



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
MEHAANIKATEADUSKOND

Masinaehituse instituut
Transporditehnika õppetool

MET70LT

Taavi Ellermaa

**FORMULA RENAULT 1.6 KLASSI VORMELAUTO
RATTAKINNITUSKOOSTU MODIFITSEERIMINE**

Autor taotleb
tehnikateaduse magistri
akadeemilist kraadi

Tallinn

2015

AUTORIDEKLARATSIOON

Deklareerin, et käesolev lõputöö on minu iseseisva töö tulemus.

Esitatud materjalide põhjal ei ole varem akadeemilist kraadi taotletud.

Töös kasutatud kõik teiste autorite materjalid on varustatud vastavate viidetega.

Töö valmis..... juhendamisel

“.....”.....201...a.

Töö autor

..... allkiri

Töö vastab magistritööle esitatavatele nõuetele.

“.....”.....201...a.

Juhendaja

..... allkiri

Lubatud kaitsmisele.

..... eriala/õppekava kaitsmiskomisjoni esimees

“.....”.....201... a.

..... allkiri

TTÜ masinaehituse instituut
Transporditehnika õppetool

MAGISTRITÖÖ ÜLESANNE

2015. aasta kevadsemester

Üliõpilane: Taavi Ellermaa, 132922 (nimi, üliõpilaskood)

Õppekava: MATM02/11 - Tootearendus ja tootmistehnika

Eriala: Transporditehnika

Juhendaja: Lektor, Janek Luppin (amet, nimi)

Konsultandid: (nimi, amet, telefon)

MAGISTRITÖÖ TEEMA:

(eesti keeles) Formula Renault 1.6 klassi vormelauto rattakinnituskoostu modifitseerimine

(inglise keeles) Wheel mounting assembly modification for a Formula Renault 1.6 class racecar

Lõputöös lahendatavad ülesanded ja nende täitmise ajakava:

Nr	Ülesande kirjeldus	Täitmise tähtaeg
1	Lõputöö kava koostamine	15.02.2015
2.	Katsete läbiviimine	01.05.2015
3.	Põhiosa kirjutamine	15.05.2015
4.	Vormistamine ja köitmine	25.05.2015

Lahendatavad insenertehnilised ja majanduslikud probleemid: Magistritöö käigus selgitatakse välja Formula Renault 1.6 klassi võistlusauto rattakinnitusega seotud probleemid. Töö tulemusena valmib probleemidevaba ja majanduslikult ratsionaalne lahendus.

Täiendavad märkused ja nõuded:.....

Töö keel: Eesti keel

Kaitsmistaoetus esitada hiljemalt 18.05.2015

Töö esitamise tähtaeg 25.05.2015

Üliõpilane Taavi Ellermaa /allkiri/ kuupäev.....

Juhendaja Janek Luppin /allkiri/ kuupäev.....

SISUKORD

Eessõna.....	6
Sissejuhatus	7
1. Scuderia Nordica ja Formula Renault 1.6 võistlussari	10
1.1 Scuderia Nordica	10
1.2 Formula Renault 1.6 võistlussarjad	11
1.3 Formula Renault 1.6 vormel.....	13
2. Töö eesmärk ja probleemi olemus	15
2.1 Probleemi olemus	17
2.2 Rattamutri lahtikeerdumise probleeme alternatiivsetest sarjadest	18
3. Keermesliite baastingimused.....	22
3.1 Pinge analüüs poltliitele	24
4. Olemasoleva süsteemi analüüs.....	26
4.1 Rattakinnituskoostu materjalide tuvastamine.....	27
4.1.1 Rattarumm.....	28
4.1.2 Püsikiirusliigend.....	28
4.1.3 Ratta tikkpolt	29
4.2 Materjali uuringutulemuste järelendus.....	30
4.3 Arvutusmooduli loomine.....	34
4.4 Koostule mõjuvate jõudude analüüs	36
4.4.1 Koostule mõjuvate jõudude algandmete leidmine	37
4.5 Ringrajad, kus on esinenud probleeme	42
4.6 Tugevusanalüüs olemasolevale lahendusele	44
4.6.1 Rajatingimused.....	44
4.7 Tugevusanalüüs rattakinnituskoostule	48
5. Alternatiivsed lahendused probleemile	51

5.1 Rattakinnituskoostude võrdlus	51
5.2 Erinevate rattakinnituskoostude eelised ja puudused	54
5.3 Uue rattakinnituslahenduse seleksioon	58
6. Lahendus B – Stopperrõnga kavandamine	60
6.1 Lahendus B testimine	62
7. Lahendus C – suurema tugipinnaga tikkpolt	66
7.1 Modifitseeritud tikkpoldi tugevusanalüüs	67
7.2 Modifitseeritud tikkpoldi testimine	69
7.2.1 Staatiline kinnikeeramiskatse	69
7.2.2 Dünaamilised sõidukatsetused modifitseeritud lahendusega	70
7.3 Majanduslik aruanne	71
Kokkuvõte	73
Summary	75
Kasutatud kirjandus	77
Lisad	80
Lisa 1.	80
Lisa 2.	81
Lisa 3.	86
Lisa 4.	87
Lisa 5.	93
Lisa 6.	94

EESSÕNA

Antud lõputöö teema on autori omal algatusel valitud. Teema valik sai ilmsiks tänu praktilal veedetud ajale professionaalses võidusõidumeeskonnas OÜ Scuderia Nordicas. Lõputöö teema põhineb kahel eelneval hooajal esinenud probleemi optimaalse lahenduse leidmisel. Töö koostamisel on konsulteeritud ja nõuandeid saadud tudengiorganisatsiooni Formula Student Team Tallinn meeskonna spetsialistidelt, TTÜ õppejõududelt ja Formula Renault 1.6 sarja meeskondade inseneridelt.

SISSEJUHATUS

Antud lõputöö teemaks on Formula Renault 1.6 klassi vormelauto rattakinnituskoostu tehnoloogilise uuring seoses ratta kinnitamisega. Nimelt on täheldatud, et Formula Renault 1.6 klassi vormelautol on esinenud probleeme vasaku tagatelje ratta lahtikeerdumisega. Teema valiti koostöös Scuderia Nordica meeskonnaga, kelle võistlusautodel on esinenud lahtikeerdumise probleeme hooajadel 2013 – 2014. Probleemile ei ole lahendust saadud tehase poolt, seega on antud teemat ise uurima hakatud, kuna valdkond on huvipakkuv ja päevakohane.

Scuderia Nordica on Eesti Vabariiki registreeritud motosporti ettevõtte, mis tegeleb noorte ja andekate võidusõitjate koolitamisega ja juhendamisega Euroopas. Firma on loodud 2006. aastal ja on tegutsenud algusest peale peamiselt Renault vormelautode klassis, täpsemalt Formula Renault 2.0 ja Formula Renault 1.6. Alates 2011 on ettevõtte peamine prioriteet koolitada ja motiveerida noori võidusõitjaid, kes on lõpetanud võidusõidu kartidega, olles alles 15. aastased. Peale kardisõitu on neil esimene kokkupuude Formula Renault 1.6 klassi autodega ja sellepärast on oluline, et noorele juhile oleks tagatud maksimaalse suutlikkusega professionaalse meeskond.

Lõputöö eesmärkideks on välja selgitada järgmised aspektid:

- Välja selgitada tehnoloogilise ekspertiisi poolt, miks esineb Formula Renault 1.6 võistlusautol rattakinnituskoostuga probleeme
- Millised on probleemile eelnenud tingimused ja kuidas see väljendub
- Mis sõlm või sõlmed probleemi sisaldavad
- Mis probleem endaga kaasa toob, majanduslikud kui ka materiaalsed kahjud
- Kuidas oleks majanduslikult ja efektiivselt võimalik probleemi lahendada, et saada ka Renault Spordi heakskiitmine
- Välja tuua alternatiivseid kontseptsioone probleemi lahendamiseks
- Testida uusi prototüüpe ja välja valida parim lahendus
- Teha ettepanek Renault Spordile legaalse muudatuse aktsepteerimiseks

Lõputöö aluseks on kasutatud Formula Student Team Tallinn meeskonna liikmete poolt loodud mitmeid erinevaid arvutusmooduleid, mis on Microsoft Exceli keskkonna baasil. Enamus arvutusmooduleid on loodud vedrustuse kinemaatika jaoks, kuid neid on kohandatud rattakinnituskoostu analüüsimiseks. Rattakinnituskoostu detailid, millega probleeme esineb on projekteeritud olemasolevate detailide järgi CAD programmiga Catia V5R21, kus on teostatud edaspidised projekteerimised ja ka tugevusanalüüsid. Samuti on kasutatud Tallinn Tehnikaülikooli mehaanika – ja metrooloogialaboreid, et läbi viia vajalikud materjaliuuringud.

Magistritöö põhiosas on tutvustatud kõigepealt Scuderia Nordica ajalugu ja tegemisi. Esimeses peatükis on kirjeldatud Formula Renault 1.6 sarja lähemalt ja samuti võistlusautot. Teises peatükis kirjeldatakse ratta kinnitamise probleemi olemust ja püstitatakse töö eesmärgid. Lisaks sellele on uuritud teadusartiklitest lahtikeerdumise peamisi põhjuseid ja ka toodud näiteid alternatiivsetes sarjades sõitvatest vormelitest, kus on samuti analoogse probleemiga kokku puutunud. Neljanda peatüki peamiseks eesmärgideks on leida olemasoleva süsteemi probleem ja kitsaskohad, et miks esineb lahtikeerdumist. Alapeatükkides on välja toodud materjali uuringud, millega on kinnituskoostus tegu; on loodud erinevaid arvutusmooduleid simuleerimaks jõudusid, mis mõjuvad erinevatele komponentidele. Luuakse Catia V5R21 projekteerimise tarkvaraga lõplike elementide mudel, kus analüüsitakse olemasolevat süsteemi. Sellele järgneb peatükk, kus pakutakse välja alternatiivsed lahendused, kuidas oleks võimalik probleem lahendada optimaalselt, et Renault Sport seda aktsepteeriks.

Töö lõpuosas kirjeldatakse valitud alternatiivsete lahenduste testimist ja testimise metoodikat. Samuti teostatakse testitulemuste analüüs ja järeldused. Viimases peatükis on kajastatud majanduslikku aruannet, mis on uue lahenduse rakendamiseks tarviklik. Majanduslik aruanne on loodud Formula SAE metoodika baasil.

Lõputöö tulemusena valmib lahendus, millega ei kaasne rattamutri lahtikeerdumise probleeme. Antud lahendust on võimalik lihtsalt ja kiirelt paigaldada ning samuti valmistamiskulud on võimalikult madalad. Samas koostatakse ka parandusettepanek Renault Spordile, et ametlikult uus lahendus kasutusele võetaks.

Uurimistöo lõpeb lisadega, kuhu on kantud vajalikud ulatuslikumad andmehulgad, milleks on eksperimentide tulemused, spetsifikatsioonid, joonised ja tehnilised dokumendid rakendatud muudatustest.

1. SCUDERIA NORDICA JA FORMULA RENAULT 1.6 VÕISTLUSSARI

1.1 Scuderia Nordica

Scuderia Nordica OÜ on Eesti Vabariiki registreeritud motosporti ettevõtte, mis tegeleb noorte ja andekate võidusõitjate koolitamise ja juhendamisega. Firma on loodud 2006. aastal ja on tegutsenud algusest peale peamiselt Renault vormelautode klassis, täpsemalt Formula Renault 2.0 ja Formula Renault 1.6. Alates 2011. a on ettevõtte peamine prioriteet koolitada ja edendada noori võidusõitjaid, kes on lõpetanud võidusõidu kartidega olles alles 15 aastat vanad. Peale kardisõitu on esimene kokkupuude Formula Renault 1.6 klassi autodega ja sellepärast on oluline, et noorele juhile oleks tagatud maksimaalse suutlikkusega professionaalne meeskond. Algajale võidusõitjale tekivad uued kohustused ja väljakutsed:

- Uued, tundmatud ja laiemad ringrajad
- Teistega arvestamine rajal, tahavaatepeeglisse vaatamise kogemus
- Gabariiditunnetusega harjumine tänu suuremale võistlusautole
- Suhtlemine meedia ja sponsoritega
- Järgida inseneri juhiseid ja anda ise kompetentset tagasisidet oma soorituse kohta
- Raadiosidega harjumine ja meeskonna käskude täitmine
- Stardiprotseduuriga kohanemine
- Aerodünaamilise jõuga kohanemine kurvides

Professionaalsesse meeskonda kuuluvad insenerid, kes vastavalt sõidu oludele ja raja eripäradele on pädevad ellu viima muudatusi, mis muudab sõitmise kiiremaks, samuti oskavad analüüsida autolt kogunenud andmeid. Sõiduõpetajad, kes jagavad oma teadmisi erinevate kurviläbimistehnikate ja selle nüansside üle. Mehaanikud, kelle ülesannete hulka kuuluvad tehnikaga seotud küsimused, et kõik sujuks ladusalt ja probleemidevabalt. Loomulikult on meeskonnas ka mänedžer, kelle ülesanneteks on luua uusi tutvusi uute sõitjate ja sponsoritega, ning samuti tegeleda jooksvate majanduslike probleemidega. Ettevõtte tulemuslikkust näitavad mitmed poodiumikohad ja võidud erinevatest sarjadest.

Scuderia Nordica on osalenud järgnevatel sarjades [1]:

- Ferrari Challenge (2005-2006)
- Formula Baltic/Renault (2007)
- Austrian Formula Renault 2.0 Championship (2008-2012)
 - Austria Meister 2009
 - Austria Meistrivõistlused 3. koht 2012
- Soome Formula Renault 2.0 (2008-2010)
- FIA-NEZ Fr Renault 2.0 Championship (2008-2010)
- Osaliselt NEC Formula Renault 2.0 (2010-2011)
- Formula Renault 1,6 STCC (2013 -)
 - 2013 sõitjatearvestuse 2. koht Martin Rump
- Formula Renault 1,6 NEC (2013 -)
 - 2013 sõitjatearvestuse 2. koht Martin Rump
 - 2014 sõitjatearvestuse 2. koht Ralf Aron
 - 2014 meeskonnaarvestuse 2. koht

Kaks viimast hooaega on meeskonnale olnud kõige tulemuslikumad, sest on võisteldud edukalt mitmetel uutel ja mainekatel ringradadel. Seega meeskond on oma tegevusega jäänud silma nii uutele potentsiaalsetele sõitjatele kui ka konkureerivatele meeskondadele, kes peavad arvestama tugeva vastasega.

1.2 Formula Renault 1.6 võistlussarjad

Formula Renault sarja tutvustati avalikkusele 2009. aasta teises pooles Prantsusmaal kui Formula Renault 2.0 vormeli „väiksemat venda“. Nimelt on sarja peamine eesmärk ühtlustada suurt klassivahet, mis on võistluskardi pealt tuleval noorel võidusõitjal Formula Renault 2.0 peale minekul. Varasemalt on täheldatud, et noortel, andekatel võidusõitjatel vanuses 15 – 17 aastat on areng pidurdunud või seisma jäänud ja ideaalis võimaldaks väiksemad ja lihtsamad vormelid seda vahet ühtlustada. Kolme aasta pikkune kogemus Prantsusmaal näitas, et sari on vajalik ja 2012. a tutvustati seda ka põhjapoolsemates regioonides. Alates aastast 2013. loodi lisaks Prantsusmaale veel NEC (Põhja – Euroopa meistrivõistlused) sari, kus võistlused toimusid Hollandis, Belgias ja Saksamaal. Lisaks on omaette sari ka Rootsisis STCC (

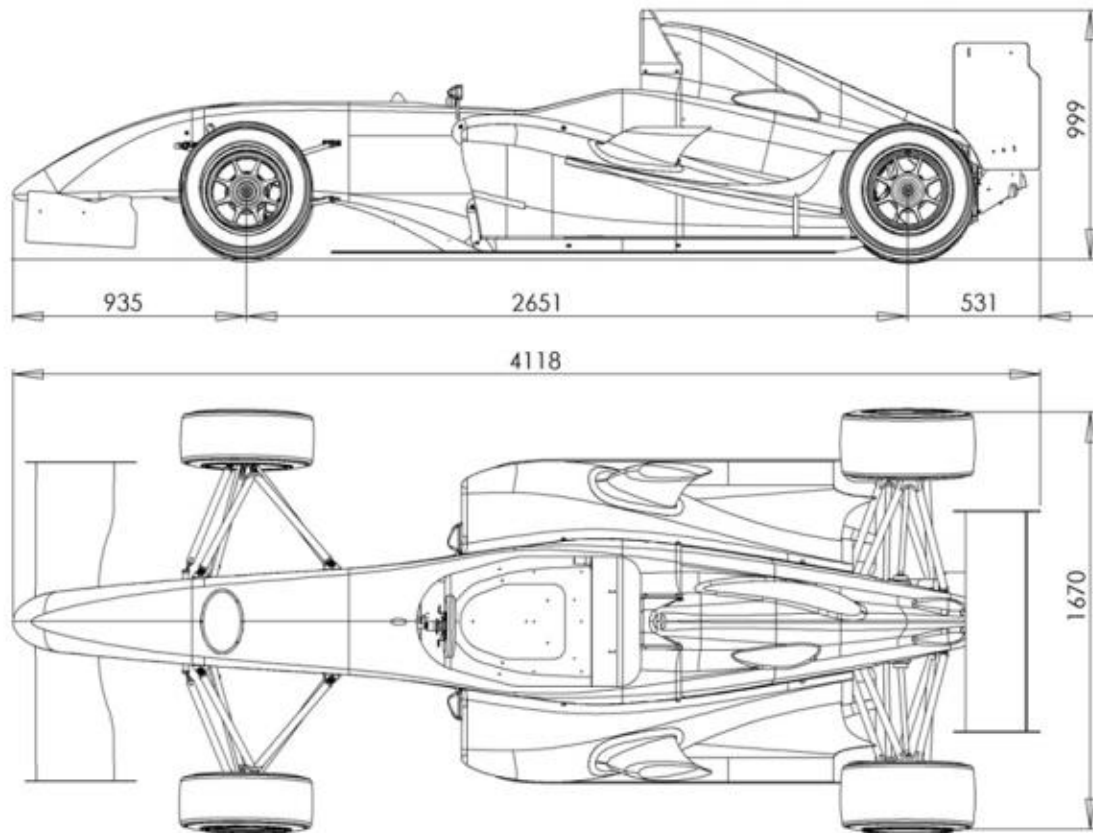
Skandinaavia kereautode meistrivõistlused), kus vormelid on kereautodega paralleelselt samal nädalavahetusel võistlusrajal.

NEC võistlused toimuvad kolmes riigis: Hollandis, Belgias ja Saksamaal. Kokku peetakse seitsmes erinevas kohas 17 võidusõitu pikkusega 20 minutit. Punktide jaotamine toimub järgnevalt: 1. saab 30 punkti, 2. 24 punkti, 3. 20 punkti, 4. 17 punkti, 5. 16 punkti, 6. 15 punkti jne kuni 20. ndani, kus viimane punktisaaja on 20. 1 punktiga. Sari on atraktiivne, kuna kasutusel on sellised kuulsad ringrajad nagu SPA – Francorchamps Belgias ja Nürnbergring Saksamaal, mis on teatavasti kasutusel ka Vormel 1 sarjas. Eestlastest on osalenud Formula Renault 1.6 sarjas Marcus Kiisa, Karl - Gustav Annus, Martin Rump ja Ralf Aron, kusjuures kaks viimast väga edukalt. Martin Rump oli 2013 aastal kokkuvõttes teine, ning 2014. a oli Ralf Aron samuti üldkokkuvõttes teine. 2013. aastal osales sarjas kokku 21 võidusõitjat ja 2014. a 27 võidusõitjat, mis näitab kõrget ja konkurentsivõimelist taset. Formula Renault 1.6 sarja sõitjate vanus jääb 15 – 23 eluaasta vahele.

Formula Renault 1.6 sarja eelised Formula Renault 2.0 ees:

- Üleminek kardilt Formula Renault 2.0 lihtsam ja sujuvam
- Aasta eelarve kuni 50% väiksem
- Lihtne ja odav kontseptsioon
- Võidusõitjale tutvumine uute radadega lihtsam
- Madalad ülalpidamiskulud
- Lihtne ja arusaadav andmesalvestussüsteem, käsitletav ka amatöörkasutajale
- Sobilik igas suuruses sõitjale tänu laialdastele reguleerimisvõimalustele.

1.3 Formula Renault 1.6 vormel



Sele 1.1 Formula Renault 1.6 vormel [2]

Kere: [2]

- Süsinikkiud komposiidist monokokk FIA F3 2008 standarditele
- Süsinikkiud komposiidist kerekatmikud

Mootor ja jõuülekanne: [2]

- Renault K4MRS normaallaadimisega mootor kubatuuriga 1600cc
- FH Electronics mootori juhtmoodul
- Maksimaalne võimsus: 140 hj @ 6750 p/min
- Maksimaalne pöördemoment: 157 Nm @ 4500 p/min
- Manuaalne 5 käiguline järjestiklülitusega ja otsehambumisega Sadev käigukast

Mõõtmed: [2]

- Teljevahe: 2651 mm
- Rööbe: 1486 ees; 1436 taga
- Kütusepaak: FIA F3 standardile vastav turvapaak mahtuvusega 43 liitrit
- Miinimumkaal: 470 kg ilma juhita

Rattad: [2]

- Veljed ühes tükis alumiiniumsulamist, ühe tsentraalmutriga kinnituvad
- Ees 8 x 13 tolli ja taga 10 x 13 tolli
- Kumho rehvid ees 19 – 53/13 tolli ja taga 22 – 54/13 tolli

Vedrustus: [2]

- Ees: survevardaga monoamort, topeltõõtsuhoobadega vedrustus
- Taga: survevardaga kaks amorti, topeltõõtsuhoobadega vedrustus

Pidurid: [2]

- Alcon 4 pidurikolviga sadulad – 257 x 18,5 mm pidurikettaga
- Reguleeritav pidurijõutasakaal

Maksumus:

- Alates 41900.- Eurot auto
- Hooaja rent 21 sõitu Prantsusmaal, ilma autot omamata 63 500.- Eurot

2. TÖÖ EESMÄRK JA PROBLEEMI OLEMUS

World Series by Renault võistlusklassi kuulub kolm vormeliauto tüüpi, reastudes väiksemast:

- Formula Renault 1.6, kus tegemist on 1600 cm³ mootoriga võistlussõidukiga
- Formula Renault 2.0, kus tegemist on 2000 cm³ mootoriga võistlussõidukiga
- Formula Renault 3.5, kus tegemist on 3400 cm³ mootoriga võistlussõidukiga

Formula Renault sarja väikseimal vormelautol Formula Renault 1.6 on täheldatud tehnilist probleemi, mis on seotud rataste kinnitamisega. Nimelt kahel viimasel hooajal 2013 – 2014 a. on ainuüksi Scuderia Nordica meeskonna kolmel võistlusautol esinenud seitsmel korral tehniline rike, eelkõige vasaku tagumise ratta kinnitusega. Siinkohal võib arvata, et probleem on meeskonna sisene, kuid reaalsuses on intsidente olnud ka teistel meeskondadel korduvalt (Tabel 2.1). Antud tabelist on näha, et kokku on olnud probleeme 20 korral. Tegemist on suure arvuga, millel võivad olla dramaatilised tagajärjed.

Tabel 2.1 Esinenud probleemide arv

Meeskond	Esinenud probleemide arv kahel eelneval hooajal
Scuderia Nordica	7
Lechner Racing School	3
Captain Racing	2
Provily	5
Trackstar Racing	3
KOKKU	20

Esmapälgul võib tunduda, et Scuderia Nordica meeskonnal on ebaloomulikult palju juhtumeid võrreldes konkureerivate võistkondadega, aga sellele on lihtne seletus: nimelt Scuderia Nordica võistles kahes sarjas korraga, ehk läbis poole rohkem sõidukilomeetreid. Õnnetusjuhtumite arv võib varieeruda, kuna konkureerivad meeskonnad ei olnud alid ise

infot jagama. Tabelis ainult need juhtumid, millele on Scuderia Nordica meeskonnaliikmed olnud tunnistajaks. Info jagamise ja tunnistamisega on olnud probleeme sellepärast, et ei taheta näidata ennast halvast küljest ja samuti ei taheta jätta muljet, et tegemist oleks ebakompetentse meeskonnaga.

Renault Sporti ja ka valmistamistehast Sygnatech Automobiles on informeeritud Scuderia Nordica meeskonna poolt korduvalt esinenud probleemist, kuid siiani ei ole sellele pädevat lahendust saanud.

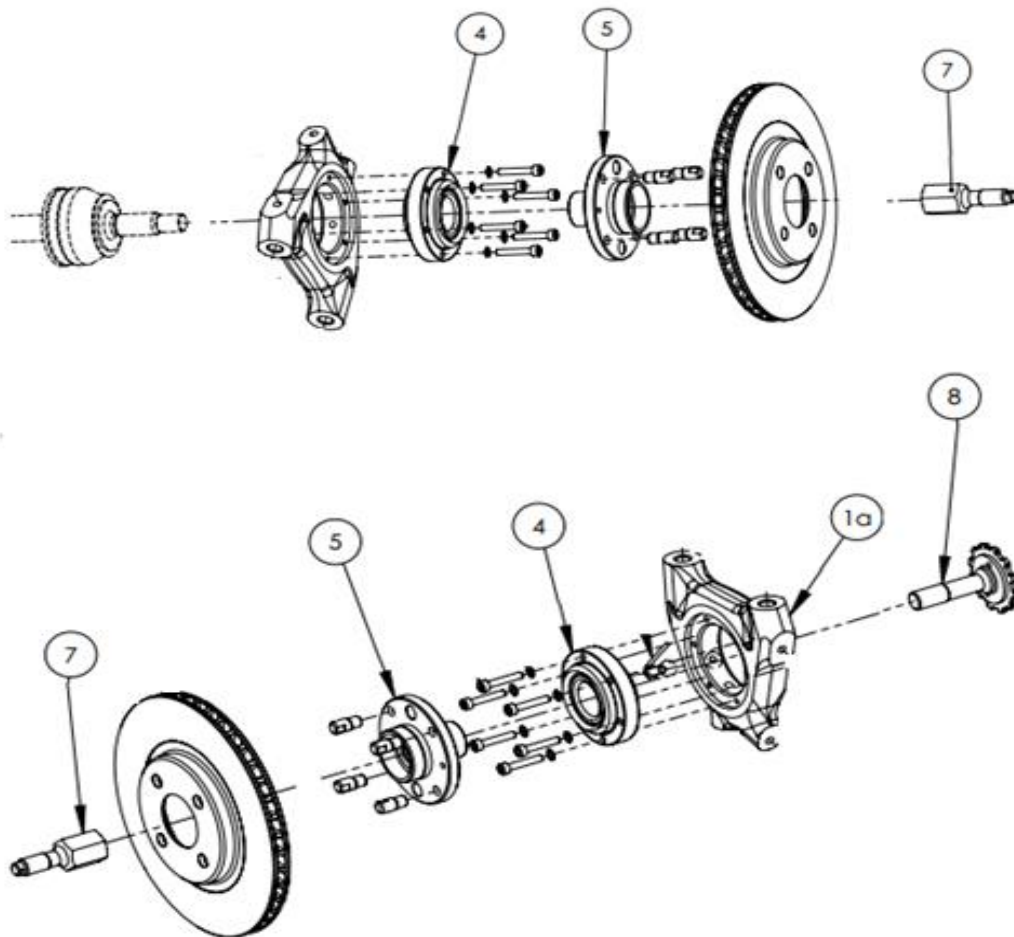


Sele 2.1 Ratta eemaldumisel tekkinud purustused võistlusautole, mille kahju ulatus 8000 € suuruseks

Õnnetusjuhtumi tagajärjel (Sele 2.1) vajasis väljavahetamist järgnevad detailid: esimene tiivakoost koos kärkelemendiga, roolilatt, esitelje vasak nurgakoost, tagatelje vasak nurgakoost ja tagumise tiiva küljeplaadid; kogukahju orienteeruvalt 8000 €.

2.1 Probleemi olemus

Formula Renault 1.6 sarja võistlusautol esineb probleeme ratta kinnitamisega. Nimelt on rattakinnituskoost üles ehitatud järgnevalt (Sele 2.2). Käändmiku külge (1a) kinnitub rattalaager, Sele 2 asuv detail nr 4, oma välise võruuga, mis on kinnitatud poltliite abil. Laager pingutatakse tagateljel püsikiirusliigendi ja rattavõlli (nr 5) omavahelisel toimel, neile annab vastava teljesihilise pingutusjõu tikkpolt M20x1,5 (nr 7), mis muudab püsikiirusliigendi, rattavõlli, laagri ja käändmiku üheks tervikuks. Seejärel kui piduriketask on asetatud rattavõlli peale, mille pöörlemist takistab neli rummutihvti, paigaldatakse velg, mis omakorda kinnitatakse ühe tsentraalmutriga tikkpoldile (nr 7). Pilt tagatelje koostust (Sele 2.2 ülemine skeem). Esiteljel on analoogne ülesehitus, vaid püsikiirusliigendit asendab laagrivõll (nr 8).



Sele 2.2 Formula Renault 1.6 rattakinnituskoostu skeem, üleval on kujutatud tagatelje ja allpool esitelje [3]

Probleem, mis esineb rattakinnitusega on Scuderia Nordica meeskonna arvates järgmine: Sele 2.2 asuv tikkpolt (nr 7) keerdub paari kraadi võrra lahti ja seetõttu kaob vajalik ping ratta tsentraalmutteri ja velje vahel. See omakorda tähendab, et ratta tsentraalmutter saab vabalt lahti keerduda. Võistlusautol on olemas ohutuskaalutlustel ratta lahtipääsemiseks turvasplint, et juhuks kui rattamutter peaks lahti pääsema ei kaotaks vormel ratast, kuid ka see ei tekita alati kindlustunnet.

Seega antud töö eesmärgiks on:

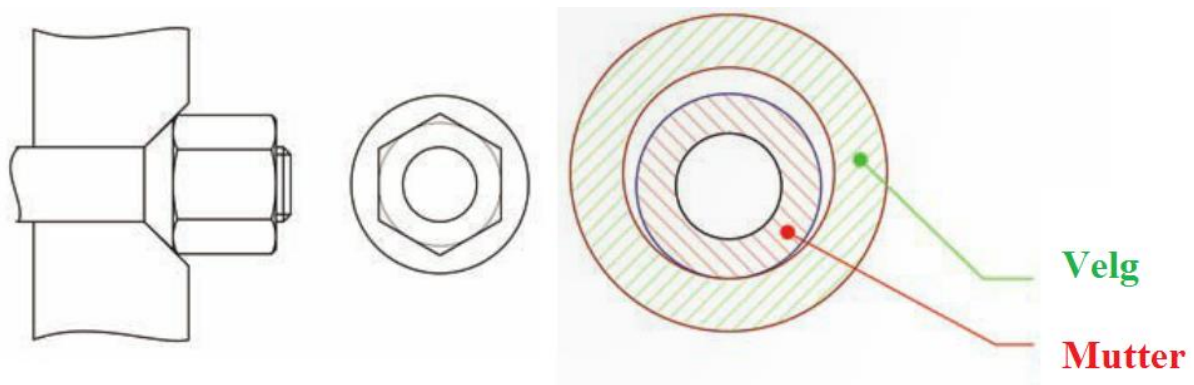
- Välja selgitada tehnoloogilise ekspertiisi poolelt, miks esineb Formula Renault 1.6 võistlusautol rattakinnituskoostuga probleeme
- Millised on probleemile eelnenud tingimused ja kuidas see väljendub
- Mis sõlm või sõlmed probleemi sisaldavad
- Mis probleem endaga kaasa toob, majanduslikud kui ka materiaalsed kahjud
- Kuidas oleks majanduslikult ja efektiivselt võimalik probleemi lahendada
- Välja tuua alternatiivseid kontseptsioone probleemi lahendamiseks
- Testida uusi prototüüpe ja välja valida parim lahendus
- Töötada välja uus turvasplindi lahendus, et mutri lahtikeerdumisel sõiduk ei kaotaks ratast
- Teha ettepanek Renault Spordile legaalse muudatuse aktsepteerimiseks

2.2 Rattamutteri lahtikeerdumise probleeme alternatiivsetest sarjadest

Vormel 1 on uskumatult keeruline ja väga insenertehniline võistlusauto, mida konstrueerivad ja hooldavad üle maailma parimad oma ala spetsialistid. Kuid siiski juhtub ka selles sarjas veidraid ja eriskummalisi juhtumeid, nimelt esineb aeg – ajalt probleeme rataste kinnitamisega. Rataste lahtikeerdumine ei ole sugugi võõras nähtus motosporidis. Antud probleemi üle on koostatud mitmeid uuringuid ja järgnevalt tuuakse välja Briti motosporidi ajakirja Race Tech uurimus.

Uuringu kohaselt on välja toodud, et eelkõige on esinenud probleeme vasaku poole ratastega. Erapooletu uurimuse tulemusena on selgunud, et keerme käelisusel ei ole suurt rolli, senikaua kui mutter või polt kinni püsib. See tähendab, et keerme käelisusel on väike mõju

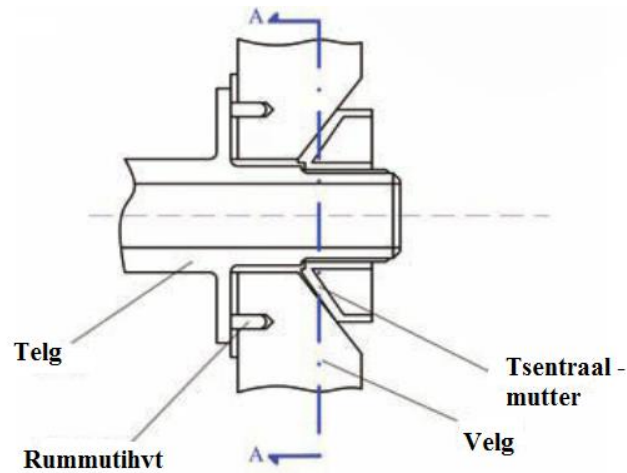
lahtikeerdumisele ja probleemi alget ei tasu sellest otsida. Keerme käelisusel on suur mõju kui mutter või polt on hakanud juba lahti keerduma.[4]



Sele 2.3 Klassikalise koonusmutri olemus [4]

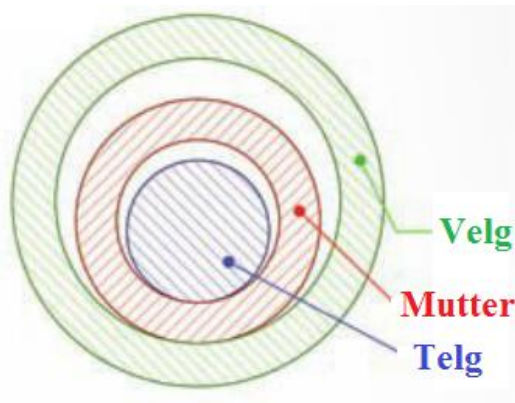
Klassikaliste rattamutrite lahtikeerdumise peamine põhjus on see, et auto raskus surub velje koonuse alumisse serva (Sele 2.3), mille tulemusel hakkab velg mutrit lahti keerutama. Seega kui keermed on paremakäelised, on paremal pool suundumus kinnikeerdumisele ja vasakul pool lahtikeerdumisele. Eelkõige põhjustas sellised probleeme detailide ebatäpsus ja liiga suured tolerantsid. Sellepärast kuni 1970.-ndateni oli paljudel Ameerika Ühendriikide autodel omane vasakul poolel vasakukäekeermed koos stoppermutri ja nõelsplindiga. Paremal poolel kasutati tavapäraselt parema käe keeret. Tänapäeval on tolerantsid ning telgsust fikseeriv keskava ja koonus täpsemad ja sellist probleemi väikeautodel ei täheldata. [5]

Võidusõidus kasutatakse aga enamasti ühte tsentraalmutrit, mis võimaldab kiiremat ratta vahetamist ja ka kergemat lahendus koostule. Tsentraalmutril ja mitmikmutritel on sarnasusi aga peamiseks erinevuseks on pikijõu edasikandmine. Nimelt tsentraalmutriga lahendusel on selleks rummutihvtid (Sele 2.4), tavalahendusel kantakse jõudu edasi läbi ratta kinnituspoltide.



Sele 2.4 Tsentraalmutteri lahendus võidusõiduautil [4]

Varasemalt mainitule kontakse kiirendus ja pidurdusmomenti edasi läbi rummutihvtide, kuna tsentraalmutter ei ole selleks võimeline. Kui ratas on paigaldatud alla ideaalselt pingistuga, ei tohiks olla mingit radiaalliikumist. Tegelikuses peab olema väikene lõtkuga ist, sest vastasel juhul ei ole võimalik ratast kiiresti monteerida.



Sele 2.5 Suurendatud kujul tolerants [4]

Kui vaadelda Sele 2.5 (Sele 2.4 lõikes A – A) on näha, et iga detaili vahel on olemas lõtkuga ist. Istu suurus on küll minimaalne, kuid sellel on oluline mõju. Skeemilt on näha, kuidas ebatäpsest lõtkuga istust tekib „hammasratasmehhanism“ või „laineülekanne“ velje ja mutri kui ka mutri ja telje vahel. Kui vaadelda ratta kellaosuti suunas liikumist ja kujutada, et sõiduk liigub edasi selgub, siis telg pöörleb samuti kellaosuti suunas, ratta mutter pöörleb aga vastasuunas ja velg jällegi omakorda kellaosuti suunas. Seega mutrile on kahelt poolt mõjuv vastandliikumine. Domineeriv moment sõltub kolmest aspektist:

- Hõõrdetegur – sõltub pinnakvaliteedist kui ka pinnal olevast määrdest
- Diameeter – diameeter mõjutab suurelt, kuna suurem raadius kannab suuremat momenti üle
- Tolerants – mida täpsem on ist, seda väiksem on radiaalliikumise võimalus.[4]

Vormel 1 sarja rattamutter on näiteks keermega M60 x 1, mis pingutatakse 700 – 750 Nm suuruse pingutusmomendiga saavutamaks võimalikult suur teljesuunaline jõud. [4]

Ratta kinnitamisega on probleeme olnud ka Formula Student Team Tallinna liikmetel võistlusautodega Fest 09 ja 10. Siseuurimisel selgitati välja, et probleemi tekitajaks oli just tolerantsi ja telgsuse täpsus. Nimelt kasutati võistlusautol samuti tsentraalmutrit, mis oli ühtlasi tsentreerivaks elemendiks, lisaks tsentreerivad velge ka rummutihvtid. Probleem seisnes selles, et tihvtide ja tsentraalmutri raadiuse keskpunkt ei ühtinud. Rattavõlli ja rattamutri keere olid omavahel 0,3 mm suuruse viskumisega. Tekkis ekstsentrilisuse probleem, mis ajapikku pani mutri lahti keerduma, sest mutrile avaldati survet kahelt poolt. Nimelt kuna enamus detaile on tudengite endi valmistatud, siis oli arvatavasti tootmisfaasis tekkinud viga. Probleemile leiti lahendus uute ja täpsemate rattavõllide ning mutrite valmistamisega.

3. KEERMESLIITE BAASTINGIMUSED

Masinate esinevad detailide erinevad liited jagatakse kahte põhigrupi – liikuvad ja liikumatud liited. Liikuvad liited tagavad detailide suhtelise pöörlemis- või liitliikumise. Liikumatu liiteid kasutatakse detailide omavaheliseks jäigaks ühendamiseks, mis omakorda jagunevad lahtivõetavateks ja mittelahtivõetavateks:[6]

- Lahtivõetavad liited – keermes-, liist-, hammas- jms liited võib korduvalt koostada ja lahutada ilma ühendusdetailide purustamata.[6]
- Mittelahtivõetad liited – neet-, keevis-, liim- jt liited saab lahutada ainult ühenduselementide purustamise teel.[6]

Käesolevas peatükis vaadeldakse lähemalt liikumatuid lahtivõetavaid liiteid – keermesliited.

Keermesliites on detailid ühendatud poltide, kruvide, mutrite, tikkpoltide, tõmmitsate, keermestatud muhvide vms abil. Keermesliite põhiliseks kinnituselemendiks on keere. Keerme põhiparameetriks on keermeniidi ristlõike kuju ja selle mõõtmed, poldi keerme välisläbimõõt d , mutri keerme siseläbimõõt d_1 , keerme keskläbimõõt d_2 , keerme tõusunurk λ ja keerme samm S (keerme kahe naaberniidi ristlõigete samanimeliste punktide vahekaugus pikitelge mõõdetuna). [6]

Masina ja aparaadiehituses kasutatakse kinnituskeermena üldjuhul ühekäigulist meeterkeeret, millel on kolmnurkprofiil tipunurgaga 60° . Meeterkeerme kõiki elemente mõõdetakse millimeetrites. Mõnedes riikides on kasutusel ka tollkeere (1 toll on võrdne 25,40 mm), millel on samuti kolmnurkprofiil, kuid tipunurk on 55° . Standardi järgi jagunevad meeterkeermed veel omakorda peen – ja jämemeeterkeermeteks.[6]

Peenmeeterkeermed nõrgestavad oma profiili väikese kõrguse tõttu keermestavat varba vähem ning seetõttu kasutatakse neid eelkõige täppismehaanikas ja aparaadiehituses. Peenmeeterkeermete puhul on nimetatud ka tunduvalt väiksemat iselahtikeerdumise ohtu, neil on väiksem keermesamm, järelikult ka väiksem profiili sügavus ja seetõttu tagab poldi vardale suurema ristlõike ja tugevuse. [6]

Kõige levinumad keermestatud kinnitusdetailid on polt ja mutter. Erijuhtudel kasutatakse ka kruvisid ja tikkpolte. Tikkpolte kasutatakse juhtudel, kui poltide või kruvide kasutamine pole

konstruktiivsetel või eksploatatsioonilistel kaalutlustel võimalik või otstarbekas. Samuti kasutatakse tikkpolte juhtudel kui liidetavaid detaile tuleb sageli lahti võtta ja uuesti ühendada. Kruviliited ei ole otstarbekad korduvate sisse – ja väljakeeramistel, kuna nad võivad kahjustada keeret. Vajaduse korral asetatakse poldi või mutri alla seib, et suurendada tugipinda.[6]

Keermetel on tendents vibratsioonile, löökidele ja vahelduvatele koormustele iseenesest lahti tulla. Selle takistamiseks on mitmeid konstruktiivseid variante:

- Hõõrdejõud: hõõrdejõu suurendamine kontramutriga, vedruseibi või tugipinna suurendades. Kontramutter tekitab keermesliites täiendava pingsuse ja hõõrdumise. Vedruseib vähendab vibratsiooni mõju ja tugipinna suurendamine tekitab suurema hõõrdejõu tugipinna ja detaili vahel
- Splint: poldi või mutri kinnitamine splindi või traadiga
- Spetsiaalne seib: Mutri jäik ühendamine detailiga spetsiaalse seibi, plaadi või muu sarnasega
- Liim: lukustab ja tihendab efektiivselt poldi ja mutrid vibratsioonist tekkinud lisapingete olukorras [6]

Jõudude vahekord keermepaaris:

Poltide pingutamisel tekitatakse võtmega pöördemoment M_A , kus pingutusmomenti tasakaalustavad keermes esinev moment M_G ja mutri või poldi pea tugipinna hõõrdemoment M_{KR} .

$$M_A = M_G + M_{KR} \quad [7]$$

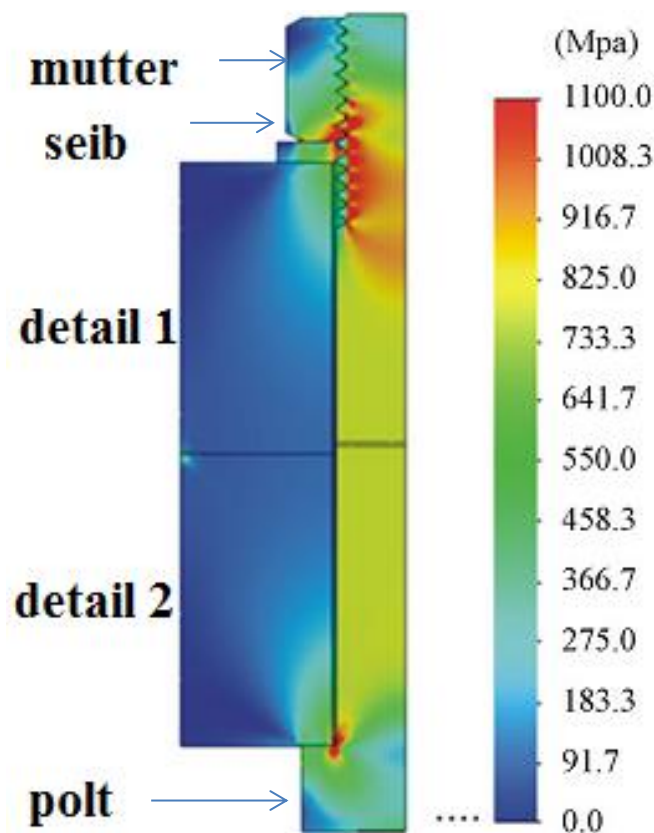
Tugipinnas esinev moment M_{KR} sõltub teljesihilisest jõust, hõõrdetegurist ja mutri või poldi tugipinna efektiivlääbimõõdust.

Keermes esinev moment oleneb aga teljesihilisest jõust, keeme kesklääbimõõdust, välislääbimõõdust, keeme sammust ja tema nurgast, mille moodustab välislääbimõõd ja samm, keeme profiilnurgast ja hõõrdetegurist, mis terase puhul on 0,15.

3.1 Pinge analüüs poltliitele

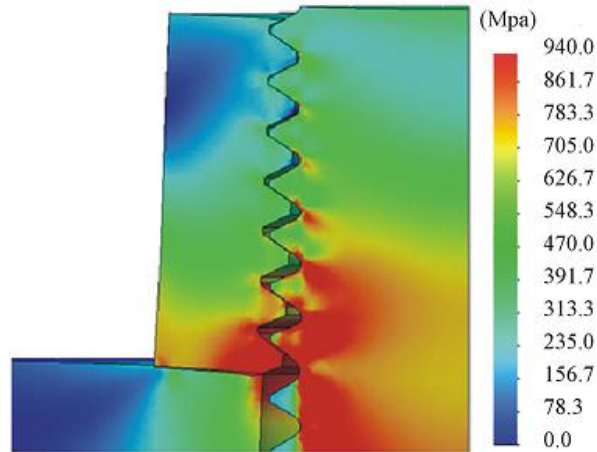
Poltliidete normaalseks talituseks masinaehituses pingutatakse poldid üldjuhul 90 – 100 % voolavuspiirini. Selle tagajärjel polt, mutter kui ka nende vahel olevad lülid võtavad võrdselt vastu teljesihilise jõu.

Järgnevas uuringus on kajastatud M20 tugevusklassiga 12.9 poldide pingete LEM (lõplike elementide meetod) analüüsi. Uuringu eesmärgiks olid tõekspidamised, et millised on poltliidete mehaanilised käitumised erinevate geometriate ja koormuste all.



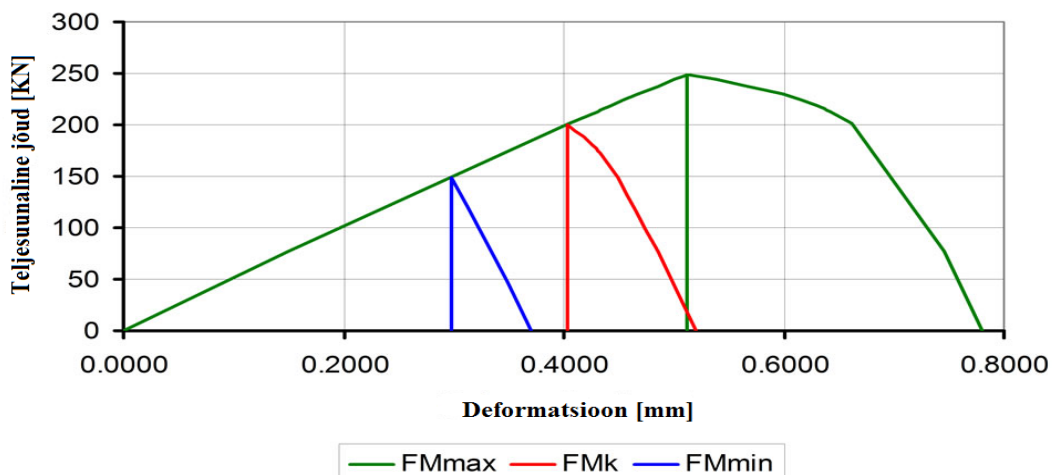
Sele 3.1 Pingete jagunemine keermesliites [8]

Sele 3.1 on kujutatud pingete jagunemist tüüpilises keermesliites. Tegemist on tugeva 12.9 klassi M20x2,5 poldiga, mille teljesihiliseks pingutusjõuks on 248 KN, pingutusmomendiga 738 Nm. Antud skeemilt võib välja lugeda, et kõige suuremad pinged tekivad mutri ja poldi keermeniitide ühenduskohtadesse, kus pinged võivad ulatuda kuni 1100 MPa suuruseks. Samuti tekib pingekontsentraator poldipea juurde ebapiisava raadiuse tõttu. Sele 3.2 võib välja lugeda, et seibi kasutamisega on vähendatud ja ühtlustatud pingete tekkimise võimalust detail 1 –le.[8]



Sele 3.2 Keermesliite ebäühtlane koormatus, mutri läbipainde tõttu [8]

Sele 3.2 asuv skeem illustreerib olukorda, kus liigse pingutusjõu või keermete ebasümmeetrilisuse tõttu jaotuvad pinged keermesliites ebäühtlaselt. Nimelt hakkab mutter liigse pinge tõttu venima, mis omakorda põhjustab koormuse ebäühtlast jaotumist, mille tagajärjeks on purunemine või plastne deformatsioon. Plastne deformatsioon omakorda põhjustab pingutusjõu vähenemist, millega võib kaasneda mutri lahtikeerdumine.



Sele 3.3 Teljesuunaline jõud vs deformatsioon [8]

Sele 3.3 on kujutatud tugevusklassi 12.9 poldi M20x2,5 teljesuunalise jõu ja deformatsiooni koosmõju. FMmax (roheline joon) tähistab maksimaalset lubatud pingutusjõudu, milleks on 248 KN, mille juures on deformatsioon 0,5 mm. Pingutusmomendi suurenedes deformatsioon kasvab ja reaalsuses teljesuunaline jõud väheneb, mis nõrgestab koostu. FMmin (sinine joon) tähistab aga minimaalset teljesuunalist jõudu, mille korral on sama nähtust esinenud. FMk (punane joon) on keskmine väärtus, millega peaks arvestama projekteerimisel.

4. OLEMASOLEVA SÜSTEEMI ANALÜÜS

Selleks, et saavutada olukorrast tervikpilt, on kogutud materjale erinevast võimalikust allikatest:

Uuritud on järgmisi parameetreid:

- Teostatud on materjaliuuringud Tallinna Tehnikaülikooli mehaanika - ja metrooloogialaboris, saamaks teada, milliste ja missuguste materjalide omadustega on koostus tegu
- Täpsemate arvutuste jaoks on loodud Microsoft Exceli keskkonnas arvutusmoodul, saamaks aru, millised on teljesisesed jõu suurused vastavalt pingutusmomendile
- On uuritud sarnaseid juhtumeid analoogsetes võistlussarjades
- Formula Renault 1.6 vormelauto on varustatud andmesalvestussüsteemiga, mida on võimalik peale sõitu analüüsida. Andmetest on analüüsitud kiirust ja kurvis mõjuvaid inertsjõude
- Töös on kasutatud Formula Student Team Tallinna liikmete poolt loodud arvutusmoodulit Microsoft Excel keskkonnas, et määrata täpne koormusolukord LEM mudeli jaoks. Arvutusmoodulite autoriteks on Lennart Harju ja Sten Soomlais.
- On analüüsitud ja hinnatud erinevaid ringradasid, kus on olnud probleeme ratta kinnitusega
- Konstrueeritud on 3D mudel ja seejärel on LEM (lõplike elementide meetodil) analüüsitud erinevaid koormusskeeme, mis leiavad aset nii staatiliselt kui ka dünaamiliselt

4.1 Rattakinnituskoostu materjalide tuvastamine

Selleks, et saada parem ülevaade, milliste materjalidega on rattakinnituskoostus tegemist, on teostatud materjaliuuringud Tallinna Tehnikaülikooli mehaanika – ja metrooloogialaboris. Antud katsed on vaja läbi viia sellepärast, et rekonstrueerida võimalikult täpne olukord sellest, missugused pinged ja deformatsioone taluvad antud detailid ja mis on materjali piirid vastupanule. Materjalide omaduste teada saamiseks on sooritatud ka päring valmistajatehasele, kuid sellist infot ei jagata kolmandatele isikutele. Töö käigus on tuvastatud detailide materjalid spektraalanalüsaatoril (Atomic Emission Spektroskoopia by Spark AES: sädelahendusel toimuv aatomite emissioonspektroskoopia). Keemilise koostise määramiseks teostatakse järgmised operatsioonid:

- valitakse õige baas (Fe, Cu või Al) ja seejärel õige programm, mis määrab ka elementide arvu ja piirmäärad,
- seade kalibreeritakse;
- kalibreeritud seadme näitu kontrollitakse sertifitseeritud katsekehadega;
- katsekeha pind puhastatakse ja töödeldakse vajaliku pinnakareduseni;
- määratakse katsetatava materjali keemiline koostis massiprotsentides. [9]

Materjaliuuringud teostati järgnevatele detailidele:

- Rattarumm
- Püsikiirusliigend
- Ratta tikkpolt

Määratud on materjali nimetus, kõvadusaste ja võimaliku termotöötamise olemasolu. Kõik katsed on sooritatud professionaalsete katseseadmetega ja iga detaili kohta on avaldatud katseprotokoll. Kuna detailid on suuremõdulised ja katsemasinasse nad ei mahu, on igast detailist lõigatud väiksem tükk mõõtudega maksimaalselt 30x30x30 mm. Peale lõikamist on detailid lihvitud lõikejääkidest puhtaks.

4.1.1 Rattarumm

Katse tulemustena tehti kindlaks, et tegemist on terasega C 45 vastavalt EN 10083 nõuetele. Lisaks mõõdeti ära materjali kõvadus kahest erinevast kohast, milleks olid rummu pind, millega velg kokku puutub ja nuudi juures olev pind. Kõvaduse tulemused (Tabel 4.1) vastavalt HV 10 standardile EVS EN ISO 6507 – 1.

Tabel 4.1 Rattarummu kõvadusnäitajad HV 10

Positsioon	1	2	3	4	5	keskmine
Rumm	215	219	218	212	216	216
Nuudi puks	215	212	212	219	207	213

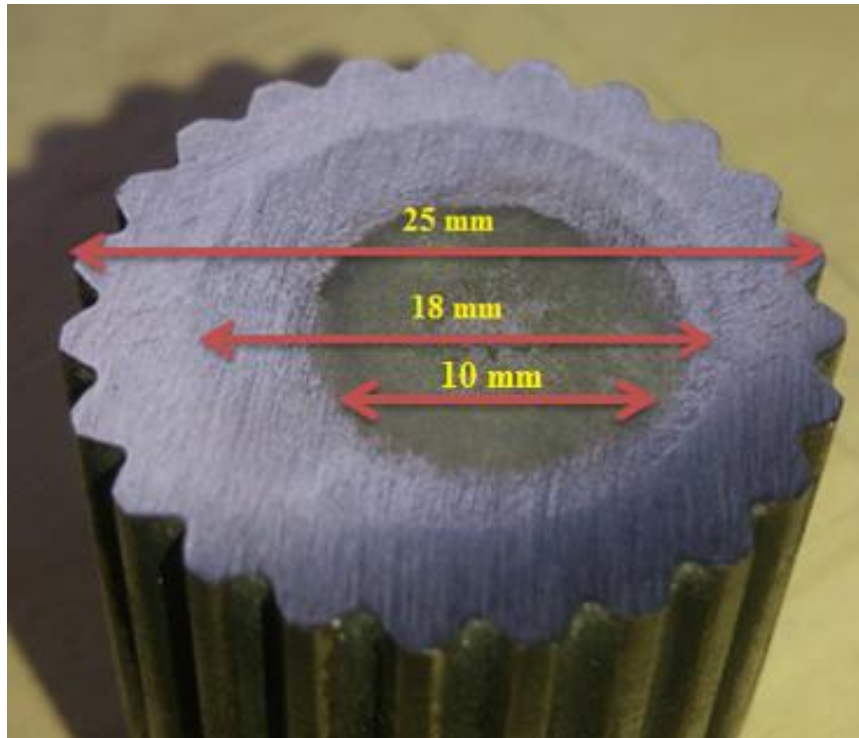
Terase C 45 mehaanilised omadused on esitatud järgnevas tabelis 4.2.

Tabel 4.2 Terase C45 mehaanilised omadused [10]

Tõmbetugevus	Voolavuspiir	Elastsusmoodul	Tihedus	Kõvadus
σ	$\sigma_{0,2}$	E	ρ	
600 – 800 MPa	340 – 400 MPa	210000 MPa	7850 kg/m ³	215 HV

4.1.2 Püsikiirusliigend

Katsetulemustena tehti kindlaks, et tegemist on terasega C 55 vastavalt EN 10083 nõuetele. Lisaks selgus, et detaili on termiliselt töödeldud pinna lähedalt, kus tema kõvadus on 59 HRC ja detaili keskosa on pehmem, kus 2 mm servast on kõvadus 25 HRC. Sele 3 on näha termotöötamise ranti servast, kus nuudipoolsem osa on suure kõvadusega ja südamik on pehmem. Taoline karastusviis on vajalik selleks, et tagada kulumiskindlus nuudi juures ja piisav sitkus materjali südamikus, et völlil oleks piisav vastupanuvõime purunemise vastu. Tume koht detaili keskel on jälg keemilisest proovist, mis teostati materjali tuvastamiseks.



Sele 4.1 Termotöötuse jälg püsikiirusliigendi völli osal

Püsikiirusliigendi materjali C 55 mehaanilised omadused on välja toodud järgnevas tabelis 4.3

Tabel 2.3 Püsikiirusliigendi völli C 55 mehaanilised omadused [11]

Tõmbetugevus	Voolavuspiir	Elastsusmoodul	Tihedus	Kõvadus
σ	$\sigma_{0,2}$	E	ρ	
700 – 850 MPa	450 MPa	210000 MPa	7850 kg/m ³	60 HRC (keskel 25HRC)

4.1.3 Ratta tikkpolt

Katsetulemustena tehti kindlaks, et tegemist on kõrgendatud väävlisisaldusega (S) terasega 44SMn28 – 1.0762 vastavalt EN 10087 nõuetele. Lisaks selgus, et detaili on termiliselt töödeldud kõvaduseni 30 HRC.

Ratta tikkpoldi mehaanilised omadused on välja toodud järgnevas tabelis 4.4

Tabel 4.4 Ratta tikkpoldi materjali 44SMn44 mehaanilised omadused [12]

Tõmbetugevus	Voolavuspiir	Elastsusmoodul	Tihedus	Kõvadus
σ	$\sigma_{0,2}$	E	ρ	
700 - 850 MPa	420 - 480 MPa	210000 MPa	7850 kg/m ³	30 HRC

4.2 Materjali uuringutulemuste järeldus

Materjalide tuvastamine endaga midagi üllatuslikku kaasa ei toonud. Selgus, et püsikiirusliigend on valmistatud tavapärasest võlliterasest C 55, rattarumm süsinikterasest C 45, kuid ratta tikkpolt on valmistatud vähemlevinud terasest 44SMn28, mis on kõrgendatud väävlisisaldusega. Kõrgendatud väävlisisaldus aitab terast paremini töödelda, eriti kui antud detail on valmistatud automaatreipingis.

Tabel 4.5 Materjalide omaduste koondtabel

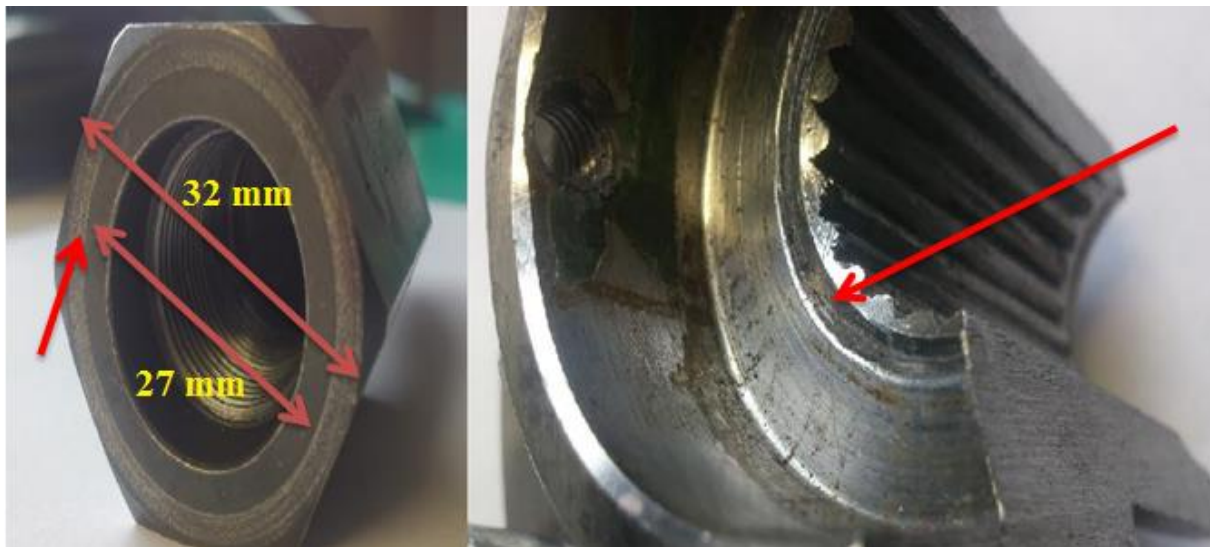
Detail	Tõmbetugevus	Voolavuspiir	Elastsusmoodul	Tihedus	Kõvadus
	σ	$\sigma_{0,2}$	E	ρ	
Ratta tikkpolt	700 - 850 MPa	420 - 480 MPa	210000 MPa	7850 kg/m ³	30 HRC
Püsikiirusliigend	700 - 850 MPa	450 MPa	210000 MPa	7850 kg/m ³	60 HRC (keskel 25HRC)
Rattarumm	600 - 800 MPa	340 - 400 MPa	210000 MPa	7850 kg/m ³	215 HV

Tabelis 4.5 on välja toodud rattakinnituskoostu kolme materjali andmed. Tabelist selguvad nii tõmbetugevuse, voolavuspiiri kui ka kõvaduse andmed. Andmete uurimisest selgus, et ratta

tikkpolt ja püsikiirusliigend on samas suurusjärgus voolavuspiiriga, mis jääb vahemikku 420 – 480 MPa, rattarummul on see aga kuni 18 % väiksem, ehk 340 – 400 MPa. Kõvadused on ratta tikkpoldil ja püsikiirusliigendil määratud Rockwelli meetodil ja rattarummul Vickersi meetodil. See, mis meetodil kõvadust mõõdeti, määrati paika labori juhataja ja labori võimaluste poolt. Rattarummul kasutati Vickersi meetodit sellepärast, et materjal on tunduvalt pehmem kui teised kaks ja lihtsalt Rockwelli meetodil ei olnud võimalik seda määrata, kuna Rockwelli HRC kõvadusskaala algab kõvemast pinnast.

Teisendades on 30 HRC näiteks 300 HV ja madalaim HRC väärtus, mis on võimalik määrata on 20 HRC, mis vastab 230 HV. [13] Omavaheline kõvadussuhete tabel on lisatud lisadesse.

Seda, et rattavõlli materjal on nõrgemate näitajatega, annab tõestust ka sellele, miks rattavõlli pinnal on muljumis – või kraapejäljed (Sele 4.2).



Sele 4.2 Vasakul ratta tikkpolt, paremal rattarummu löikepilt deformatsiooniga

Sele 4.2 asuv tikkpolt on anodeeritud (vasakul) ja hästi on näha tugipinna suurust, millest siseläbimõõt on 27 mm ja välisläbimõõt 32 mm. Tugipinnal vastu rattarummu on must anodeerimiskiht ära kulunud ja see on muutunud hõbedaselt läikivaks.

Sele 4.2 asuv rattarumm (paremal) on tikkpoldi poolt deformeeritud. Deformatsioon saab tekkida, kas kinnikeeramistest või siis dünaamilisest koormusest, mis on kõige suurem kurvis sõites. Deformatsiooni sügavuseks sai mõõdetud Faro mõõteseadmega (Sele 4.3) 0,125 mm. Faro mõõteseadme on Tallinna Tehnikakõrgkooli lõikelabori kvaliteedi kontrollimiseks

soetatud seade, millega saab lihtsalt ja kiirelt kontrollida valmistatud detailide mõõtmeid. Seadme mõõtemääramatus on 0,018 mm, mis teeb tegelikuks deformatsiooni sügavuseks 0,125 +/- 0,018 mm.

Deformatsiooni sügavus on määratud rattarummul kahe tasapinna abil. Esimese tasapinna määramiseks on vajalik vähemalt 3 punkti ruumis. Esimesed kolm punkti on võetud alal, mis ei ole deformeerunud. Seejärel kui esimene tasapind on määratud, on mõõdetud deformeerunud pinnal kolm punkti, et teada saada teise tasapinna kõrgus. Seejärel on võetud tasapinna kõrguste aritmeetiline keskmine ja on välja arvutatud nende vahe. Kõik mõõtmised on tehtud magnetlaual, kuhu on kinnitatud nii mõõtekäpp kui ka rattarumm. Mõõtmiste käigus ei ole rattarummu ega mõõtekäpa algasendit muudetud. Tulemused on näidatud järgnevas tabelis 4.6, kus on välja toodud ainult kõrguskoordinaadi y andmed.

Tabel 4.6 Deformatsiooni sügavus mõõtmine

	Deformeerumata tasapinna kõrgusmõõde y	Deformeerunud tasapinna kõrgusmõõde y
1. punkt	157,604 mm	157,482 mm
2. punkt	157,607 mm	157,480 mm
3. punkt	157,582 mm	157,455 mm
Keskmine	157,5977 mm	157,4723 mm
Vahe	0,1254 mm	

Tabelist 4.6 selgub, et deformeerumata tasapinna keskmiseks kõrguseks on 157,5977 mm ja deformeerunud tasapinna kõrguseks on 157,4723 mm. Kahe tasapinna vaheks on 0,1254 mm.



Sele 4.3 Faro mõõteseade [14]

Detaille lähemalt uurides oli võimalik näiteks rattalaagri pealt välja lugeda tootekood SNR TGB10872S02, mille järgi on tehtud Google otsingumootoris päring. Päringule tuli vastuseks laager, mis on ka kasutusel Renault mudelitel Espace, Fuego, R18, R20, R21 ja R25. Need on autod, millede algusaeg ulatub tagasi juba 1978. aastasse. Lähemal uurimisel selgus, et rattarumm ja püsikiirusliigend pärinevad ka Renault grupi seeriaautodelt, nimelt Dacia Logani mudelilt. [15]

Seega Renault Spordi insenerid on kasutanud rattakinnituskoostus seeriatootmisautode laagrit, püsikiirusliigendit ja rattarummu. Kuna antud toodete tootmise algus ulatub väga pikalt tagasi, siis võib esineda siin kitsaskohti kvaliteedi, täpsuse ja ka kindlusega. Seeriatootmise jaoks mõeldud detaile on kasutatud sellepärast, et hoida valmistamise kulusid kokku, kuna tänapäeva võistlusautodele on pandud paika hinnakriteeriumid Rahvusvahelise Autosporti Liidu poolt. Seega inseneridel on raske ülesanne valmistada hea ja vastupidav võistlusauto minimaalse fikseeritud summaga, milleks antud vormelil on 41 900 €.

4.3 Arvutusmooduli loomine

Selleks, et edaspidiselt oleks võimalik simuleerida, kuidas mõjuvad staatilised ja dünaamilised pinged ja deformatsioonid koostule, oleks vaja teada saada teljesihilise jõu suurust, mis tekitatakse tikkpoldi pingutamise rattaõllile, püsikiirusliigendi otsale ja rattalaagrile. Jõu suuruse teadasaamiseks on kaks võimalust:

- Insener määrab vastava suuruse projekteerides, mis on vajalik koostule ja jõud tagatakse keermeliite pingutamisel
- Teine võimalus on tuletada tagurpidi jõu suurus pingutusmomentidest, mis esinevad nii keermetes kui ka tikkpoldi pea tugipinnal

Antud töös on kasutatud teist varianti, kuna algset infot ei jagata jõu suuruse kohta kolmandatele isikutele. Küll on aga teada vastava tikkpoldi pingutusmoment, millest on võimalik tuletada teljesihiline jõud. Jõu saamiseks ja töö lihtsustamiseks on tehtud arvutused Microsoft Excel keskkonnas.

Järgnevalt on välja toodud valem, millega on võimalik pingutusmomentidest tuletada teljesihiline jõud:

$$M_A = M_G + M_{KR} = F_V * \left(\frac{d_2}{2} \tan(\varphi + \rho') + \mu_K \frac{D_{km}}{2} \right) \quad [7]$$

kus,

M_A – võtmega tekitatav pöördemoment	Nm
M_G – keermes esinev moment	Nm
M_{KR} – hõõrdemoment tikkpoldi pea tugipinnal	Nm
F_V – teljesihiline jõud	N
d_2 – keeme keskläbimõõt	mm
φ – keermesammu nurk olenevalt keermest	°
ρ' – keermeharjade nurk	°
μ_k – hõõrdetegur	-
D_{km} – efektiivne hõõrde diameeter tikkpoldil	mm,
kus $D_{km} = \text{tugipinna (välisläbimõõt} - \text{siseläbimõõt}/2)$	

Formula Renault 1.6 hooldusraamatus on märgitud, et tikkpoldi pingutusmoment on 180 Nm ja kasutatakse tugevat keermeliimi Loctite 270, lisaks on teada, et pingutatav keere on M20 x 1,5 ja tugipinna siseläbimõõt on 27 mm ja välisläbimõõt 32 mm. [2]

LOCTITE 270 on suure tugevusega väga tõhus keermelukusti, mis lukustab ja tihendab poldid, mutrid ja tikkpoldid, hoides ära vibratsioonist tingitud lõdvenemise. Toodet kasutatakse keermestatud kinnituste püsivaks kinnitamiseks. Toode töötab kõikide metallide puhul, sealhulgas ka passiivsetel pindadel (näiteks roostevaba teras, alumiinium). On tõestatud, et toode talub vähesel määral tööstuslikke õlisid nagu mootoriõlid, korrosioonikaitseõlid ja löikevedelikud. Saab demonteerida kuumutamisel kuni 300°C. [16]

Tehnilised andmed: [16]

- Värvus: roheline
- Keerne maksimaalne suurus: kuni M20
- Töötemperatuur °C : -55 kuni +180°C
- Lahtituleku pöördemoment M10 poltidel: 33 Nm
- Tootetunnustused: P1 NSF Reg. nr: 123006
- Kinnitumisaeg terasel: 10 min
- Kinnitumisaeg messingil: 10 min
- Kinnitumisaeg roostevabal terasel: 150 min

Asetades algandmed valemisse saame tulemuse (Tabel 4.7).

Tabel 4.7 Teljesuunaline pingutusjõud

Pingutusmoment	Tugipinna hõõrdejõududest tekkiv moment	Keermeliite hõõrdemoment	Tikkpoldi pinnale mõjuv surve	Teljesuunaline pingutusjõud
Nm	Nm	Nm	MPa	N
180	99,3	80,7	145	33659

Tabelist 4.7 selgub, et momentvõtmega tekitatava 180 Nm suurune pingutusmomendi saavutamisel on teljesuunaliseks pingutusjõuks 33659 N. Samuti on näha, et

pingutusmomendist 55% läheb tugipinna hõõrdejõu ületamiseks ja 45 % keermeliite hõõrdejõusse. Tikkpoldi poolt tekitatav surve rattarummu pinnale on staatilise pingutamise järel suurusjärgus 145 MPa. Keermeliim pingutamisel mingit rolli ei mängi, st et keermeliim ei avalda mingit mõju enne, kui ta on kuivanud.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
2									Keerme nominaalmõõt			tan p' = $\mu_g / \cos \alpha / a$		
3														
4									M	20	mm			
5									samm	1,5	mm			
6								d2	Pitch diam	19,025	mm	0,019025	m	
7								Mg	Pingutusmoment võtmega	180	Nm			
8									tan ϕ	0,078844				
9	Survejõud, mis mõjub äärikule:										4,508081	kraadi		
10									hõõrdetegur	0,15				
11									keermeharjade nurk	60	kraadi			
12	pooltelje otsa lm		19			283,5287			tan p'	0,173205				
13	ääriku siseläbimõõt		27 mm	pindala		572,5553 mm ²			Dkm=	29,5	mm	0,0295	m	
14	ääriku välisläbimõõt		32 mm	pindala		804,2477 mm ²			Poldi teljesuunaline jõud Fv					
15	ääriku pindala		231,69 mm ²						Fv					
16										33659,88	N			
17	pinge äärikule		145,2783 MPa						Poldi pea takistusmoment	99,29663	Nm			
18									Keermes esinev moment	80,70337	Nm			
19														
20	pinge äärikule originaal:		194 MPa											
21	pinge äärikule bulletin1:		377 MPa											
22	Pinge äärikule suurendatud		99 MPa						Moment kokku võtmel	180	Nm			
23									Torsional stress	102,9536	N/mm ² (MPa)			
24	Pinge pooltelje otsal		118,7177						väändejõud					
25									maksimaalne pinnale mõjuv surve	145,2783	N/mm ²			
26														
27														

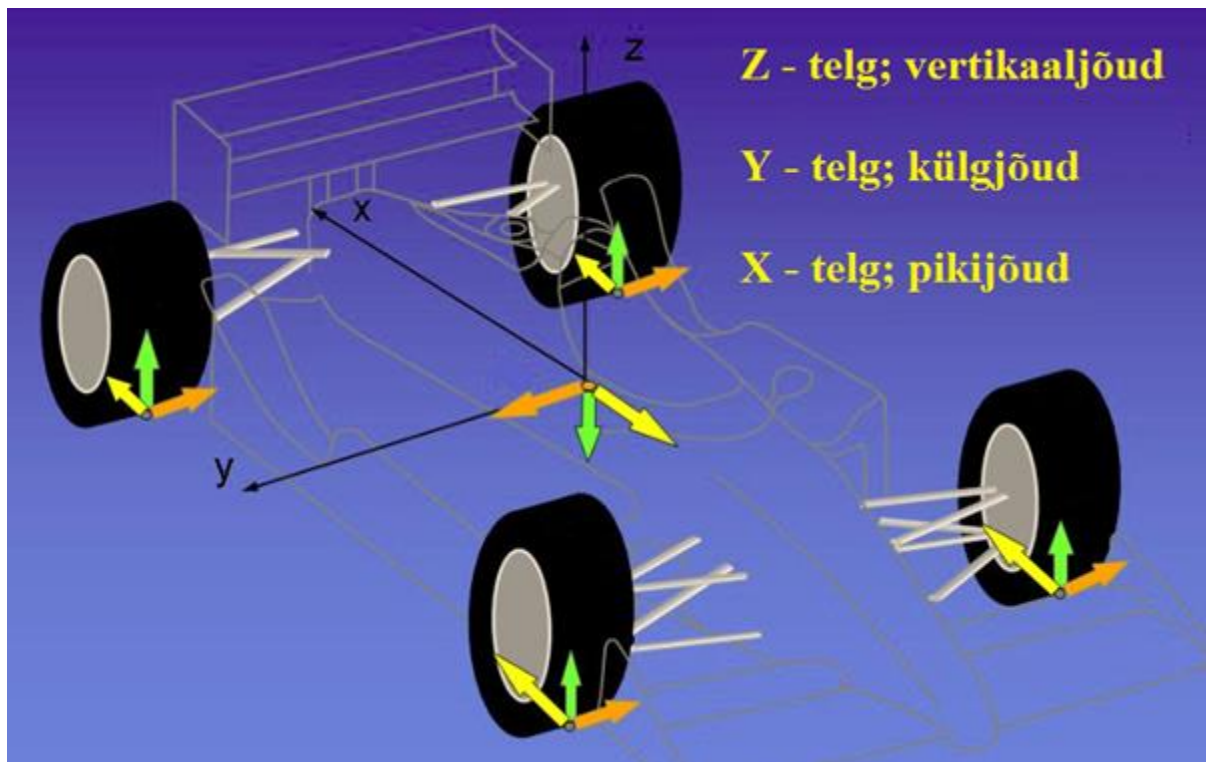
Sele 4.4 Ekraanitõmmis teljesihilise jõu arvutamisest

4.4 Koostule mõjuvate jõudude analüüs

Eelnevas peatükis on välja arvatud ainult staatiliselt mõjuv teljesihiline pingutusjõud, mis mõjub koostule. Puhtalt staatilise jõu tagajärjel koostuga midagi ei juhtu ja probleeme ei teki. Probleeme võib esineda staatilise ja dünaamilise jõu koosmõjul.

Dünaamilise jõu arvutamiseks on kasutatud Formula Student meeskonna FS Team Tallinna abi. Nimelt on tudengivormeli meeskonnaliikmete Sten Soomlasi ja Lennart Harju poolt loodud arvutusmoodul, mis aitab arvutada koormused, mis mõjuvad kurvis. Arvutusmoodul on loodud Microsoft Exceli baasil ja selleks, et saada teoreetiline jõu suurus rehvi kontaktpinnas erinevates sõiduolukordades, on vaja järgnevaid algandmeid:

- Sõiduki mass
- Rööbe
- Massikeskme kõrgus
- Maksimaalne pikikiirendus
- Maksimaalne külgiirendus



Sele 4.5 Skemaatiline skeem vormelile mõjuvatest jõududest [17]

4.4.1 Koostule mõjuvate jõudude algandmete leidmine

Sõiduki mass

Sõiduki mass koos juhiga on vastavalt reeglitele minimaalselt 567 kg [2], kuhu tuleb lisaks arvestada mootorikütuse massi, milleks on keskmiselt 25 kg. Seega arvutuste kogumassiks on võetud $567 + 25 = 592$ kg.

Rööbe

Vormeli rööbe on välja toodud kasutaja raamatus ja selleks on esiteljel 1486 mm ja tagateljel 1436. [2]

Massikeskme kõrgus

Massikeskme kõrgust ei ole avaldatud kuskil seega, see on mõõdetud realselt auto peal. Massikeskme kõrgus mõjutab tugevalt kaaluümberjaotumise suurust ja massikeskme leidmiseks on vaja leida järgmised väärtused:

Rataste vertikaal koormused			Teljevahe		Kaalujaotus		Rööbe									
	Vasak	Parem		mm	Ees	%		Vasak	Parem							
Esi	130	171		2630	63,91	%	Esi	1486	743	743						
Taga	108	62			36,09	%	Taga	1436	718	718						
	151	170		598												
Telgede vertikaal koormused			Tõstetud silla kõrgus		Esitelje kaalujaotus		Massikeskme kaugus esiteljest		Massikeskme asukoht esiteljest maapinnast							
Esi	301			350	43,18936877	%		1680,7431	<table border="1"> <tr> <td>x</td> <td>1680,74</td> </tr> <tr> <td>y</td> <td>5,45</td> </tr> <tr> <td>z</td> <td>502,96</td> </tr> </table>		x	1680,74	y	5,45	z	502,96
x	1680,74															
y	5,45															
z	502,96															
Taga	170			948	56,81063123	%		949,2569002								
Kokku	471															
Rataste vertikaal koormused tõstetud sillaga			Massikeskme kõrgus		Tagatelje kaalujaotus		Massikeskme kaugus tagateljest									
	Vasak	Parem		234,78		mm	Vasak	63,53								
Taga	148	168				Parem	36,47									
Esi	0	0				Külgede kaalujaotus		Massikeskme kaugus keskeljest								
	159	148				Vasak	50,33	5,445859873								
	0	0				Parem	49,47									
Telgede vertikaal koormused tõstetud sillaga					Cross											
Esi	311					40,76	%									
Taga	0															
Kokku	311															
Ratta ümbermõõt																
	Vasak	Parem														
Esi	1685	1685														
Taga	1705	1705														
Telje kõrgus																
	Vasak	Parem														
Esi	268,176	268,176														
Taga	271,350	271,350														

Sele 4.6 Massikeskme arvutusmoodul [19]

Sele 4.7 on kujutatud massikeskme mõõtmise protseduuri, kus vormelauto esitelg on tõstetud üles vastava rakisega abil ja seejärel mõõdetakse lisandunud massi kaalude abil, mis on asetatud rataste alla.



Sele 4.7 Auto massikeskme mõõtmise protseduur [19]

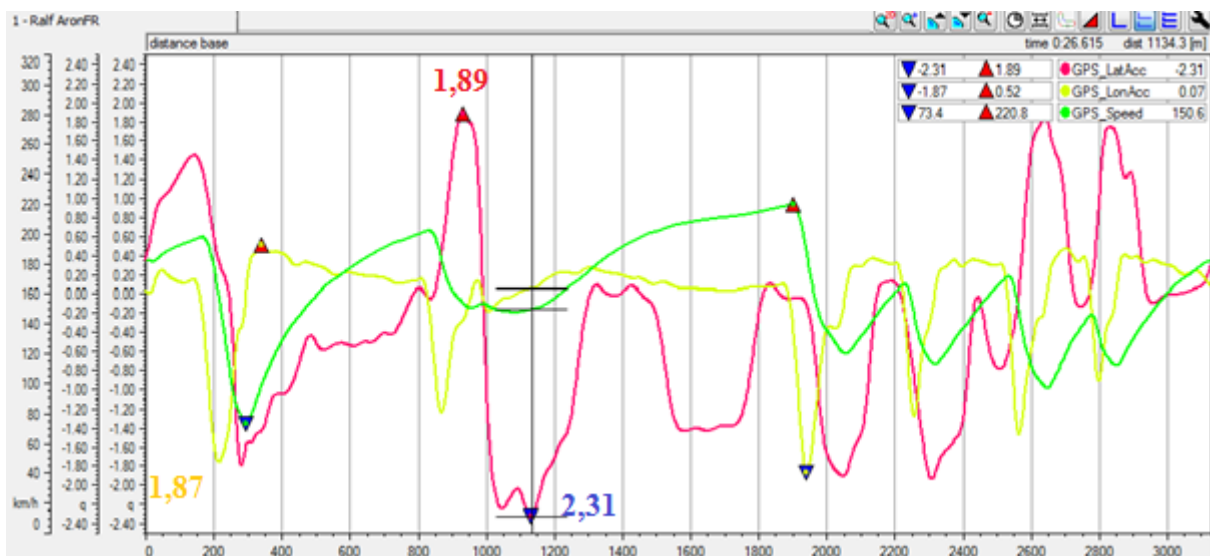
Piki – ja külgiirendused

Maksimaalsete piki – ja külgiirenduste väärtuste saamiseks on kasutatud Formula Renault 1.6 andmesalvestuse tarkvara, milleks on Pi Research Data Logger. Tegemist on Renault Spordi poolt paigaldatud tehaseseadmega, mis tuleb vormelit ostes kaasa. Tulemusi analüüsid on saadud järgnevad tulemused (Tabel 4.8):

Tabel 4.8 Autole mõjuvad maksimaalsed jõud

Maksimaalne pikijõud pidurdades	Maksimaalne pikijõud kiirendades	Maksimaalne külgiõud kurvis
1,87 G	0,52 G (kohapealt stardis kuni 0,95 G)	2.31 G

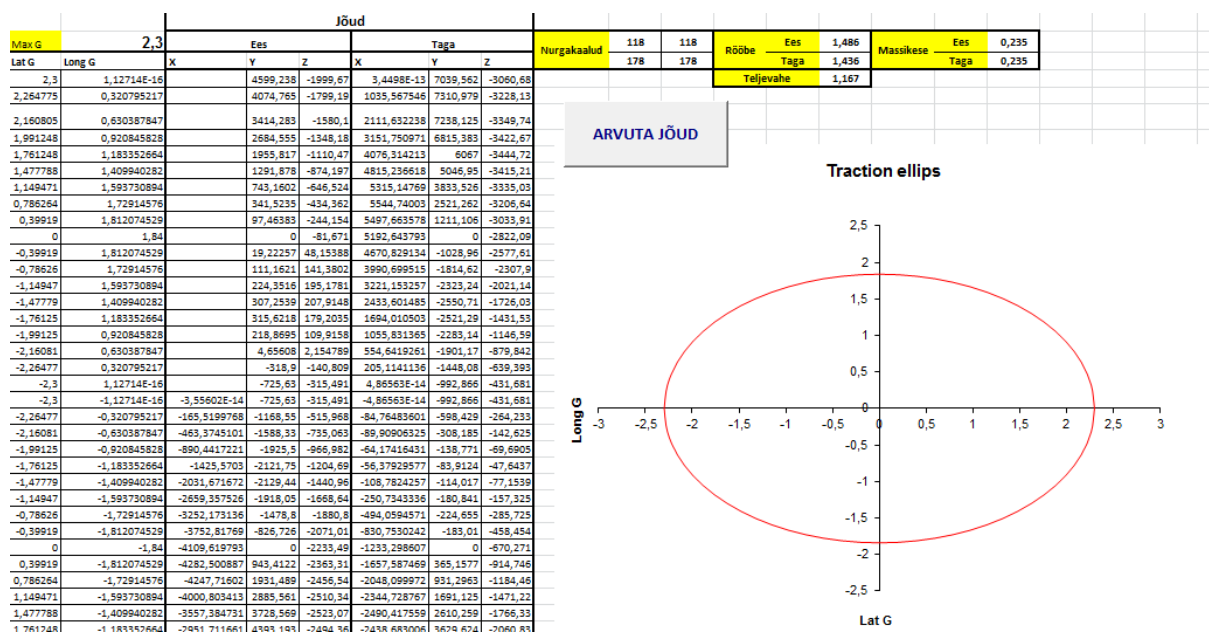
Sele 4.8 on kujutatud ekraanitõmmist Formula Renault 1.6 külgi – ja pikijõudude suuruselt. Antud mõõtmised teostati võistluste raames Pärnu ringrajal 7. Augustil 2014. a. Ralf Aroni võistlusautoga. Andmetest selgub, et maksimaalsed külgiõud on vasakkurvides kuni 2.31 G ja paremkurvides kuni 1.89 G. Sele 9 on külgiõud tähistatud punase joonega. Kollase joonega on tähistatud pikikiirendused, mis pidurdades saavutavad maksimaalse väärtuse 1.87 G ja kiirendades 0,52 G. Neid andmeid on kasutatud sisendina sidestus ellipsi leidmisel, millest on välja arvatud jõu väärtused, mis mõjuvad rattale.



Sele 4.8 Formula Renault 1.6 andmelugeja külgi - ja pikikiirenduste kuvamine

Arvutusmoodul

Arvutusmoodul (Sele 4.9) arvutab jõu väärtused kõikides sidestus ellipsi (traction ellips) punktides. Erinevad sidestus ellipsi punktid näitavad kombinatsioone piki – ja külgiirendustest. Tugevusarvutuse jaoks tuleb leida maksimaalne jõu suurus ning kasutada seda arvutuses. Leida tuleb jõu suurus nii X,Y kui Z telje suunal. [20]



Sele 4.9 Arvutusmoodul maksimaalse jõu leidmiseks rehvi kontaktpunktis

Maksimaalsed jõud rehvi kontaktpunktis on esi – ja tagateljel järgnevad, kus X – telg tähistab pikijõude, Y – telg tähistab küljõude ja Z telg vertikaaljõude (Tabel 4.9):

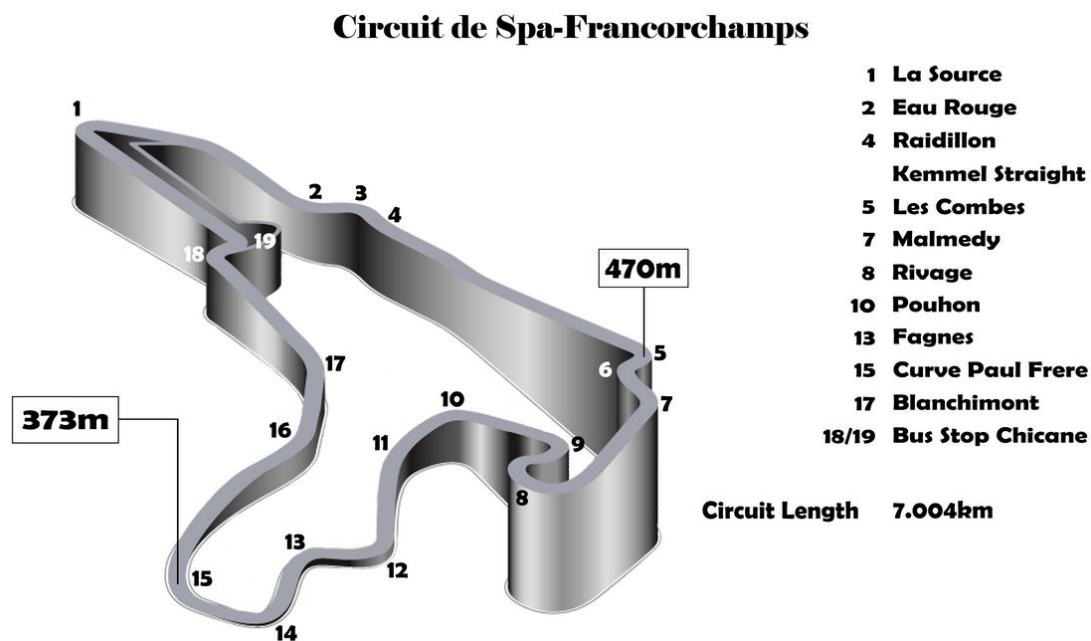
Tabel 4.9 Rehvi kontaktpunkti rakenduvad jõud

Maksimaalsed jõud rehvi kontaktpunktis			
Jõu mõjumise telg	X	Y	Z
Esitelg	4282 N	5007 N	2523 N
Tagatelj	5544 N	7310 N	3444 N

Tabelist 4.9 on näha, et esitelje maksimaalsed jõud on X – telje suunas 4282 N, Y telje suunas 5007 N ja Z telje suunas 2523 N. Tagateljel on jõud suuremad, kuna nurgakaal on suurem; X – telje suunas 5544 N, Y – telje suunas 7310 N ja Z – telje suunas 3444 N. Antud tulemusi peetakse adekvaatseteks, kuna suurusjärk on vormelautole sarnane, seega edaspidises simulatsioonis kasutatakse neid väärtusi.

4.5 Ringrajad, kus on esinenud probleeme

Scuderia Nordica ja teiste NEC sarjas sõitvate meeskondade ühisel uurimisel on selgunud, et probleeme esineb rohkem sellistel ringradadel, kus raja kõrguste erinevus on suur. See tähendab, et ringrajad on ehitatud mägiste aladele ja esineb palju tõuse ja langusi. Parimaks näiteks võib tuua Belgias asuv ringrada SPA – Francorchamps, kus raja kõrgeima ja madalaima kõrguste vahe on 97 m (Sele 4.10).



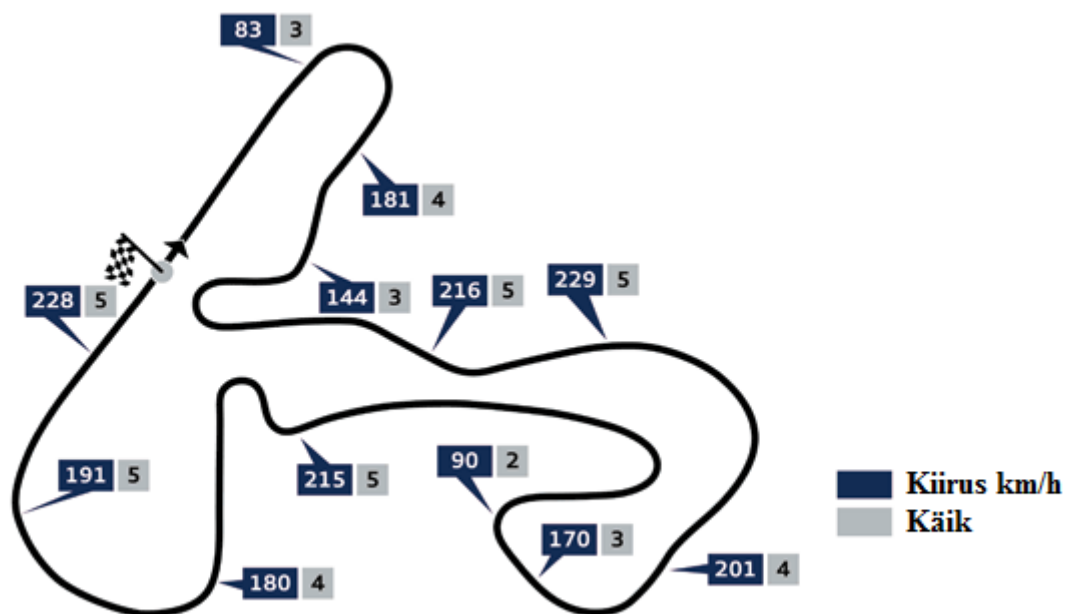
Sele 4.10 SPA Francorchamps ringraja kõrguste kaart [21]

Antud ringrajal on teadaolevalt 5 korral esinenud probleeme ratta kinnitusega, millest kahel korral on ratta eemaldumise pärast toimunud kokkupõrge rajapiirdega, tuues endaga kaasa õnneks vaid materiaalse kahju.

SPA – Francorchamps on ringradadest üks pikemaid maailmas 7004 m. Ringrajal on 19 kurvi, millest 10 on paremale ja 9 vasakule, sealhulgas ringrada on väga kiire, omades vaid kolme

aeglast kurvi, mille kiirus jääb alla 100 km/h. Seega rada iseloomustavad väga kiired ja looklevad kurvid, kus on palju äärekive ning kus külgjõud on suured ja pikaajalised.

Teine ringrada, kus Scuderia Nordica võistlusautodel on esinenud probleeme kolmel korral, on Hollandis asuv Zandvoorti ringrada. Rajal on kokku 13 kurvi, milles 9 on paremale ja ainult 4 vasakule. Ringrada iseloomustavad samuti kiired paremkurvid, mida on võimalik näha ka Sele 4.11). Kiiretes paremkurvides jäävad kiirused enamuse suurusjärku 150 km/h. Suured kiirused on tagatud antud ringrajal pikkade positiivsete kalletega, mis soodustavad kiiruse kasvu. Samuti antud ringrada asub mere ääres ja on ehitatud liivaluidete sisse, mis tähendab, et rajal esineb samuti ohtralt tõuse ja langusi, mille amplituud jääb vahemikku 10 m.



Sele 4.11 Zandvoorti ringraja kiiruskeem [22]

SPA ja Zandvoorti rajal on juhtunud kõige rohkem õnnetusi ratta lahtitulemisega. Eelkõige on õnnetusi juhtunud kiiremate sõitjatega, kes kasutavad 100% rada ära. See tähendab, et kurvi sisenedes võetakse lisa äärekividelt ja samuti väljudes, et säilitada suuremat kiirust. Samuti on täheldatud, andmeid analüüsid, et aeglastematel sõitjatel pole ratta lahtitulemisega probleeme olnud. Nende kiirused on sedavõrd väiksemad ja äärekive nad ei ründa samuti nii agressiivselt. SPA ja Zandvoort jäävad silma ka sellepöolest, et nad sisaldavad rohkem parempoolseid kiireid kurve, kus on koormus vasakule tagarattale kõige suurem.

Kokkuvõttes järeldati, et probleeme esineb rohkem sellistel ringradadel, mis:

- omavad rohkem parempoolseid kiireid kurve, kiirusega üle 150 km/h
- radadel, kus esineb palju tõuse ja langusi,
- ringradadel, kus on pikemad ja teravamad raja lõppu tähistavad äärekivid
- ringradadel, kus juhid on sunnitud kiiremaks läbimiseks kasutama ründavamalt äärekivi löikamise stiili.

4.6 Tugevusanalüüs olemasolevale lahendusele

Rattakinnituskoostu kohta tuleb teha põhjalik LEM (lõplike elementide meetod) analüüs, saamaks aru, millised võivad olla kitsaskohad ja miks võib toimuda ratta kinnitusega probleeme. Tugevusanalüüsi jaoks kasutati prantsuse firma Dassault Systemes poolt loodud Programmi Catia V5R21. Antud programmiga on võimalik luua nii 3D mudel, kui ka selle hilisem analüüs. Analüüsi rakendamiseks on vaja järgmisi parameetrid:

- materjali omadused
- koormused, mis mõjutavad koostu
- rajatingimused

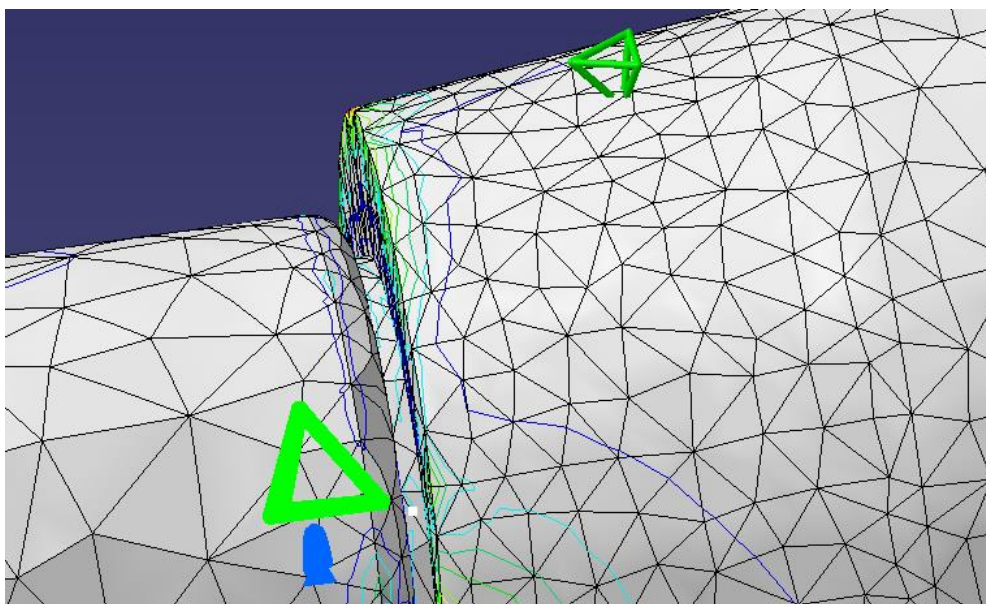
Materjali omadused ja koormuse suurus on eelnevates peatükkides välja selgitatud. Järgnevas peatükis on selgitatud, millised on rajatingimused ja kuhu antud koormused rakenduvad.

4.6.1 Rajatingimused

Lõplike elementide meetodil tehtav analüüs sõltub väga tugevalt, kuidas on defineeritud rajatingimused. Valesti rajatud tingimustel programm arvutab tulemuse, mis ei pruugi olla adekvaatne. Selleks, et analüüsi võimalikult palju lihtsustada on näiteks püsikiirusliigendi nuudi asemel loodud sile võlli pind, samuti keermeid ei ole sisse jäetud; kõik see on kiirema ja täpsema tulemuse nimel. Tervikanalüüsi tegemiseks on koostu niipalju lihtsustatud, et alles on jäänud vaid püsikiirusliigendi ots, rattavõll ja tikkpolt koos rattamutriga.

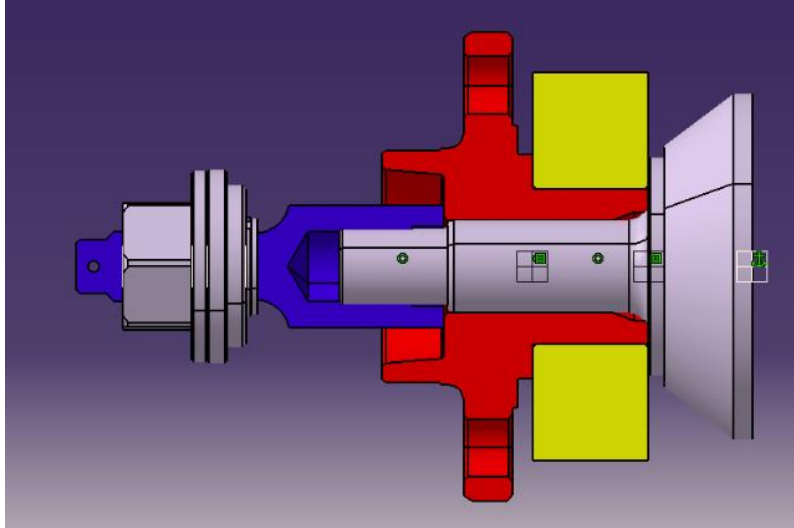
Esimeseks ülesandeks analüüsil on materjali määramine detailidel. Seejärel kui materjal on määratud defineeritakse võrgustiku omadused (ing. k. *Mesh*). Võrgustik on Catia analüüsi programmil esialgu määratud vaikimisi. See tähendab, et vastavalt detaili suurusele on loodud esialgne võrgustik programmi poolt. See on hea sellepärast, et tuvastada, kus tekivad pinged ja kui võrgustik on suur, siis toimub arvutusprotsess kiiresti. Pingete tekkimise kohas on otstarbekas teha võrgustik tihedam - see teeb tulemuse täpsemaks. Catia võrgustik on kolmnurksete püramiidide kujuga ja sõltub kahest peamisest parameetrist:

- Sag – parameeter, mis määrab ära maksimaalse lubatud erinevuse mudeli ja võrgustiku vahel. Keerulise geomeetriaga detaili puhul on raske leida sobivat võrgustiku tihedust. Määrates ära parameetri Sag, muudab programm ise võrgustiku suurust väiksemaks seal, kus vaja, et erinevus mudeliga jääks soovitud piiridesse. Lihtsa geomeetriaga osades jääb võrgustik eelnevalt märgitud suurusega. [20]
- Kolmnurga küljepikkus – määrab analüüsi tulemuste täpsuse, pikkust on võimalik ise määrata, mistahes kohas endale sobiva suurusega. Siinkohal on hea meeles pidada, et mida tihedam on võrgustik, seda täpsem on tulemus, kuid tihedama võrgustiku tõttu toimub arvutusprotsess pikemalt. Seega on ebavajalikes kohtades otstarbekam kasutada suuremat võrgustikku, säästmaks aega. Näide selle kohta on Sele 4.12, kus paremal pool pildil on võrgustik tihedam ja vasakpool, kus pinged ei ole kriitilised jääb suurema võrgustikuga.



Sele 4.12 Võrgustiku näide

Analüüsi poolt on rajatingimused keerulised. See tähendab, et kuna tegemist on koostuga, siis analüüs koosneb mitmetest detailidest. Kõigepealt rajatakse tingimused, kuidas detailid on omavahel seotud Sele 4.13. Näiteks ühe detaili otspind on kontaktis teise detailiga. Omavahelise ühenduse defineerimiseks on mitmeid võimalusi.

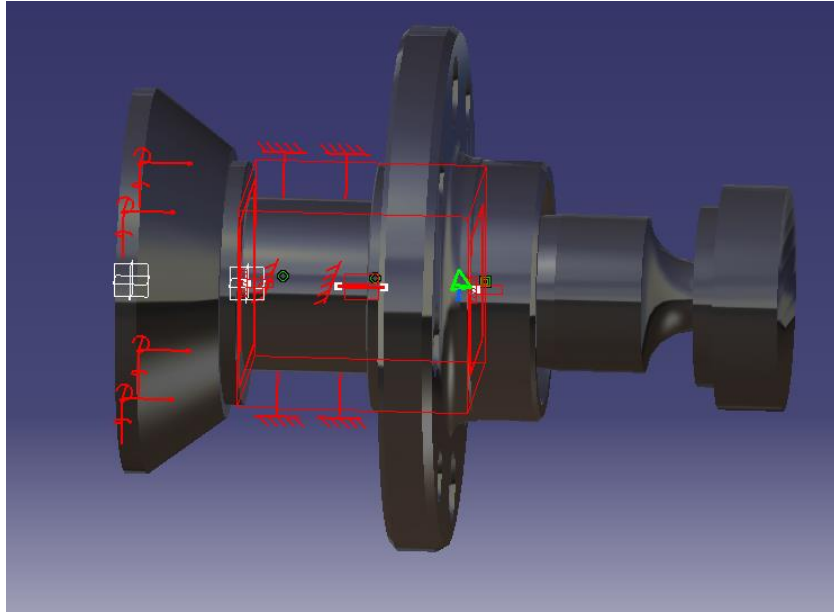


Sele 4.13 Lihtsustatud skeem detailide asetusest koostus

Rajatingimuste kirjeldamisel kasutatakse tööriista *General Analysis Connection*. Antud tööriistaga saab luua seosed, kuidas detailid omavahel kokku puutuvad, milliste pindade, punktide või joontega. Seejärel, kui üldised ühendused on loodud, luuakse töökäsk, kuidas on ühendused kinni; võimalusi on mitmeid:

- Järgalt, mis tähendab, et kaks detaili moodustavad ühe terviku
- Pinguga, näiteks laagrite või juhtsiinide istud
- Omavahel poltliitega koospüsivad elemendid, millel on kindel teljesihiline jõud
- Lihtsalt omavahel kontaktis olevad pinnad, mis ei lase detailidel üksteisest läbi minna
- Kokkukeevitatud pinnad
- Vedruelemendiga seotud pinnad, mis võimaldab teatud määral elastset liikumist

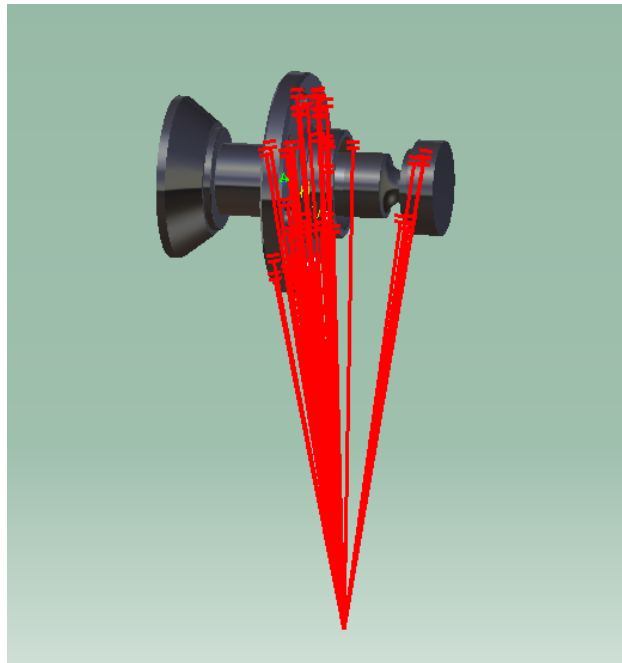
Rattalaagri välispind on järgalt ühendatud tööriistaga *Clamp* (Sele 4.14), mis võtab ära kõik vabadusastmed. Laagri sisepind ja rattavõlli välispind on ühendatud tööriistaga *Contact Connection*, mis ei lase detailidel üksteisest läbi tungida, Niimoodi on omavahel ühendatud ka püsikiirusliigendi võlliosa ja rattavõlli siseava. Lihtsustusena on tehtud püsikiirusliigendi võlliosa ja ratta tikkpolt üheks tervikus. Niimoodi saab välistada keermete arvutusosa ja ka seal tekkida võiva vea.



Sele 4.14 Rajatingimuste ekraanitõmmis Catia programmist

Lisaks on rakendatud pöörlevatele osadele tööriistaga *User defined restraint* lisapiirangud. 6 vabadusastmest on piiratud 5: vabaks on jäänud vaid ümber y telje pöörlemine.

Koormused



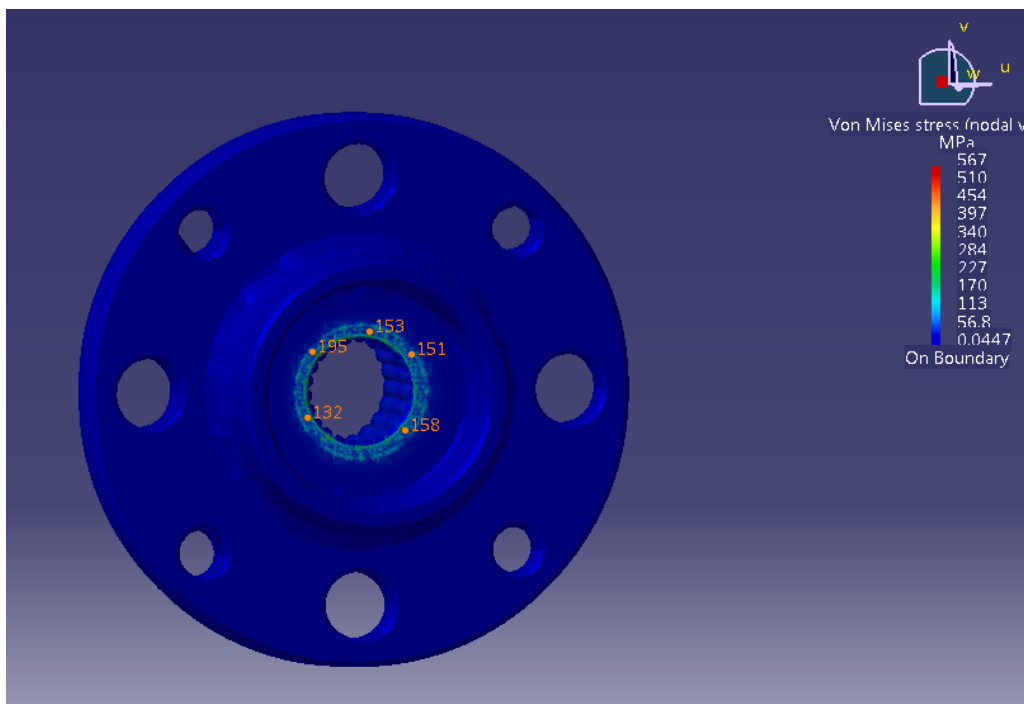
Sele 4.15 Koormuste rakendamine koostule

Koormused koostule avalduvad rehvi ja tee kontaktpinna tsentrite asukohast (Sele 4.15). Selleks, et see punkt defineerida, on vaja ratta raadiust ja velje nihutust rattavõlli kontaktpinna

suhtes. Ratta raadiuseks on 263mm ja velje nihutus on 8 mm kontaktpinna suhtes. Seejärel on loodud tööriistaga *Virtual rigid part* ühendus punkti ja nende pindade vahel, kuhu toetub velg. See tööriist tekitab nende elementide vahele jäiga keha ja seega jäetakse velg analüüsist täielikult välja, mis säästab nii aega kui ka arvutuse ressursi. Koormused, mis rakendatakse kolmes sihis on välja uuritud eelnevates peatükkides. Esitelje maksimaalsed jõud on X – telje suunas 4282 N, Y telje suunas 5007 N ja Z telje suunas 2523 N. Tagateljel on jõud suuremad, kuna nurgakaal on ka suurem; X – telje suunas 5544 N, Y – telje suunas 7310 N ja Z – telje suunas 3444 N. Lisaks on juurde lisatud staatiline koormus, mis tekitatakse tikkpoldi pingutamise rattaõlli tugipinnale, milleks on y teljesuunaline jõud suurusega 33679 N.

4.7 Tugevusanalüüs rattakinnituskoostule

Esimeseks sammuks tugevusanalüüsil on analüüsitud tikkpoldi poolt tekitatud pingeid (Sele 4.16), mis olid arvutuslikult suurusjärgus 145 MPa. Simulatsiooni tulemusena on keskmine pingete väärtus samas suurusjärgus 130 – 160 MPa.

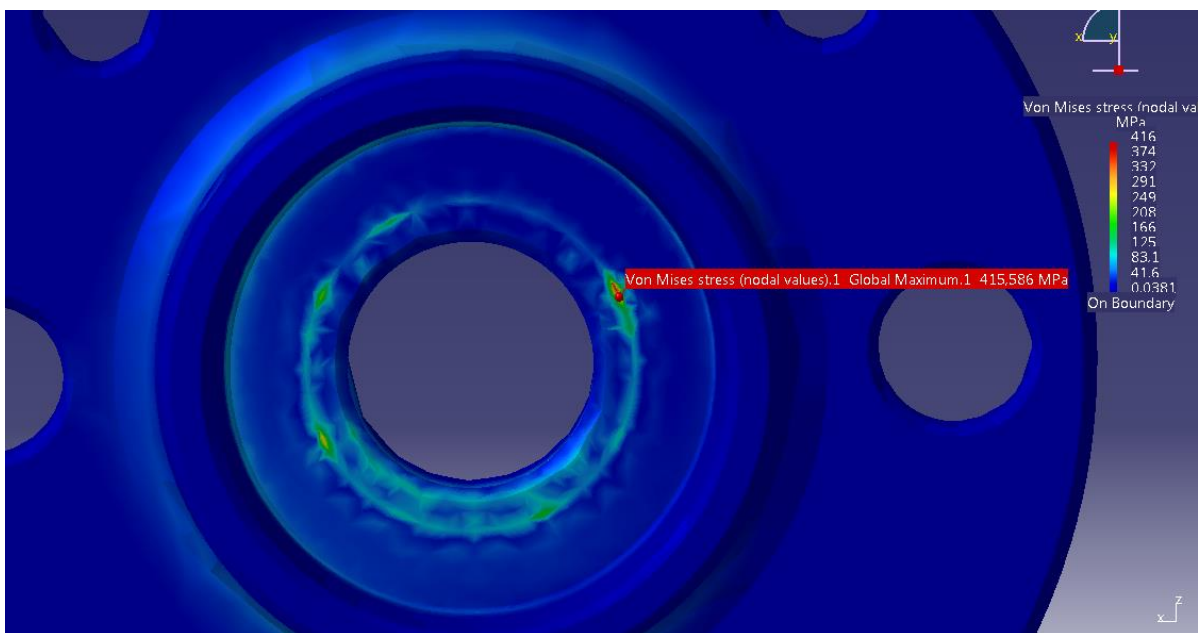


Sele 4.16 Staatilised pinged, mis tekitatakse tikkpoldi pingutamise

Deformatsiooni suurus on maksimaalselt 0,02 mm suurune, mida võib pidada tühiseks. See välistab ka muljumisjälgede tekke pingutusmomendist.

Terviklahenduse staatilise ja dünaamilise jõu koosmõjul tekkivad pinged rattavõllile on järgnevad (Sele 4.17). Tikkpoldi tugipinnale võivad tekkida ideaalolukorras kuni 415 MPa suurused pinged, mis tähendab, et löökoormustel või äärekiividel sõites võivad pinged minna isegi suuremaks. Kui vaadata materjali algandmeid siis sealt võib välja lugeda, et rattavõlli algseks voolavuspiiriks on 340 – 400 MPa. See aga tähendab, et on oht materjali deformatsiooniks väsimuspingete näol, kuna varutegur on jäetud liiga väikeseks, antud juhul isegi alla 1. Lühiajaliselt võib antud koost isegi vastu pidada aga pikemaajalises perioodis võib esineda probleeme tugipinna väsimusega ja väsimuspingete tagajärjel tugipind deformeerub. Sellele annab kinnitust ka varasemates peatükkides olnud pildimaterjal, millel on näha tugipinna deformatsiooni suurust.

Tuginedes punktile 3.1, siis tugipinna deformeerumisel väheneb hõõrdetegur tikkpoldi otspinna ja tugipinna vahel. See aga paneb suurema pinge nüüd keermeliimile, mis aga enam ei pea sellisele koormusele vastu ja liim praguneb. Juhul kui liim on oma omadused kaotanud, on tikkpoldil kõik eeldused lahtikeerdumiseks.

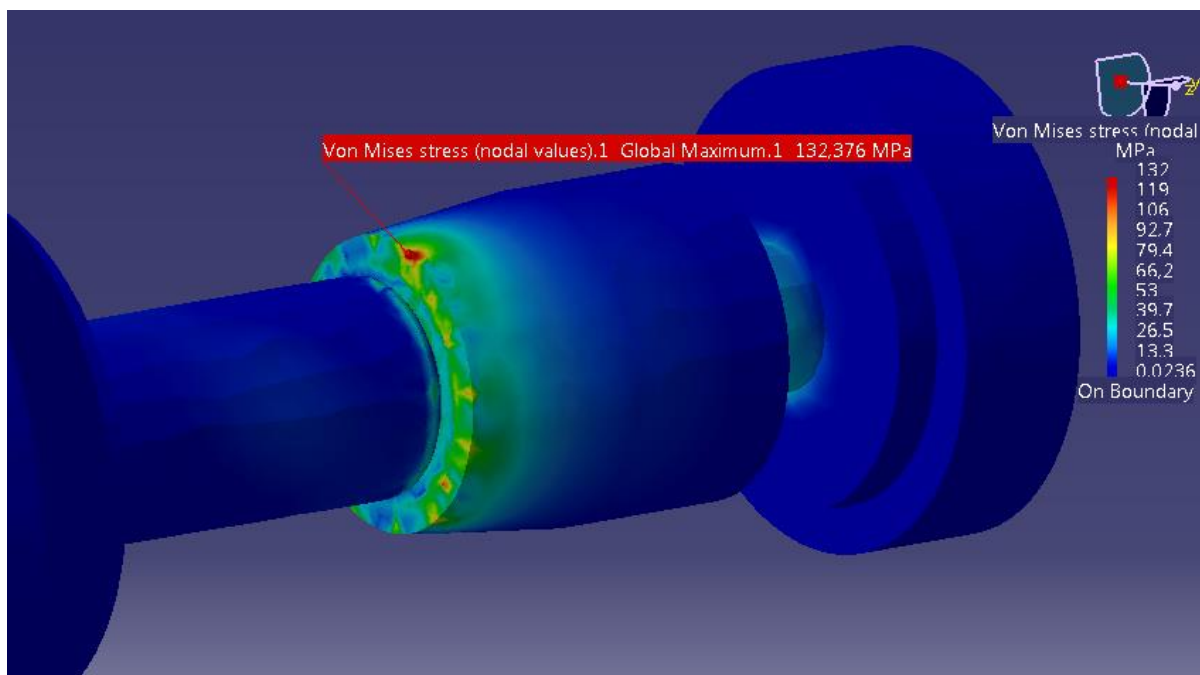


Sele 4.17 Maksimaalsed pinged tagateljel rattavõllile, mis on tekitatud tikkpoldi poolt

Esiteljel on koormusolukord sarnane ja niisamuti ka pinged, aga pingete suurusjärk on 30% väiksem jäädes maksimaalset 290 MPa juurde, seda sellepärast, et ees mõjuvad väiksemad koormused koostule. Esiteljel tekib seega $340/290 = 1,17$ kordne varutegur. Tulemusi

vaadates, ei ole see piisav aga reaalsuses on sellest piisanud ja esiteljel ei ole probleeme kunagi täheldatud. Esiteljel puudub ka veo komponent, mis tagatelje rohkem mõjutab.

Kui vaadata pingeid, mis tekivad püsikiirusliigendi võllil ja tikkpoldil (Sele 4.18), siis siin midagi ebaloomulikku ei ole. Maksimaalsed pinged asetsevad tikkpoldi otspinnal, mis jäävad 132 MPa suuruseks. Tikkpoldi materjali 44SMn28 vooluvuspiiriks kataloogi andmetele on 420- 480 MPa, mis teeb varuteguriks minimaalselt $420/132 = 3,18$. Varutegurit 3,18 võib pidada piisavaks, konsulteerides FS Team Tallinna meeskonna liikmetega, kellel on aastatepikkune projekteerimise kogemus seljataga, sama kinnitavad ka mitmed mehaanika käsiraamatud.



Sele 4.18 Pinged püsikiirusliigendi võllil ja tikkpoldi otsal

Praegusel hinnangul on probleemi tekitajaks tikkpolt, mille tugipind on liiga väike. See aga omakorda soosib rattavõllile väsimuspingeid ja deformatsioone, mis annab eeldused tikkpoldi lahtikeerdumiseks. Lahtikeerdumist esineb ainult vasakul tagumisel rattal ja kui varem sai välistatud probleemid esiteljel, siis parema tagatelje lahtikeerdumine on raskendatud paremal oleva keermesuuna tõttu. Nimelt paremal teljel on paremkeere, mis sõites on aldis pigem kinnikeerdumisele. Vasakul pool on aga samuti parempoolne keere, mis selles olukorras aga on altim lahtikeerdumisele. Seega see selgitaks probleemi alge.

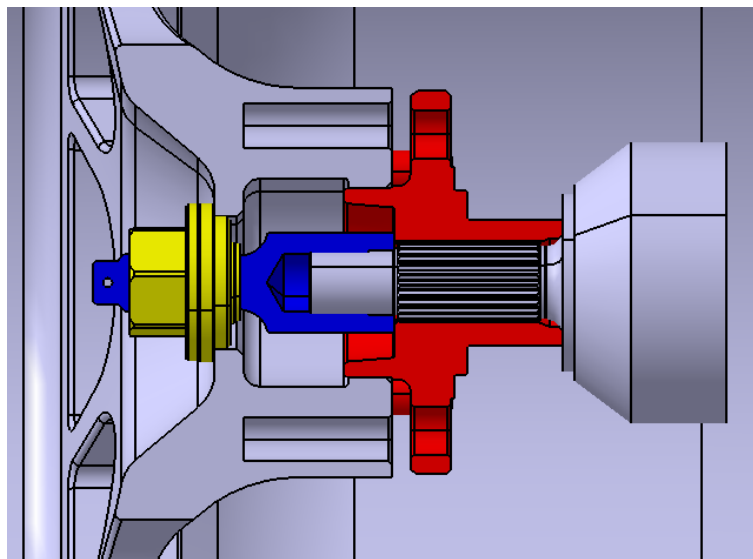
Tugevusanalüüsile ja eelnevalt kogutud andmetele tuginedes võib väita, et probleemil on alust ja selle lahendamiseks on järgnevas peatükis välja pakutud 5 erinevat alternatiivi.

5. ALTERNATIIVSED LAHENDUSED PROBLEEMILE

Järgnevalt on kirjeldatud erinevaid lahendusi, kuidas oleks ratsionaalne rattakinnituskoostu muuta. Lahendusi on mitmeid ja selleks, et leida parim kontseptsioon on välja toodud iga süsteemi positiivsed ja negatiivsed küljed.

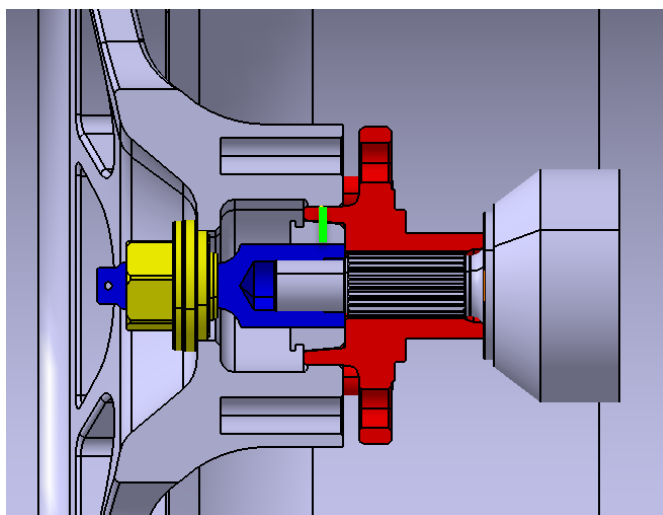
5.1 Rattakinnituskoostude võrdlus

- Originaalne lahendus A: kasutatud on seeriatootmise püsikiirusliigendi otsa. Vajalik ping laagrile saavutatakse püsikiirusliigendi ja rattavõlli pingutamisel, (Sele 5.1) oleva sinise mutriga, mille pingutusmoment on 180 Nm. Velg kinnitatakse omakorda ühe tsentraalmutriga, milleks on (Sele 5.1) olev kollane detail. Püsikiirusliigendi ja tikkpoldi maksumus tootja järgi on 143,73€ [3], millest püsikiirusliigend maksab 104,69€ ja tikkpolt 39,04€



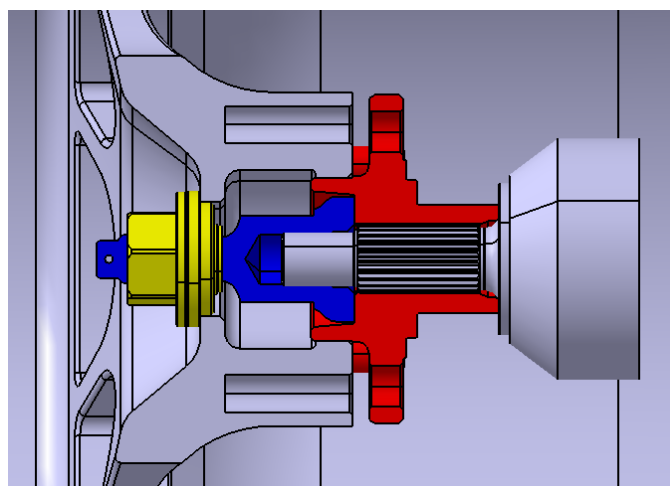
Sele 5.1 Originaalne lahendus

- Lahendus B: kontseptsioon on originaalse lahendusega sama, lisatud on stopperrõngas tikkpoldi lahtikeerdumise vältimiseks, mis on omakorda fikseeritud M 6 seadekruviga, (Sele 5.2).



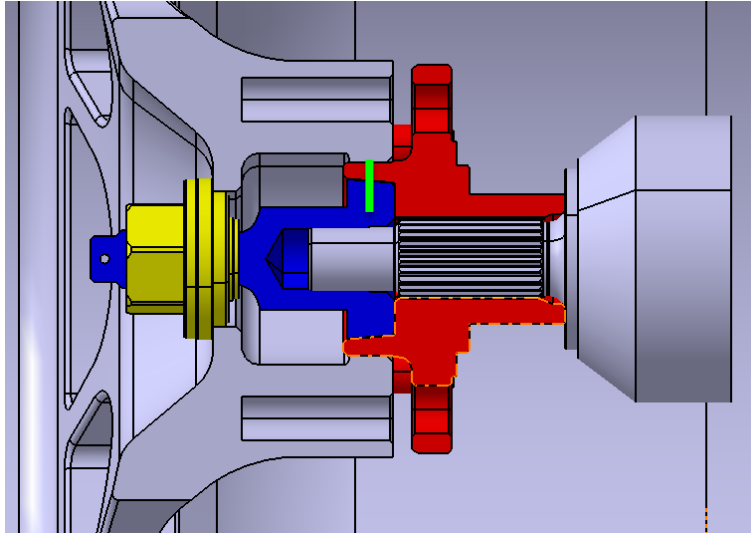
Sele 5.2 Lahendus B stopperrõnga ja seadekruviga

- Lahendus C: kontseptsioon on originaallahedusega sarnane, muudetud on vaid laagri pingutamiseks ja velje mutri vahel olevat tikkpoldi toetuspinda vastu rattavõlli (Sele 5.3).



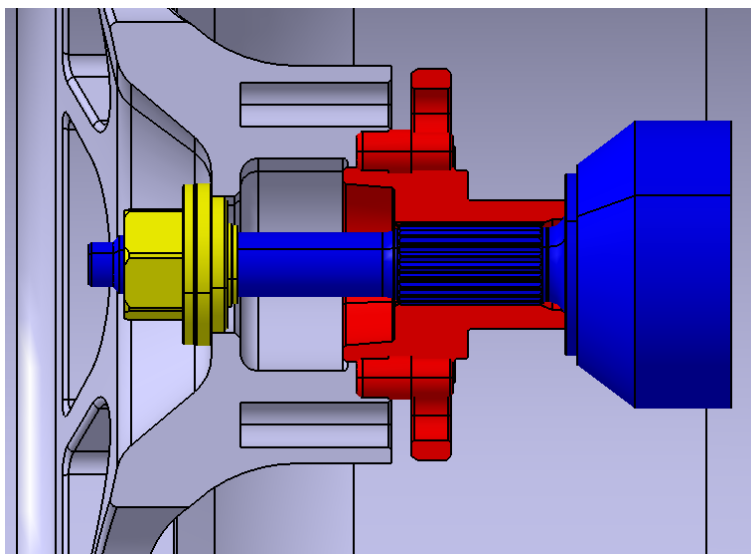
Sele 5.3 Lahendus C suurema kandepinnaga tikkpolt

- Lahendus D: Originaallahendusega sarnane, kuid on muudetud tikkpoldi rattarummupoolset toetuspinna suurust ja lisaks tikkpolt järgib rattavõlli külje koonust. Tikkpolt on omakorda fikseeritud M 6 seadekruviga (Sele 5.4).



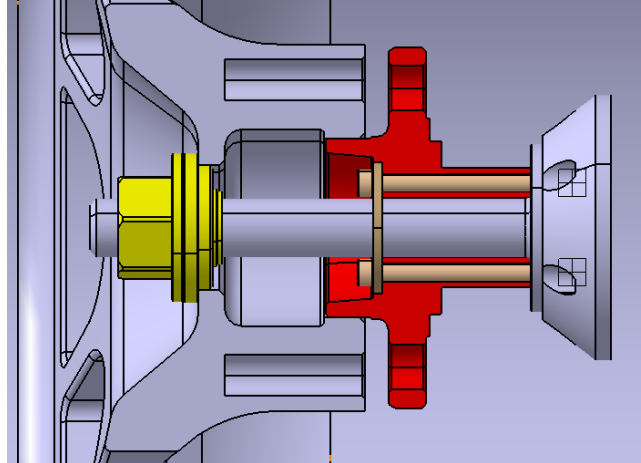
Sele 5.4 Lahendus D Koonuse ja suurema toetuspinnaga tikkpolt

- Lahendus E: Koost erineb originaalist püsikiirusliigendi võrra, mis on nüüd valmistatud spetsiaalselt selle lahenduse jaoks. Nimelt püsikiirusliigend ja tikkpolt on nüüd ühes tükis ja laagri pingutab ära rattamutter. Ratta vahetusel takistab stopperõngas püsikiirusliigendi ebamäärase liikumise (Sele 5.5).



Sele 5.5 Lahendus E muudetud püsikiirusliigendiga

- Lahendus F: Muudetud on rattavõll ja püsikiirusliigend. Samuti on kaotatud vedu edasikandev nuut, mis on asendatud kuue jäiga poltliitega, mis ühtlasi annavad õige pingu ka laagrile. Kadunud on ka originaal tikkpolt, mis on asendatud ühe pika püsikiirusliigendi koostuga (Sele 5.6).



Sele 5.6 Lahendus F muudetud rattavõlli ja püsikiirusliigendiga

5.2 Erinevate rattakinnituskoostude eelised ja puudused

Allpool on välja toodud eelnevas peatükis erinevate variantide eelised ja puudused. Positiivseid ja negatiivseid aspekte on vaadeldud, nii valmistamise, vajalikkuse kui ka majanduslikust küljest.

- **Originaalne lahendus A (Sele 5.1).**

Eelised:

1. Ostutootena püsikiirusliigend ja rattavõll saadaval, mis teeb tootehinna madalaks
2. Paljud detailid pärinevad masstootmisest
3. Lihtne koostada ja demonteerida
4. Väike materjalikulu

Puudused:

1. Koostu ebapiisav jäikus
2. Tikkpoldi liialt väike tugipind vastu rattavõlli

3. Võib esineda tikkpoldi lahtikeerdumist sõidu ajal, liialt väikese tugipinna tõttu
4. Võib esineda rattavõlli pinna deformeerumist, liialt väikese tugipinna tõttu
5. Võib esineda püsikiirusliigendi otsa murdumist ebapiisava jäikuse tõttu.

- **Lahendus B, originaal lahendusele on lisatud stopperrõngas ja seadekruvi (Sele 5.2)**

Eelised:

1. Saab kasutada algselt FR 1.6 mõeldud detaile, lisades vaid kaks uut osa, milleks on stopperrõngas ja seadekruvi
2. Lahtikeerdumise osakaalu vähendatakse
3. Koostu jäikus suureneb

Puudused:

1. Keeruline paigaldamine, mis hõlmab puurimist ja keermestamist
2. Raskendatud demonteerimine
3. Vedrustamata massi suurenemine
4. Lisakulud
5. Pärast demonteerimist võib tekkida vajadus uus ava puurida ja keermestada vajaliku pingutusmomendi pärast
6. Võib esineda rattavõlli pinna deformatsiooni, liialt väikese tugipinna tõttu

- **Lahendus C, uus tikkpolt laiema tugipinnaga rattavõlli poolt (Sele 5.3).**

Eelised:

1. Süsteemi jäikus suureneb
2. Koostus tuleb muuta vaid üks detail
3. Rattavõlli tugipinna deformatsioon väheneb
4. Rattavõlli tugipinnal olevad pinged vähenevad
5. Püsikiirusliigendi otsale mõjuvad pinged vähenevad tänu koostu jäikuse suurenemisele

Puudused:

1. Vedrustamata massi kasv
2. Suuremad valmistamiskulud, tõus ligikaudu 40 %
3. Suurem toormaterjali hulk, tõus ligikaudu 40%

- **Lahendus D koonuse ja suurema toetuspinna tikkpolt (Sele 5.4).**

Eelised:

1. Süsteemi jäikus suureneb
2. Võimalus tikkpolt omakorda seadekruviga fikseerida
3. Rattavõlli tugipinna deformatsioon väheneb
4. Rattavõlli tugipinnal olevad pinged vähenevad
5. Püsikiirusliigendi otsale mõjuvad pinged vähenevad tänu koostu jäikuse suurenemisele

Puudused:

1. Vedrustamata massi kasv
2. Suuremad valmistamiskulud, kuni 50 %
3. Keeruline paigaldamine, mis hõlmab puurimist ja keermestamist
4. Raskendatud demonteerimine
5. Pärast demonteerimist võib tekkida vajadus uus auk puurida ja keermestada vajaliku pingutusmomendi pärast
6. Suur oht paigaldamisel, et kumb pind saavutab varem maksimaalse hõõrdejõu: kas tugi – või koonuspind. Sellest tulenevalt ei pruugi olla tagatud maksimaalne süsteemi jäikus ja vajalik teljesihiline jõud.

- **Lahendus E muudetud püsikiirusliigendiga (Sele 5.5)**

Eelised:

1. Koostust on eemaldatud üks sõlm, mis võib lahti keerduda

2. Vedrustamata mass on väiksem
3. Inertsmass on väiksem
4. Piisab vaid püsikiirusliigendi vahetamisest
5. Kompaktsem ja lihtne demonteerida

Puudused:

1. Suured tootmiskulud, kuni 6 korda suuremad, võrreldes originaallahendusega
2. Valmistamine hõlmab mitmeid keerukaid protsesse: treimine, freesimine ja nuutimine
3. Suur materjalikulu, kuni 3 korda suurem alglahendusest
4. Termotöötuse vajalikkus

- **Lahendus F muudetud rattavõlli ja püsikiirusliigendiga (Sele 5.6).**

Eelised:

1. Puudub nuutimise vajadus
2. Vähendatakse pingekontsentraatorite tekke võimalust
3. Süsteemi jäikus kõige suurem
4. Koostust on eemaldatud sõlm, mis võib lahti keerduda

Puudused:

1. Tootmismahukas
2. Eeldab nelja detaili väljavahetamist koostus
3. Suuremad tootmiskulud kuni 8 korda
4. Suurem materjalikulu kuni 3 korda

5.3 Uue rattakinnituslahenduse selektsioon

Selleks, et valida välja uus kontseptsioon eelnevalt pakutud valikute seast, on vaja läbi viia hulk kaalutlusi. Teadaolevalt on tegemist juba mitmendat hooaega sõitvate vormelitega ja sellest tulenevalt, ei ole huvitatud omanikud suuri investeeringud rakendama, seega üheks kriteeriumiks on hind. Teiseks, mida peaks pidama ka põhiliseks on ikkagi funktsionaalsus ja algse probleemi lahendus, ehk vaja on töötavat rattakinnituskoostu, millega ei teki probleeme. Kolmandaks kriteeriumiks võib nimetada tootmise keerukust ja mahtu. Samuti üheks kriteeriumiks võib pidada ostutoodete nimekirja, mis lihtsustavad oluliselt tootmist. Uue rattakinnituslahenduse valikud on järgnevad:

- Funktsionaalsus ehk tõhusus
- Hind
- Tootmise maht ja keerukus
- Ostutoodete nimekiri

Järgnevalt on koostatud tabel (Tabel 5.1), kus on hinnatud 5 punkti süsteemis erinevaid lahendusi, et saada parem ülevaade alternatiivsetest lahendustest. 5 tähistab parimat tulemust ja 1 halvimat.

Tabel 5.1 Võrdlustabel erinevatest lahendustest

Lahendus	A	B	C	D	E	F
Funktsionaalsus	1	2	4	2	5	5
Hind	5	4	4	3	2	1
Tootmise maht ja keerukus	5	4	5	3	3	2
Ostutoodete nimekiri	5	4	5	4	2	3
Kokku	16	14	18	13	12	11

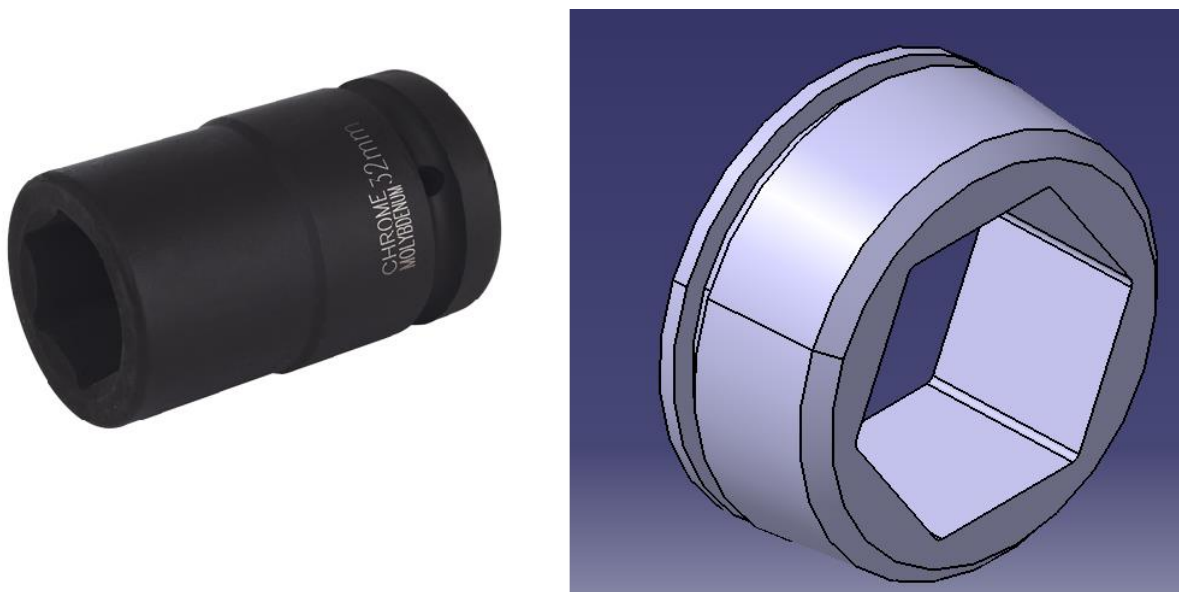
Pärast pikka kaalumist iga lahenduse plusside ja miinuste üle jõuti järeldusele, et lahendust B ja lahendust C on mõttekas täpsemalt uurida. Antud otsus langetati pärast eelnevate faktorite sügavat mõju, võttes arvesse nii hinna, funktsionaalsuse, tootmise mahu, ostutoodete nimekirja kui ka eeldatava Renault Spordi poolt tuleva aktsepteerimise. Lahendused E ja F on funktsionaalsuse seisukohast parimad, kuid nende suureks kahjuks on valmistamise keerukus ja suur hind. Antud töö peamiseks eesmärgiks on saada probleemile selline lahendus, mida Renault Sport või sarja eestvedaja aktsepteeriks; see tähendab, et ei ole otstarbekas projekteerida liiga kallist ja keerulist lahendust, kui see ei saa heakskiitu majanduslikel põhjustel.

Lahendust B ja C on võimalik rakendada minimaalsete kuludega ilma, et peaks koostus suuri ja keerulisi muudatusi tegema. Järgnevas peatükis on kirjeldatud lahenduse B ja C projekteerimist ja testimist Formula Renault 1.6 peal.

6. LAHENDUS B – STOPPERRÕNGA KAVANDAMINE

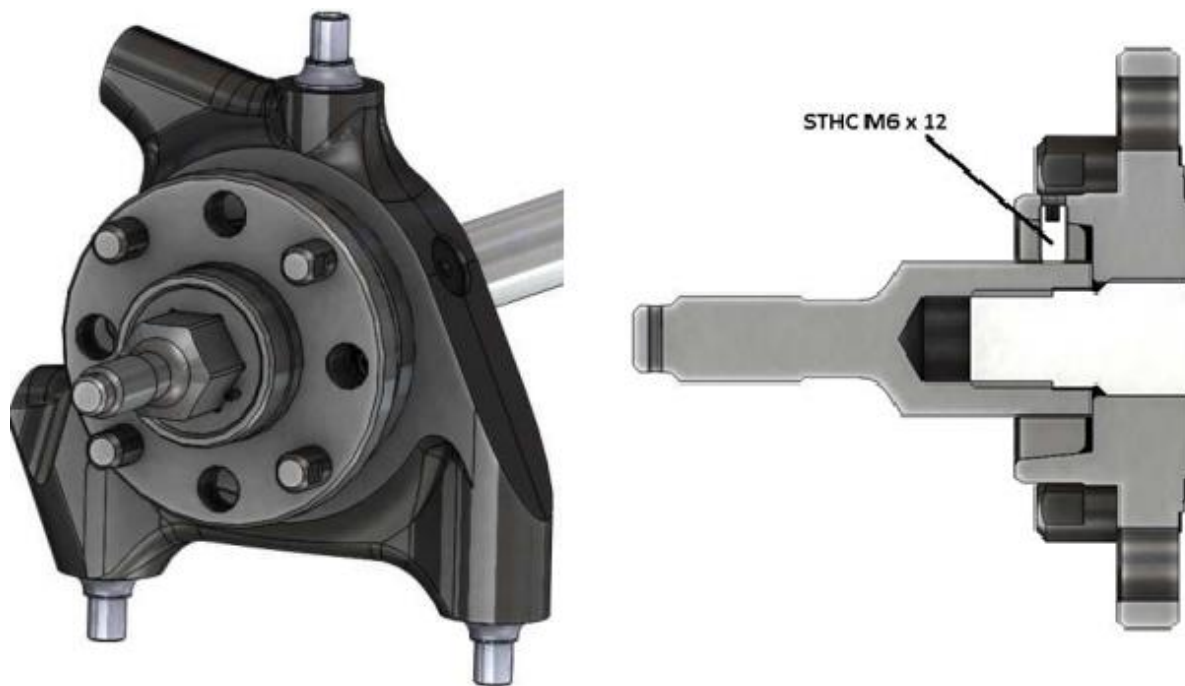
Selles peatükis on kirjeldatud lahenduse B – stopperrõnga projekteerimist. Koostu kontseptsioon on lihtne. Kinnituskaalutluste eesmärgil ühtegi detaili koostust välja ei vahetata, vaid lisatakse hoopis kaks, milleks on stopperrõngas ja M 6 seadekruvi. Antud lahendus sündis kiirelt tegutsedes ja tugevusanalüüsi tegemata. Nimelt pidevalt probleemi esinedes oli vaja võistluste vaheajal midagi ette võtta, kuna sõitjad ja nende esindajad ei olnud nõus niimoodi jätkama.

Kiire lahendusena projekteeriti algselt tugevast suruõhutööriista padruniks mõeldud tööriistast stopperseib. Nimelt oli vaja padrunit, mille sisekuuskandi suuruseks oleks 32 mm, mis ühtiks tikkpoldi välimise kuuskandiga, kusjuures padruni välisläbimõõt pidi olema vähemalt 50 mm, et oleks töötlusvaru treimise teel. Töötlusvaru on vajalik selleks, et saavutada täpne ist rattavõlli pessa.



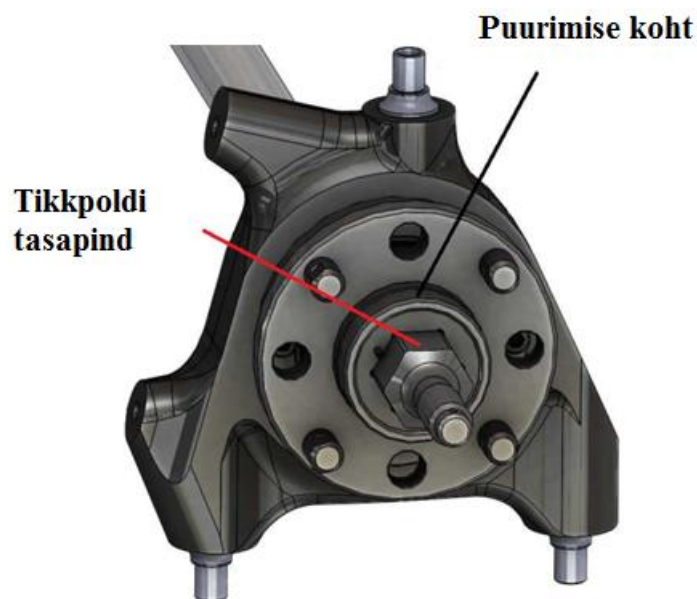
Sele 6.1 Vasakul stoppermutri toorik [23], paremal stoppermutter töödeldud kujul

Esialgne prototüüp sai tehtud manuaalses treipingis (Sele 6.1 paremal). Prototüübi oleks võimalik valmistada ka täielikult otsast lõpuni, aga sel hetkel ei olnud võimalik kasutada freesimise võimalust ja padrunist oli kiirem ja lihtsam stopperseibi valmistada. Tegemiseks soetati sobiva mõõtmega padrunvõti, seejärel paigaldati padrunvõti treipinki, et treida välimine pind õigesse mõõtu. Esialgne prototüüp kaalus 149 grammi. Lisaks stoppermutri kaalule lisandus veel seadekruvi kaal 10 g.



Sele 6.2 Stoppermutri paigaldusest tehtud ekraanitõmmised [24]

Sele 6.2 on näha, kuidas stoppermutter kinnitub ratta tikkpoldi peale. Paigaldamiseks on vaja stoppermutter suruda käsitsi rattavõlli pesasse ja seejärel puurida (Sele 6.3) 5 mm ava läbi rattavõlli ja stoppermutri. Pärast puurimist on vaja keermestada puuritud ava M6x1 keermepuuriga ja sisestada seadekrivi stoppermutri fikseerimiseks. Seadekrivi paigaldatakse Loctite 243 keermeliimiga ja 10 Nm suuruse pingutusmomendiga.



Sele 6.3 Puurimiskoha asukoht rattavõllil [24]

Süsteem töötas edukalt ja järgnevad võistlused olid murevabad. Antud lahendus ei olnud küll legaalne aga teiste meeskondadega vormistati kirjalik kokkulepe, et kaebusi selle peale keegi ei esitaks, sest see on puhtalt tehtud turvakaalutlustel. Peale seda kui Renault Sport antud lahendust nägi, sooviti saada vastavad joonised stoppermutri kohta, mis saadeti neile 25. August 2014.

Lahendus B sai ametliku kinnituse ja aktsepteerimise 30. augustil 2014, kui Renault Sport ja Signatech Automobiles andsid välja tehnilise dokumendi nr. 5, millega muutus lahendus B kohustuslikuks kõigile. Tehnilises dokumendis nr. 5 oli muudetud veidi stoppermutri disaini, mis puudutas selle eemaldamist aga muu põhimõte jäi samaks. Lisaks oli muudetud ratta tikkpoldi pingutusmomenti 180 Nm pealt 350 Nm peale. Tehniline dokument nr. 5 on antud töö lisas.

6.1 Lahendus B testimine

Lahendus B sai kokku läbida 1856 testikilomeetrit auto kohta, see tähendab, et Scuderia Nordica meeskonnas läbiti kahe auto peale kokku ligikaudu 3600 km. Kokku sõideti selle aja jooksul kuuel erineval ringrajal ilma ühegi probleemita. Peale stopperseibi paigaldamist märgiti valge markeriga, nii rattavõllile, stoppermutrile kui ka tikkpoldile valge joon peale, mis tikkpoldi liikumisel, kasvõi paar kraadi, oleks andnud kohe teada.



Sele 6.4 Lahendus B paigaldatud Formula Renault 1.6 vasakule tagarattale

Lisaks sai turvalisuse huvides lisatud tõhusam turvasplint, takistamaks rattamutrit äratulekut. Originaal turvasplint (Sele 6.5 vasakul) võimaldab rattamutril lahti keerduda 5 mm, kusjuures siis on veel oht, et mutter ei jää splindi taha pidama, vaid muljub splindi kokku niimoodi, et mutter keerdub lõpuni lahti ja ratas eemaldub. Antud lahendusega on turvasplindi olemus ebapraktiline.



Sele 6.5 Uus turvasplint paremal, vana turvasplint vasakul

Sele 6.5 paremal pool asuv originaal turvasplint on aga asendatud ja kasutatakse 3 mm nõelsplinti, mille taha lisati veel 4 mm alumiiniumist seib, mis viib lahtikeerdumise miinimumini. See tähendab, et kui juht tunnetab midagi auto juures imelikku on tal võimalus veel seisma jääda ohutult. Originaalsplindiga see võimalus on väiksem ja ratta eemaldumine on palju kiirem.

2014. aasta viimasel võistlusel Hollandis Zandvoortis juhtus aga Oliver Söderstömi võistlusautoga järjekordne intsident. Nimelt oli seekord jällegi vasaku ratta kinnitusega probleem, ja ratas eemaldus autost. Paraku aga keerme lahtikeerdumist ei esinenud, vaid murdus ära püsikiirusliigendi võlli ots, kuhu ratta tikkpolt kinnitub. Purunenud võlli murdumise asukoht on märgitud punase ringiga (Sele 6.6).



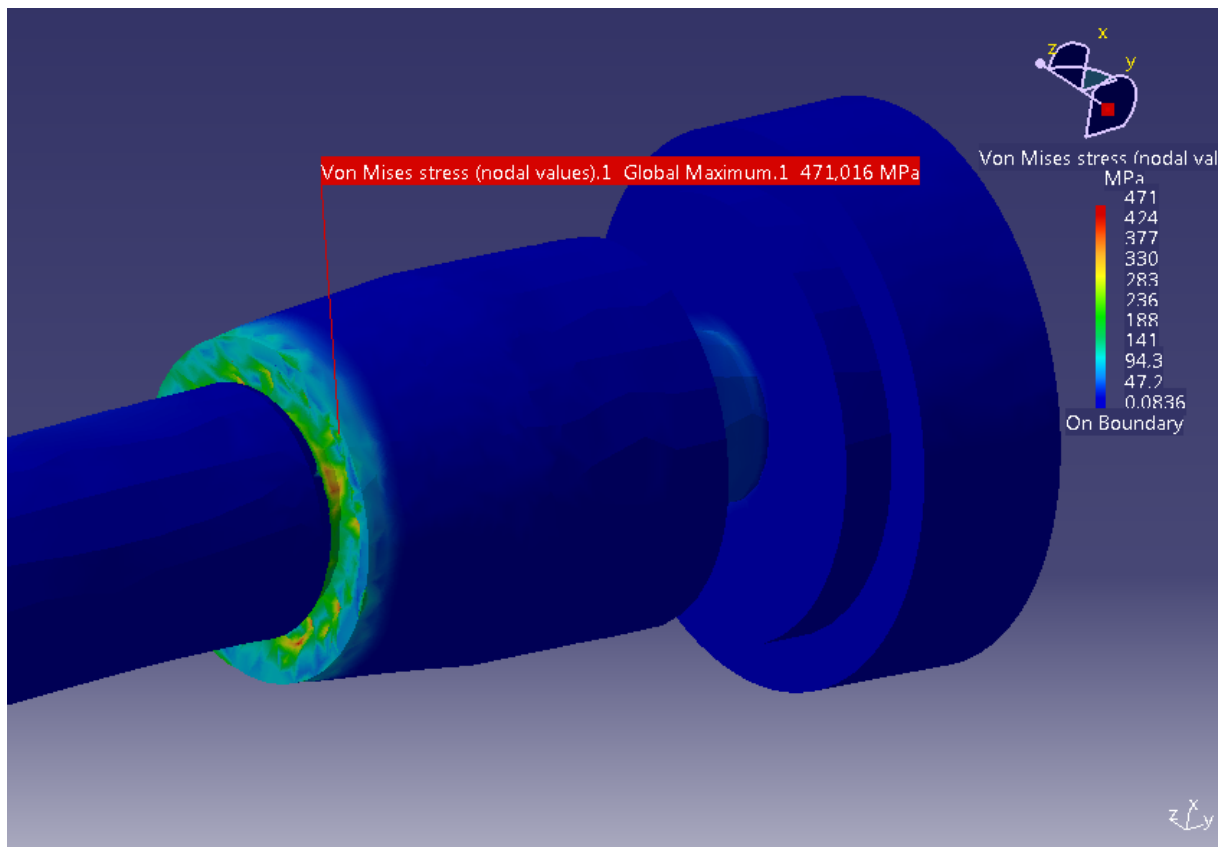
Sele 6.6 Murdunud püsikiirusliigendi võlli ots.

Varasemalt pole püsikiirusliigendi võlliotsadega midagi sarnast juhtunud. Stopperseibi lisamine ei saa olla ka põhjuseks murdumisele. Ainukeseks muudatuseks on Renault Spordi poolt välja antud tehnilises dokumentatsioonis pingutusmomendi suurendamine 180 Nm 350 Nm. Pingutusmomenti suurendati arvatavasti hõõrdetakistuse suurendamiseks ilma täiendava analüüsita.

Tabel 6.1 Teljesuunalise jõu muutus

Pingutusmoment	Tugipinna hõõrdejõududest tekkiv moment	Keermeliite hõõrdemoment	Pinge püsikiirusliigendi võlli otsal	Teljesuunaline pingutusjõud
Nm	Nm	Nm	MPa	N
180	99,3	80,7	118	33659
350	193	156,9	230	65449

Tabelist 6.1 on näha, et varasemalt arvatatud Exceli mooduli järgi on 350 Nm suuruse pingutusmomendi juures teljesihiline jõud ligikaudu poole suurem, saavutades väärtuse 65449 N. Niisamuti on kasvanud ka staatiline koormus püsikiirusliigendi võlli otsale, mille suuruseks on 230 MPa, olles algselt 118 MPa. Materjali enda voolavuspiir on 450 MPa, jättes seega 1,9 kordse varuteguri. Antud varutegur on aga liiga väike ning väsimustingimuste ja dünaamilise lisakoormuse tulemusena võib võlli ots puruneda, nagu Oliver Söderströmi autol juhtus.



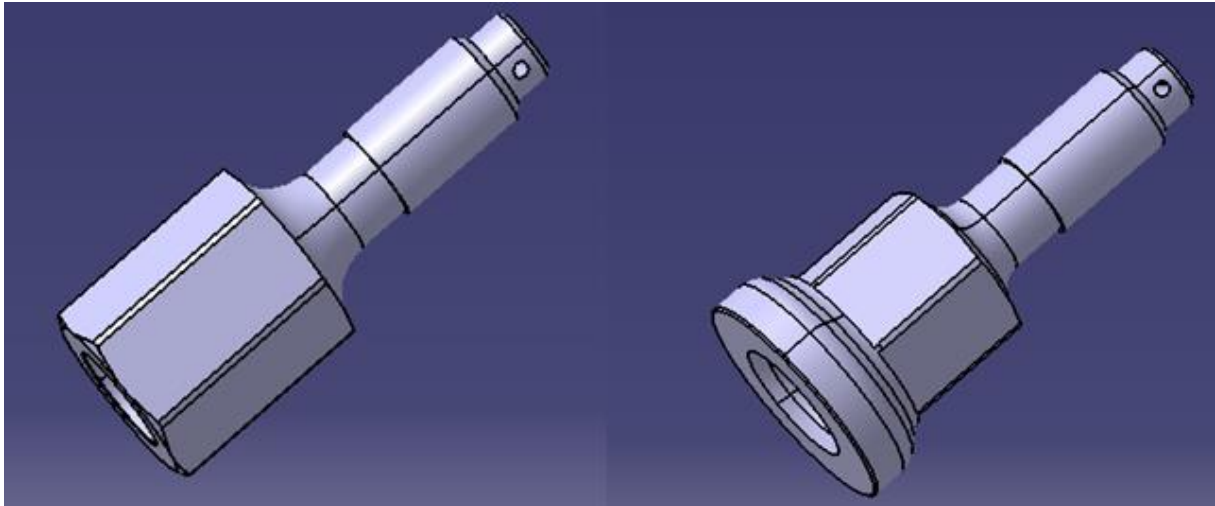
Sele 6.7 Tugevusanalüüs 350 Nm suuruse pingutusjõu rakendamisel püsikiirusliigendi võlli otsale

Tugevusanalüüsist võib järeldada, et dünaamilise koormuse lisandumisel pinge suureneb veelgi, saavutades maksimaalse väärtuse 471 MPa. Antud väärtus on juba natuke suurem volavuspiirist, milleks oli 450 MPa. Seega on antud pingutusmoment liiga suur ja 350 Nm suurust pingutusmomenti antud lahenduse puhul rakendada ei saa, kuna vastasel juhul detailid purunevad.

Lahendus B on insenertehnilises mõttes algne ja leevendab probleemi teatud määral, kui tikkpoldile rakendatav pingutusmoment oleks väiksem, see tähendab, et probleemi algne on ikkagi olemas ja vajadus uue disaini järgi on jätkuvalt olemas. Järgnevas peatükis on kirjeldatud lahendus C, ehk suurema tugipinnaga tikkpoldi projekteerimist ja testimist.

7. LAHENDUS C – SUUREMA TUGIPINNAGA TIKKPOLT

Selles peatükis on kirjeldatud lahenduse C – suurema tugipinnaga tikkpoldi projekteerimist. Suurema tugipinnaga tikkpoldi rakendamiseks on vajalik koostus välja vahetada originaal tikkpolt uue vastu, mida antud peatükis lähemalt tutvustatakse. Tikkpolt jääb oma olemuselt ja geomeetriaalt sarnaseks algupärasega, muudetakse vaid tugipinna suurust vastu rattavõlli.

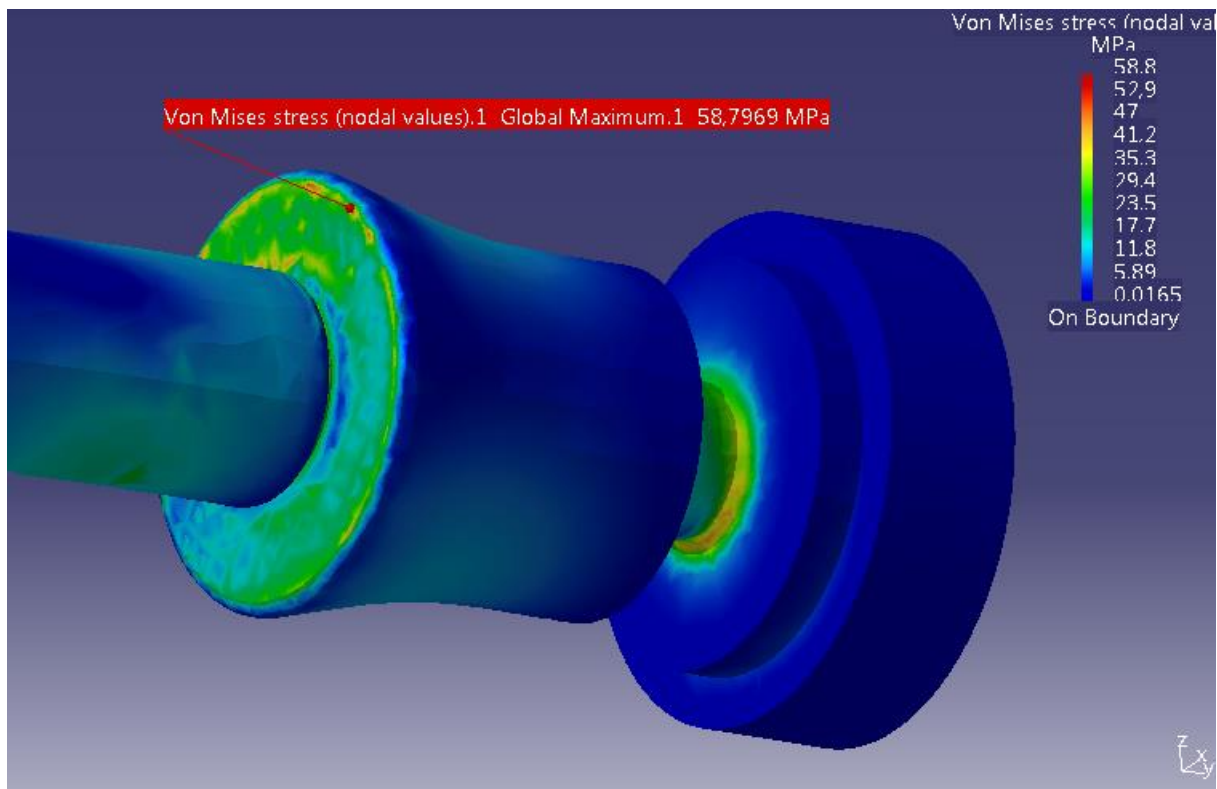


Sele 7.1 Vasakul originaal tikkpolt, paremal modifitseeritud tikkpolt laiema tugipinnaga

Originaallahendusega variandil (Sele 7.1 vasakul) on tugipinna siseläbimõõduks 27 mm ja välisläbimõõduks 32 mm, mis teeb tugipinna pindalaks 231 mm^2 . Uue kavandatava tikkpoldi (paremal) siseläbimõõdu jääb samaks, kuid välisläbimõõdu saab suurendada 46 mm suuruseks, mis teeks uueks tugipinna pindalaks 1089 mm^2 , mis on 4,7 korda suurem originaallahendusest. See aga omakorda vähendab positiivses suunas pingeid rattavõllile, millega oli algupäraselt probleem.

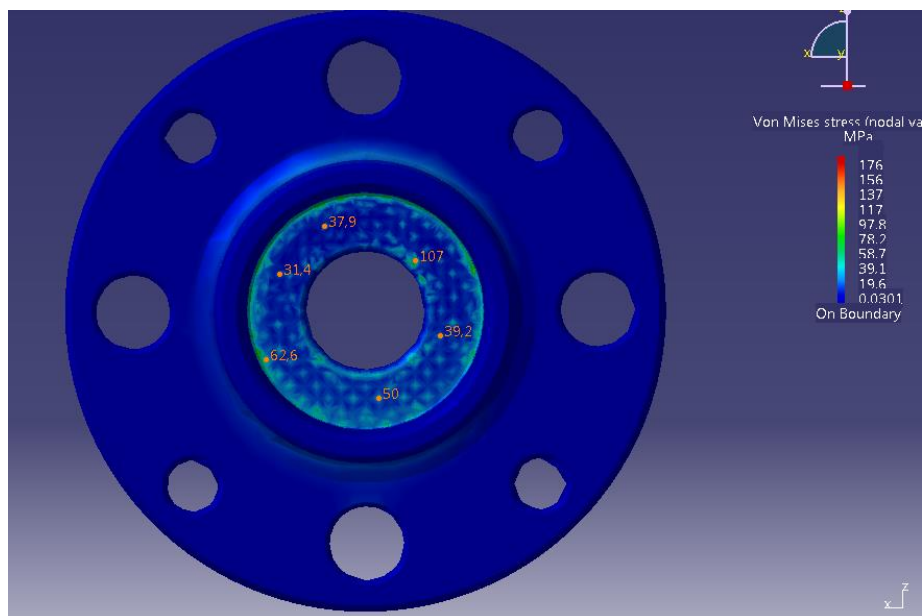
7.1 Modifitseeritud tikkpoldi tugevusanalüüs

Originaallahendusel on kasutatud tikkpolti materjaliga 44SMn28, mille omadused on eelnevates peatükkides märgitud. Uus ja modifitseeritud tikkpolt on valmistatud aga 42CrMo4 materjalist, mille voolavuspiir on vahemikus 550 – 800 MPa ja tõmbetugevus on 1000 – 1200 MPa. Antud materjali on kasutatud sellepärast, et 44SMn28 materjal ei olnud saadaval sel hetkel ja kuna 42CrMo4 oli saadaval parajas mõõdus on kasutatud seda. Lisaks on 42CrMo4 omadused samaväärsed või isegi paremad.[25]



Sele 7.2 Pingete jagunemine suurema tugipinnaga tikkpoldil

Sele 7.2 on kujutatud modifitseeritud tikkpoldil tekkivaid pingeid, kui polt on pingutatud algupärase pingutusmomendiga 180 Nm. Maksimaalne pinge tekib 58 MPa suurune, mis on 2 korda väiksem, saavutades varuteguriks praegu 9,4. Lisaks on pinged jaotunud ühtlaselt ära kogu tugipinna ulatuses. Eelneva lahenduse puhul tekkisid pingekontsentraatorid servadesse, kust hakkas pihta pinna deformeerumine. Modifitseeritud lahendusel on serva projekteeritud suurem raadius selle vältimiseks.



Sele 7.3 Pingete jagunemine rattavõllile, mis on põhjustatud tikkpoldi poolt

Rattavõllile tekkivad pingeid on samuti väiksemad kui originaallahendusel (Sele 7.3) Modifitseeritud tikkpoldiga jäävad rattavõllil maksimaalsed pinged kuni 100 MPa suuruseks, mis on kuni 4 korda väiksemad algupärasest.

Tabel 7.1 Uue ja vana lahenduse tugevusanalüüsi võrdlus

	Vana lahendus	Uus lahendus
Maksimaalsed pinged rattavõllil	415 MPa	100 MPa
Rattavõlli varutegur	0,81	3,4
Tikkpoldi maksimaalsed pinged	132 MPa	58,7 MPa
Tikkpoldi varutegur	3,18	9,4
Tikkpoldi mass	284 g	362 g
Massi kasv	0	78 g

Tabelist 7.1 selgub, et uus lahendus on pingete osas madalam ja varutegur on ka piisava suurusega. Ainukeseks negatiivseks pooleks võib lugeda tikkpoldi massi kasvu, milleks on 78 g.

7.2 Modifitseeritud tikkpoldi testimine

Modifitseeritud tikkpoldi testiti kahel erineval viisil. Teostatud on staatiline kinni - ja lahtikeeramise katse ning lisaks sellele on lahendust testitud ka vormelauto peal.

7.2.1 Staatiline kinnikeeramiskatse

Staatilise kinnikeeramiskatse on teostatud järgnevalt ilma liimita:

- Rattavõll koos laagriga kinnitati jäigalt kruustangide vahele, seejärel paigaldati läbi rattavõlli püsikiirusliigend, millele keerati peale originaal tikkpolt. Tikkpolt keerati ilma abivahenditeta käsitsi senikaua, kuni tikkpoldi tugipind oli vastu rattavõlli. Seejärel tikkpoldi ja rattarummu omavaheline suhe märgiti valge markeriga. Hiljem pingutati kalibreeritud momentvõtmega tikkpolt 180 Nm suuruse jõuga, uus asukoht märgiti. Seejärel teostati lahtikeeramise katse, kus mõõdeti lahtikeeramiseks vajalikku momenti. Katset korrati analoogselt ka 350 Nm suuruse pingutusmomendiga.
- Kinni - ja lahtikeeramise katse on samamoodi teostatud ka modifitseeritud tikkpoldiga

Järgnevalt on tabelis 7.2 välja toodud katsetulemused:

Tabel 7.2 Kinni - ja lahtikeeramise katsete tulemused

	Vana lahendus	Uus lahendus
Kinnikeeramise pingutusmoment 180 Nm		
Tikkpoldi nurgamuutus kraadides 0 Nm – 180 Nm	35°	25°
Lahtikeeramise moment	165 Nm	185 Nm
Vahe	- 15 Nm	+ 5 Nm
Kinnikeeramise pingutusmoment 350 Nm		
Tikkpoldi nurgamuutus kraadides 0 Nm – 350 Nm	59°	45°
Lahtikeeramise moment	320 Nm	365 Nm
Vahe	- 30 Nm	+ 15 Nm

Antud testitulemustest võib järeldada, et laiema tugipinnaga tikkpoldil on mitmeid eeliseid võrreldes originaaliga. Nimelt tänu suuremale tugipinnale on lahtikeerdumine raskendatud, näiteks 180 Nm suuruse pingutusjõuga kinni keeramisele on vaja rakendada 185 Nm suurust momenti, et polt lahti saada. Originaallahendusel on lahtikeeramise moment 15 Nm võrra väiksem pingutusmomendist. Samuti võib välja lugeda, et nurgamuutus kraadides on väiksem laiema tugipinna puhul, mis viitab sellele, et piisav hõõrdejõud saavutatakse tugipinna vahel varem.

7.2.2 Dünaamilised sõidukatsetused modifitseeritud lahendusega

Dünaamilisi sõidukatsetusi modifitseeritud tikkpoldiga on sooritatud alates 28. Aprillist 2015. Kokku on kahe auto peale läbitud sõidukilomeetreid 986 km, sealhulgas on sõidetud kahel erineval ringrajal Rootsi Kuningriigis: Ring Knutstorpil ja Skövde lennujaamal asuval ajutisel ringrajal. Ring Knutstorpil on omased kiired paremkurvid ning tõusude ja langusterikas reljeef. Skövde lennujaamal asuv ajutine ringrada on kuulus aga oma ebatasasuse poolest, mis simuleerib hästi ekstreemseid piirilukordi, mida võib võrrelda ka äärekividel sõitmisega.



Sele 7.4 Modifitseeritud tikkpolt paigaldatud tagatelje vasakule rattale

Modifitseeritud tikkpolt on paigaldatud testiperioodiks ainult tagatelje vasakule rattale (Sele 7.4). Tikkpolt paigaldati Loctite 270 keermeliimiga ja pingutati 180 Nm suuruse pingutusmomendiga nagu on algupäraselt ette nähtud. Samuti märgiti valge permanentse markeriga tikkpoldi ja rattavõlli omavahelise asukoht, et hiljem välja selgitada, kas on

toimunud mingit liikumist. Kogu testiperioodi vältel mingeid probleeme ei esinenud ja mingit liikumist ei tuvastatud, seega võib järeldada, et antud lahendus töötab ja probleemi algele on saadud panna piir.

Kuigi testiperiood oli uuringu tähtaja lõppedes lühike ja kilometraaž väike, toimuvad testimised edasi ka kogu hooaja vältel. Testimine on vajalik täielikuks ja probleemidevabaks jätkamiseks. Antud lahendust plaanitakse testida mitmetel erinevatel radadel, et hooaja lõpus teha ametlik ettepanek Renault Spordile, võtmaks modifitseeritud lahendus alates 2016. aastast kasutusele. Turvalisuse kaalutlustel esitatakse ametlik ettepanek uue lahenduse kasutuselevõtuks kõigi nelja ratta jaoks. Antud lahendus puudutab ligikaudu 60 võitlusautot, mis tähendab, et modifitseeritud tikkpolte on vajalik valmistada vähemalt 300 tükki, sealhulgas on arvestatud ka juba tagavaraga. Järgmises peatükis on välja toodud majanduslik aruanne tikkpoldi tootmisest.

7.3 Majanduslik aruanne

Antud peatükis on välja toodud Formula Studenti näitel detaili valmistamise kulud. Formula SAE poolt on välja töötatud tabel, mille järgi on võimalik hinnata detailide ja protsesside maksumused, kui tootmismahuks on 1000 eksemplari ühe aasta jooksul. Kõik hinnad on välja toodud Ameerika dollarites.

Tabel 7.3 Kuluaruanne tikkpoldile

Materjal	Kasutusala	Ühiku hind (\$)	Hulk	Ühik	Kordaja	Maksumus (\$)
42CrMo4	Tikkpolt	2,25	1,244	kg		2,799
Protsess	Kasutusala	Ühiku hind (\$)	Hulk	Ühik		Maksumus (\$)
Seadistus	Treimine	1,3	2	tk	3	7,8
Treimine	Tikkpolt	0,04	95,7	cm ³	3	11,484
Freesimine	Mutri kandid	0,04	3,73	cm ³	3	0,4476
Puurimine	Splindi auk	0,35	1	tk	3	1,05
Keermestamine	M 20 x 1,5	0,35	1	tk	3	1,05
KOKKU						24,6306

Tabel 7.3 on koostatud Microsoft Exceli põhisel, mille alusblanketid on saadaval Formula SAE kodulehel [26]. Toote maksumus koosneb kahest faktorist: materjali maksumus ja detaili töötlemine.

Terasmaterjali 42CrMo4 on võimalik soetada kilohinnaga 2,25 dollarit kilogramm. Vajalik toorik tikkpoldi tegemiseks kaalub 1,244 kg, mis teeb materjali maksumuseks kokku 2,799 dollarit.

Järgmiseks hinnakujundajaks on detaili töötlemine. Detaili valmistamiseks on minimaalselt vaja teha töötlemispingis kaks paigaldust, kusjuures paigalduse hind on 1,3 dollarit. Kui detail on paigaldatud tööpinki järgnevad sellega järgmised operatsioonid: treimine, freesimine, puurimine ja keermestamine. Treimisel ja freesimisel on maksumuse mõõtjaks eemaldatava materjali hulk kuupsentimeetrites, puurimisel ja keermestamisel aga on tükihind. Viimaseks näitajaks on töötuskordaja, mille määrab materjal, mis terase puhul on 3. See tähendab, et kõik hinnad korrutatakse kolmega.

Formula SAE tabeli järgi tuleb ühe detaili maksumuseks 24 dollarit ja 63 senti, mis on ligikaudu 40% kallim esialgsest variandist. Kui arvutada vajaminevate tikkpoltide maksumus kokku $300 \times 24,63$, saadi summaks 7389 dollarit. Seega uueks 2016. a hooajaks on turvalisuse kaalutlustel vaja teha 7389 dollari suurune investeering tehase poolt, et tagada turvaline ja ohutu lahendus kõigile sarjas osalejatele.

KOKKUVÕTE

Käesoleva magistritöö teemaks oli Formula Renault 1.6 klassi vormelauto rattakinnituskoostu modifitseerimine seoses ratta kinnitamisega. Nimelt 2013. ja 2014. aasta hooaegadel on esinenud mitmeid intsidente vasaku tagatelje rattamutri lahtikeerdumisega. Lõputöö on koostatud koostöös Scuderia Nordica meeskonnaga. Töö peamiseks eesmärgiks oli välja selgitada probleemi algne põhjus ning seejärel projekteerida võimalikult ratsionaalne ja majanduslikult soodne alternatiiv lahtikeerdumise vältimiseks.

Diplomitööd on alustatud põhjaliku uuringuga, saamaks ettekujutust, millised detailid sisaldavad probleemi alget ja mida oleks võimalik teha teisiti uue lahenduse korral. Teostatud on materjaliuuringud Tallinna Tehnikaülikooli mehaanika – ja metrooloogialaboris püsikiirusliigendile, rattarummule ja tikkpoldile, saamaks aru, milliste materjalidega on tegu ja millised on nende mehaanilised näitajad. Samuti on uuritud keermetest ja pingutusmomendist tulenevaid probleeme. Koostatud on rattakinnituskoostust 3D mudel, et analüüsida LEM - meetodil elementidele mõjuvaid pingeid.

Analüüsi tulemusena selgus, et rattamutri lahtikeerdumist põhjustab laagri pingutamiseks mõeldud ratta tikkpolt. Nimelt on tikkpoldi rattarummu poolne tugipind liialt väike. Väikese tugipinna tõttu toimub rattarummu deformeerumine väsimuspingete mõjul. Rattarumm deformeerub sellepärast, et rattarummu materjali näitajad on kehvemad kui tikkpoldil. Maksimaalsed pinged rattarummul võivad kerkida kuni 415 MPa suuruseks, kuid materjali enda voolavuspiiriks on kataloogi andmetel vaid 340 – 400 MPa, jättes varuteguri alla ühe.

Probleemi lahendamiseks on välja pakutud viis alternatiivset lahendust, mida oleks võimalik väikeste muudatustega rakendada. Erinevaid lahendusi on omavahel mitmest aspektist võrreldud ning kaks parimat on lisaks projekteeritud ja testitud.

Testimine toimus esimese prototüübi ehk stopperseibi lahenduse korral mitmetel erinevatel Euroopa ringradadel, mille käigus läbiti ligikaudu 3500 testikilomeetrit. Testiperioodi lõpuks tekkinud probleemide tõttu otsustati, et antud lahendus on puudulik ja vajab edasiarendust.

Teine alternatiiv, suurendatud tugipinnaga tikkpolt, on lõputöö valmimise hetkel veel testimisjärgus, olles praeguseks läbinud 986 testikilomeetrit ilma ühegi probleemita. Antud lahendusele ametlikku luba saadud veel ei ole, aga kui 2015. aasta testiperioodi lõpuks ühtegi

probleemi ei esine, vormistatakse ametlik avaldus Renault Sport'ile modifikatsiooni vastuvõtmiseks. Projekteeritava lahenduse aktsepteerimisel tuleb tikkpolt välja vahetada vähemalt 60 võistlusautol.

Lõputöö viimase osana on tehtud majanduslik arvestus, mis puudutab modifikatsiooni valmistamise kulusid. Kalkulatsioon on tehtud Formula SAE arvutuste baasil ja suurendatud tugipinnaga tikkpoldi omahinnaks tuleks 24 dollarit ja 63 senti.

Tehnilise poole pealt vaadates näeb autor, et suurema tugipinnaga tikkpoldi valmistamisega on võimalik saavutada probleemile lahendus, kuid kui oleks võimalus ja majanduslikult ei oleks piiranguid, saaks projekteerida palju tugevama ja kergema kogulahenduse. Antud töös ei tulnud see teemaks, kuna vajalikud muudatused oleksid majanduslikult ebaratsionaalsed ja sarjas osalevad meeskonnad ning ka Renault Sport ei aktsepteeriks seda.

Töö kogutulemus on autori arvates väga hea. Lõputöö alguses püstitatud peaesmärkidele on leitud lahendused. Toodetud on prototüübid, millest ühte lahendust Renault Sport on aktsepteerinud ja mis on hetkel kasutusel kõikidel vormelitel antud sarjas. Teine prototüüp on veel testimisfaasis, kuid kui see lõppeb, saab antud lahendus ka suure tõenäosusega ametliku kinnituse.

SUMMARY

This master's thesis focuses on the wheel mounting assembly modification for a Formula Renault 1.6 class racecar. During the last two seasons in 2013 – 2014, there have been several incidents, concerning the loosening wheel nut on the left rear wheel. The thesis has been drawn up in collaboration with the Scuderia Nordica race team. The main purpose was to determine the original cause of the problem and to design an efficient and a cheap alternative for loosening.

The thesis begins with a comprehensive study - to give an idea about which components contain the problem and what can be done differently to avoid loosening of the wheel nut. In the Tallinn University of Technology the following materials research was carried out: the CV joint, the wheel hub and the wheel stud, to find out their mechanical properties. Also the problems arising from threads and the tightening torque are investigated. A CAD model has been drawn to analyse stress and deformation in FEM.

The analysis showed that the wheel nut loosening is caused due to the bearing surface of wheel stud being too small. Due to the small surface of the support in the wheel hub, extra stress is created which deforms the wheel hub. Wheel hub deforms because of the material characteristics. The quality of the wheel hub is lower than the quality of the stud. Maximum tension of the wheel hub may rise up to 415 MPa, but the yield strength of the material itself is limited to 340 to 400 MPa, leaving the safety factor to less than one.

To resolve this problem, the author propose five alternative solutions. Different solutions have been compared with each other in many aspects. Two best solutions are analysed, manufactured and pass through a long testing period.

The first wheel stud lock prototype has covered around 3500 kilometres in various European circuits without any loosening problems, but there have been problems with the snapping of CV joints. Therefore, at the end of the testing period, it was decided that the solution is incomplete and needs further development.

Another alternative, wheel stud with increased bearing surface, is still in the testing phase, having now passed 986 test-kilometres without any problems. This solution has not obtained official permission yet, but if the testing period ends without any problems, an official statement will be formalized to Renault Sport to approve this solution. New solution affects at least 60 race cars.

The last chapter in this thesis is about cost calculations for a new wheel stud. The cost calculations are based on the Formula SAE rules. The price of new wheel stud will be approximately 24 dollars and 63 cents.

The author of this thesis found out that the modification with increased bearing surface will work and solve the problem, but weren't there a budgeting issue, then it would be better to build a new concept from sketch. The new concept will provide to design lighter and stronger solution. It is not discussed in this thesis, because the necessary changes would be economically irrational, and the participating teams in the series, as well as Renault Sport will not accept it.

This outcome of this thesis from the author's point of view is very good. The main goals of the thesis were achieved. Ready prototypes are produced, one of which is already accepted by Renault Sport and another one is in queue.

KASUTATUD KIRJANDUS

1. Scuderia Nordica kodulehekülj [WWW]
<http://scuderiaacademy.com/index.php?page=1501&lang=eng&cnt=team> (20.05.2015).
2. Formula Renault ametlik kodulehekülj [WWW]
http://frcup.com/uploads/Regulations/User_Manual_FR1.6_V1.0.pdf (20.05.2015).
3. Renault Sport Saksamaa kodulehekülj [WWW]
http://www.renault-sport.de/uploads/tx_news/FR1.6_Spare_Parts_Catalog_-_Issue_2013-04-25_mp_01.pdf (20.05.2015).
4. Race Tech kodulehekülj [WWW] <http://issuu.com/thisisnotadrill/docs/rceteh115webpub>
(17.05.2015).
5. Knight, I., Dodd, M., Grover, C., Bartlett, R. S. & Brightman, T., Heavy vehicle wheel detachment: Frequency of occurrence, current best practice, and potential solutions. *TRL Limited* 18 – 19. [Online] Science direct (20.05.2015).
6. Anikin, I., Tšuiikov, A. Masinaelemendid. Tallinn : Valgus, 1974.
7. Reif, K., Dietsche, K-H. Bosch Automotive Handbook. 8th ed. Germany : Bentley Publishers, 2011.
8. Molnár, L., Váradi, K., Liktör B. (2014). Stress Analysis of Bolted Joints Part I. - *Modern Mechanical Engineering*,4 (1). 35-45. [Online] Scientific Research (20.05.2015).
9. Tallinna Tehnikaülikooli kodulehekülj [WWW]
<http://www.ttu.ee/mehaanikateaduskond/mehaanikateaduskond-1/mehaanika-instituudid-keskused/mehaanika-ja-metroloogia-katselaboratoorium/teenused-21/keemilise-koostise-maaramine/> (20.05.2015).

10. Matbase materjalide kodulehe [WWW]
<http://www.matbase.com/material-categories/metals/ferrous-metals/high-grade-steel/material-properties-of-high-grade-steel-c45.html#properties> (20.05.2015).
11. Matbase materjalide kodulehe [WWW] <http://www.matbase.com/material-categories/metals/ferrous-metals/high-grade-steel/material-properties-of-high-grade-steel-c45.html#properties> (20.05.2015).
12. Euroopa terase ja sulemite kodulehekülg [WWW]
http://www.steelnumber.com/en/steel_composition_eu.php?name_id=168 (20.05.2015).
13. Engineering Handbook kodulehekülg [WWW]
<http://www.engineershandbook.com/Tables/hardness.htm> (20.05.2015).
14. Metalock Taani kodulehekülg [WWW] http://www.metalock.dk/images/faro_03.jpg
(20.05.2015).
15. Automotor Prantsusmaa kodulehekülg [WWW]
http://automotor-france.net/catalogs/catalog_roulements.pdf (20.05.2015).
16. Loctite Eesti kodulehekülg [WWW]
<http://www.loctite.ee/loctite-1104.htm?nodeid=8802623619073> (20.05.2015).
17. Kõiv, R., Tallinna Tehnikaülikooli, Autod 2 ainekoodiga MEA5683 õppematerjal. 2014
18. Luppin, J. Tallinna Tehnikaülikooli, Autod 1 ainekoodiga MEA5681 õppematerjal. 2014
19. Kalm, K. Vormel Renault 1.6 klassi võistlusauto vedrustuse parameetrid ja nende mõju auto dünaamikale : 2014
20. Nõmme, S. Formula Student klassi vormelauto FEST14 velgede projekteerimine : 2014
21. Reddit kodulehekülg [WWW] <http://i.imgur.com/MaQGVXK.jpg> (20.05.2015).

22. Mobil kodulehekülg [WWW] http://www.mobil.dtm.com/images/strecken/l_115.gif
(20.05.2015).

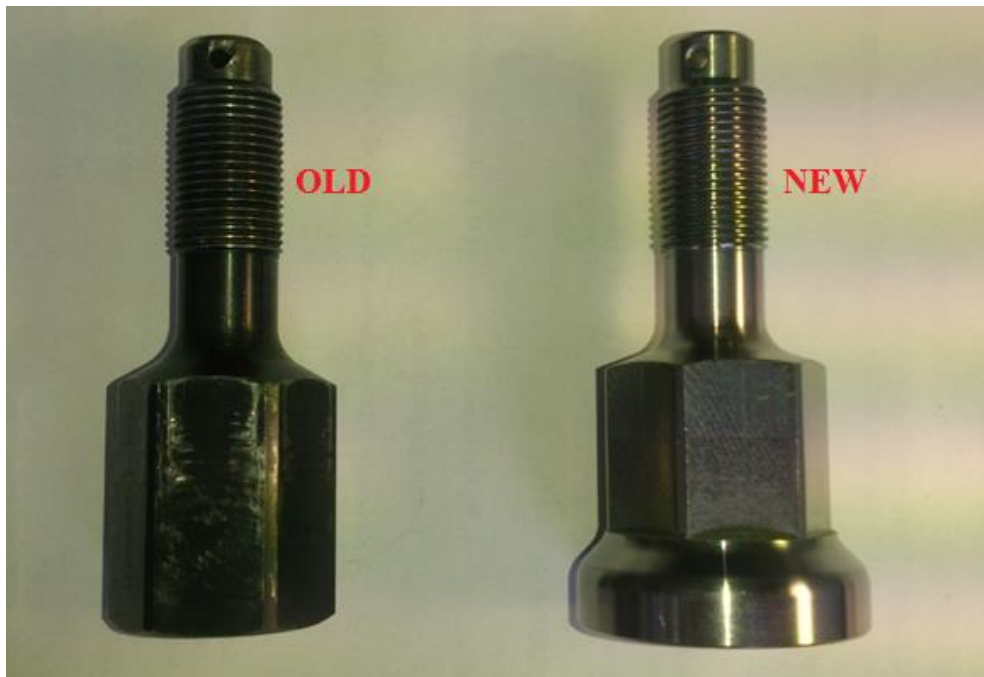
23. HGV Direct kodulehekülg [WWW]
<https://s3-eu-west-1.amazonaws.com/hgvimages/large/sealey/IS132D.jpg> (20.05.2015).

24. Renault Sport, Technical Bulletin N°5 BT_2014_FR16_5_UK : 2014

25. Matbase materjalide kodulehe [WWW]
<http://www.matbase.com/material-categories/metals/ferrous-metals/high-grade-steel/material-properties-of-high-grade-steel-42crmo4.html> (20.05.2015).

26. Formula SAE kodulehekülg [WWW]
<http://www.fsaeonline.com/page.aspx?pageid=5ade9b01-8903-4ae1-89e1-489a8a4f08d9>
(20.05.2015).

Wheel Stud replacement:



Due to a potential risk of wheel nut coming loose, these old wheel studs must be replaced immediately following the procedure below:

- Lock the wheel hub with a roll pin set or a screwdriver between brake disc and caliper for the rear, or using the specific tool G04-20A001V1 for the front.
- Heat the wheel stud around 200°C with a heat gun in order to overheating and ruining the threadlocker (Loctite).
- Loose the wheel stud.
- Clean the new wheel stud from the remaining Loctite either the homocinetic joint for the rear or the front bearing stud for the front.
- Degrease the new wheel stud thread and put Loctite 270 on the homocinetic joint for the rear or the front bearing stud for the front. Put a sufficient amount of Loctite. •
- Tighten the new wheel stud to 180Nm.



Technical Bulletin N°5



REFERENCE	BT_2014_FR16_5_UK
DATE	27 August 2014
SUBJECT	Wheel stud locking system, upgraded fuel tank release
PART	Wheel stud lock, fuel tank

1. Wheel stud locking system **MANDATORY FROM AUGUST 30th, 2014**

In order to secure the rear Wheel Studs (**G04-17B008V2 Wheel Stud**) mounting, a new part (**G04-17B019V1 Wheel Stud Lock**) is now available and **must be** mounted from August 30th, 2014 on the left rear wheel of the car.



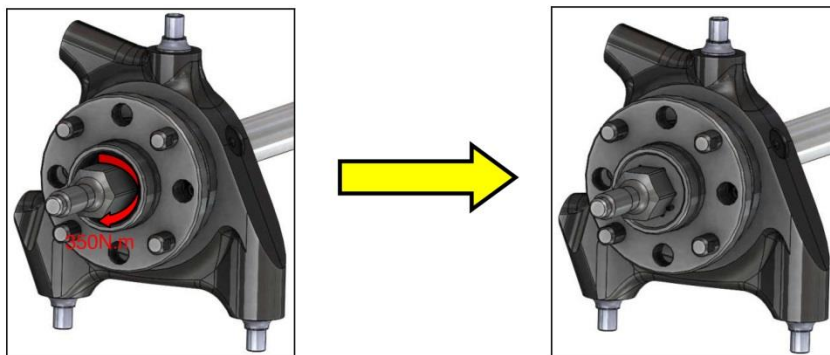
G04-17B008V2 Wheel Stud



G04-17B019V1 Wheel Stud Lock

Mounting description

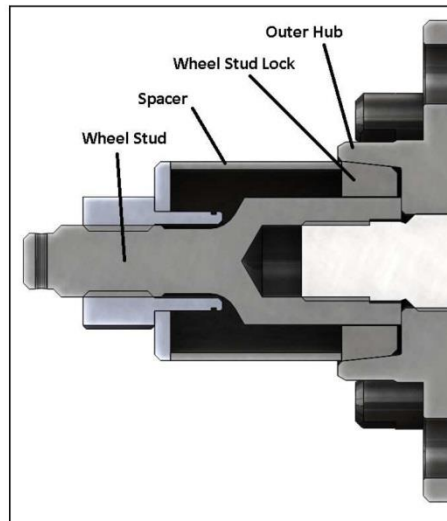
- Prior to assembly, check transmission and hub parts from wear and ensure that they are in good conditions.
- Proceed to the upright assembly **tightening the Wheel Stud to 350 N.m** (and not to 180N.m) and bonding the Wheel Stud using Loctite 270.
- Place the Wheel Stud Lock as shown in the picture below positioning the countersunk face inward and push it as much as you can into the Outer Hub.



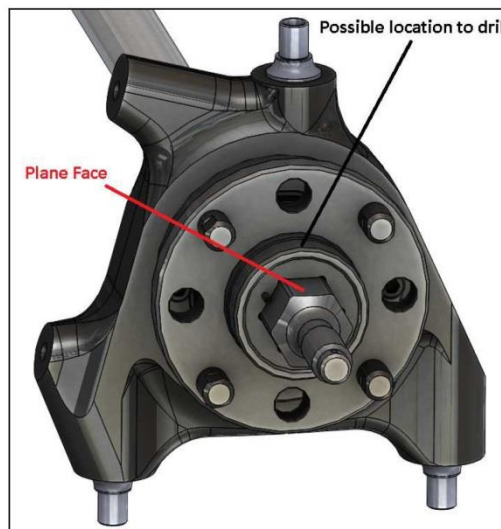


Now; you will have to drill the Outer Hub (**G04-17B005V1 Outer Hub**) and the Wheel Stud Lock (**G04-17B019V1 Wheel Stud Lock**) together with a $\varnothing 5$ mm drill bit following the steps below:

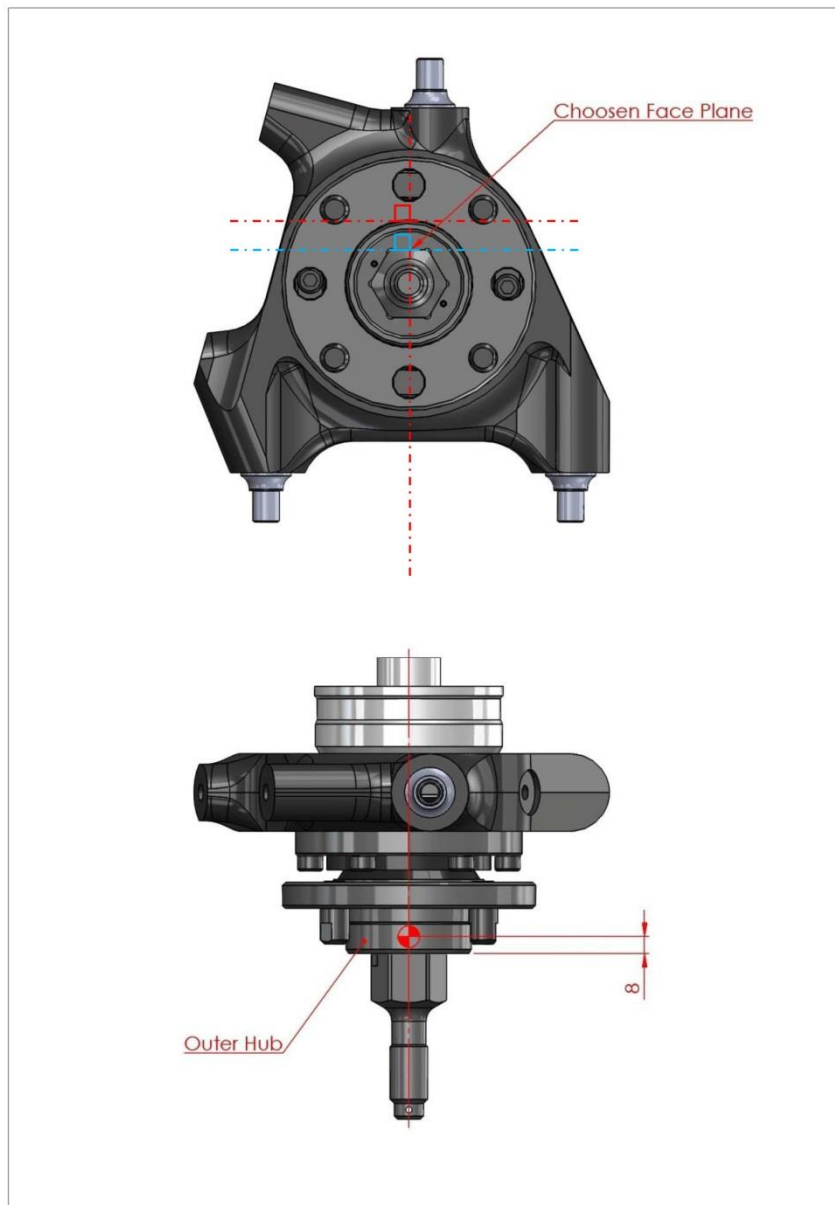
- Block the Wheel Stud Lock by using a spacer (External $\varnothing 50$, internal $\varnothing 46$ and 43 mm length) and hand tight the wheel nut (do not tighten too much due to the cone)



- Choose a location onto the wheel centering surface of the Outer Hub to drill a $\varnothing 5$ mm hole ensuring that the hole is drilled perpendicularly to a Wheel Stud plane face as shown on the picture below:

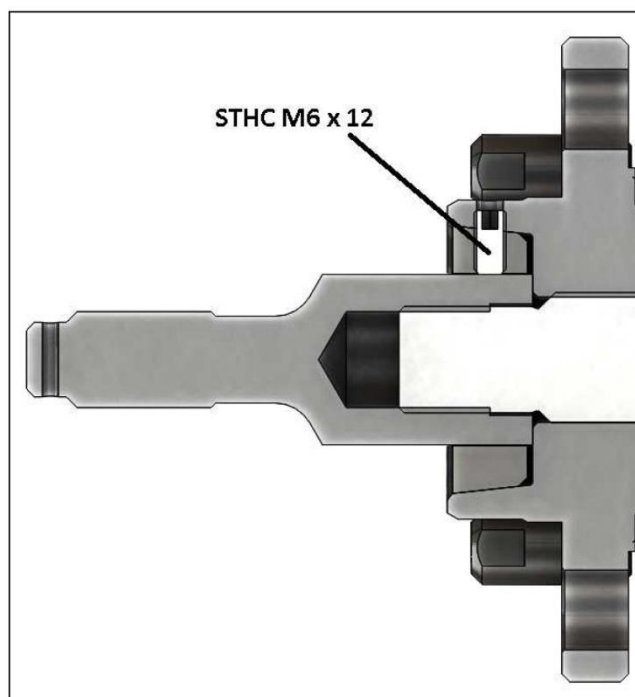


- Drill the $\varnothing 5$ mm hole according to the drawing below for the position of the hole





- Drill until you start to drill the Wheel Stud Lock (4-5 mm maximum)
- Remove the Wheel Stud Lock and finish drilling it through.
- Put the Wheel Stud Lock back in its place (be sure that the two $\varnothing 5$ holes are exactly in front of each other) and block it as previously
- Start to thread in M6 the two parts together. As for the drilling, thread to 4-5 mm maximum the Wheel Stud Lock
- Remove the Wheel Stud Lock and finish the M6 thread
- When the M6 thread is finished, put the Wheel Stud Lock back in its place and mount and tight the **STHC M6 x 12** at 10 Nm using Loctite 243



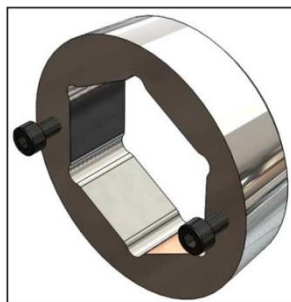


Removing description

To remove the Wheel Stud :

- Untighten and remove the screw STHC M6x12
- Remove the Wheel Stud Lock with the help of two CHC M3 x 25 as per the photo below

Two screws CHC M3x25 may be mounted in the two M3 threaded holes to remove the Wheel Stud Lock when necessary.



Mounting back description

To mount back the Wheel Stud Lock, repeat the mounting operation by choosing a new plane face of the Wheel Stud ensuring not to drill and thread in an older threaded hole. Hence, this new assembly method only allows 6 mountings.

Parts deliveries

One Wheel Stud Lock (**G04-17B019V1 Wheel Stud Lock**) per car will be provided free of charge to teams as detailed below:

- For FR1.6 NEC Junior entrants, parts will be available from Thursday, August 28th directly to the Zolder track through Signatech. It will be at the Zolder track from Thursday evening to assist the teams in the parts mounting.
- For FR1.6 Nordic entrants, Signatech and RST are currently working for dispatching the parts for the Solvalla meeting (September 5th & 6th, 2014). However, a later communication will be done in a near future to confirm or not the part availability for this meeting.

Hardness Conversion Table			
Brinell Hardness (BHN)	Vickers Hardness (HV)	Rockwell Hardness (HRB)	Rockwell Hardness (HRC)
86	90		
95	100	56.2	
105	110	62.3	
114	120	66.7	
124	130	71.2	
133	140	75.0	
143	150	78.7	
152	160	81.7	
162	170	85.0	
171	180	87.1	
181	190	89.5	
190	200	91.5	
199	210	93.5	
209	220	95.0	
219	230	96.7	
228	240	98.1	
238	250	99.5	
242	255		23.1
252	265		24.8
261	275		26.4
266	280		27.1
276	290		28.5
280	295		29.2
295	310		31.0
304	320		32.2
314	330		33.3
323	340		34.4
333	350		35.5
342	360		36.6
352	370		37.7
361	380		38.8
371	390		39.8



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
TALLINN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

MEHAANIKA JA METROLOOGIA KATSELABOR



Akrediteeritud
L 027

KATSEPROTOKOLL nr 249

Tallinn, 10.02.2015

Tellija: TTÜ transporditehnika õppetool
Ehitajate tee 5, 19086, Tallinn

Töö ülesanne: Rummu 17B00502 materjalide katsetamine.

Proovide kirjeldus: Tellija poolt toodud katsetükid
N1- keemilise analüüsi teostamiseks ja kõvaduse määramiseks

**Katseeksemplaride
vastuvõtu ja katsetuste**

kuupäevad: Vastuvõtt – 06.03.15
Katsetused – 10.03.15

Katsetetoodikad: 1. Spectro juhend; standard EVS EN ISO 6507-1.

Katseadmed: 1. Spectraalanalüsaator Spectrolab, kal. 06.2011.
2. Kõvadusmõõtur Indentec 5030 SKV, kal. 06.2013

Katsetustemperatuur: +22 °C.

Tulemused: 1. Materjali keemiline koostis vastavalt Spectro juhendile.
Tulemused esitatud lisades 1 ja 2.

2. Rummu nuudi ja korpuse kõvadus HV10 vastavalt standardile
EVS EN ISO 6507-1.

Positsioon	1	2	3	4	5	keskmine
Rumm	215	219	218	212	216	216
Nuudi puks	215	212	212	219	207	213

Järeldus: 1. Korpuse materjali mark teras C45 vastavalt EN 10083 nõuetele.
2. Detailid on parendatud.

Töö teostajad:

Endel Esinurm
Endel Esinurm Endel Mens
Katseala eksperdid

Labori juhataja:

M. Eng. Riho Päärsoo
M. Eng. Riho Päärsoo

Leht 1(3)

Saadud tulemused kehtivad ainult kirjeldatud proovi(de) kohta. Antud protokoll on lubatud kopeerida ainult tervikuna, osaliseks kopeerimiseks tuleb taotleda TTÜ mehaanika ja metroloogia katselabori kirjalikku luba.
Ehitajate tee 5 Tel. +372 620 3361 E-mail mlab@ttu.ee
19086 Tallinn, Estonia Fax +372 620 3196
EESTI AKREDITEERIMISKESKUSE 21.06.2010. TUNNISTUS NR. L 027

N249 Lisa

Program: FE-10
Comment: Low alloy steel
Average (n=3)

12858/00

03/11/2015 12:19:48 F

Elements: Concentratic

Sample No: TTU auto N249
Sample Id:

Quality:

\bar{x}	C %	Si %	Mn %	P %	S %	Cr %	Mo %
	0.45	0.27	0.68	0.016	0.024	0.36	0.05
\bar{x}	Ni %	Al %	Co %	Cu %	Nb %	Ti %	V %
	0.02	0.0199	<0.01	0.07	<0.00	0.0031	0.00
\bar{x}	W %	Pb %	Sn %	As %	Ca %	Ce %	Sb %
	<0.01	<0.002	0.005	0.009	0.0001	0.004	0.002
\bar{x}	Se %	Te %	B %	Zn %	Fe %	N %	
	0.0012	<0.001	<0.0003	<0.0010	98.00	0.0000	

2(2)



KATSEPROTOKOLL nr 61

Tallinn, 27.01.2015

Tellija: TTÜ transporditehnika õppetool
Ehitajate tee 5, 19086, Tallinn

Töö ülesanne: Pooltelje otsa materjalide katsetamine.

Proovide kirjeldus: Tellija poolt toodud katsetükk
N1- keemilise analüüsi teostamiseks ja kõvaduse määramiseks

**Katseeksemplaride
vastuvõtu ja katsetuste**

kuupäevad: Vastuvõtt – 27.01.15
Katsetused – 27.01.15

Katsetetoodikad: 1. Spectro juhend;
2. Standard EVS EN ISO 6508-1

Katseeadmed: 1. Spectraalanalüsaator Spectrolab, kalibreeritud 05.2011.
2. Kõvadusmõtur 2140TP, kalibreeritud 06.2012

Katsetustemperatuur: +22 °C.

Tulemused: 1. Materjali keemiline koostis vastavalt Spectro juhendile.

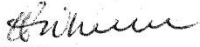
Tulemused esitatud lisan 1.

2. Kõvaduse HRC mõõtmine vastavalt standardile EVS EN ISO 6508-1.

59; 58; 60; 59; 60 HRC mõõdetud pinnast 2mm kaugusel.
22; 24; 28; 25;24 HRC mõõdetud materjali keskel (D18mm).

Otsus: 1. Keemilise koostise poolest on materjal parendatud teras C55
EN 10083 kohaselt.
2. Detaili on termiliselt töödeldud pinnal 59HRC(sisu D18mm pehme HRC25).

Töö teostaja:


Endel Esinurm
Katseala ekspert

Labori juhataja:


M. Eng. Riho Päärsoo

Leht 1(2)

Saadud tulemused kehtivad ainult kirjeldatud proovi(de) kohta. Antud protokoll on lubatud kopeerida ainult tervikuna, osaliseks kopeerimiseks tuleb taotleda TTÜ mehaanika ja metroloogia katselabori kirjalikku luba.
Ehitajate tee 5 Tel. +372 620 3361 E-mail mlab@ttu.ee
19086 Tallinn, Estonia Fax +372 620 3196
EESTI AKREDITEERIMISKESKUSE 21.06.2010. TUNNISTUS NR. L 027

N61 Lisa 1

Program: FE-10
Comment: Low alloy steel
Average (n=3)

12858/00

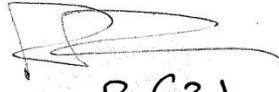
01/27/2015 01:10:23 PM

Elements: Concentration

Sample No: Pooltelje ots N_61
Sample Id:

Quality:

	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo
	%	%	%	%	%	%	%
\bar{x}	0.54	0.31	0.73	0.010	0.026	0.21	0.03
	Ni	Al	Co	Cu	Nb	Ti	V
	%	%	%	%	%	%	%
\bar{x}	0.03	0.0325	<0.01	0.06	<0.00	0.0022	<0.00
	W	Pb	Sn	As	Ca	Ce	Sb
	%	%	%	%	%	%	%
\bar{x}	<0.01	<0.002	0.005	<0.003	0.0002	0.003	0.002
	Se	Te	B	Zn	Fe	N	
	%	%	%	%	%	%	
\bar{x}	<0.0010	<0.001	<0.0003	0.0018	98.00	0.0000	


2(2)



KATSEPROTOKOLL nr 60

Tallinn, 27.01.2015

Tellija: TTÜ transporditehnika õppetool
Ehitajate tee 5, 19086, Tallinn

Töö ülesanne: Pooltelje poldi materjalide katsetamine.

Proovide kirjeldus: Tellija poolt toodud katsetükk
N1- keemilise analüüsi teostamiseks ja kõvaduse määramiseks

**Katseeksemplaride
vastuvõtu ja katsetuste**

kuupäevad: Vastuvõtt – 27.01.15
Katsetused – 27.01.15

Katsetamismeetodid: 1. Spectro juhend;
2. Standard EVS EN ISO 6508-1

Katseesadmed: 1. Spectraalanalüsaator Spectrolab, kalibreeritud 05.2011.
2. Kõvadusmõõtur 2140TP, kalibreeritud 06. 2012

Katsetustemperatuur: +22 °C.

Tulemused: 1. Materjali keemiline koostis vastavalt Spectro juhendile.

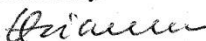
Tulemused esitatud lisan 1.

2. Kõvaduse HRC mõõtmine vastavalt standardile EVS EN ISO 6508-1.
Mõõdetud kuuskandilt.


31, 31, 30, 30, 29 HRC.

Otsus: 1. Keemilise koostise poolest on materjal kõrgendatud väävlisisaldusega (S)
materjaliga 44SMn28 - 1.0762 EN 10087 kohaselt.
2. Kõvaduse 30HRC järgi on materjal termiliselt töödeldud.

Töö teostaja:


Endel Esinurm
Katseala ekspert

Labori juhataja:


M. Eng. Riho Päärsoo

Leht 1(2)

Saadud tulemused kehtivad ainult kirjeldatud proovi(de) kohta. Antud protokoll on lubatud kopeerida ainult tervikuna, osaliseks kopeerimiseks tuleb taotleda TTÜ mehaanika ja metroloogia katselabori kirjalikku luba.
Ehitajate tee 5 Tel. +372 620 3361 E-mail mlab@ttu.ee
19086 Tallinn, Estonia Fax +372 620 3196
EESTI AKREDITEERIMISKESKUSE 21.06.2010. TUNNISTUS NR. L 027

N60Lia 1

Program: FE-10
Comment: Low alloy steel
Average (n=3)

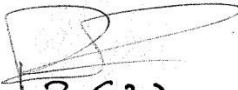
12858/00

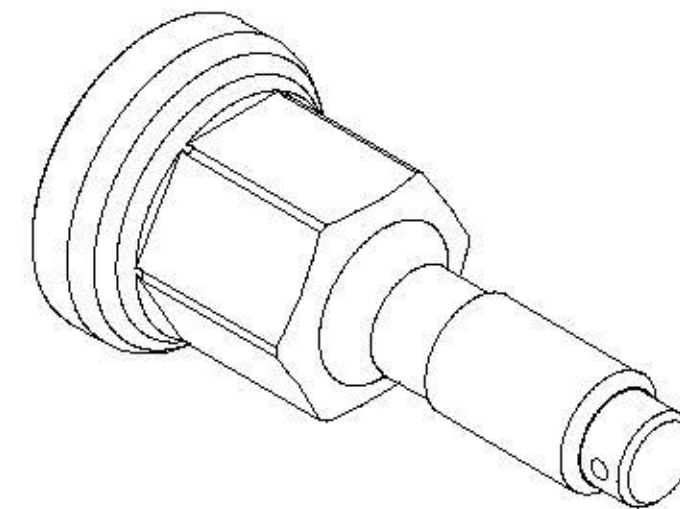
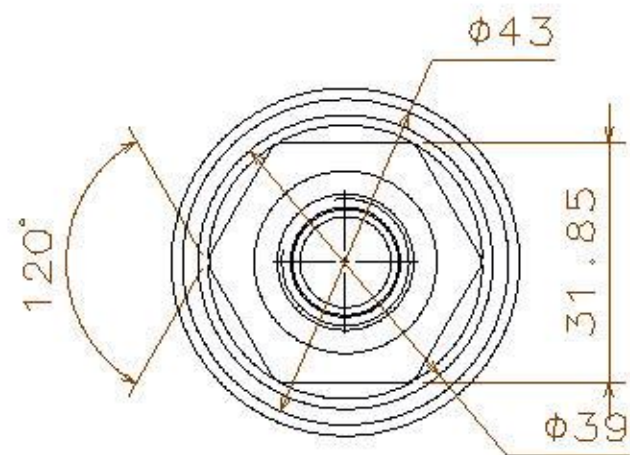
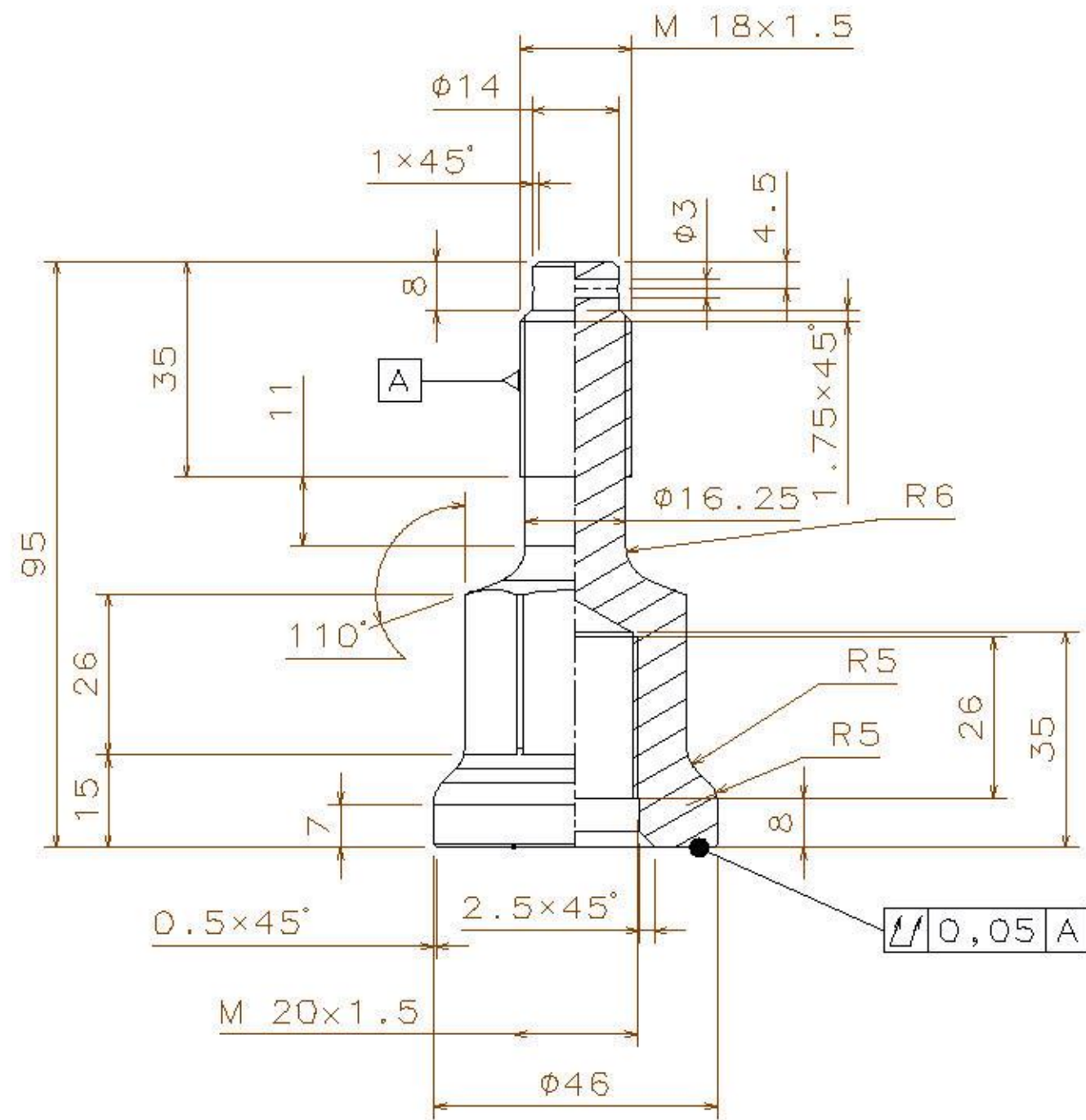
01/27/2015 01:04:33 PM
Elements: Concentration

Sample No: Pooltelje polt N_60
Sample Id:

Quality:

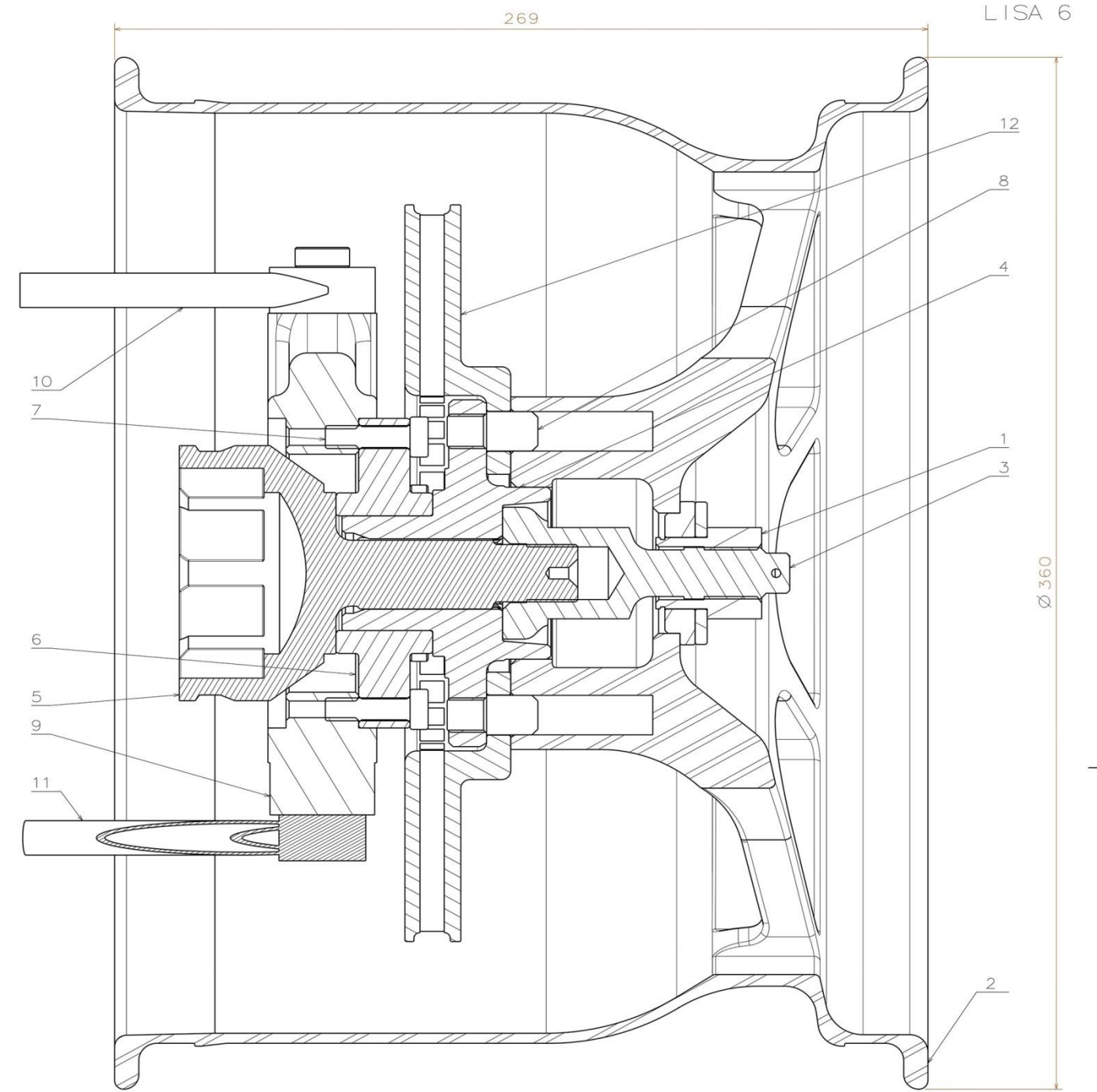
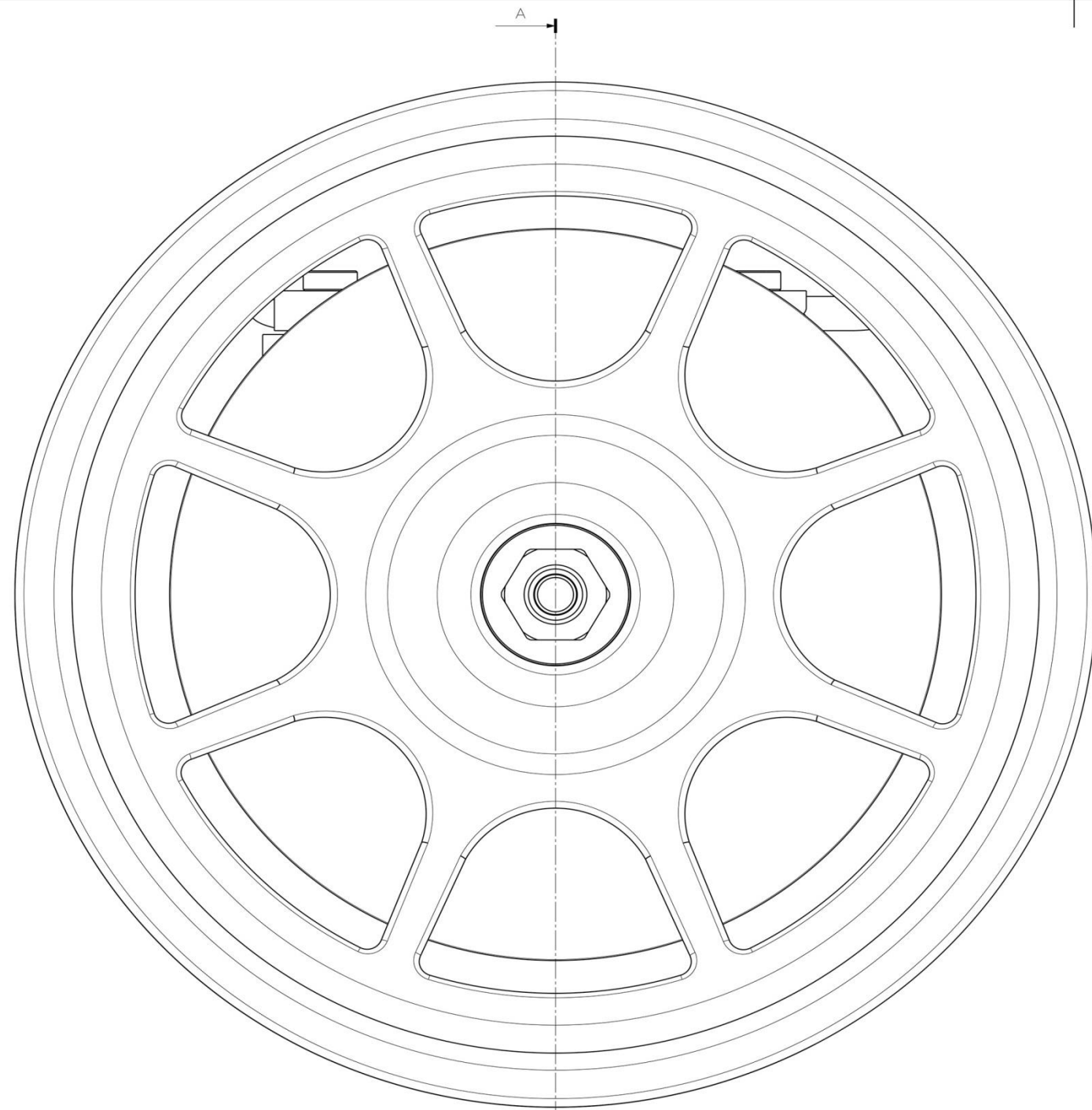
\bar{x}	C %	Si %	Mn %	P %	S %	Cr %	Mo %
	0.47	0.12	1.34	0.017	>0.120	0.08	0.04
\bar{x}	Ni %	Al %	Co %	Cu %	Nb %	Ti %	V %
	0.07	<0.0010	<0.01	0.10	<0.00	<0.0010	<0.00
\bar{x}	W %	Pb %	Sn %	As %	Ca %	Ce %	Sb %
	<0.01	0.008	0.007	0.014	0.0008	0.002	0.003
\bar{x}	Se %	Te %	B %	Zn %	Fe %	N %	
	0.0011	0.001	0.0009	0.0055	97.48	0.0000	


2(2)



1:1

	Materjal:	42CrMo4	Varjatud piirhälbed:	ISO 2768 - m	Mass:	0,38kg	Mõõt:	1:1
	Teostas:	T. Ellermaa	Nimetus: Ratta tikkpolt					
Kontrollis:	J. Luppin							
Kinnitas:		Leht:	1/1	Tähis:	Ratta_tikkpolt			
Scuderia Nordica								



A - A

Osa	Nimetus	Materjal	Hulk
1	Rattamutter		1
2	Tagumine velg		1
3	Ratta tikkpolt	42CrMo4	1
4	Rattorum	C45	1
5	Püsikiirusliigend	C55	1
6	Rattolaager		1
7	Polt CHC M7 x 40		6
8	Rumutihvtid		4
9	Käändmik		1
10	Ülemine õõtsuub		1
11	Alumine õõtsuub		1
12	Piduriketras		1

	Materjal:	Varjatud piirhääbed:	Mass:	Mõõt:
				1:1

Teostas: T. Ellermaa	Nimetus: Koostujoonis	
Kontrollis: J. Luppin		
Kinnitas:		
Scuderia Nordica	Leht: 1/1	Tähis: Koostujoonis