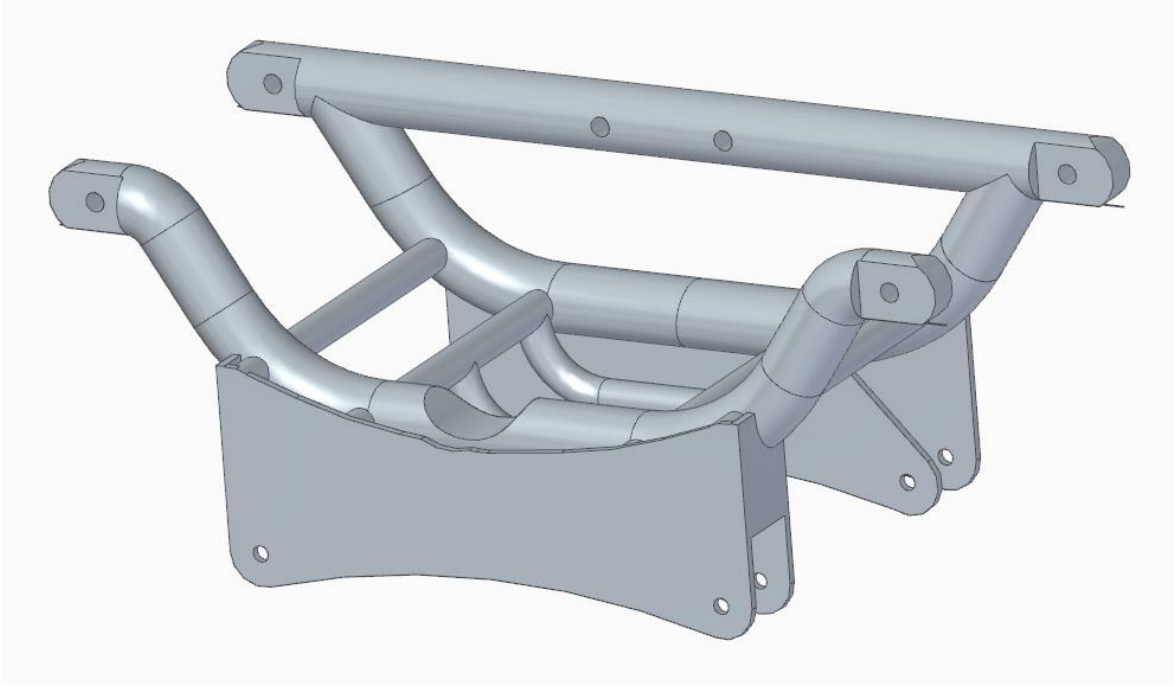
Peaülekande vaated ning põhilised parameetrid on kujutatud lisas A.

4.1.3 Peaülekande kinnitusraami modelleerimine

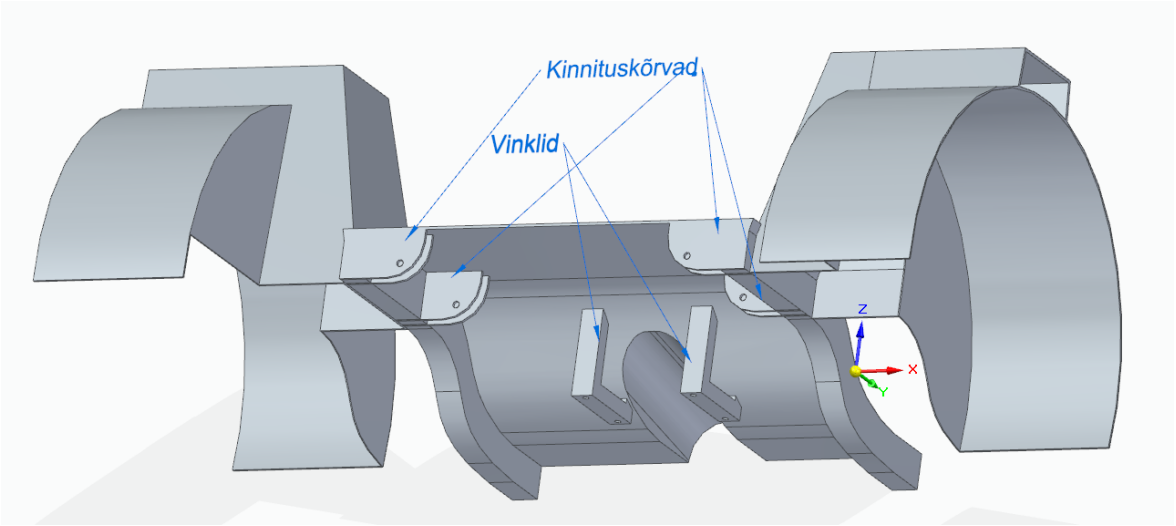
Peaülekande kinnitusraami modelleerimisel tuleb arvestada järgmiste asjaoludega:

1. peaülekande korpuse küljes olevate kinnitusavade arvu ja kaugusega;
2. peaülekande mõõtmetega;
3. sõiduki kere raamiga;
4. et oleks tagatud piisav toetus peaülekande raskusele.

Arvestades neid asjaolusid, sai modelleeritud peaülekandele toruraam (lisa 2), mis kinnitub ülekande korpuse külge kahe M11 poldiga ning sõiduki kere külge nelja M12 poldiga. Et toruraam sõiduki kere külge kinnituks, modelleeriti kere raami külge lisa kinnituskõrvad (joonis 4.4).



Joonis 4.3 Peaülekande kinnitus-toruraam



Joonis 4.4 Sõiduki kere raamile modelleeritud lisakinnitused

Modelleerimaks piisavalt kompaktset toruraami ülekande kinnitamiseks sai modelleeritud toruraam, mis toetab reduktorit tagant, raskemast osast. Et lisada toetust reduktori esiosale, modelleeriti ka sõiduki kere külge lisakinnitused, millele on keermestatud neli M10 ava.

4.1.4 Sõltumatu vedrustuse tüübi valik tagasillale

Vedrustuse tüübi valikul tuleb kõigepealt arvestada sõiduki raami ehitust, et kas üldse on võimalik mingit tüüpi sõltumatut vedrustust sellele paigaldada. Veel on võetud eesmärgiks projekteerida uus sild nii, et kerele peaks tegema vaid minimaalseid ümberehitusi. Kuna ehitus on suhteliselt piiratud, siis tuleb valida vedrustuse tüüp, mis oleks ehituselt lihtsam ja kompaktsem. Nii jääb valikusse kaks varianti: topelt õõtshoobadega ja üksik õõtshoovaga MacPhersoni vedrustus. Vedrustusele on seatud ka nõuded, mida sild täitma peab.

Vedrustusele seatud nõuded on järgmised:

1. ratta väljaulatus jääks samaks, mis olemas oleval sillal;
2. amortisaatorite kinnitused kere küljes jäävad samaks;
3. külgkalde lubatud parameetritesse jäämine ratta üles-alla liikumisel;
4. ratta käigu samaks jäämine või suurenemine.

Vedrustuste võrdlemiseks on koostatud tabel (tabel 1).

Tabel 1. MacPhersoni ja topelt õõtshoobadega vedrustuse võrdlus [10]

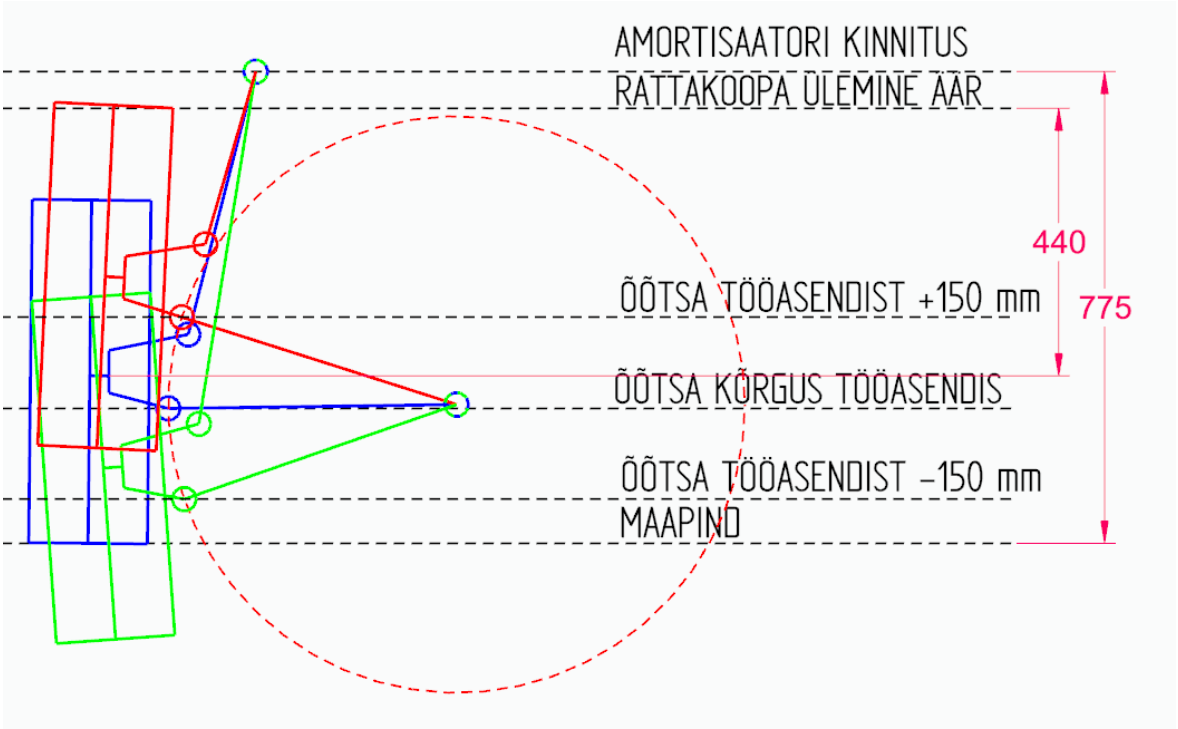
MacPherson'i vedrustus		Topelt õõtshoobadega vedrustus	
eelised	puudused	eelised	puudused
kompaktsus ja lihtsus	mittesobivus madalate sõidukitega	parem juhitavus	kallis paigaldada
odavus	mittesobivus laiade rehvidega	suurem külgkalde muutus	võtab rohkem ruumi
väiksem vedrustamata massi jääk	väiksem külgkalde muutus		
sõidumugavus			

Kuna antud töös oleva lähtesõiduki kere lubab vaid suhteliselt kompaktset ja lihtsat tagasilla süsteemi, siis langeb paratamatult valik MacPhersoni vedrustusele. Kindlasti oleks võimalik ka projekteerida topelt õõtshoobadega vedrustus, kuid see nõuaks suuremaid keremuutmis töid.

MacPhersoni vedrustus töötab siis ühel õõtsal, mis on ühendatud käänmikuga, millele omakorda kinnitub ülevalt amortisaator. Lisaks on käänmik ühendatud kerega ühe

reguleeritava lisavarda abil. Lisavarras fikseerib käänmiku sõidusuunaga paralleelse liikumise. Varda pikkust muutes saab reguleerida ratta jooksu.

Ratta liikumise kontrollimiseks, fikseeritakse võimalikud kinnituspunktide kõrgused ja joonestatakse siirdeplaan (joonis 4.5). Teada on tööasendis oleva auto amortisaatori kinnituspunkti kõrgus ja ratta tsentri kaugus rattakoopa äärest. Tööasend on sõiduki asend maapinnal, kus tagasillale toetub ainult sõiduki oma raskus.



Joonis 4.5 Ratta liikumise siirete plaan

Siirete plaanilt on näha, et ratta üles-alla liikumisel muutuvad nii külgkalle kui ka ratta väljaulatus koopast. Siirete plaanil olev maksimaalne ratta liiklumise kõrgus on piiratud koopa äärega, sest ratas koopast edasi ei saa minna. Sõiduki tavaasendi kõrgus on võetud sama, mis oli vana tagasilla lahendusel. Ratta tsentri siire alla poole tööasendit määrati siirete plaanil sama, mis tööasendist üles poole liikumisel- 150 mm. Uue tagasilla vedrustuse ratta käiku saab reguleerida vastavalt amortisaatorile. Mida pikem amortisaator paigaldada, seda rohkem ratta käiku alla poole tuleb.

Õõtshoova kinnituste kõrgus on võetud hetkel suvaline väärtus, kuna ei ole täpselt teada, kui kõrgele on võimalik kinnitused paigaldada. Õõtshoobade kinnituskõrvad tuleb modelleerida

peaülekande raami külge. Amortisaatorite kinnituse kõrgus on mõõdetud lähtesõiduki algseisundist.

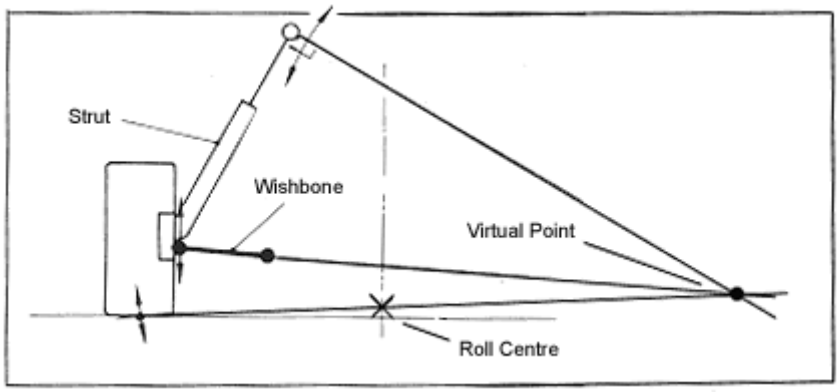
4.2 Sõltumatu tagasilla vedrustuse projekteerimine

4.2.1 Rullumispunkti leidmine

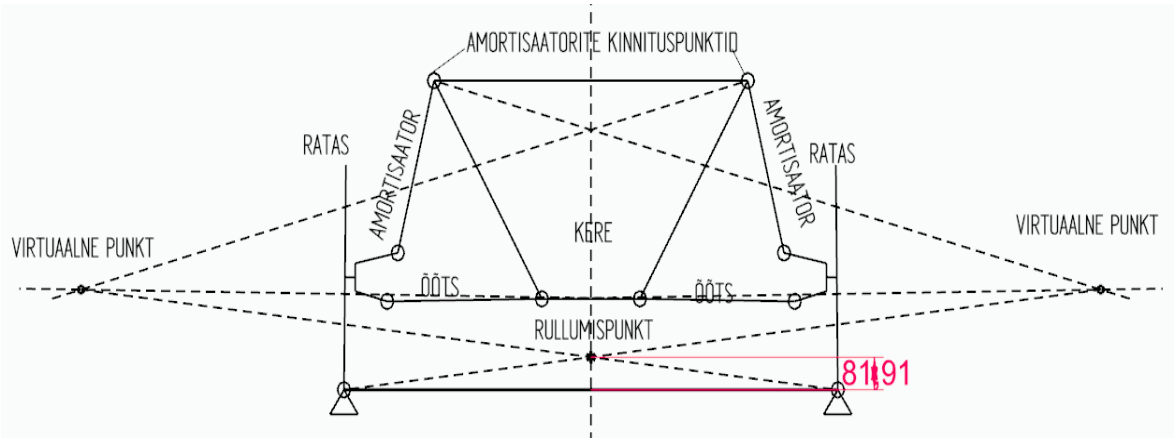
Hea stabiilse vedrustuse saamiseks oleks vaja leida rullumispunkt ehk *roll center*, mis on silla keskel oleva punkti asukoht, mille ümber lateraalsete jõudude mõjul sõiduki kere liikumine käib. Mida madalamal rullumispunkti asukoht on, seda stabiilsem sõiduki juhitavus kurvis on. Sõltumatu vedrustuse puhul on tagasillal asuva rullumispunkti normaalne kõrgus h=60-130 mm, kui sõiduk asub sirgel maapinnal. [3]

McPhersoni vedrustuse puhul on rullumispunkt risti amortisaatori ülemisest otsast, piki alumise õõtshooba tõmmatud sirgete lõikepunkt silla keskelt üles tõmmatud sirgel. Et leida optimaalne rullumispunkt, koostatakse joonis, kuhu on fikseeritud kindlalt teada olevad kinnitused (amortisaatorite kinnitused, ratta kaugus silla keskosast ning jättes samaks ratta tsentri kauguse koopa äärest).

Rullumispunkti leidmiseks McPhrsoni vedrustuse puhul, on kõigepealt vaja tõmmata kaks sirget: üks amortisaatori otsast, risti amortisaatoriga ja teine piki õõtshooba kuni sirged lõikuvad. Seejärel tuleb tõmmata ratta tsentri ja maapinna lõikekohast sirge varem saadud lõikepunkti. Rullumispunkt asub silla keskelt tõmmatud sirge ja ratta tsentrist tõmmatud sirge lõikepunktis (joonis 4.6).



Joonis 4.6 *Roll center*'i leidmine MacPhersoni vedrustuse puhul [6]



Joonis 4.7 Lada S1600 kerele leitud rullumispunkti skeem

Teades täpselt rataste teljevahet, amortisaatorite püstakute kaugust ja kõrgust maapinnast ning käänmiku mõõtmeid, joonestati rullumispunkti leidmiseks skeem. Õõtshoobade kinnituste kõrgused maapinnast on võetud suhtelised arvestades võimalikke kinnituskohti. Rullumispunkt tekkis 89,91 mm kõrgusel. Kui võttes arvesse lubatud vahemikku 60-130 mm, siis võib öelda, et oletavalt leitud rullumispunkti asukoht jääb piiridesse ja selle skeemi järgi võiks uue vedrustuse projekteerida.

Kuna mida madalam rullumispunkti asukoht, seda stabiilsem on juhitavus, siis rullumispunkti kõrgust saaks veel madalamaks langetades õõtshoobade kerepoolseid kinnitusi. Samas sellega võib juhtuda järgmine, et kui hetkel on õõtshoobade kinnitused paigutatud peaülekande alumise äärega samale tasandile, siis neid langetades võivad kinnitused sattuda liialt madalale ja see võib põhjustada sõitmise ajal lisa takistust suuremate teepinna erinevuste läbimisel. Kuna kinnitused tulevad peaülekande kinnitusraami külge, siis kui paigaldada kinnitused liialt madalale ja jäävad liialt kaugele toruraamist, tuleb

konstrueeritavad kinnitused teha piisavalt tugevast ja paksust materjalist, et vältida purunemist. See vähendab silla kompaktsust ning põhjustab suuremat materjali kulu.

Olles rahul rullumispunkti asukohaga, otsustati projekteerida silla vedrustus vastavalt joonestatud skeemile, võttes aluseks kõik leitud mõõtmed (tabel 2).

Tabel 2. Rullumispunkti skeemil olevate tagasilla vedrustuse parameetrid, mm

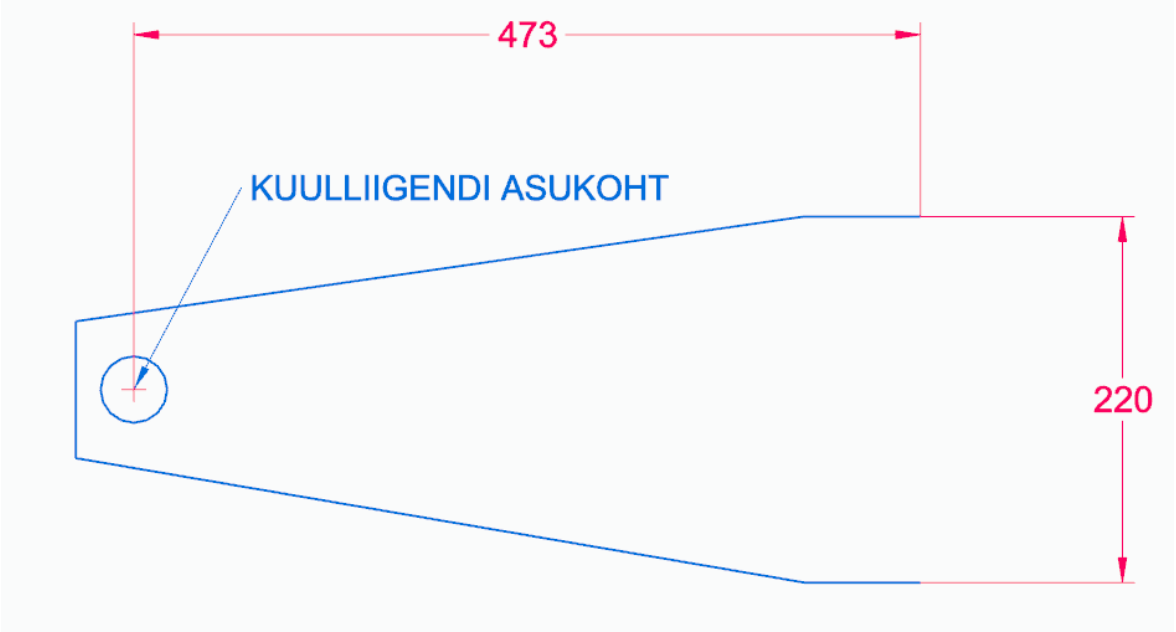
Parameeter	Mõõde
Amortisaatorite kinnituspunkti kõrgus maapinnast	775
Amortisaatorite kinnituspunktide omavaheline kaugus	960
Õõtshoobade toruraami kinnituste kõrgus maapinnast	228
Õõtshoobade toruraami kinnituste omavaheline kaugus	300
Õõtshoobade pikkus	473
Amortisaatori eeldatav pikkus tööasendis	446
Rataste teljevahe tööasendis	1505
Amortisaatori ja käänmiku pikkus õõtsani piki amortisaatorit	573

Lisaks tuleb arvestada õõtsade nurka ja amortisaatorite nurki horisontaalselt kere suhtes tööasendis, mis on vastavalt 0,8 ja 75,6 kraadi. Silla vedrustust projekteerides ei ole teada kindlat tüüpi käänmikut ega ka amortisaatorit. Antud töös on keskendutud pigem uue vedrustuse ehituse võimalikkusele ning eeldatavale lahendusele. Seetõttu ei mängi amortisaatori ja käänmiku tüüp rolli, kuna vastavalt leitud lahendusele on võimalik nii amortisaatorit, kui ka käänmikut modifitseerida ja valida.

4.2.2 Õõtshoobade konstrueerimine

Õõtshoobade konstrueerimiseks saadakse vajalik pikkus rullumispunkti skeemilt, mis on 473 mm. Õõtshoova laiuse väärtuse leitakse vastavalt ehitatud toruraami mõõtmetele. Kuna toruraam on 240 mm pikk, siis sinna on võimalik kinnitada õõtshoovad, mille otste tsentrid

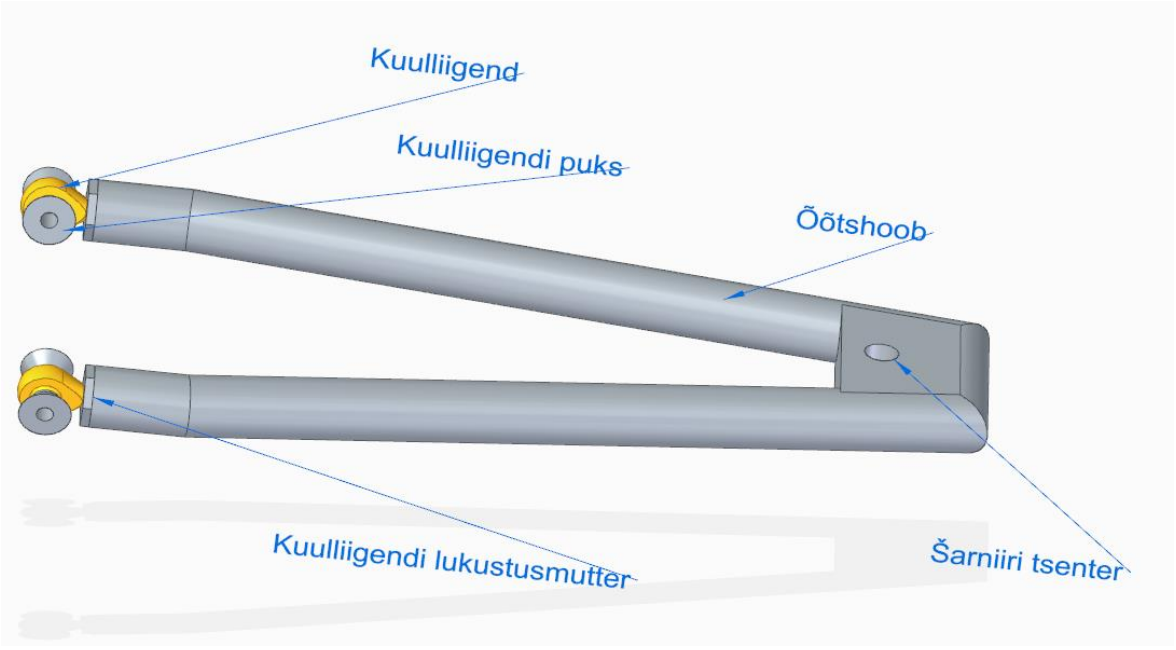
asuvad üksteisest 220 mm kaugusel. Õõtshoovad on otsustatud modelleerida nii, et nad oleks kolmnurga kujulised ja neid oleks võimalik valmistada painutatud 35 mm läbimõõduga 4 mm seinapaksusega ümartorust. Arvestades neid asjaolusid, joonestatakse õõtshoova skeem (joonis 3.8).



Joonis 4.8 Õõtshoova skeem

Õõtshoova kinnitamiseks peaülekande toruraami külge on õõtshoobade otstel samasugused poltühendusega *uniballid*, mis muudavad õõtshoova reguleeritavaks. Õõtshoova ühendamiseks käänmikuga, on õõtshoova külge paigaldatud kuulliigend (joonis 3.9).

Joonis 4.9 Õõtshoova kuulliigend [23]

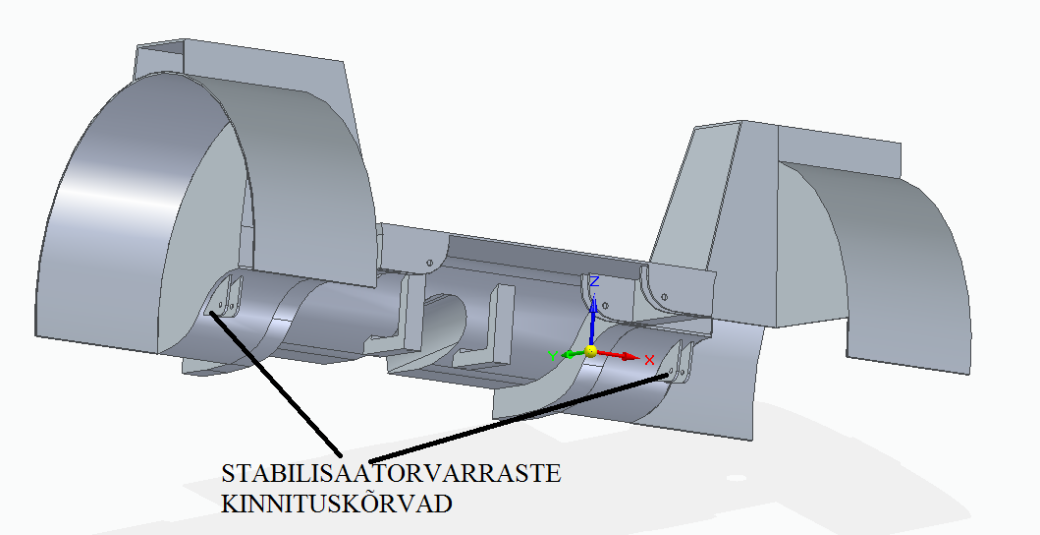


Joonis 4.10 Õõtshoob

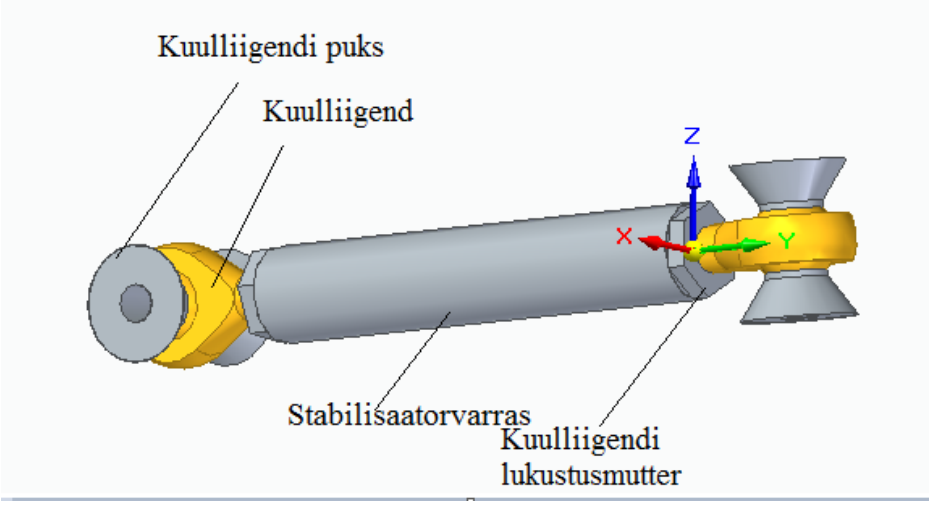
Kuulliigend paigaldatakse õõtshooval olevale alusele olenevalt kuulliigendist kas poltühendusega või keevisliitega. Kuna antud töö eesmärk on projekteerida tagasilla vedrustus, mitte see valmis ehitada, siis kindel kuulliigendi tüüp jääb hetkel teadmata.

4.2.3 Stabilisaatorvarda konstrueerimine

Stabilisaatorvarras on oluline, et hoida käänmiku vertikaalset külgkallet stabiilsena. Samuti on stabilisaatorvardal ülesanne toetada käänmikut piki sõidusuunda. Arvestades tema ülesannet, seatakse stabilisaatorvarda konstrueerimisel varda tingimuseks see, et varras oleks kinnitatud ühest otsast käänmiku ning teisest otsast auto kere külge. Varras olgu konstrueeritud samast torust, mis õõtsadki. Stabilisaatorvarraste kinnitamiseks kere külge, modelleeriti kere külge kinnituskõrvad (joonis 4.11).



Joonis 4.11 Kere külge modelleeritud stabilisaatorvarraste kinnituskõrvad

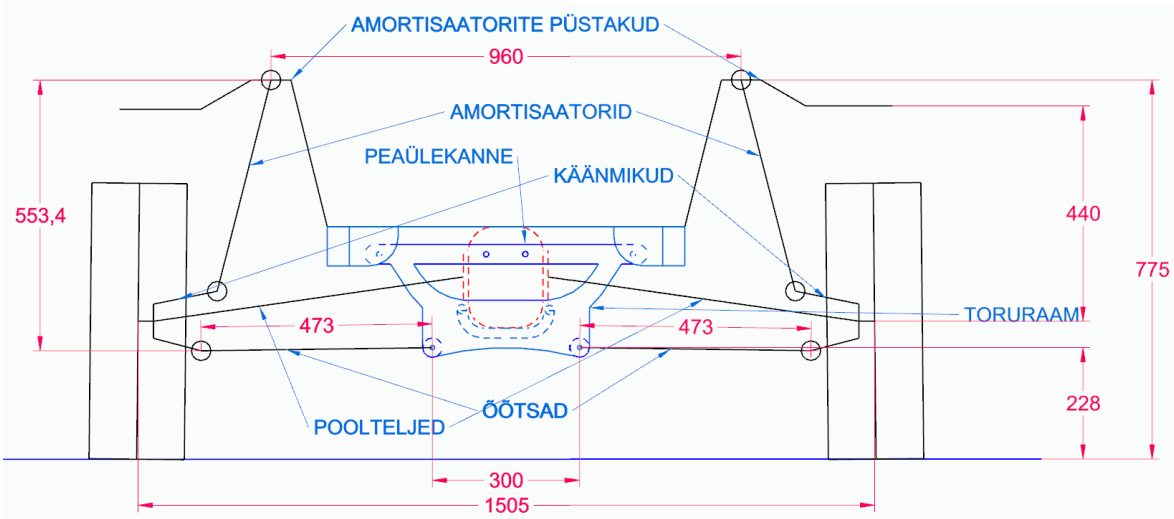


Joonis 4.12 Stabilisaatorvarras

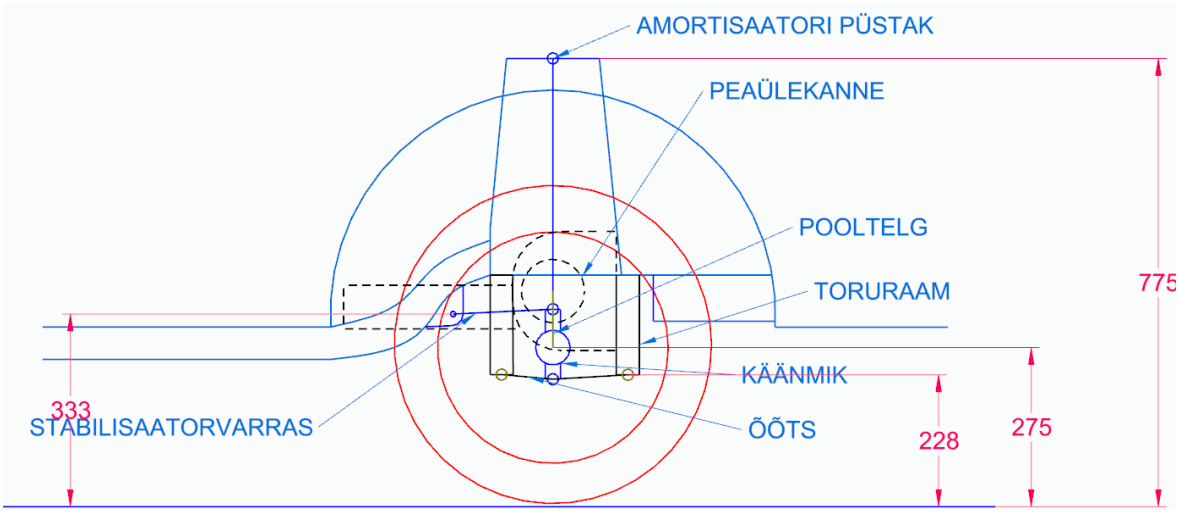
Varda suund on paralleelselt sõidusuunaga. Et vardal pikkust saaks reguleerida, on varda otstel samuti poltühendusega kuulliigendid.

4.2.4 Sõltumatu vedrustusega tagasilla eskiis

Uue tagasilla vedrustuse projekti kirjeldamiseks koostatakse tagant vaate (joonis 4.12) ja külje pealt vaate (joonis 4.13) eskiisid, kus on ära märgitud tähtsamad vedrustuse komponendid.



Joonis 4.12 Sõltumatu vedrustusega tagasilla tagavaate eskiis



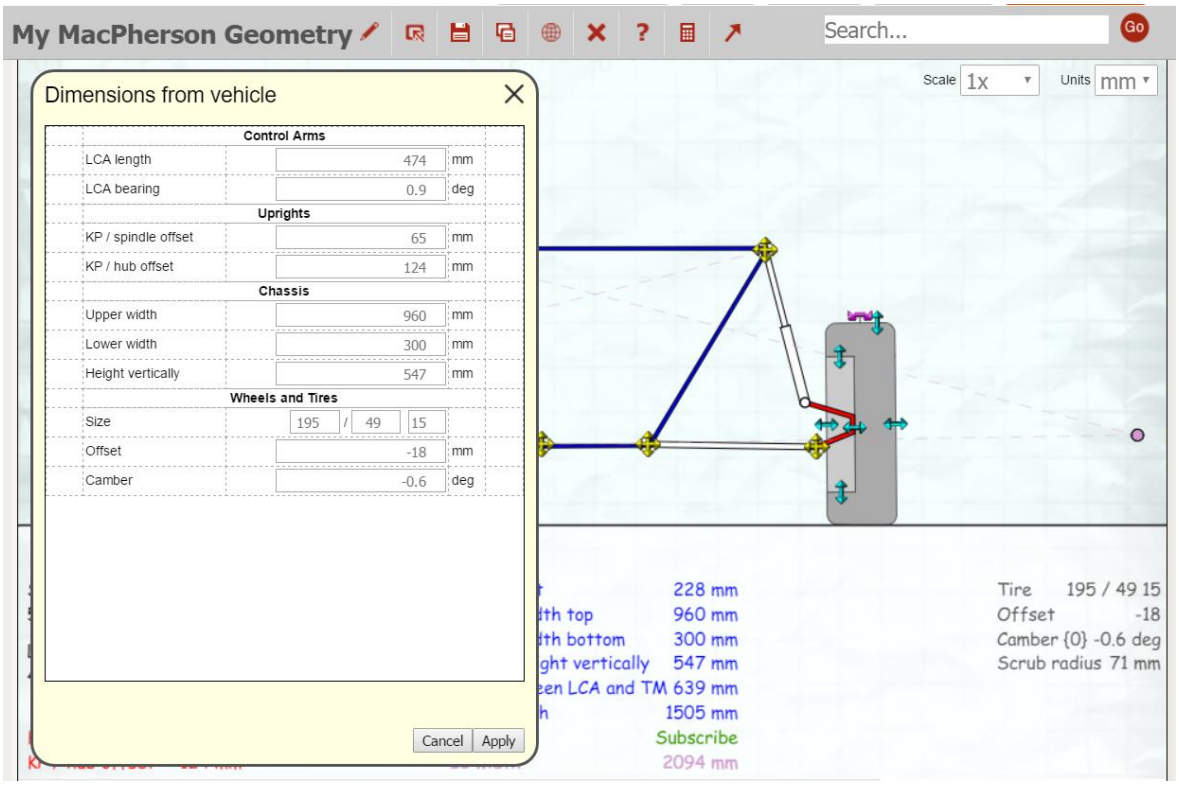
Joonis 4.13 Sõltumatu vedrustusega tagasilla külgvaate eskiis

Modelleeritud sõltumatu tagasilla mudel asub lisades (lisa A).

5. PROJEKTEERITUD MACPHERSON VEDRUSTUSE ANALÜÜS

5.1 MacPhersoni geomeetria

Projekteeritud MacPherson vedrustuse geomeetria analüüsimiseks kasutati *Racing Aspirations* kodulehel leiduvat *My MacPherson Geometry* kalkulaatorit. Kalkulaatorisse on võimalik sisestada oma MacPherson vedrustuse andmed ja seejärel kalkulaator loob andmetest lihtsa joonise (joonis 5.1), kus on kujutatud kõik põhilised vedrustuse komponendid.



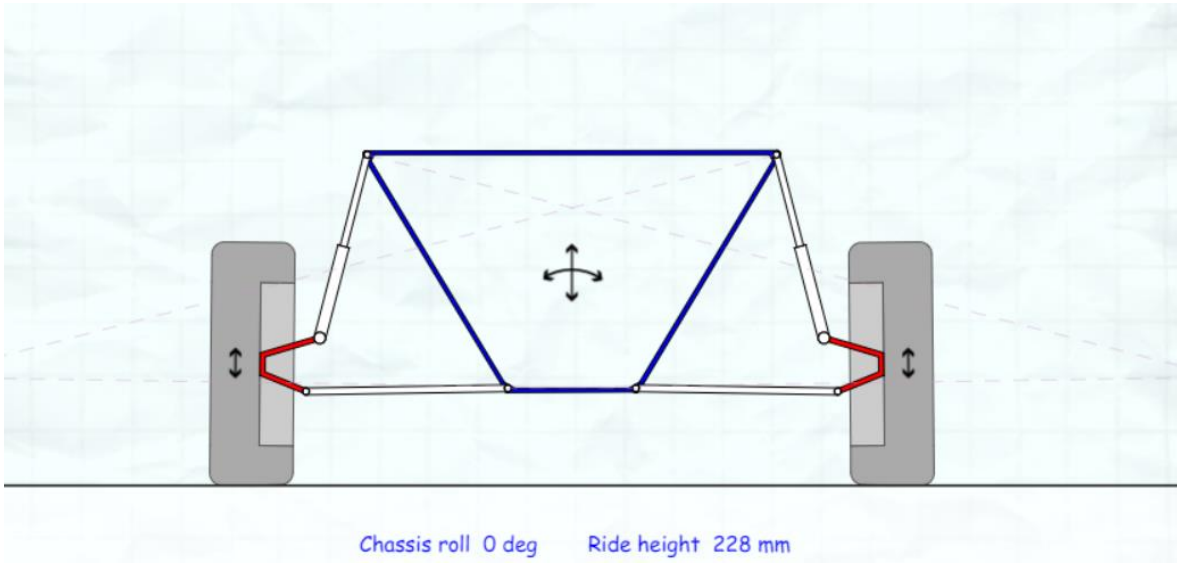
Joonis 5.1 *My MacPherson Geometry* kalkulaatorisse sisestatavad andmed

Kalkulaatorisse on võimalik sisestada järgmised andmed:

1. õõtsa pikkus;
2. õõtsa nurk kere suhtes;
3. käänmikul oleva amortisaatori kinnituspunkti ja õõtsa kinnituspunkti vahekaugus;
4. käänmiku ulatus rattasse;
5. vedrustuse ülemine laius ehk amortisaatorite kinnituspunktide omavaheline kaugus;
6. vedrustuse alumine laius ehk õõtshoovade kerekinnituspunktide omavaheline kaugus;
7. kasutatavate rehvide mõõtmed;
8. velje kesktelje kaugus käänmikul asuva kinnitustasandiga;
9. külgkalle;
10. rataste teljevahe.

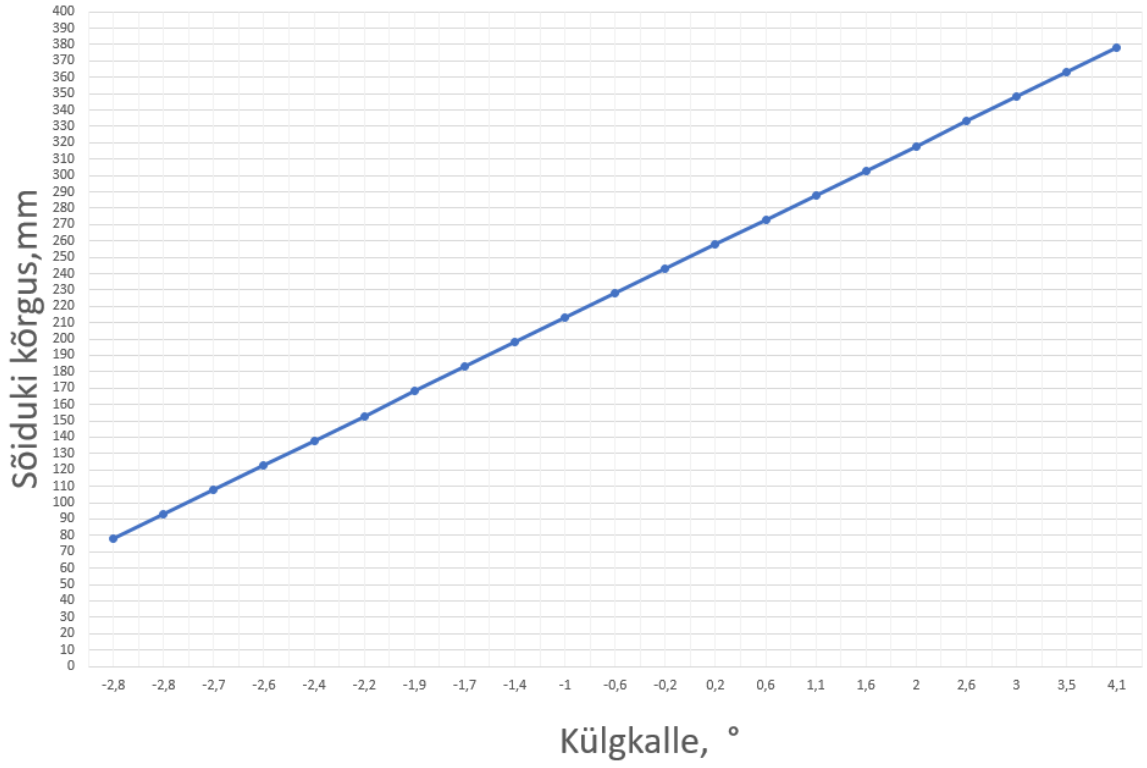
Ralliautode külgkaldeks määratakse tavaliselt negatiivne külgkalle, kuna kurvides mõjuvad rehvi välisküljele jõud, mis deformeerivad rehvi ja väänavad ratast positiivse külgkalde poole. Negatiivne külgkalle kompenseerib seda, et vähendada rehvi ebaühtlast kulumist. [11]

Antud töös projekteeritud vedrustusele määratakse kerge negatiivne külgkalle -0.6 kraadi, kuna sõiduk sõidab pigem kruusapinnasel, siis rehvile nii suuri jõudusid ei mõju kui ringrajaautodel.



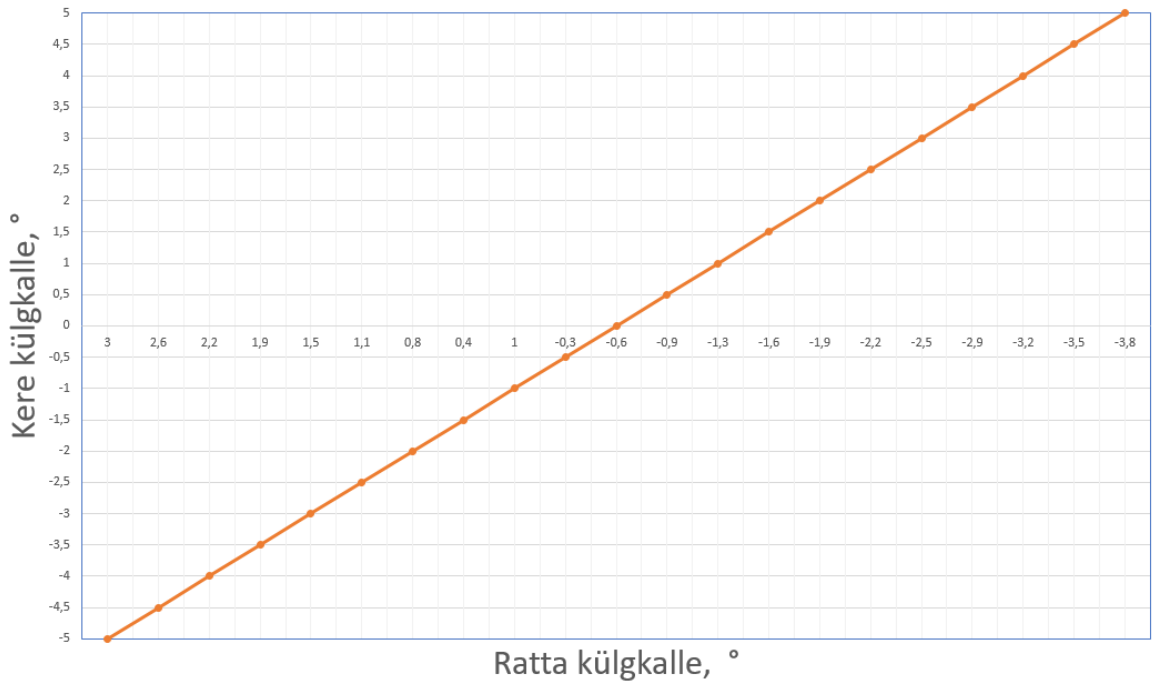
Joonis 5.2 *My MacPherson Geometry* kalkulaatori koostatud joonis projekteeritud tagasilla vedrustusest tööasendis

Joonisel olevaid vedrustuse erinevaid komponente on võimalik ükshaaval liigutada, et saada aimu, mis moodi mingi lüli liikumine teisi mõjutab. Samuti saab kalkulaatorilt andmed külgkalde siirde üles-alla ja paremale-vasakule liikudes, rullumispunkti siirde ja raskuskeskme siirde X, Y telgedel sõiduki paremale või vasakule kaldudes. Nende andmete järgi koostati kirjeldavad graafikud.



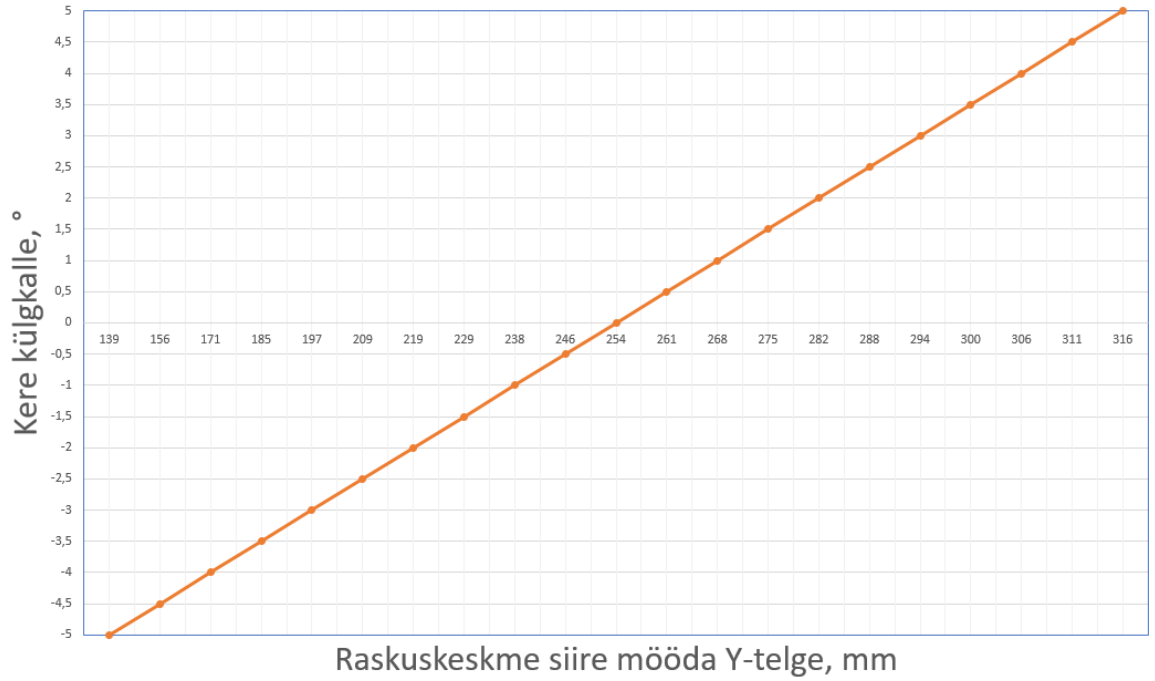
Joonis 5.3 Ratta külgkalde muutus sõltuvalt sõiduki kõrgusest maapinnast

Eelnev joonis (joonis 5.3) kirjeldab rataste külgkalde muutust olenevalt sõiduki kõrgusest maapinnast. Kõrgus on mõõdetud tagasilla kõige madalamast punktist ehk õõtsade kinntuspunktist toruraami küljes. Kõrguse siirde alumine piir on võetud võimalik maksimum ehk kere on lastud nii madalale, et ratas oleks võimalikult koopas. Nii on võimalik langetada sõidukit 150 mm. Kõrguse siirde ülemine piir on võetud sama, mis alumine piir ehk 150 mm. Graafikult on näha, et kere kõrgust muutes 300 mm ulatuses muutub külgkalle -2.8 kuni 4.1 kraadi ehk 6,9 kraadi ulatuses. Lubatud nõue külgkaldel on 0±5 kraadi. [3] Võib öelda, et silla liikumisel esinev ratta külgkalde muutus jääb lubatud piiridesse.

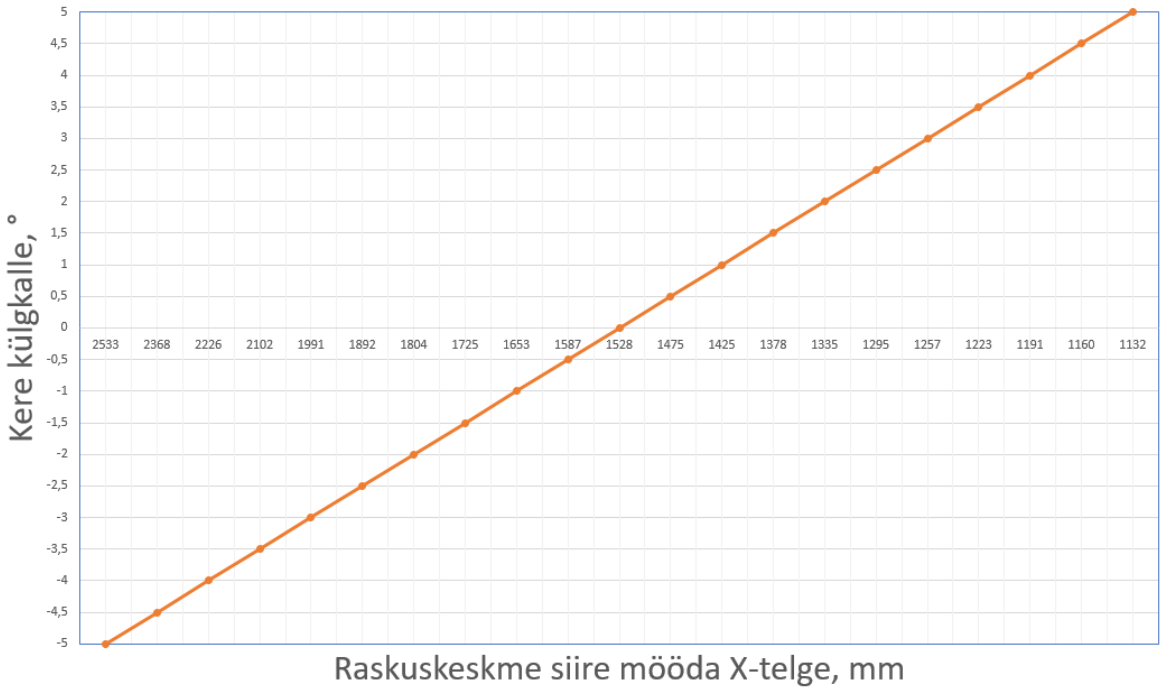


Joonis 5.4 Ratta külgkalde muutus sõltuvalt kere kalde muutusest

Joonis kirjeldab ühe ratta külgkalde muutust muutes kere külgkallet. Graafikul on muudetud kere külgkallet algasendist ±5 kraadi. Selle muutuse mõjul muutub ratta külgkalle algasendist +3 kuni -3.8 kraadi.

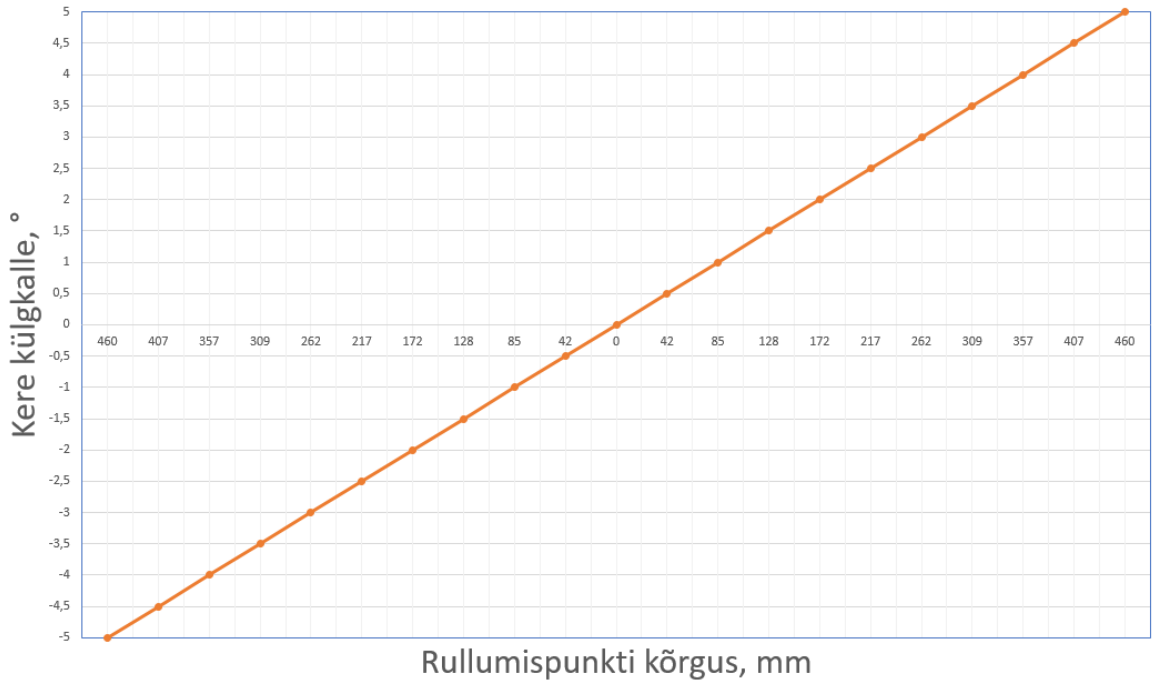


Joonis 5.5 Silla raskuskeskme siire mööda Y-telge sõltuvalt kere külgkaldest



Joonis 5.6 Silla raskuskeskme siire mööda X-telge sõltuvalt kere külgkaldest

Eelnevatel graafikutel (joonis 5.5 ja joonis 5.6) on kirjeldatud silla raskuskeskme punkti liikumist mööda Y ja X telge muutes kere külgkallet sõiduki algasendist ±5 kraadi.



Joonis 5.7 Rullumispunkti kõrgus sõltuvalt kere külgkaldest

Graafikul on näha rullumispunkti kõrguse muutumist algasendist muutes kere külgkallet.

Saadud graafikud annavad hea ülevaate silla teatud väärtuste muutumisest, kui sõiduki kere asukoht võrreldes sillaga muutub. Sõiduki kere liikumine on põhjustatud sõidu ajal sõidukile mõjuvatest igasugustest jõududest, näiteks mõjub sillale sõiduki oma raskusjõud ja kurvis liikudes mõjub sõidukile tsentrifugaaljõud ehk kesktõukejõud, mille toimel tahetakse sõidukit kurvist välja paisata.

5.2 Õõtshoobade materjalivaliku kontroll

Veendumaks kas õõtshoobade materjal peab vastu rakenduvale raskusele, teostati ümartorule kriitilise koormuse leidmiseks arvutus. Projekteeritud on valmistada õõtshoovad õmblusteta ümartorust, mille mõõtmed on 35x 4.0 mm ehk toru läbimõõt on $d = 35\ mm$ ja seina paksus on $s = 4\ mm$. Raskusjõud, mis õõtsadele vajuvad on tuletatavad sõiduki kaalust. Sõiduki mass täiskoormusel on $m = 1100\ kg$. Täiskoormus tähendab, et sõidukis on olemas kogu varustus, sõitjad ja kütusepaak on täis. Sõiduki kaalujaotus on ca 42 % esisillale ja 52 % tagasillale. See tähendab, et tagasillale lasuv raskus on $m_t = 572\ kg$.

Raskusjõu leitakse valemist [1]:

$$F = m \cdot g = 572 \cdot 9.81 = 5611{,}32 \approx 5611\ N\ , \tag{5.1}$$

kus F on raskusjõud N;

m – sõiduki mass, m $= 1100$ kg;

g – maapinna raskuskiirendus, g $= 9{,}81$ N/kg.

Järgnevalt leitakse õõtshoova ehitamiseks kasutatava toru inertsimomendi valemist [1]:

$$I = \frac{\pi \cdot (d_v^4 - d_s^4)}{64} = \frac{\pi \cdot (0{,}035^4 - 0{,}004^4)}{64} = 7{,}365 \cdot 10^{-8}\ m^4\ , \tag{5.2}$$

kus I on ümartoru ristlõike inertsimoment m^4;

d_v – ümartoru välisläbimõõt, $d_v = 35\ mm$;

d_s – ümartoru siseläbimõõt $d_s = 4\ mm$.

Varda kriitiline koormus leitakse valemiga [1]:

$$F_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{l^2} = \frac{\pi^2 \cdot 200 \cdot 10^6 \cdot 7{,}365 \cdot 10^{-8}}{0{,}515^2} = 5481{,}3\ N \quad , \tag{5.3}$$

kus *I* on ümartoru ristlõike inertsimoment m^4;

E – terase elastusmoodul, $E = 200\ kN/mm^2$ [1];

I – ristlõike inertsimoment, $I = 7{,}365 \cdot 10^{-8}\ m^4$;

l – tala pikkus, $m = 0{,}515$ m.

Arvutustulemused näitavad, et õõtshoob kannatab raskusjõudu suurusega $F = 5481{,}3\ N$. Sõiduki tagasillale mõjuv kogu raskusjõud oli $F_{kogu} = 5611\ N$, mis jaguneb silla kahe õõtshoova vahele ära ehk üks õõtshoob peaks kannatama reaalselt 2805,5 N suurust raskusjõudu, mida ta ka kannatab. Järelikult valitud ümartoru mõõtmetega 35x 4,0 mm sobib õõtshoobade valmistamiseks.

5.3 Vedrustuse arvutus

Projekteerides lihtsalt vedrustuse paigaldamist, on vaja leida mõned tähtsamad parameetrid.

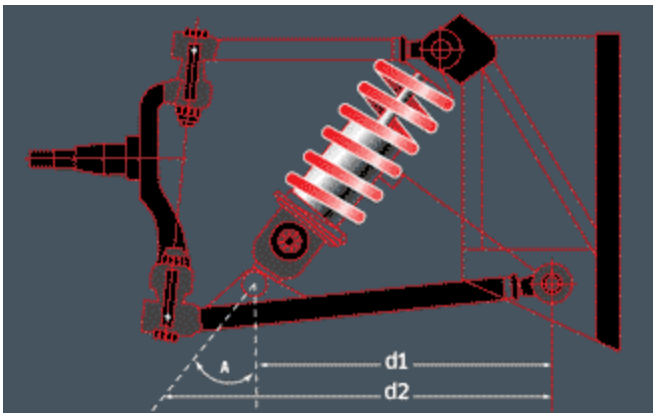
Kõigepealt leitakse *Motion Ratio* ehk antud töös õõtshooval asuvate amortisaatori ja õõtshoova enda kinnituspunktide suhe (joonis 5.8) valemiga [4]:

$$MR = \frac{d_1}{d_2} = \frac{440{,}21}{473} = 0{,}931 \quad , \tag{5.4}$$

Kus *MR* on kinnituspunktide suhe;

d_1 – õõtshoova toruraami kinnituspunkti tsentri kaugus amortisaatori kinnituspunktist, $d_1 = 440{,}21\ mm$;

d_2 – amortisaatori tsentrijoone ja õõtshoova tsentrijoone lõikumispunkti kaugus õõtshoova kere kinnituspunktist, $d_2 = 473\ mm$.



Joonis 5.8 Amortisaatori ja õõtshoobade kinnituspunktide kauguste väärtused [25]

Seejärel leitakse *Wheel Rate,* mis näitab vedru käitumist sõltuvalt rehvi maapinda puutuvast pinnast.

Wheel Rate arvutatakse valemiga [25]:

$$WR = MR^2 \cdot C \cdot ACF = 0{,}931^2 \cdot 250 \cdot 0{,}96 = 207{,}88\ N/mm\ , \qquad (5.5)$$

Kus *WR* on kinnituspunktide suhe N/mm;

MR – kinnituspunktide suhe, $MR = 0{,}931$;

C – vedru jäikus, $C = 250\ \frac{N}{mm}$;

ACF – amortisaatori nurga parandustegur, $ACF = 0{,}96$.

Vedru jäikus on võetud vedru jäikuse tabelist, kus on pakutud amortisaatoritele vedrud vastavalt vedru pikkusele ja sillale langevale raskusele. [25]

Amortisaatori nurga parandustegur on võetud nurga parandustegurite tabelist, kus on vastavalt amortisaatori nurgale kere suhtes kindel parandustegur. Lähtesõiduki amortisaatori nurk sõiduki kere suhtes on 15 kraadi. [26]

Viimase parameetrina leitakse vedrustuse sagedus, mis näitab mitu töötsüklit amortisaator läbib, et stabiliseerida peale toetavat massi. Vedrustuse sagedus leitakse valemiga [25]:

$$SF = (187{,}8) \cdot \left(\sqrt{\frac{WR}{vedrustamata\ mass}} \right), \tag{5.6}$$

Kus *SF* on vedrustuse sagedus, *Hz*;

WR – *Wheel Rate*, $WR = 207{,}88\ N/mm$.

Kuna antud töös projekteeritud silla vedrustamata mass on teadmata, siis ei saa arvutust teostada. Eelnevad arvutused teostati, et näidata, kuidas leida vajalikke parameetreid, mille järgi teatud sõidukile amortisaatorivedrusid valida.

5.4 Algvedrustuse ja projekteeritud vedrustuse võrdlus

Algvedrustuse ja uue projekteeritud vedrustuse omavaheliseks võrdluseks koostati tabel.

Tabel 3. Algvedrustuse ja uue projekteeritud vedrustuse võrdlus

Parameeter	Algvedrustus	Uus projekteeritud vedrustus
1. Tüüp	4- lüliga ja Watt'i varrastega jäik sild	MacPherson küünalvedrustusega sild
2. Kere kinnituspunktid	Piki sõidusuunaga varrastega neljast punktist, Watt'i varrastega kahest punktist ja amortisaatoritega kahest punktist	Mõlemad õõtshoovad kinnituvad kere külge kinnitatud toruraami külge kahest punktist, stabilisaatorvardad kahest punktist ja amortisaatorid kahest punktist
3. Peaülekande tüüp	Sillatalaga kokku ehitatud Volvo 240 peaülekanne	Sillatalast eraldi sõiduki kere külge kinnitatud Subaru R160 peaülekanne
4. Rataste teljevahe	1505 mm	1505 mm
5. Silla ülemine laius	960 mm	960 mm
6. Silla alumine laius	1410 mm	300 mm
7. Ratta külgkalle tööasendis	0°	−0,6°
8. Ratta külgkalde muutus kokku käigu muutudes	0°	6,9°

9. Ratta käik	150 mm	300 mm

Projekteeritud vedrustusel võrreldes algvedrustusega jäid samaks rataste teljevahe, amortisaatorite kinnituspunktid kerel nagu eesmärkides püstitatud. Samuti ei ole vajalik suuremate kere muutmistööde teostamine kui soovitakse paigaldada uus projekteeritud vedrustus. Ratta käik koopas suurenes kahe korda, mis tagab parema juhitavuse teel, samuti on palju parem vastupanu löökkoormustele. Ratta külgkalde muutus uuel vedrustusel toob kaasa parema tee kopeerimise omaduse, mis parandab ka juhitavust. Uus projekteeritud sild on ka palju kompaktsem kui vana sild ja vedrustamata mass on ka märgatavalt väiksem.

KOKKUVÕTE

Antud töö raames sai täidetud kõik püstitatud eesmärgid:

1. tutvuti autode erinevate tagasilla lahendustega;
2. tutvuti teemakohase kirjanduse ja teooriaga;
3. kirjeldati hetkel olemasolevat tagasilla süsteemi;
4. leiti uue sõltumatu vedrustusega tagasilla lahenduse projekteerimiseks vajalikud juhised;
5. teostati uue sõltumatu tagasilla vedrustuse projekteerimise eelne analüüs, millele on püstitatud järgmised etapid:
    1. kujutati lähtesõiduki kere raam, kuhu hiljemalt projekteeritakse uus vedrustus;
    2. valiti peaülekanne;
    3. modelleeriti peaülekandele toruraam, millega kinnitada see sõiduki kere külge;
    4. valiti projekteeritava vedrustuse tüüp;
6. projekteeriti uus sõltumatu vedrustusega tagasilla lahendus;
7. koostati tagasilla tehnilised joonised;
8. võrreldi vana ja uut tagasilla vedrustust.

Uue tagasilla vedrustuse projekteerimise aluseks võeti sõiduki kerele kinnitamise võimalused ja rullumispunkti asukoht. Samuti peati silmas teha võimalikult vähe kere ümberehitustöid.

Projekteeritud vedrustus liigiks valiti MacPhersoni küünalvedrustus, mis kujutab endast eraldi kere küljes paikneva peaülekandega ühe õõtshoovalist süsteemi, mille õõtsade, amortisaatorite ja stabilisaatorvarraste kinnitused koonduvad käänmikule. Projekteeritud vedrustus on reguleeritav tänu reguleeritava pikkusega õõtshoobade ja stabilisaatorvarrastele. Võrreldes algse tagasilla lahendusega on uus projekteeritud sild kompaktsem, paremate tee kopeerimis- ja reguleerimisvõimalustega. Samuti paranes sõidukil vedrustamata massi osakaal.

Projekteeritud silla kohta teostatud analüüs näitab, et silla detailid on õigesti projekteeritud ja projektipõhine teostus tegelikkuses on võimalik.

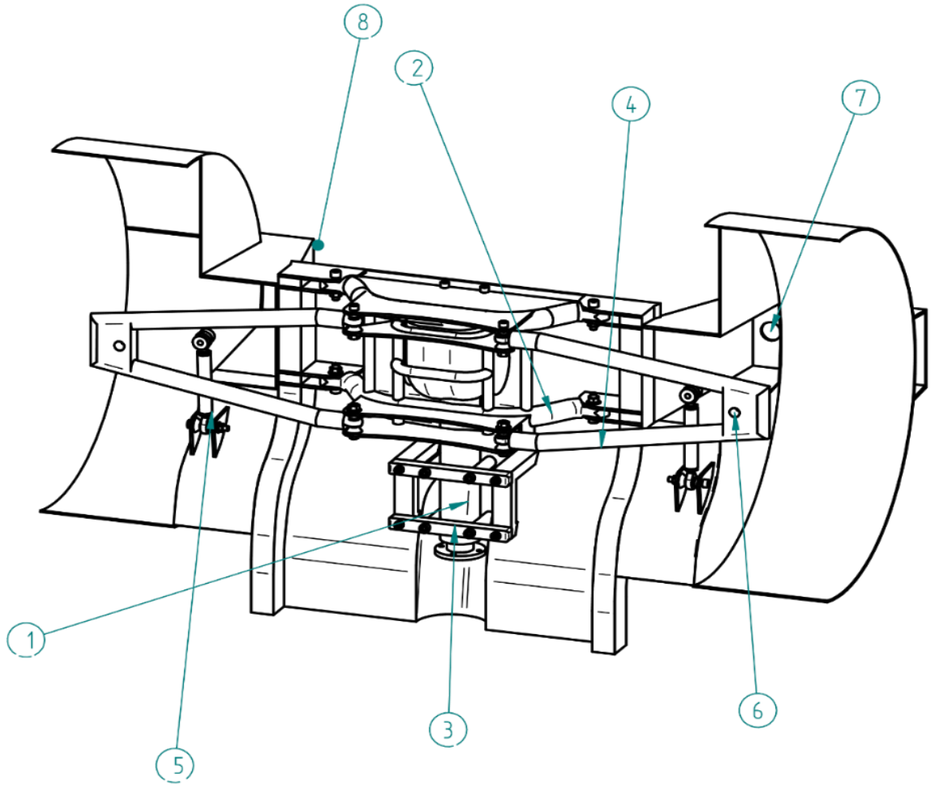
KASUTATUD KIRJANDUS

1. Mehaanikainseneri käsiraamat. (2015). /Toim. P. Kulu, E. Hendre. Tallinn: TTÜ Kirjastus. 492 lk.
2. Autonduse käsiraamat. (2014). Toim. L. Abo, E. Hendre, J. Lavrentjev, K. Mölder, H. Ots. Tallinn: Autoerialade Kirjandus OÜ. 731 lk.
3. **J. Reimpell, H. Stoll, J.W. Betzler.** (2001). The Automotive Chassis: Engineering Principles Second Edition. Oxford: Butterworth- Heinemann. 456 lk.
4. **W.F. Milliken, D.L. Milliken.** (1994). Race Car Vehicle Dynamics. SAE International. 890 lk.
5. **T.K. Garret, K. Newton, W. Steeds.** (2001) The Motor Vehicle: Thirteenth Edition. Oxford: Butterworth- Heinemann. 1214 lk.
6. **J. Meshkatifar, M. Esfahanian.** (2015) Optimal Roll Center Height of Front McPherson Suspension System for a Conceptual Class A Vehicle. - *Journal of Applied and Computational Mechanics.* Vol. 1. Nr. 1. lk 10-16.
7. Independent Suspension System Dept of Mechanical Engineering Final Year Project. (2011). 1000 Projects. http://1000projects.org/independent-suspension-system-dept-of-mechanical-engineering-final-year-project.html. (01.06.2017).
8. Suspension. (2016). Rapid Racer. http://www.rapid-racer.com/suspension.php. (01.06.2017).
9. The Differences Between A Panhard Bar And Watt's Link. (2015). Turnology. http://www.turnology.com/tech-stories/brakes-suspension/the-differences-between-a-panhard-bar-and-a-watts-link. (01.06.2017).
10. Which suspensioon system is better: MacPherson or the double wishbone?. (2015). Quora. https://www.quora.com/Which-suspension-system-is-better-MacPherson-or-the-double-wishbone. (01.06.2017).
11. Camber: What is Camber? (2005). Performance Trends Inc. http://performancetrends.com/Definitions/Camber.htm. (01.06.2017).
12. Cars and Automobiles: What are the advantages and disadvantages of double wishbone, macpherson strut and solid axle suspensions? (2015). Quora. https://www.quora.com/Cars-and-Automobiles-What-are-the-advantages-and-disadvantages-of-double-wishbone-macpherson-strut-and-solid-axle-suspensions. (01.06.2017).
13. What is a DeDion axle? Autolatest. http://www.autolatest.com/auto-editorial/what-is-a-dedion-axle-. (01.06.2017).
14. Rear suspensioon. (2016). Audi Technology Portal. https://www.audi-technology-portal.de/en/chassis/wheel-suspension-steering/rear-suspension. (01.06.2017).

15. Car Double wishbone suspensioon. (2017). Motor Car. http://www.motor-car.co.uk/suspension-types/item/14590-double-wishbone-suspension. (01.06.2017).
16. 2017 Audi Q7. (2017). Caricos. http://www.caricos.com/cars/a/audi/2017_audi_q2/images/89.html. (01.06.2017).
17. Types of Suspension System. (2017). 4MechTech. http://4mechtech.blogspot.com.ee/ 2014/09/types-of-suspension-system.html. (01.06.2017).
18. What is the best solid axle rear suspension? (2016). Quora. https://www.quora.com/What-is-the-best-solid-axle-rear-suspension. (01.06.2017).
19. Volvo 240 260 Series 1975-77 Drive Axles Repair Guide. (2012). Auto Motive Repair Guides. http://automotiverepairguides.blogspot.com.ee/2013/07/volvo-240-260-series-1975-77-drive.html. (01.06.2017).
20. Kit 2 silent-blocks rígidos uniball brazo arrastre traseros Hardrace Mitsubishi EVO 4-9. (2017). BB Sport. https://www.bbsport.com/silentblocks-mitsubishi/23470-kit-2-silent-blocks-rigidos-uniball-brazo-arrastre-traseros-hard-race-mitsubishi-evo-4-9.html. (01.06.2017).
21. Volvo 240 ferdig sveiset for four-link & watt-link. (2010). Volvo Car Club Norway. http://forum.vccn.no/showthread.php?19816-Volvo-240-ferdig-sveiset-for-four-link-watt-link. (01.06.2017).
22. Differential - Subaru Impreza WRX STI R160 4.44 LSD. (2017). LEXXJDM. https://www.lexxjdm.com/collections/transmission-drivetrain/products/differential-subaru-impreza-wrx-sti-r160-4-44-lsd-4. (01.06.2017).
23. Õõthoova kuulliigend. (2017). Alvadi. http://alvadi.ee/kataloog/varuosa/139952/26241. (01.06.2017).
24. Kuulliigend M10 parempoolne väliskeere. (2017). Laagripood. http://www.laagripood .eu/et/a/kuulliigend-m10-parempoolne-valiskeere. (01.06.2017).
25. Spring Rate Information. (2017). QA1. https://www.qa1.net/tech/documents/Spring-Rate-Chart-Vehicle-Weights.pdf. (01.06.2017)
26. Street Performance & Racing Spring Rate Tech. (2017). QA1. https:// www.qa1.net/technical-support/street-performance-racing-spring-rate-tech. (01.06.2017).

LISAD

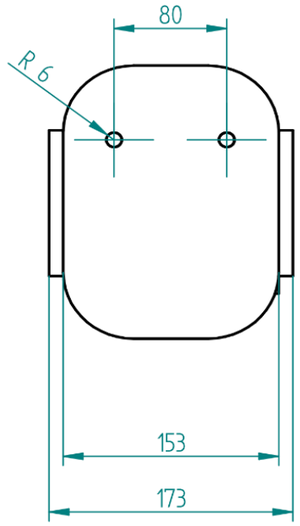
LISA A. Projekteeritud sõltumatu vedrustusega tagasilla detailide joonised

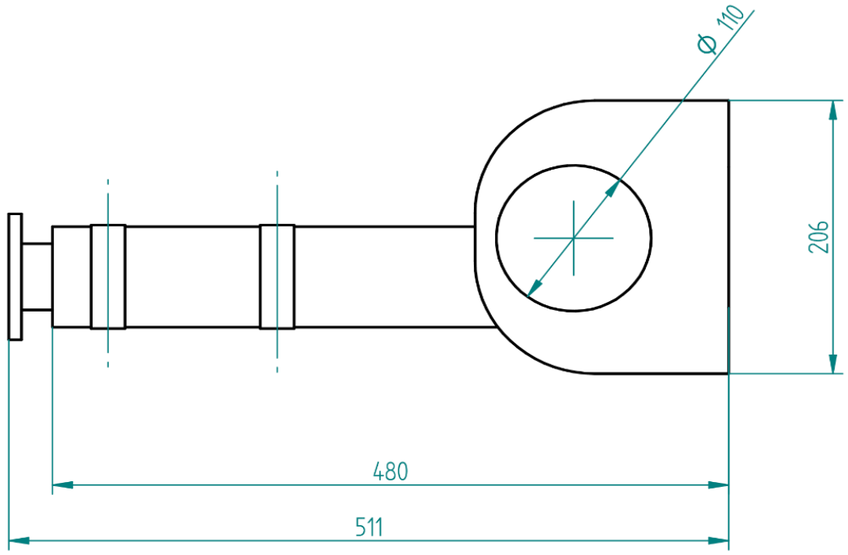


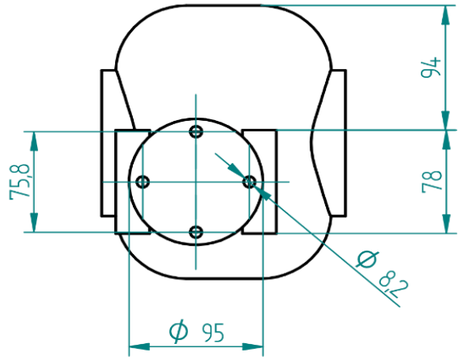
1		Peaülekanne	TA 17/130763 A 01 01 D	1	
2		Peaülekande toruraam	TA 17/130763 A 01 02 D	1	
3		Peaülekande kinnitus	TA 17/130763 A 01 03 D	2	
4		Õõtshoob	TA 17/130763 A 02 01 K	2	
5		Stabilisaatorvarras	TA 17/130763 A 03 01 K	2	
6		Šarniiri asukoht			
7		Vedrustuselemendi asukoht			
8		Sõiduki kere			
Osa	Vali	Nimetus/ Materjal	Tahis	Hulk	Markus

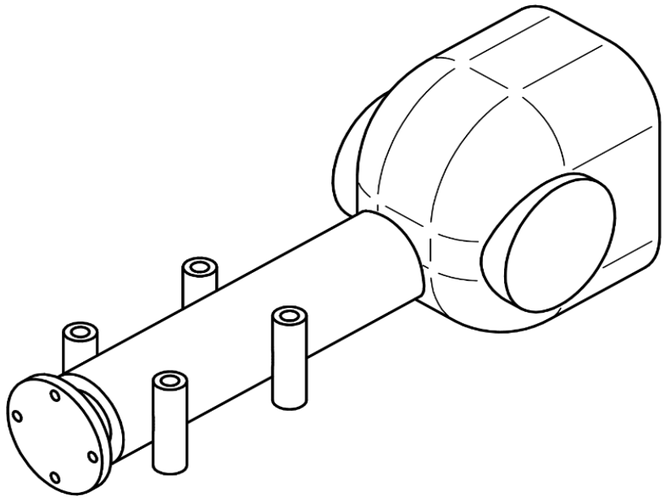
	Materjal:	Näitamata piirhälbed: ISO 2768-mK	Mass: / Mõõt: 1:10
Teostas	J. Õunpuu	Nimetus: Sõltumatu vedrustusega tagasild lahtesõiduki kere suhtes	
Kontrollis	A. Aan		
Kinnitas			
Eesti Maaülikool, Estonian University of Life Sciences, Tehnikainstituut, Institute of Technology		Leht: 1/1	Tahis: TA 17/130763 A 01 01 K

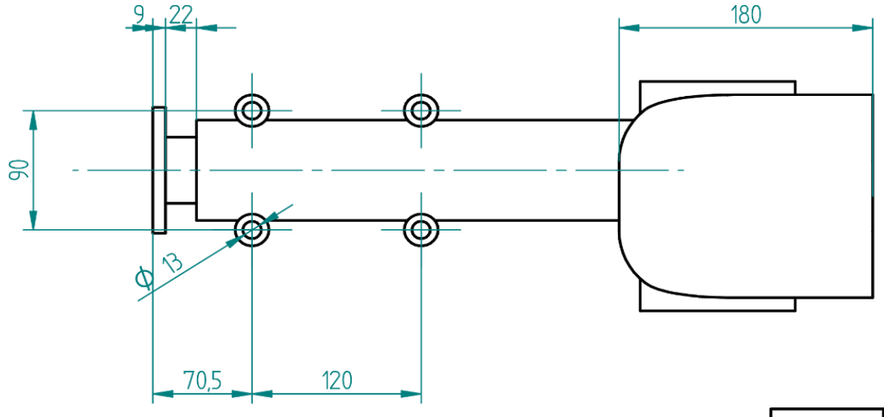
SOLID EDGE ACADEMIC COPY





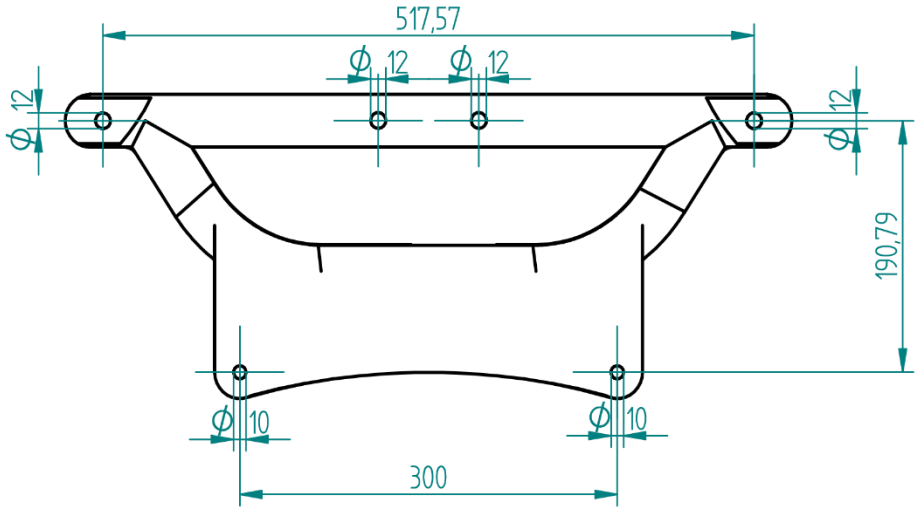


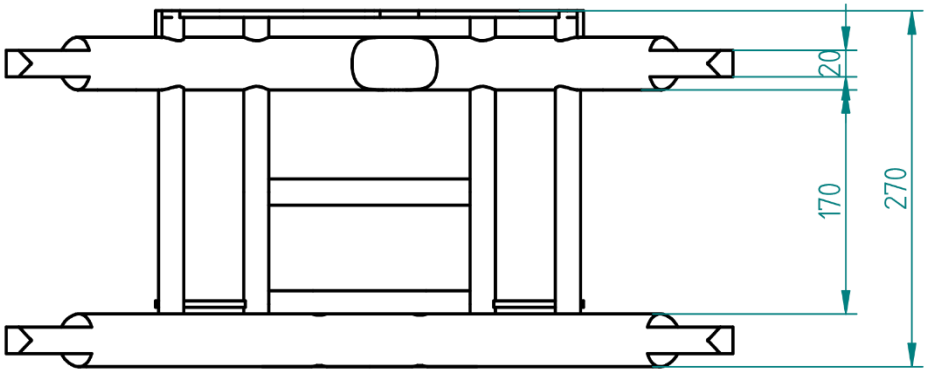




	Materjal: Malm	Näitamata piirhälbed: ISO 2768-mK	Mass: 23,6 kg	Mõõt: 1:4
Teostas	J. Õunpuu	Nimetus: Peaülekanne		
Kontrollis	A. Aan			
Kinnitas				
Eesti Maaülikool, Estonian University of Life Sciences, Tehnikainstituut, Institute of Technology		Leht: 1/1	Tähis: TA 17/130763 A 01 01 D	

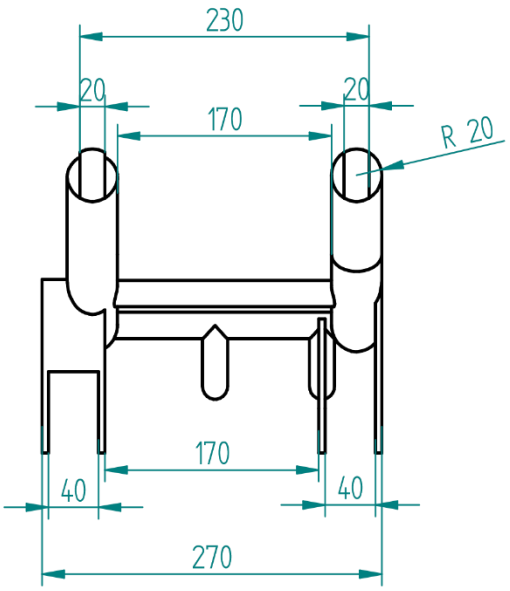
SOLID EDGE ACADEMIC COPY

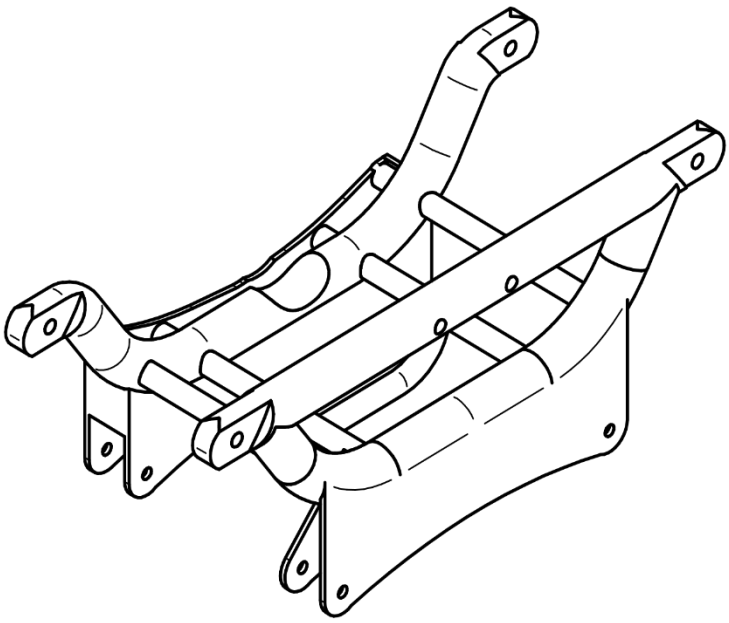




	Materjal: S235	Näitamata piirhälbed: ISO 2768-mK	Mass: 5 kg	Mõõt: 1:5
Teostas	J. Õunpuu	Nimetus: Peaülekande toru-raam		
Kontrollis	A. Aan			
Kinnitas				
Eesti Maaülikool Estonian University of Life Sciences Tehnikainstituut Institute of Technology www.emu.ee		Leht: 1/2	Tähis: TA 17/130763 A 01 02 D	

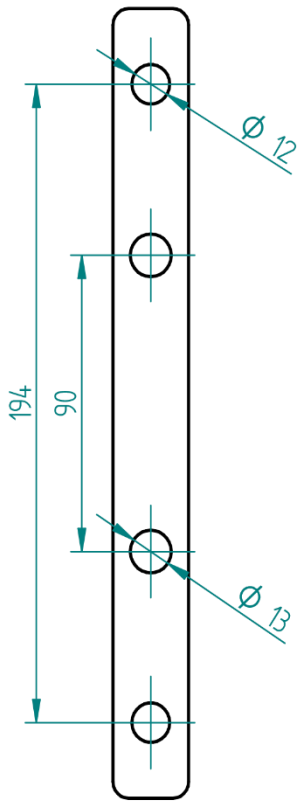
SOLIDWORKS ACADEMIC COPY

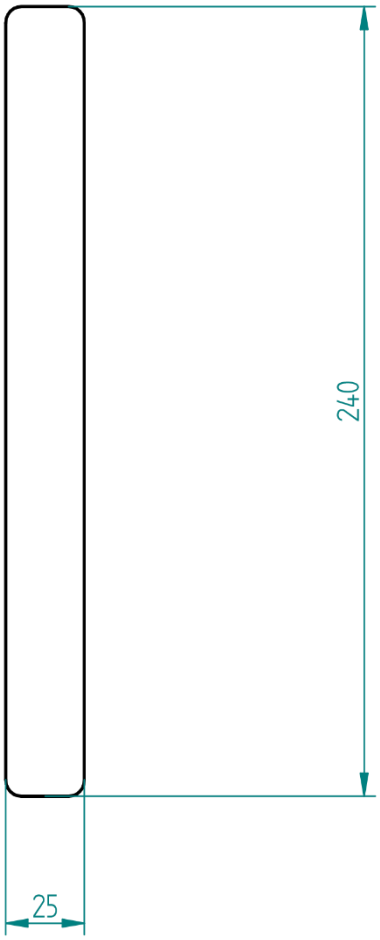


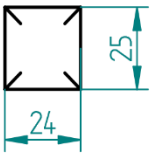


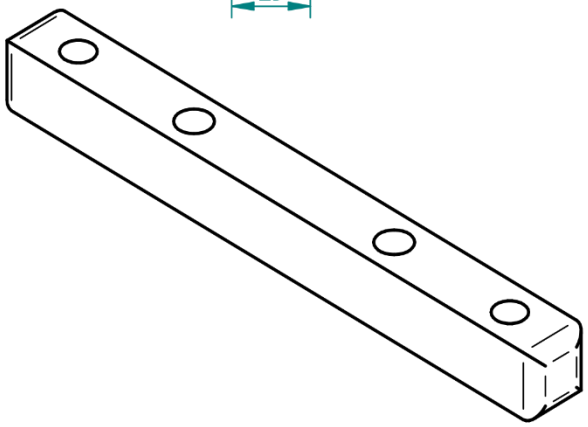
	Materjal: S235	Näitamata piirhälbed: ISO 2768-mK	Mass:	Mõõt: 1:5
Teostas	J. Õunpuu	Nimetus: Peaülekande toru-raam		
Kontrollis	A. Aan			
Kinnitas				
Eesti Maaülikool Estonian University of Life Sciences Tehnikainstituut Institute of Technology www.emu.ee		Leht: 2/2	Tähis: TA 17/130763 A 01 02 0	

SOLIDWORKS ACADEMIC COPY



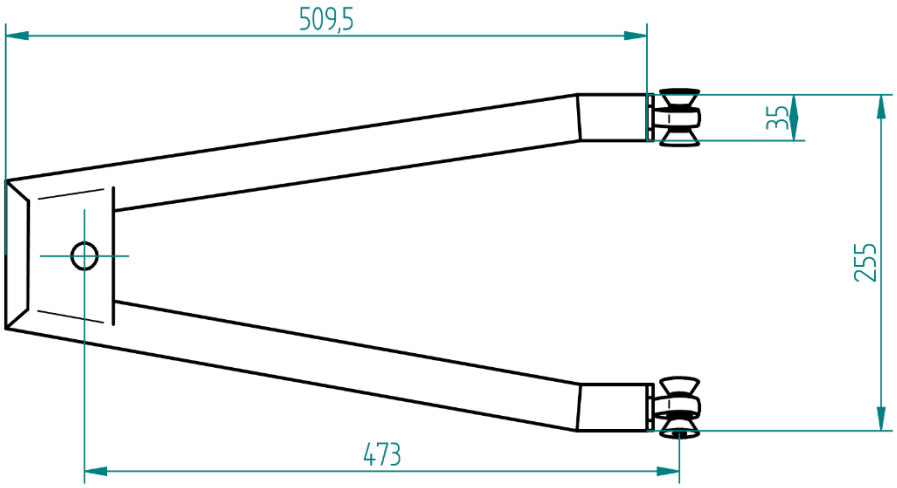


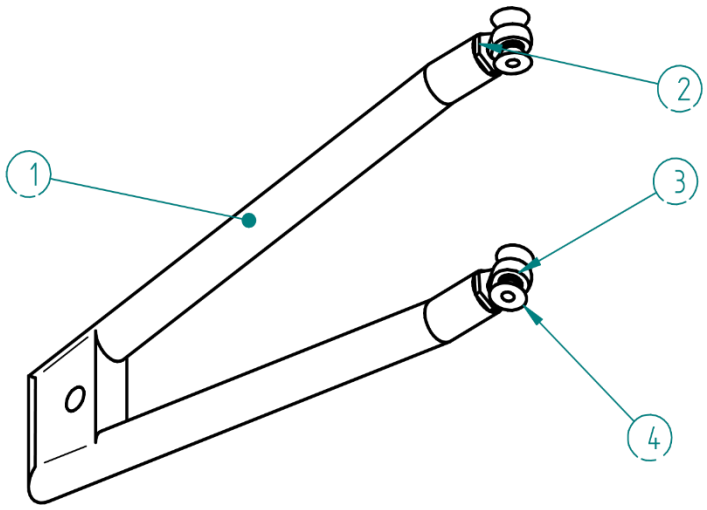




	Materjal: S235	Näitamata piirhälbed: ISO 2768-mK	Mass: 0,2 kg	Mõõt: 1:2
Teostas	J. Õunpuu	Nimetus: Peaülekande kinnitus		
Kontrollis	A. Aan			
Kinnitas				
Eesti Maaülikool, Estonian University of Life Sciences, Tehnikainstituut, Institute of Technology		Leht: 1/1	Tähis: TA 17/130763 A 01 03	

SOLIDEDGE ACADEMIC COPY



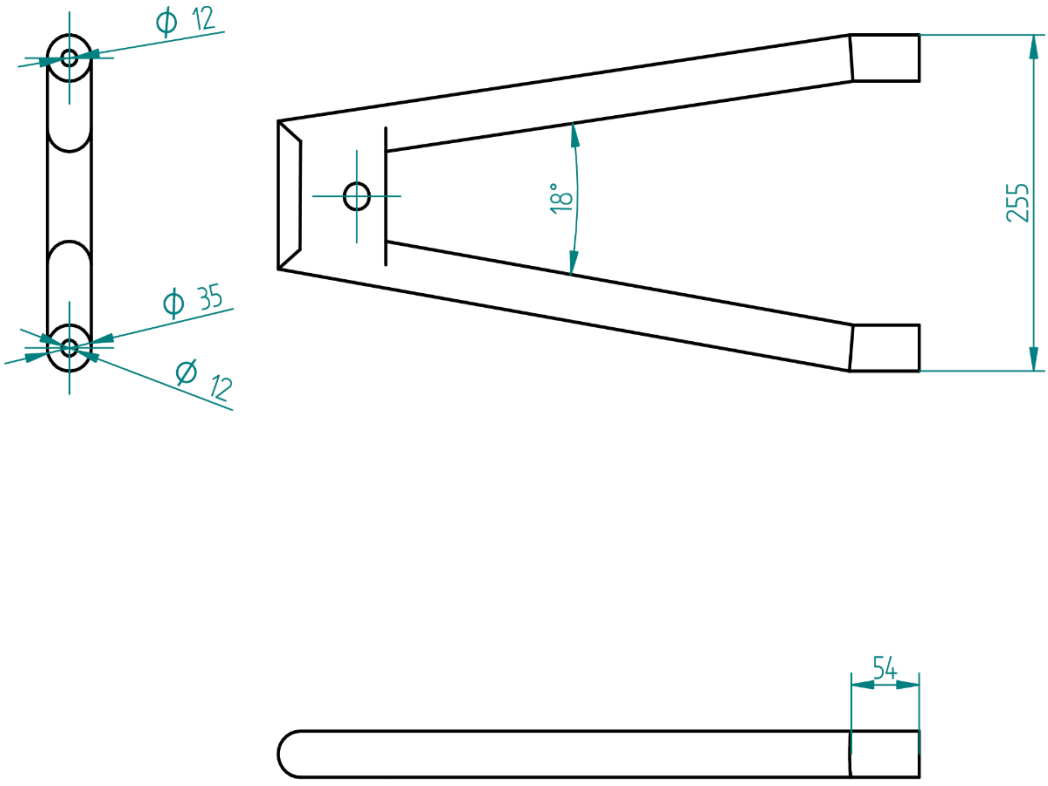


1		Õõtshoob	TA 17/130763 A 02 01 D	1	
2		*Kuulliigendi puks*	TA 17/130763 A 02 02 D	4	
3		*Kuulliigend väliskeermega M12*	TA 17/130763 A 02 03 D	2	
4		Kuulliigendi lukustusmutter	TA 17/130763 A 02 04 D	2	
Osa	*Väli*	*Nimetus/ Materjal*	*Tähis*	*Hulk*	*Märkus*

	Materjal:	Näitamata piirhälbed: ISO 2768-mK	Mass: / Mõõt: 1:2

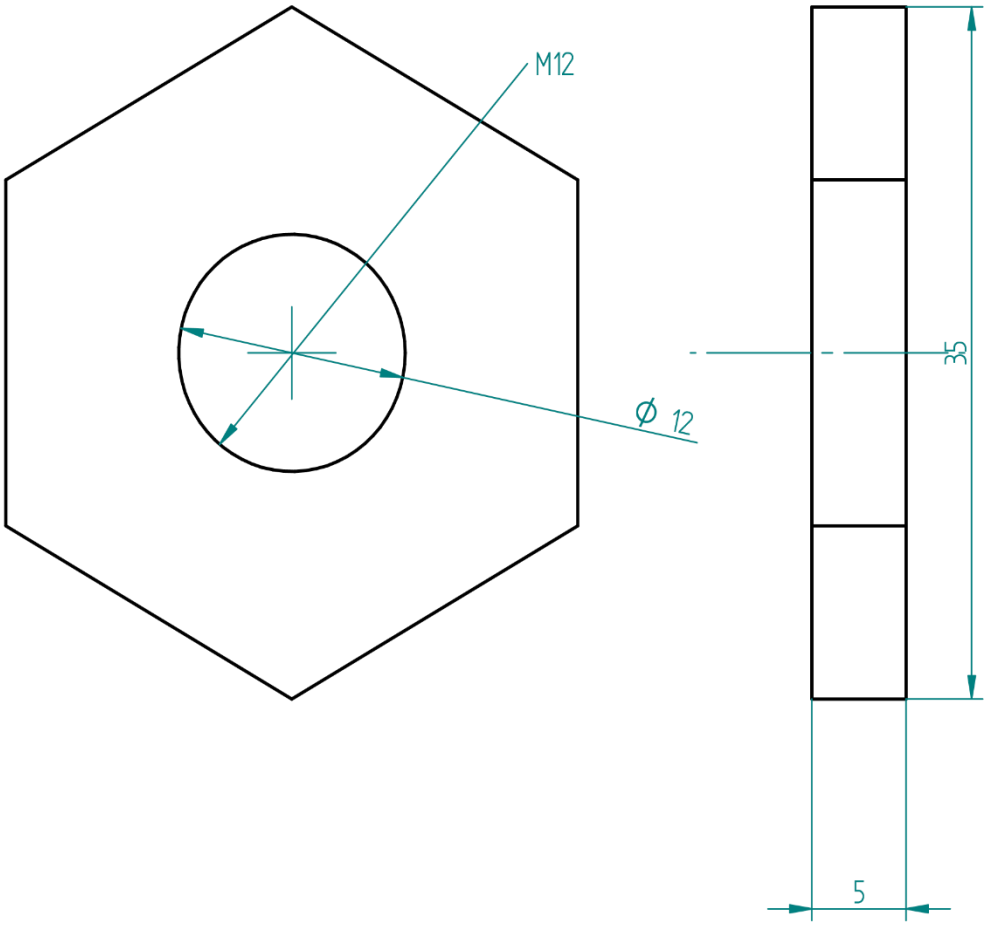
Teostas	J. Õunpuu	Nimetus: Õõtshoob	
Kontrollis	A. Aan		
Kinnitas			
Eesti Maaülikool, Estonian University of Life Sciences, Tehnikainstituut, Institute of Technology (www.emu.ee)		Leht: 1/1	Tähis: TA 17/130763 A 02 01 K

SOLIDEDGE ACADEMIC COPY



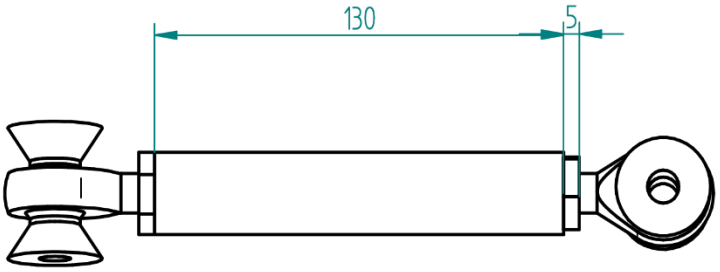
	Materjal: S235	Näitamata piirhälbed: ISO 2768-mK	Mass: 1,1 kg	Mõõt: 1:5
Teostas	J. Õunpuu	Nimetus: Õõtshoob		
Kontrollis	A. Aan			
Kinnitas				
Eesti Maaülikool, Estonian University of Life Sciences, Tehnikainstituut, Institute of Technology		Leht: 1/1	Tähis: TA 17/130763 A 02 01 D	

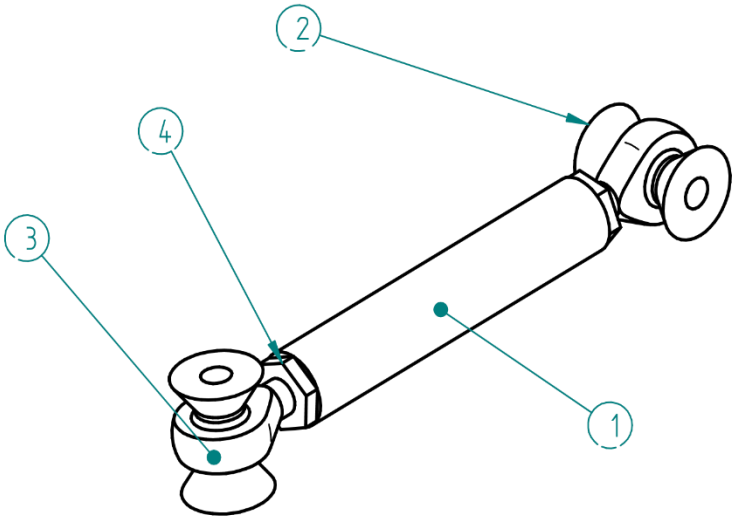
SOLIDWORKS ACADEMIC COPY



	Materjal: S235	Näitamata piirhälbed: ISO 2768-mK	Mass: 0,1	Mõõt: 3:1
Teostas	J. Õunpuu	Nimetus: Kuulliigendi lukustusmutter M12		
Kontrollis	A. Aan			
Kinnitas				
Eesti Maaülikool Estonian University of Life Sciences Tehnikainstituut Institute of Technology		Leht: 1/1	Tähis: TA 17/130763 A 02 04 D	

www.emu.ee
SOLIDEDGE ACADEMIC COPY





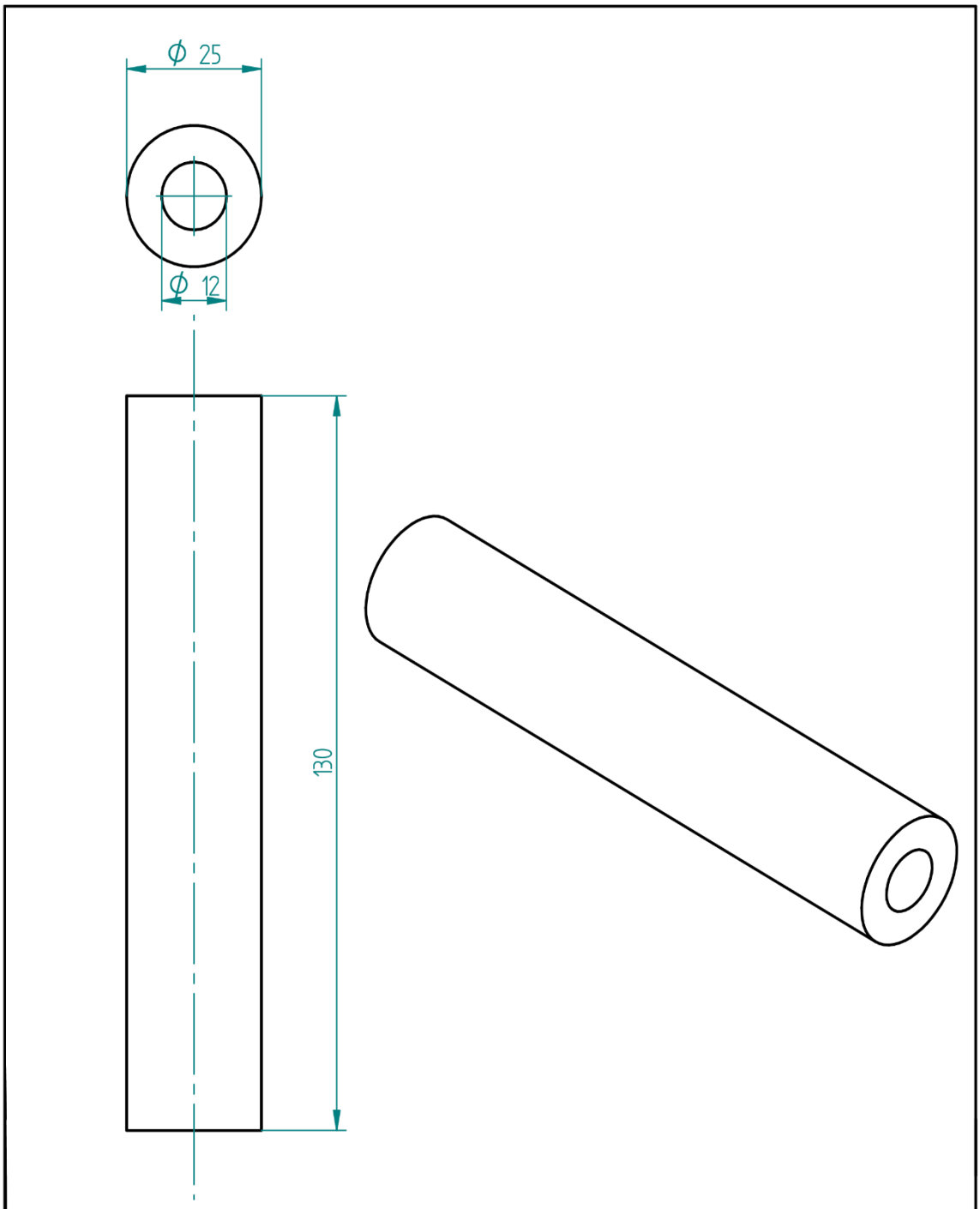
1		Stabilisaatorvarras	TA 17/130763 A 03 01 D	1	
2		*Kuulliigendi puks*	TA 17/130763 A 03 02 D	4	
3		*Kuulliigend väliskeermega M12*	TA 17/130763 A 03 03 D	2	
4		Kuulliigendi lukustusmutter	TA 17/130763 A 03 04 D	2	
Osa	*Väli*	*Nimetus/ Materjal*	*Tähis*	*Hulk*	*Märkus*

	Materjal:	Näitamata piirhälbed: ISO 2768-mK	Mass: / Mõõt: 1:2

Teostas	J. Õunpuu	Nimetus: Stabilisaatorvarras
Kontrollis	A. Aan	
Kinnitas		

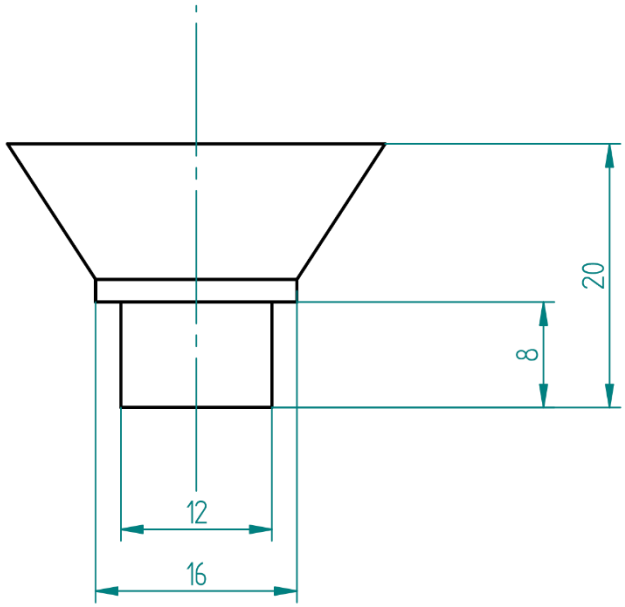
Eesti Maaülikool, Estonian University of Life Sciences, Tehnikainstituut, Institute of Technology (www.emu.ee)	Leht: 1/1	Tähis: TA 17/130763 A 03 01 K

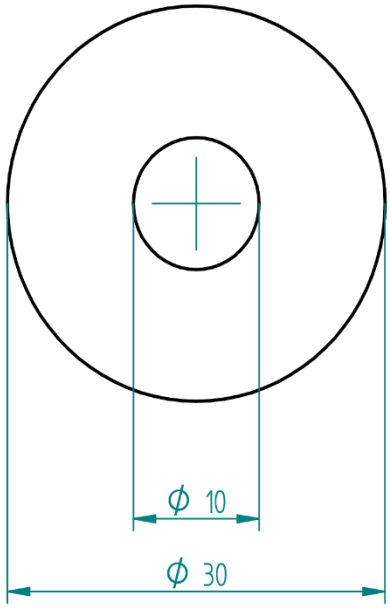
SOLIDEDGE ACADEMIC COPY

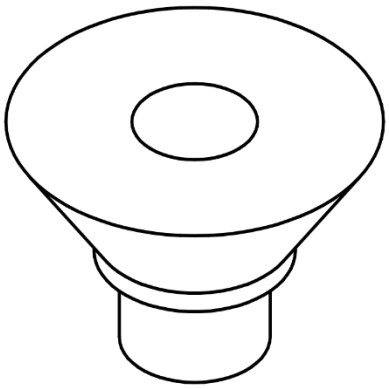


	Materjal: S235	Näitamata piirhälbed: ISO 2768-mK	Mass: 0,3	Mõõt: 1:1
Teostas	J. Õunpuu	Nimetus: Stabilisaatorvarras		
Kontrollis	A. Aan			
Kinnitas				
Eesti Maaülikool Estonian University of Life Sciences Tehnikainstituut Institute of Technology www.emu.ee		Leht: 1/1	Tähis: TA 17/130763 A 03 01 0	

SOLIDEDGE ACADEMIC COPY

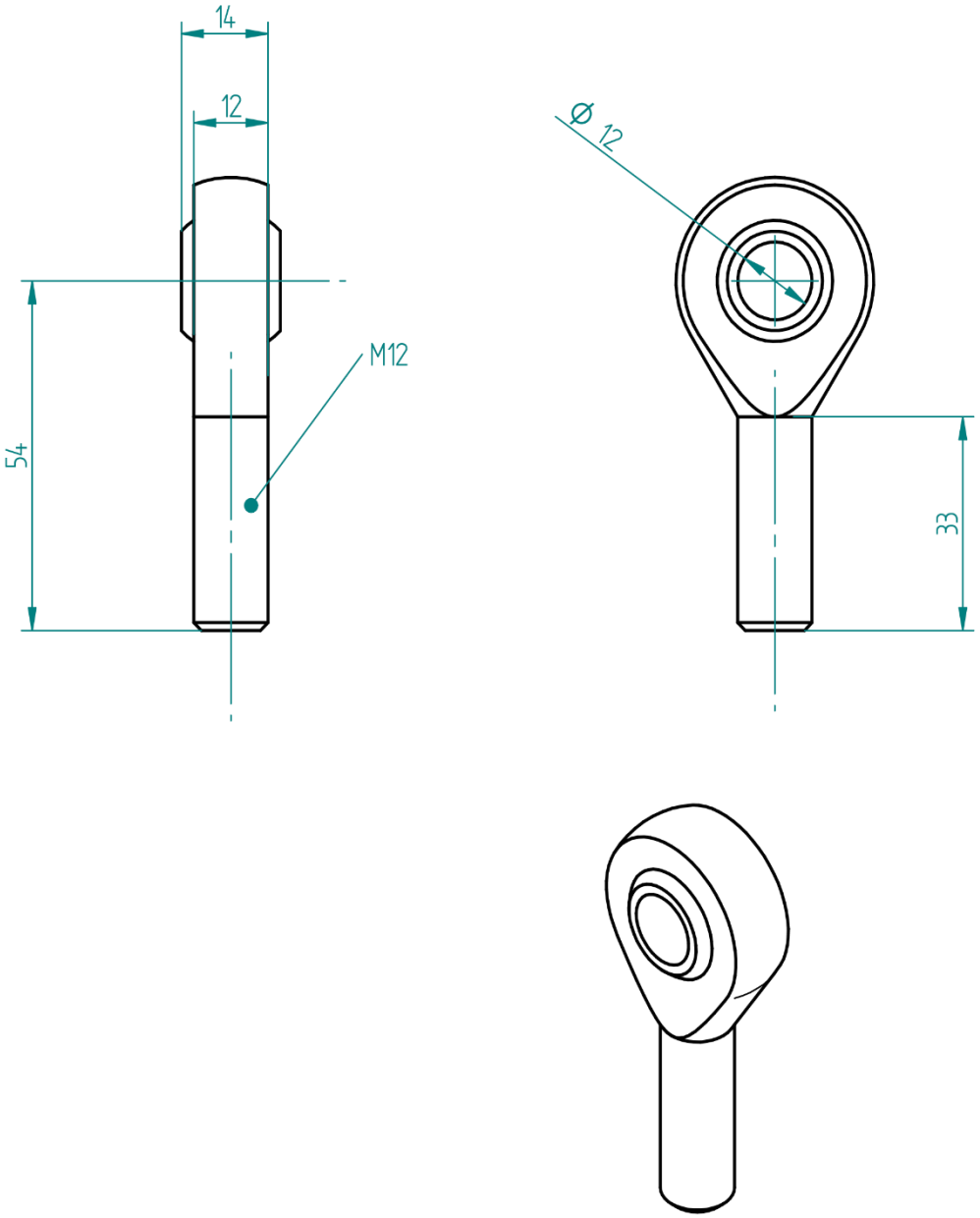






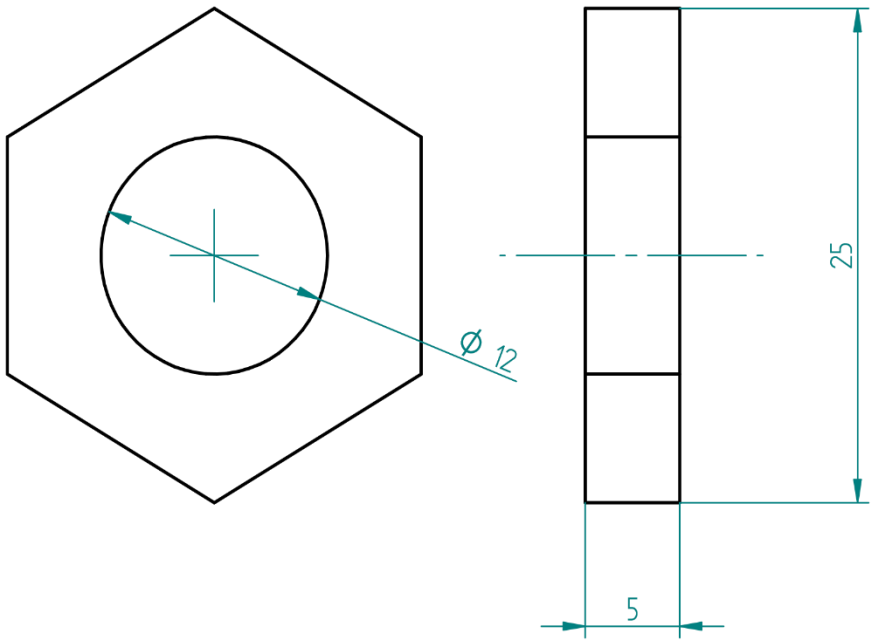
	Materjal: S235	Näitamata piirhälbed: ISO 2768-mK	Mass: 0,05	Mõõt: 2:1
Teostas	J. Õunpuu	Nimetus: Kuullüigendi puks		
Kontrollis	A. Aan			
Kinnitas				
Eesti Maaülikool, Estonian University of Life Sciences, Tehnikainstituut, Institute of Technology		Leht: 1/1	Tähis: TA 17/130763 A 02/03 02 0	

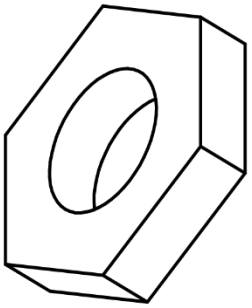
SOLIDEDGE ACADEMIC COPY



	Materjal: S235	Näitamata piirhälbed: ISO 2768-mK	Mass: 0,1 kg	Mõõt: 1:1
Teostas	J. Õunpuu	Nimetus: Kuulliigend väliskeermega M12		
Kontrollis	A. Aan			
Kinnitas				
Eesti Maaülikool Estonian University of Life Sciences Tehnikainstituut Institute of Technology www.emu.ee		Leht: 1/1	Tähis: TA 17/130763 A 02/03 03 D	

SOLIDBRIDGE ACADEMIC COPY





	Materjal: S235	Näitamata piirhälbed: ISO 2768-mK	Mass: 0,01	Mõõt: 3:1
Teostas	J. Õunpuu	Nimetus: Kuulliigendi lukustusmutter M12		
Kontrollis	A. Aan			
Kinnitas				
Eesti Maaülikool Estonian University of Life Sciences Tehnikainstituut Institute of Technology www.emu.ee		Leht: 1/1	Tähis: TA 17/130763 A 03 04 D	

SOLIDEDGE ACADEMIC COPY

Lihtlitsents lõputöö salvestamiseks ja üldsusele kättesaadavaks tegemiseks ning juhendaja(te) kinnitus lõputöö kaitsmisele lubamise kohta

Mina, _____,
(*autori nimi*)
sünniaeg _____,

1. annan Eesti Maaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud lõputöö
_____
_____
_____,
(*lõputöö pealkiri*)
mille juhendaja(d) on_____,
(*juhendaja(te) nimi*)

1.1. salvestamiseks säilitamise eesmärgil,
1.2. digiarhiivi DSpace lisamiseks ja
1.3. veebikeskkonnas üldsusele kättesaadavaks tegemiseks
kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;

2. olen teadlik, et punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile;
3. kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest tulenevaid õigusi.

Lõputöö autor _____
(*allkiri*)

Tartu, _____
(*kuupäev*)

Juhendaja(te) kinnitus lõputöö kaitsmisele lubamise kohta

Luban lõputöö kaitsmisele.

_____ _____
(*juhendaja nimi ja allkiri*) (*kuupäev*)