

Fabian Wikholm

Henkilöauton taka-akselin suunnittelu- ja muutostyö

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Auto- ja kuljetustekniikka

Insinöörityö

20.4.2017

Tekijä	Fabian Wikholm
Otsikko	Henkilöauton taka-akselin suunnittelu- ja muutostyö
Sivumäärä	28 sivua + 4 liitettä
Aika	20.4.2017
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Auto- ja kuljetustekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	Tuotetekniikka
Ohjaaja	Projekti-insinööri Joel Kontturi
<p>Tämän insinööriyön tarkoituksena oli perehtyä jäykän taka-akselin konstruktitekniikkaan ja valmistaa kohdeauton uusi kestävä taka-akseli. Ongelmana henkilöauton alkuperäisessä taka-akselissa oli voimaa välittävien pyörievien osien rikkoutuminen tehoa ja vääntömomenttia kasvatettaessa moninkertaiseksi alkuperäiseen nähden.</p> <p>Tässä insinööriyössä perehdyttiin taka-akselikokonaisuuden valmistukseen. Työssä keskityttiin taka-akselin kuoren valmistukseen, taka-akselin sisällä voimaa välittävien pyörievien osien selvitystyöhön, laskentaan, suunnitteluun ja tilaamiseen. Opinnäytetyö pitää sisällään myös 3D-mallinnettujen osien valmistusta, hitsaustekniikkaan perehtymistä ja pinnoitusmenetelmiin tutustumista.</p> <p>Opinnäytetyön aikana oli pohdittava, mitkä osat ja toimenpiteet pystytään valmistamaan ja toteuttamaan itse harrastajatasoisessa ympäristössä. Lisäksi oli otettava huomioon mitkä palvelut ovat järkevintä ulkoistaa ja kuinka kustannukset saadaan pysymään kohtuullisina.</p> <p>Lopputuloksena saatiin valmistettua käyttövalmis taka-akseli, joka istuu kohdeauton korihikkoon suunnitelmien mukaisesti ja tarjoaa alkuperäiseen taka-akseliin nähden paremman kestävyuden.</p>	
Avainsanat	Henkilöauto, taka-akseli, voimansiirto, hitsaustekniikka

Author	Fabian Wikholm
Title	Passenger car rear axle design and fabrication
Number of Pages	28 pages + 4 appendices
Date	20 April 2017
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Automotive Engineering
Specialisation option	Automotive Design Engineering
Instructor	Joel Kontturi, Project Engineer
<p>The objective of this Bachelor's thesis was to design and fabricate a new rear rigid axle assembly for a passenger car that could handle the power increase. The engine's efficiency, power and torque has been increased multiple times compared to the original. The problem with the original rear axle of the passenger car was the breakdown of the internal rotating parts that transfer the power to the rear wheels.</p> <p>First the production of a rear axle assembly is introduced in this thesis. After that the focus is on designing and fabricating a rear axle shell, designing and ordering internal rotating parts and gear ratio calculation. The thesis also includes the production of 3D-modeled parts, familiarization with welding techniques and coating methods.</p> <p>During the thesis work, it was necessary to consider which parts and procedures could be manufactured and accomplished in an enthusiast-level environment. In addition, it was important to consider which services are the most sensible to outsource and how to keep the costs reasonable.</p> <p>As a result, a whole rear axle assembly was made and it fits the project vehicle's chassis as planned. The new rear axle provides a much stronger and durable construction.</p>	
Keywords	Fabrication, drivetrain, vehicle, rear axle, chassis, welding

Sisällys

1	Johdanto	1
2	Taka-akseli	2
2.1	Erillisjousitettu taka-akselisto	2
2.2	Jäykkä taka-akseli	3
2.3	Taka-akselin kuori	4
2.4	Vetopyöräpari	4
2.5	Tasauspyörästö	5
2.6	Vetoakselit	5
3	Taka-akselin kuoren valmistus	7
3.1	Uuden taka-akseliaihion vaihtoehdot	7
3.2	Taka-akseliaihion valinta	8
3.3	Taka-akselin esivalmistelut	9
3.4	Taka-akselin osien 3D-suunnittelu ja valmistus	10
3.5	Kokoonpanohitsaus	12
3.6	Oikaisutoimenpiteet ja runkolinjan tarkistus	14
3.7	Taka-akselin koesovitus	15
4	Liikkuvien osien valinta, pinnoitus ja kokoonpanokasaus	16
4.1	Tasauspyörästön lukko	16
4.1.1	Torsen -tyyppinen tasauspyörästön lukko	16
4.1.2	Tasauspyörästön kitkalukot	16
4.1.3	Sähköiset tasauspyörästön lukot	17
4.1.4	Spool tasauspyörästön korvaajana	17
4.1.5	Tasauspyörästön lukon valinta	17
4.2	Välityssuhde	18
4.2.1	Välityssuhteen laskenta	18
4.2.2	Välityssuhteen valinta	20
4.3	Taka-akselin pinnoitus	22
4.4	Kokoonpanokasaus	22
4.5	Vetoakseleiden suunnittelu ja mittatilaus	23
4.5.1	Vetoakseleiden valmistajan valinta	23
4.5.2	Vetoakseleiden asennustoimenpiteet	24

4.6	Taka-akselin kestävyys takaaminen	24
4.7	Valmis taka-akseli	25
5	Yhteenveto	27
	Lähteet	28

Liitteet

Liite 1. 4-link-kannake taka-akseliin

Liite 2. Korikehikon 4-link-kannakelevy

Liite 3. Coilover-kannake

Liite 4. Moser vetoakseleiden tilauslomake

1 Johdanto

Tässä insinööriyössä perehdytään henkilöauton taka-akselin muutostyön suunnitteluun ja valmistukseen. Insinööriyö toteutettiin 1977 vuosimallin takavetoiseen Volvo 242 henkilöautoon, joka on ollut työn tekijän harrasteautona muutaman vuoden ajan. Harrasteautossa on pyritty nostamaan moottorin hyötysuhdetta ja kasvattamaan sen tehoa moninkertaiseksi alkuperäiseen nähden. Henkilöauton voimanlähteenä toimii 4-sylinterinen 16-venttiilinen pakokaasuahtimella varustettu ottomoottori. Tehonlisäyksen vuoksi Volvon voimansiirtolinja ei ole kestävä eikä luotettava. Volvon voimansiirtolinjan yksi tärkeä mutta heikko komponentti on taka-akseli ja sen sisällä liikkuvat osat.

Insinööriyön tarkoituksena oli korvata Volvon alkuperäinen taka-akseli vahvemman ja tukevamman konstruktion omaavalla taka-akselilla. Insinööriyön tavoitteena oli valmistaa kokonainen taka-akseli, joka kestää alkuperäiseen nähden moninkertaisesti vääntömomenttia ja tehoa. Taka-akselin kuoren muutostöiden lisäksi perehdyttiin taka-akselin sisällä pyöriviin voimansiirtokomponentteihin ja komponenttivalintoihin.

Vaihtoehtoisia variaatioita uudelle taka-akselille on monia, mutta tässä tapauksessa oli otettava huomioon useita eri näkökulmia, kuten osien saatavuus, kustannustehokkuus ja ennen kaikkea valmistusmahdollisuudet.

Insinööriyöhön kuului useita eri suunnitteluvaiheita, hitsaustekniikkaan perehtymistä, tiilattavien komponenttien selvitystyötä, nykyaikaisten työkalujen valmistusta ja taka-akselin konstruktitekniikkaan perehtymistä.

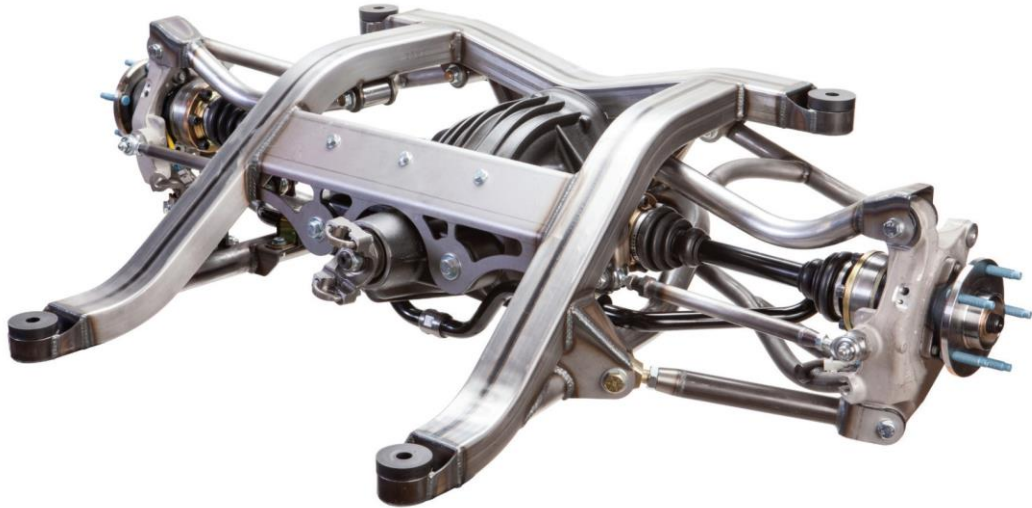
2 Taka-akseli

Volvo 242 -henkilöauton alkuperäinen taka-akseli on konstruktioltaan jäykkä. Taka-akseli on merkiltään ja malliltaan DANA 30. Sen on suunnitellut ja valmistanut DANA Holding Corporation. DANA 30 -taka-akselikonstruktio on suunniteltu taka- ja nelivetoisille henkilöautoille sekä maastoajoneuvoihin kuten esimerkiksi JEEP Wrangleriin. Dana 30 tunnetaan Volvon taka-akselina numerosarjalla 1030 tai 1031. Ero näissä kahdessa on tasauspyörästön ja vetopyöräparin fyysinen koko. Taka-akselit 1030 tai 1031 ovat myös erittäin suosittuja moottoriurheilussa ja rallipiireissä. Näissä ajoneuvoissa ei kuitenkaan käytetä vastaavia tehoja tai saavuteta äkkinäisiä kitkakertoimen lisäyksiä, joita tämän työn henkilöauton tulee kestää. Ongelma 1030- ja 1031 -taka-akseleissa on taka-akselin kuoren pieni fyysinen koko, jonka vuoksi pyörivät voimansiirtokomponentit ovat mitoitetaan pieniä ja kestävyydeltään heikkoja.

Takavetoisten henkilöautojen taka-akselit tai taka-akselistot voidaan jakaa kahteen eri ryhmään: jäykät taka-akselit ja erillisjousitetut taka-akselistot. Jäykkä taka-akseli pitää sisällään kaikki voimaa renkailla siirtävät komponentit, kun taas erillisjousitettu taka-akselisto koostuu useasta ulkopuolisesta erillisestä komponentista.

2.1 Erillisjousitettu taka-akselisto

Erillisjousitettu taka-akselisto muodostuu korikehikkoon ruuviliitoksilla kiinnitettävään tasauspyörästön kuoresta, nivelletyistä vetoakseleista ja olka-akseleista, joihin pyörät kiinnitetään. Esimerkki erillisjousitetusta taka-akselistosta on esitetty kuvassa 1. Nykypäivän takavetoisissa henkilöautoissa käytetään poikkeuksetta lähes aina erillisjousitettua taka-akselistoa (Reimpell, Stoll & Betzler 2001: 2). Ainoat käyttökohteet jäykälle taka-akselille ovat pakettiautot, maastoajoneuvoiksi luokitellut henkilöautot ja kevytrakenteiset henkilöiden kuljetusautot (Reimpell ym. 2001: 22-23).

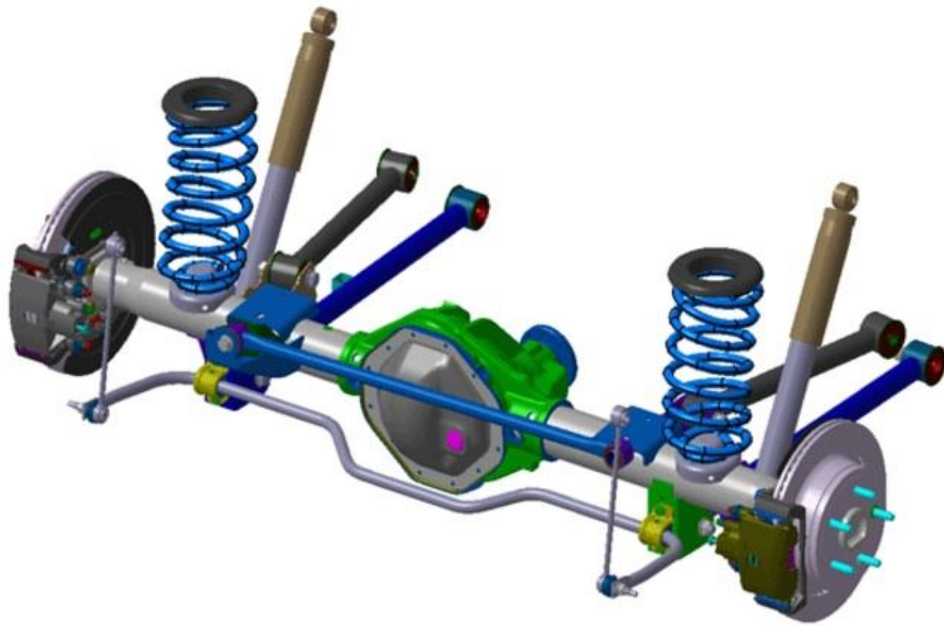


Kuva 1. Art Morrison -merkkinen erillisjousitettu taka-akselisto (Artmorrison IRS 2017).

Tässä insinööriyössä erillisjousitetun taka-akseliston käyttäminen olisi ollut erittäin työlästä, eikä Suomen tieliikennelaki salli korikehikkoon tarvittavien muutoksien tekemistä ilman erillistä poikkeuslupaa (Trafi 2015). Erillisjousitettu taka-akselisto ei myöskään ole ideaalinen kiihdytysajoa ajatellen, koska pyörien kaltevuudet muuttuvat niin paljon sisään jouston yhteydessä. Tämä aiheuttaa pidon menetyksen ajoradan ja renkaan välillä, minkä vuoksi autolla ei pystytä kiihdyttämään sen täydellä suorituskyvyllä.

2.2 Jäykkä taka-akseli

Tässä insinööriyössä perehdytään rakenteeltaan jäykkään taka-akseliin ja sen muokkaukseen insinööriyön kohteeseen soveltuvaksi. Puhuttaessa ajoneuvon jäykästä akselista tarkoitetaan teräsrakennelmaa, jonka sisällä pyörivät osat välittävät voimaa renkaille. Jäykkä taka-akseli toimii henkilöauton korikehikon kantajana eli on osa alusta-geometriaan vaikuttavia tekijöitä. Kuvassa 2 esitetään jäykkä tavanomainen taka-akselisto. Jäykkä taka-akseli kuuluu myös ryhmään, joka on jousittamatonta massaa, jolloin sen muutostyöt ja painoa lisäävät toimenpiteet on suositeltavaa ottaa huomioon. Voima taka-akselille tulee ajoneuvon moottorilta kardanaiakselin välityksellä. Taka-akselin sisällä pyörivät vetopyöräpari, tasauspyörästö ja vetoakselit. Kaikki osat ovat useimmiten kartiolaakeroituja.



Kuva 2. Jäykkä taka-akselisto (Dodge suspension 2015).

2.3 Taka-akselin kuori

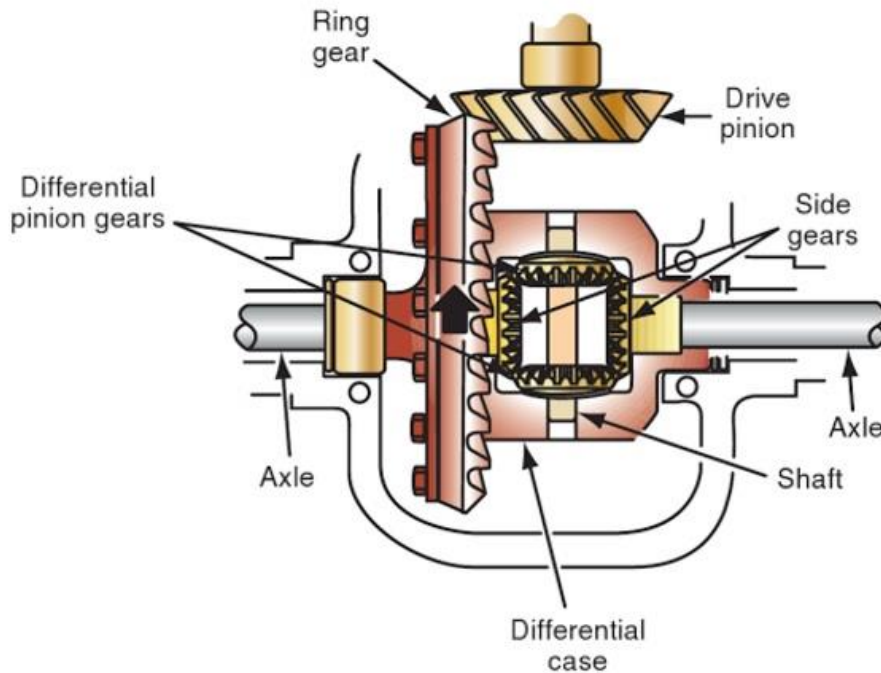
Taka-akselin kuoren konstruktio koostuu useimmiten valurautaisesta tasauspyörästön kuoresta ja akseliputkista, jotka on liitetty kuoreen pistehitsaamalla. Tasauspyörästön kuoreen on koneistettu runkolinja, jonka linjassa myös akseliputket ovat. Taka-akselin kuori voi olla myös teräslevyrakennelma. Tasauspyörästö sijaitsee tuolloin erillisessä kehikossa, joka yhdistetään kehänmuotoisella ruuviliitoksella taka-akselin kuoreen. Tällaisia esimerkkejä ovat Ford 9" ja Dana 60.

2.4 Vetopyöräpari

Vetopyöräpari koostuu kahdesta koneistetusta spiraalinmuotoisesta hammasrattaasta. Näistä kahdesta vetopyörästä muodostuu välityssuhde. Pienempää hammasrattaasta kutsutaan myös nimellä Pinion. Henkilöauton voimanlähde on yhdistettynä Pinioniin, joka välittää voiman isolle hammasrattaalle, jota kutsutaan nimellä Ring. Ring puolestaan välittää voiman tasauspyörästölle. (Erjavec & Pickerill 2015: 25.)

2.5 Tasauspyörästö

Tasauspyörästöä pyörittävät isompi välityspyörä, jota kutsuttiin aikaisemmin nimellä Ring. Tasauspyörästön sisällä pyörivät neljä pienempää kartionmuotoista ratasta. Kaksi ovat yhdistettynä vetoakseleihin ja kaksi lukittuna poikittaisella akselilla tasauspyörästön runkoon. Tasauspyörästön tehtävänä on välittää voima tasaisesti molemmille pyörille. Henkilöauton liikkua suoraan eteenpäin pyörivät molemmat renkaat samaa nopeutta kulkusuuntaan, jolloin kaksi tasauspyörästön kartioratasta pysyvät paikallaan. Tiukassa käänöksessä puolestaan ulommainen rengas pyörii suurempaa kehänopeutta ja vetoakseleiden kartiorattaat pyörivät eri nopeutta. Tämä tasaa voiman välityksen molemmille renkaille. Havainnollistava kuva tasauspyörästöstä on esitetty kuvassa 3. (Erjavec & Pickerill 2015: 23.)



Kuva 3. Tasauspyörästö (Erjavec & Pickerill 2015: 23).

2.6 Vetoakselit

Vetoakselit saavat voimansa tasauspyörästöstä. Vetoakseleiden sisäosat ovat urosrihlattuja. Vetoakseleiden kiinnitys on toteutettu joko taka-akselin kuoren akselipäätyihin kiinnitettävällä laippaliitoksella tai tasauspyörästön sisälle niin sanotuilla c-clipeillä. C-clipit ovat c:n muotoiset aluslevyt, jotka kiinnitetään vetoakseleiden päihin koneistettuihin

uriin tasauspyörästä sisälle. (Knowels 2003: 92.) Vetoakselien materiaali riippuu henkilöauton käyttötarkoituksesta.

3 Taka-akselin kuoren valmistus

Työhön ryhdyttäessä tehtiin selkeä suunnitelma eri työvaiheista. Henkilöauton alkuperäinen taka-akseli mitattiin monesta eri kohdasta. Mittaustuloksia verrattiin uuteen taka-akseliaihioon ja merkittiin selkeästi muun muassa akseliputkien halutut leveydet.

Hitsaustoimenpiteitä varten perehdyttiin MIG/MAG- ja TIG -hitsausmenetelmiin. MIG/MAG-hitsausmenetelmän lyhenne muodostuu englanninkielisistä sanoista Metal Inert Gas / Metal Active Gas. TIG-hitsausmenetelmän lyhenne puolestaan muodostuu englanninkielisistä sanoista Tungsten Inert Gas. TIG-hitsaus on tällaisessa kokoonpanohitsauksessa erittäin suositeltavaa, koska materiaalit ovat useimmiten puhtaita. Myös ympärisaumoja ja putkia hitsatessa tarvitaan tarkkuutta ja aikaa sopivan asennon löytämiseen, jolloin TIG-hitsauksen hitaudesta on hyötyä. TIG-hitsauslaitteistona käytettiin Kemppi MasterTig MLS 2300-AC/DC -konetta. MIG/MAG-hitsauslaitteistona käytettiin Kemppi Migger Superia. Suojakaasuna MIG/MAG-hitsauksessa käytettiin Woikosken SK-18-kaasua ja TIG-hitsauksessa Woikosken argon-kaasua.

3.1 Uuden taka-akseliaihion vaihtoehdot

Ennen varsinaisen taka-akselin rakentamista oli selvítettävä ja hankittava sopiva aihio uutta taka-akselia varten. Huomioon oli otettava aihion saatavuus, haluttujen komponenttien saatavuus ja se, mikä olisi kaikista kustannustehokkain vaihtoehto. Muutamet yritykset valmistavat 1030-taka-akseliin rallikäyttöön kestävämpiä voimansiirtokomponentteja, mutta tarkemman tiedustelun jälkeen komponentit eivät kestäisi laskennallisia tehotavoitteita ja voimansiirtorasituksia. Myös kustannukset olisivat niin suuria, että kokeilumielessä se ei olisi millään tavalla kannattavaa. Ainoa järkevä vaihtoehto aihiolle oli yhdysvaltalainen taka-akseli. Yhdysvaltalaisesta taka-akseleista löytyy paljon tietoa ja niiden komponenttien kysyntä on suuri. Tästä johtuen komponentteja on saatavilla runsaasti. Periaatteessa vaihtoehdot kestäväälle yhdysvaltalaiselle taka-akselille ovat lukemattomat. Monet yritykset jopa valmistavat tilauksesta uusia taka-akseleita asiakkaan omien mittojen ja toiveiden mukaan. Tässä tapauksessa se ei kuitenkaan ollut vaihtoehto, koska taustaselvityksen jälkeen kenelläkään ei ollut tarkempia kokemuksia yhdysvaltalaisen taka-akselin sopivuudesta Volvo 242 -henkilöautoon tai tarvittavista muutostöistä.

3.2 Taka-akseliaihion valinta

Vaihtoehdot rajattiin kustannuksien ja saatavuuksien perusteella, jolloin jäljelle jäivät General Motors 12-Bolt, Ford 9”, Ford Mustang 8.8”. Kaikki vaihtoehdot ovat kestävyydeltään saman tasoisia, koska vetopyöräparien koot ovat hyvin lähellä toisiaan. Varaosien saatavuus on samaa luokkaa. Suurin ero taka-akseliaihioiden välillä on hankintahinnassa. Erilaisia taka-akselivaihtoehtoja on esitetty taulukossa 1.

Taulukko 1. Yleisimmät taka-akselivaihtoehdot (Palazzolo 2009: 29).

Axle Summary Chart												
Manufacturer	Ring Gear OD (in.)	Typical Application	Style	Number of Cover Bolts	Hypoid Offset (in.)	Number of Ring Gear Bolts	Ring Gear Bolt Thread	Ring Gear Thread Hand	RG Bolt Torque (ft-lbs)	Bearing Cap Torque (ft-lbs)	Pinion Spline	Side Gear Spline
AMC 20	8.875	Matador, V8 Javelin, Pacer, Spirit	Salisbury	12	1.5	8	7/16 x 20	Right	65	65	1.625 x 28T	
Chrysler - 741	8.75	A, B, C - body	Banjo	10		12	3/8 x 24	Left	55	90		30
Chrysler - 742	8.75	A, B, C - body	Banjo	10		12	3/8 x 24	Left	55	90		30
Chrysler - 489	8.75	A, B, C - body	Banjo	10		12	3/8 x 24	Left	55	90		30
Dana 35	7.562	Jeep Wrangler, Cherokee	Salisbury	10		8	3/8 x 24	Right			1.376 x 26T	
Dana 44	8.5	Jeep, Chevy, Ford Trucks	Salisbury	10	1.5	10	3/8 x 24	Right			1.376 x 26T	19 or 30
Dana 60	9.75	Jeep, Chevy, Ford Trucks	Salisbury	10	1.125	12	1/2 x 20	Right			1.625 10T or 29T	16, 30 or 35
Ford	7.5	Mustang, Ranger	Salisbury	10	1	10	7/16 x 20	Right			1.625 x 28T	28
Ford	8	Mustang, Fairlane	Banjo	10	2.25	10	7/16 x 20	Right	60	60	1.188 25T	28
Ford	8.8	Mustang, Ranger	Salisbury	10	1.5	10	7/16 x 20	Right	60	60	1.625 x 30T	28 and 31
Ford	9	57-86 cars, trucks	Banjo	10	2.25	10	7/16 x 20	Right	60	60	1.313 x 28T	28 and 31
GM	8.2	Buick, Pontiac, Olds	Salisbury	10		10	7/16 x 20	Right			1.438 x 27T	28
GM	8.2	55-64 car	Salisbury	10		10	7/16 x 20	Right			1.438 x 17T	28
GM	8.2	64-72 car	Salisbury	10		10	3/8 x 24	Right			1.438 x 25T	28
GM	8.5	63-79 Corvette		12	1.75	10	3/8 x 24	Right			1.625 x 30T	17
GM	8.6	Passenger Car	Salisbury	10	1.5	10	7/16 x 20	Left			1.625 x 30T	28 and 30
GM	8.875	Passenger Car	Salisbury	12	1.5	12	3/8 x 24	Right	55		1.625 x 30T	30

Harkinnan ja osien tiedustelujen jälkeen päädyttiin General Motorsin valmistamaan 12-Bolt Truck -versioon. Taka-akselin aihio ostettiin Hämeenlinnassa sijaitsevasta amerikkalaisten autoja ja niiden osia maahantuovasta yrityksestä. Alun perin taka-akseli oli toiminut Chevrolet-merkkisen lava-auton taka-akselina. General Motorsin taka-akselin välityksen isomman vetopyörän halkaisija on 8,875”. Taka-akselin leveys on reilusti leveämpi kuin Volvon alkuperäinen taka-akseli. Leveämpi aihio oli lähtökohtaisesti ehdoton, koska tiedettiin, että alkuperäisiä akselinpäätyjä ei aiota käyttää. Tämä johtuu siitä, että General Motors on käyttänyt alun perin rumpujarruja ja vetoakseleiden lukitus on suunniteltu tasauspyörästä sisälle aiemmin mainituilla c-clipeillä. Tämä taas tarkoittaa sitä, että pyörän poikittaisliikettä ei rajoita mikään, mikäli vetoakseli katkeaa. Tämän tapahtuessa pyörä pystyy liukumaan ulos taka-akselista aiheuttaen vaaratilanteita kuljettajalle ja sivullisille.

3.3 Taka-akselin esivalmistelut

Työn ensimmäinen vaihe oli taka-akselin perusteellinen pesu. Insinööriyöhön ryhdyttäessä tiedettiin, että alkuperäisiä vetoakseleita, tasauspyörästä ja välitystä ei tulla käyttämään. Tämän vuoksi komponentit purettiin pois ennen varsinaista pesua ja työn aloitusta. Myös alkuperäiset kannakkeet ja kiinnikkeet poistettiin, koska ne eivät soveltuneet suunniteltuihin ripustusjärjestelmiin. Kannakkeiden ja akselipäätyjen poistamisen jälkeen akseliputket tasoitettiin kulmahiomakoneella ja erilaisilla paineilmatyökaluilla. Toimenpiteiden jälkeen taka-akseli pestiin painepesurilla ja voimakkaalla rasvanpoistoliuotimella. Käsitelty aihio esitetään kuvassa 4.



Kuva 4. Taka-akseli aihio pestynä ja muokattuna.

Alkuperäisestä Volvo 242 -taka-akselista pystyttiin ottamaan mittoja lopullista leveyttä varten. Henkilöauton takaosan korikehikkoa on jatkojalostettu ja muutettu aikaisemmin. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että tehtaalla tehdyt sisälokasuojat ja lattian peltiosat on poistettu ja korvattu ohutlevyrakenteilla. Uudet ohutlevyrakenteet on suunniteltu ja rakennettu periaatteessa täysin erilaisella tavalla. Sisälokasuojat ovat reilusti isommat ja sijoittuvat korkeammalle, jotta renkaat mahtuvat liikkumaan sisäänjouston yhteydessä esteettömästi. Tästä syystä uudesta taka-akselista päädyttiin tekemään reilusti kapeampi, jolloin pystytään käyttämään leveämpiä vanteita ja renkaita. Kapeamman taka-akselin ansiosta on myös helpompi sovittaa vanteita ja renkaita erilaisia käyttötarkoituksia varten, koska vannevalikoima kasvaa leveyden ja halkaisijan myötä.

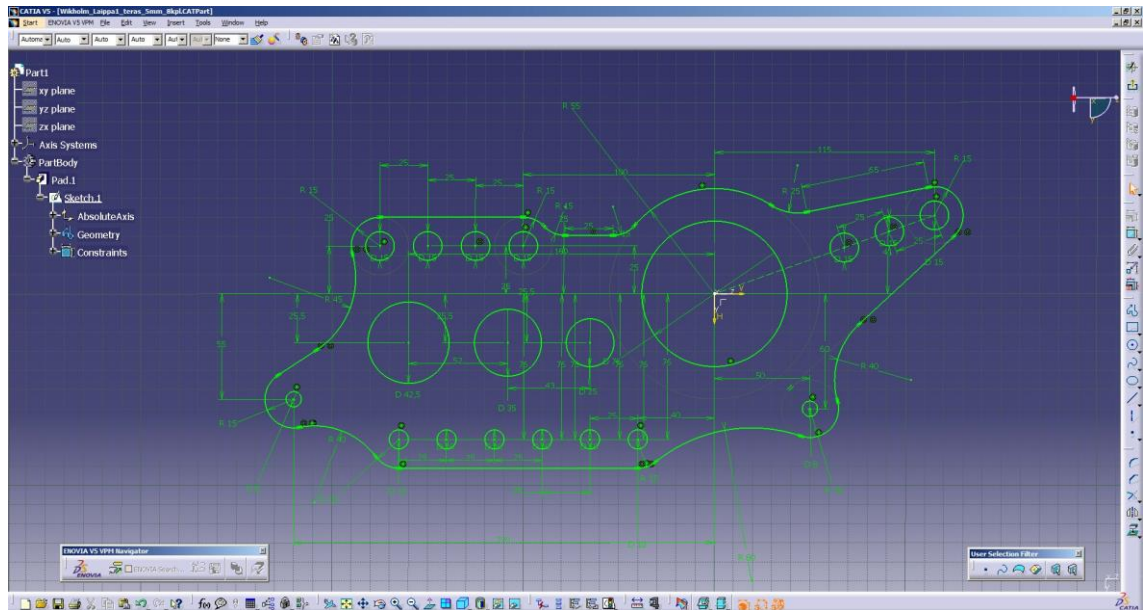
3.4 Taka-akselin osien 3D-suunnittelu ja valmistus

Uudesta taka-akseliaihioista oli esivalmistelujen jälkeen jäljellä ainoastaan tasauspyörästä kuori ja akseliputket. Ennen varsinaista kokoonpanohitsausta oli suunniteltava taka-akselin ripustukseen kuuluvia komponentteja. Tärkeimpänä komponenttina ripustuksien kannalta on tukivarsien kiinnityskorvakkeet. Tässä vaiheessa tiedettiin, että auton taka-akseli ripustetaan täysin säädettävällä 4-link -tukivarsijärjestelmällä. Kannakekorvakkeiden suunnittelu suoritettiin CATIA V5-3D-suunnitteluohjelmalla, joka löytyy Metropolia Ammattikorkeakoulun tietokoneista. Kuvassa 5 esitetään mallinnettu 4-link -akselikannake. Suunnitteluvaiheessa oli otettava huomioon monia eri korikehikon mittauksia ja käytettävien komponenttien sijoituksia. Osien CAD-piirustukset ovat liitteissä 1, 2 ja 3.

4-link -järjestelmällä pystytään parantamaan ja optimoimaan auton käyttäytymistä voimakkaissa kiihdytyksissä. Säädettävien tukivarsien avulla pystytään muuttamaan taka-akselin kulmia erittäin monipuolisesti ja näin ollen takaamaan maksimaalinen pito vetäville pyörille. Maksimaalinen pito on erittäin tärkeää, kun ajetaan varttimailia eli 402:ta metriä. 4-link -järjestelmällä ei pystytä säätämään pelkästään tukivarsien pituuksia vaan myös muuttamaan niiden sijaintia eri käyttötarkoituksia varten. Tämä tarkoittaa sitä, että kiinnityskannakkeissa on oltava useita kiinnitysreikiä eri korkeuksilla ja sijainneilla. Säätömahdollisuuksia on oltava laajasti, koska esimerkiksi rengastuksen vaihtuessa eri käyttötarkoitukselle on pystyttävä muuttamaan tukivarsien kulmia ja pituutta.

Tukivarsikannakkeita suunniteltaessa oli suoritettava useita eri mittauksia, jotta paras mahdollinen lopputulos voitiin saavuttaa. Tukivarsia varten oli hankittu aikaisemmin uniball-nivelet Englannista. Uniball-nivelten koko määräytyi teoreettisen tehotavoitteen mukaan. Yritys suositteli rata-ajoon soveltuvalla henkilöautolle M12-niveleitä, mutta tässä tapauksessa tiedettiin, että autolla tullaan osallistumaan kiihdytysajoihin ja suorittamaan alustarakenteisiin vaikuttavia raskastyyllisiä ajotapoja. Lopulta päädyttiin tilaamaan M16 kokoiset uniball-nivelet maksimaalisen varmuuskertoimen vuoksi.

Varsinaisten 4-link -kannakkeiden suunnittelua varten perehdyttiin monen alustageometriaan erikoistuneen yhdysvaltalaisen yrityksen ohjeisiin ja neuvoihin. Yrityksistä mainittakoon Strange Engineering, Moser Engineering, Mark Williams jne. Valmiita kiinnityskannakkeita on saatavilla, mutta lähes jokaisesta mallista puuttui jokin ominaisuus, esimerkiksi säädettävien coiloverien kiinnitys samoihin kannakkeisiin tai kallistuksenvaakaajan kiinnitysolakkeiden puuttuminen.



Kuva 5. 3D mallinnettu 4-link -kannake.

Teräslaatuja valittaessa on otettava huomioon kohteen materiaali, lopullisen konstruktion kestävyys, hitsattavuus ja hitsausmenetelmä. Tässä tapauksessa tiedettiin akseliputkien olevan täysin tavallista teräksistä ainesputkea. Pienen tiedustelun ja selvityksen jälkeen päädyttiin Ruukin tarjoamaan kuumavalssattuun S235 JR -teräslaatuun, joka täyttää standardin EN 10025.

Laserleikkausta varten 3D-mallinnettiin kolme eri tuotetta, joita käytettiin tässä insinööri-työssä. 4-link -tukivarsien kannakelevyt mallinnettiin auton korikehikkoa ja taka-akselia varten (liitteet 1 ja 2). Lisäksi mallinnettiin iskunvaimentimien kiinnikelevyt (liite 3), jotka kiinnitetään ruuviliitoksella taka-akselin 4-link -kannakkeisiin. Laserleikkaus ulkoistettiin jo entuudestaan tutulle yritykselle, jonka nimi on Keravan Teräsmiehet Oy. 3D-piirrus-tukset muutettiin DXF-muotoon, jotta laserleikkausohjelma ymmärtäisi mittasuhteet oikealla tavalla. Laserleikatut kannakkeet toimitettiin erittäin korkealla viimeistelytasolla, mikä helpottaa huomattavasti kokoonpanohitsauksessa. Valmiit 4-link -kannakkeet esitetään kuvassa 6.



Kuva 6. Laserleikatut kannakkeet.

3.5 Kokoonpanohitsaus

Kokoonpanohitsausta varten selvitettiin ESABin lisäaineluettelosta teräslaaduille soveltuvat lisäaineet. Varsinaiset 4-link -kannakkeiden hitsaukset suoritettiin TIG-hitsausmenetelmää käyttäen. Menetelmä valittiin, koska TIG-hitsausmenetelmä käyttää vähemmän lämpöä metallin sulattamiseen kuin MIG- tai kaasuhitsaus (Finch 2005). Lisäksi hitsausmenetelmä vähensi akseliputkien taipumisen riskiä ja mahdollisti viimeistellyn hitsisauman. Kannakkeitten hitsausta varten rakennettiin teline, jotta kannakkeiden sijainnit olisivat symmetriset. Teline valmistettiin huonekaluprofiilista. Suojakaasuna käytettiin argonia. Linkkilappujen hitsauksen jälkeen 4-link -kannakkeet yhdistettiin toisiinsa poikittaisella saumattomalla teräsputkella, jonka materiaali on P235 GH TC1. Poikittainen teräsputki lävistää molempien puolien kannakkeet ja on kiinnitettynä ympärisaumalla sekä akseliputkissa että tasauspyörästön kuoressa. Poikittaisella teräsputkella ennaltaehkäistään akseliputkien vääntyminen voimakkaissa kiihdytyksissä. Hitsaus suoritettiin onnistuneesti ja banjosta tuli tukeva.

GM:n 12-pulttisen taka-akselin akselinpäädyt hylättiin jo alkuun huonon konstruktion vuoksi. Akselinpäädyiksi piti valita malli, jolla pyöränlaakeri kiristetään erillisellä laipalla ja ruuviliitoksella. Tällaisella menetelmällä taataan, että vetoakselirikon yhteydessä pyörä ei pääse irtoamaan. Lähes jokainen vetoakselirikko tapahtuu tasauspyörästä rihlauksien välittömässä yhteydessä. Yhdysvalloista on saatavilla useita erilaisia akselien päätyille erikokoisille laakereille. Insinööriyöhön ryhdyttäessä pidettiin Volvon alkuperäisiä akselinpäätyjä järkevänä ratkaisuna ja myös vaihtoehtona, mikäli toisenlaista ratkaisua ei löydy. Mittauksien jälkeen selvisi, että alkuperäisiä akselinpäätyjä voidaan käyttää. Etuna Volvon alkuperäisten akselipäätyjen käyttämisessä on myös se, että pyöränlaakereita on helposti saatavilla ja päädyistä löytyy jo valmiiksi kannakkeet jarrusatuille.

Sovitukset ja akselipäätyjen viimeistely suoritettiin sorvaamalla ja kulmahiomakoneella. Hitsattaviin kappaleisiin tehtiin 60° viisteet, joista muodostui V-railo. Vanhasta akseliputkesta säilytettiin 100 mm, joka sovitettiin uuden isomman akseliputken sisälle tukevuu- den varmistamiseksi. Suoruuden toteamisen jälkeen suoritettiin akselinpäätyjen ympärihitsaus MIG/MAG-hitsausmenetelmää käyttäen. Kuvassa 7 nähdään valmis akselipäädyn V-hitsisauma. Lisäaineena käytettiin ESABin valmistamaa OK AUTOROD 12.51 -lisäainelankaa.



Kuva 7. Akselinpääty MIG/MAG-hitsattuna akseliputkeen.

3.6 Oikaisutoimenpiteet ja runkolinjan tarkistus

Vetoakseleiden ja tasauspyörästäön runkolinjan tarkistaminen ja oikaiseminen ovat erittäin tärkeässä asemassa, kun taka-akseliin suoritetaan hitsaustoimenpiteitä. Poikkeuksetta jokaisessa taka-akselin hitsauksessa akseliputket taipuvat kuumuudesta johonkin suuntaan. Suurimpana ongelmana akseliputkien kieroudessa on se, että vetoakselit rasisuttavat, mikäli vetoakselin rihlattu osuus ei ole täysin x-akselin linjassa. Pienikin poikkeama runkolinjassa aiheuttaa sen, että suuren kuormituksen aikana vetoakseli katkeaa. Runkolinjan ollessa kiero, aiheutuu myös pyöränlaakereiden rasisutusta ja ennenaikaista kulumista.

Oikaisutyökaluja on saatavilla Yhdysvalloista monelle eri käyttötarkoitukselle. Pienen selvityksen jälkeen ilmeni, että työkalujen rahtikulut Suomeen olivat liian korkeat. Rahtilaivalla työkalujen kustannukset olisivat olleet kohtuulliset, mutta tämän insinööriyön aikataulu ei antanut periksi niin pitkälle odotusajalle.

Pienen tiedustelun jälkeen löydettiin sopivankokoinen tarkkuushiottu akseliputki, joka soveltui erittäin hyvin kohteen oikaisuksi. Taka-akselin oikaisu on toimintaperiaatteeltaan erittäin yksinkertainen. Tarkkuushiottu akseli kiristetään tasauspyörästäön runkopukkeihin sopivilla holkeilla. Tämän jälkeen akselinpäätyjen pyöränlaakereiden pesiin sorvataan 0,1 millimetrin välyksellä olevat holkit. Taka-akselin ollessa täysin linjassa holkkien tulisi liukua nätisti pyöränlaakerin pesään.

Tämän insinööriyön kokoonpanohitsauksen yhteydessä ilmeni suhteellisen pieniä mitaeroja runkolinjassa, mutta kuitenkin niin merkittäviä, että suuren kuorman ja pidon muodostuessa se saattaisi johtaa vetoakselien tai pyöränlaakereiden rikkoutumiseen.

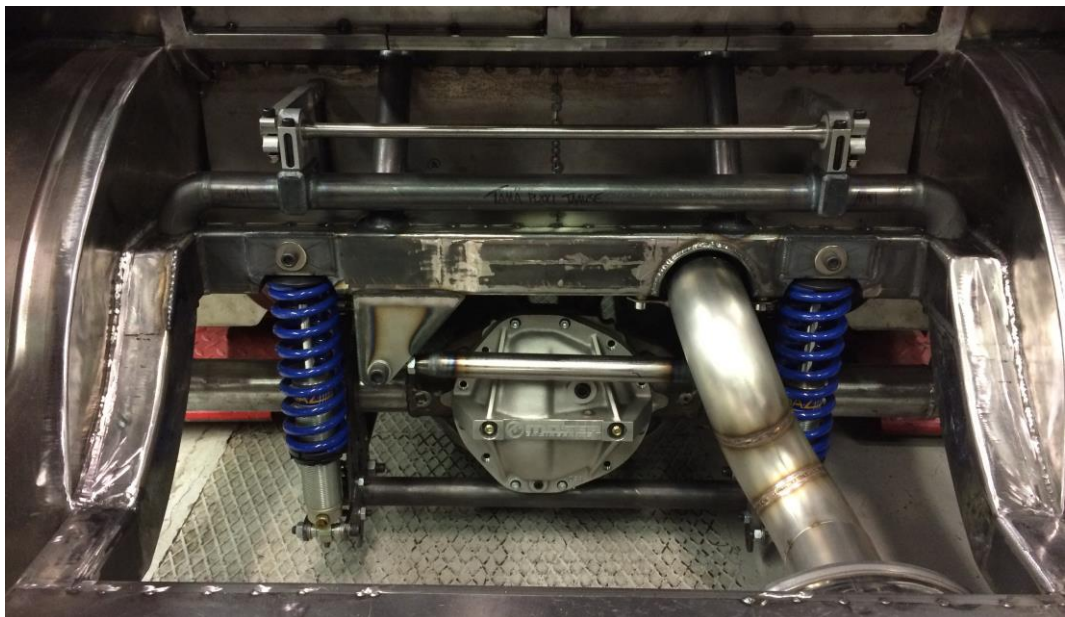
Varsinainen akseliputkien oikaisu suoritettiin mittaamalla taipuma, jonka jälkeen taipumasta mitattiin vastapuolelle 180° ja merkittiin kohta. Merkittyyn kohtaan annettiin erittäin paljon lämpöä, minkä jälkeen se jäähdytettiin nopeasti. Lämmön kohottaminen riittävän korkealle lyhyessä ajassa muodostui hieman ongelmalliseksi. Toimenpide oli suoritettava nopeasti, jotta akseliputki ei taipuisi liikaa väärään suuntaan. Parhaaksi lämmöntuottajaksi todettiin MIG-hitsaus. MIG-hitsaamalla ja korkealla lämmöntuonnilla pystyttiin kohdistamaan lämpö juuri oikeaan kohtaan ja sopivan mittaiseksi ajankohdaksi. Hitsauk-

sen jälkeen oli vuorossa äkillinen kylmentäminen, jolla saavutettiin oikeanlainen kutistuminen akseliputkeen. Kutistustyökaluna käytettiin paloturvallisuusluokitettua kangasta ja jäävettä. Jäävesi koostui kylmästä vedestä ja jääpaloista.

Akseliputkien oikaisu onnistui ennakkoluuloista huolimatta erittäin hyvin. Sorvatut holkit saatiin liukumaan pyöränlaakereiden pesiin ilman minkäänlaista kitkaa. Runkolinjan tarkistuksen jälkeen oikaisussa tulleet hitsaussaumamat hiottiin pois ja akseliputkien pinta ta-
soitettiin alkuperäiseen kuntoon.

3.7 Taka-akselin koesovitus

Kokoonpanohitsauksen jälkeen oli vuorossa uuden taka-akselin sovitusturvikorkeeseen. Korikehikkoon oltiin aikaisemmin rakennettu taka-akselin 4-link -tukivarsien kiinnityskorvakkeet, jotta taka-akselin ripustus olisi mahdollinen. Etummaisesta kiinnityskorvakkeesta tuettiin erittäin tukevasti korikehikkoon ja korikehikon turvakaariin. Etummaisesta kiinnikkeestä kiinnitettiin hitsaamalla TIG- ja MIG -hitsausmenetelmiä käyttäen. Koesovitus onnistui suunnitelmien mukaisesti. Coilovereitten kannakkeet istuivat myös taka-akseliin hyvin ja taka-akseli saatiin ripustettua uusien runkoaisojen poikittaisesta palkista, kuten kuvasta 8 ilmenee. Ensimmäisen sovitusturvikorkeuden jälkeen tarkistettiin, että taka-akseliston liikeradat pysyvät haluttujen mittojen sisällä. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että uuden taka-akselin ja sen ripustuksien ansiosta pystytään optimoimaan taka-akselin liikeradat täydellisesti moneen eri käyttötarkoitukseen.



Kuva 8. Valmiiksi hitsattu taka-akseli sovitettuna korikehikkoon.

4 Liikkuvien osien valinta, pinnoitus ja kokoonpanokasaus

Taka-akselin muutostöiden onnistuttua oli vuorossa sisäisten pyörivien komponenttien tilaus. Ennen vetoakseleiden mittatilausta oli päätettävä välityssuhteen ja tasauspyörästön merkki ja malli. Alun perin taka-akseliaihiossa oli avoin tasauspyörästö. Tämä ei sovi tulevaan käyttötarkoitukseen, koska avoimella tasauspyörästöllä voima välittyy ainoastaan sille renkaalle, jolla on pienin vastus. Alkuperäinen avoin tasauspyörästö oli muutenkin tarkoitettu pienemmällä halkaisijalla oleville vetoakseleille.

4.1 Tasauspyörästön lukko

Tasauspyörästön lukolla tarkoitetaan tasauspyörästöä, joka lukitsee molemmat vetävät renkaat tilanteessa, jossa maksimaalista pitoa tarvitaan. Tasauspyörästön lukkoja valmistetaan moneen eri käyttötarkoitukseen ja ne eroavatkin toimintaperiaatteeltaan toisistaan melko suuresti. Yleisimmät tasauspyörästön lukot ovat torsen, kitkalukko ja sähköisesti ohjatut tasauspyörästön lukot.

4.1.1 Torsen -tyyppinen tasauspyörästön lukko

TORque SENsing eli torsen -tyyppiset tasauspyörästön lukot koostuvat useasta pienestä ruuvimaisesta rattaasta, jotka pyörivät helposti yhteen suuntaan, mutta eivät toiseen suuntaan. Tällä toimintaperiaatteella tasauspyörästö havaitsee pienenkin pyörimisnopeuseron ja siirtää vääntömomenttia pitävämmälle pyörälle. Tilanteessa, jossa kuormitus on tasaista, käyttäytyy torsen-tyyppinen tasauspyörästö aivan kuten normaali avoin tasauspyörästö. Esimerkiksi pysäköintitilanteissa ja kaarreajossa tasauspyörästö ei lukitse vetoakseleita, ellei vääntömomentti äkillisesti kasva.

4.1.2 Tasauspyörästön kitkalukot

Kitkalukkoja on muutamia erilaisia vaihtoehtoja. Yleisimpiä ovat kitkalevyistä ja jousista koostuvat tasauspyörästöt, joiden toimintaperiaate on yksinkertainen. Tasauspyörästö siirtää lähestulkoon aina voiman sille pyörälle, jonka kitkakerroin on pienempi. Tämä taas aiheuttaa tasauspyörästössä kitkaa, jonka avulla toinen pyörä saadaan lukittua. Kitkalukon esijännitystä pystytään useimmiten muuttamaan henkilöauton käyttötarkoitusta varten. Mitä enemmän esijännitystä, sitä helpommin ja nopeammin kitka lukitsee molemmat vetopyörät.

4.1.3 Sähköiset tasauspyörästön lukot

Sähköllä toimivat tasauspyörästön lukot toimivat elektronisilla solenoideilla ja magneettikytkimillä. Tämä mahdollistaa sen, että kuljettaja voi itse valita, milloin hän haluaa tasauspyörästön lukon operoivan. Elektroniset tasauspyörästön lukot ovat yleistyneet uusissa autoissa viime vuosina. Suurena etuna on renkaiden kulumattomuus taajamanopeuksissa, koska lukottomana tasauspyörästö käyttäytyy avoimen tasauspyörästön tavalla.

4.1.4 Spool tasauspyörästön korvaajana

Spool-tyyppinen ”tasauspyörästö” on erittäin yleinen kiihdytysautoissa. Tämä johtuu siitä, että niin sanottu spooli koostuu pelkästään välityspyörän kiinnityksestä ja naarasrihlauksista, johon vetoakselit asennetaan. Spool-tyyppinen ratkaisu pitää molemmat vetävät pyörät 100-prosenttisesti lukossa. Spooli soveltuu käytännössä pelkästään kiihdytysautoihin.

4.1.5 Tasauspyörästön lukon valinta

Tässä insinööriyössä päädyttiin torsen-tyyppiseen tasauspyörästön lukkoon sen takia, että tiedettiin melko tarkasti, mihin autoa tullaan käyttämään. Useimmissa tilanteissa tarvitaan voiman välitystä molemmille vetäville pyörille, mutta henkilöautolla tullaan ajamaan myös kadulla, jolloin avoimesta tasauspyörästöstä on hyötyä. Torsen-tyyppinen tasauspyörästön lukko on todettu erittäin toimivaksi monessa eri harrastajakunnassa, ja myös yhdysvaltalaiset taka-akselispecialistit suosittelivat tätä tasauspyörästön lukkoa.

Tasauspyörästön lukon on valmistanut EATON Differentials. Kyseinen kuvassa 9 esitetty tasauspyörästön lukko on malliltaan Detroit Truetrac.



Kuva 9. Eaton Detroit Truetrac (Eaton Differentials 2017).

4.2 Välityssuhde

Tasauspyörästäön lukko tarvitsee voiman välitystä varten myös vetopyöräparin. Välityssuhde valitaan henkilöauton käyttötarkoitusta silmällä pitäen. Välityssuhteen valitseminen koitui odotettua hankalammaksi. Suurimpana ongelmana oli vaihdelaatikon hammasrattaiden välityssuhteista vaikeasti löytyvä tieto. Vaihdelaatikkona toimii Getrag-merkkinen 6-vaihteinen S6S-420G, joka on alun perin toiminut BMW E46 M3:n vaihdelaatikkona. Muutaman sähköpostitiedustelun jälkeen tarvittavat vaihdelaatikon välityssuhteet saatiin selvitettyä.

4.2.1 Välityssuhteen laskenta

Tässä insinööriyössä käytettävän henkilöauton käyttötarkoitus ei pelkästään ulotu kiihdytysajoihin tai rata-ajoon vaan myös huippunopeusajoihin. Huippunopeus kiihdytyspäivillä ajetaan yhden amerikkalaisen mailin mittainen matka kiihdyttäen henkilöautoa suurimmalla mahdollisella suorituskyvyllä. Loppunopeus mitataan 1609 metrin kohdalla. Tavoitteena on saavuttaa henkilöautolla yli 300 km/h yhden mailin aikana. Välityssuhdetta laskiessa on otettava huomioon henkilöauton aerodynaamiset muotoilut. Volvo 242 ei ole aerodynaamisesti urheiluauto puhumattakaan ilmanvastuskertoimesta. Tämän vuoksi välityssuhde oli laskettava melko suurella varmuuskertoimella, jotta tavoite täytyisi.

Kardaaniakselin nopeus lasketaan kaavalla

$$n_k = \frac{RPM/60}{V_v} \quad (1)$$

jossa n_k on kardaaniakselin pyörintänopeus, RPM moottorin kierrosluku minuuteissa ja V_v vaihteen välityssuhde. Pyörän nopeus lasketaan kaavalla

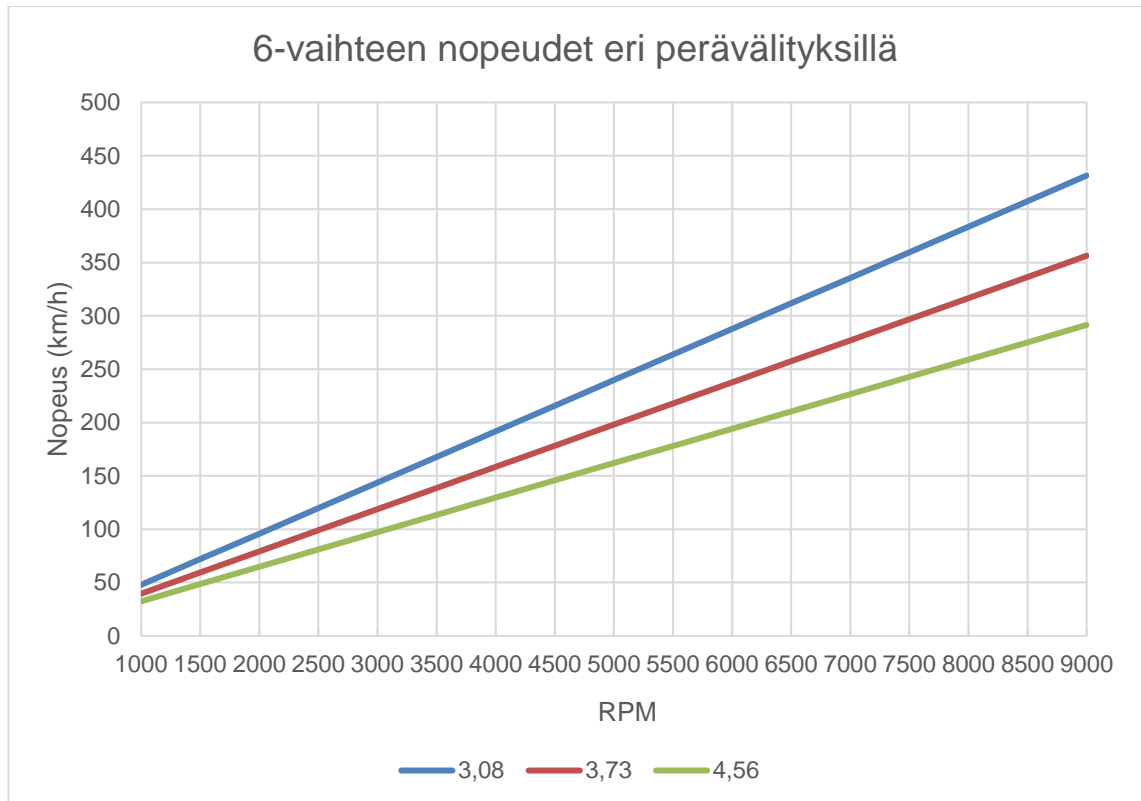
$$n_p = \frac{n_k}{P_v} \quad (2)$$

jossa n_p on renkaan pyörintänopeus ja P_v perän välityssuhde. Kun tiedetään moottorin kierrosluku ja vaihteen välityssuhde, voidaan teoreettinen huippunopeus laskea pyörän nopeuden ja kaavojen (1) ja (2) avulla seuraavasti:

$$v_{max} = 2\pi * n_p * r_p = \frac{n_k}{P_v} * \pi * d_p = \frac{RPM/60}{P_v * V_v} * \pi * d_p \quad (3)$$

jossa v_{max} on teoreettinen huippunopeus (m/s), r_p renkaan säde ja d_p renkaan halkaisija metreissä.

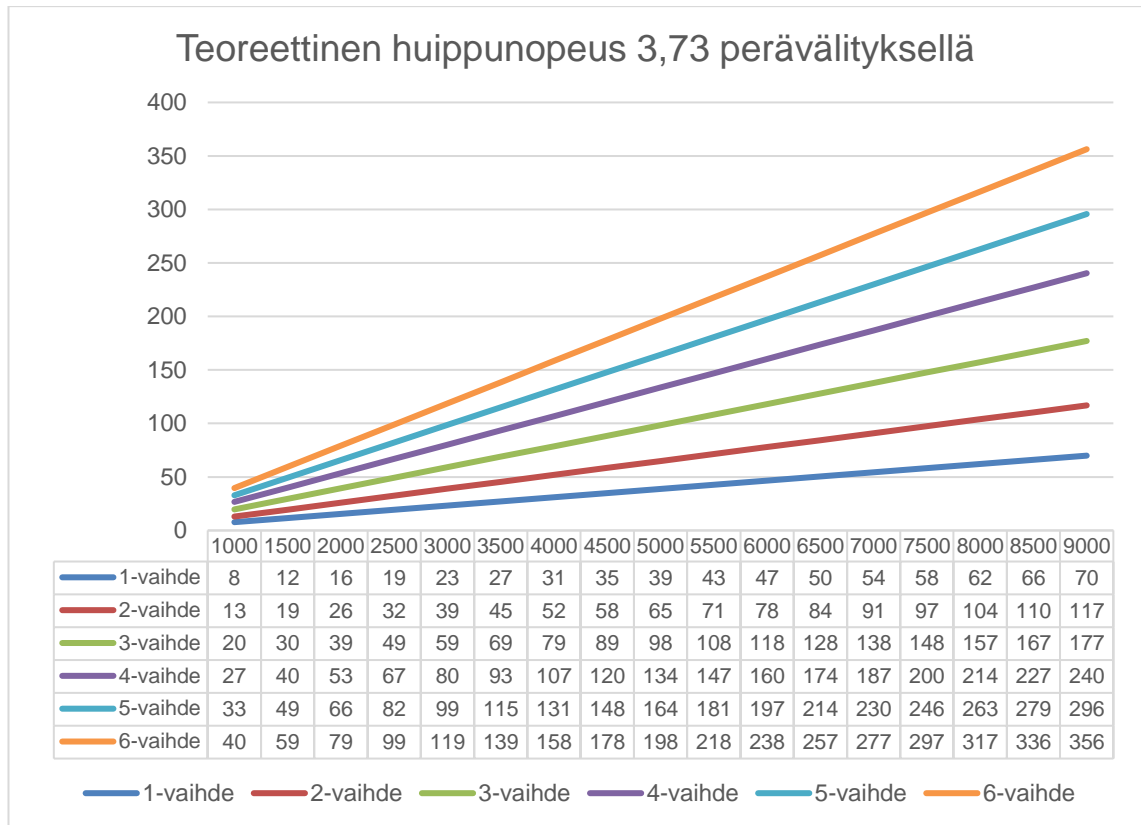
Kyseiselle taka-akselille ja tasauspyörästön lukolle on tarjolla kolme eri välityssuhdetta: 3,08; 3,73 ja 4,56. Kaavan (3) mukaan laskettiin perävälityksille 6-vaihteen teoreettiset maksiminopeudet. Takarenkaina käytetään Toyo Proxxes R888 koossa 315/35R17, joiden halkaisija on 0,6502 metriä. Tulokset esitetty kuvassa 10.



Kuva 10. 6-vaihteen maksiminopeudet eri perävälityksillä.

4.2.2 Väliytysuhteen valinta

Väliytysuhteita laskiessa pystyttiin myös määrittämään, miten paljon moottorin pyörintänopeus laskisi vaihteenvaihdon yhteydessä. Moottoria suunniteltaessa haluttiin moottorin luonteesta melko ylävireinen johtuen siitä, että moottorin sylinteriryhmä ei kestä korkeita vääntömomentin ryntäyksiä alarekisterissä. Tästä johtuen moottorin pakokaasuahdin mitoitettiin hieman yläkanttiin. Moottorin vetoalue on suunniteltu olevan 4000 rpm - 8500 rpm. Vetoaluetta pystytään optimoimaan melko pitkälle moottorinohjauksella ja sähköisellä ahtopaineensäätimellä. Kuvan 11 taulukkoa voidaan tarkastella ja todeta, että täydessä kiihdytyksessä moottorin kierrosluku ei laske rekisteristä missään vaiheessa, mikä on erittäin tärkeää suorituskyvyn kannalta. Kuvassa 11 on esitetty lasketut teoreettiset huippunopeudet eri kierrosluvuille ja vaihteille kaavan (3) mukaan.



Kuva 11. Teoreettinen huippunopeus 3,73 perävälityksellä.

Sopivaksi taka-akselin välityssuhteeksi valikoitui 3,73. Tällä perävälityksellä auton teoreettinen huippunopeus on 336 km/h moottorin pyöriessä 8500 rpm. Moottorin kierrosluvun rajoittimen sijainnista ei ole vielä tarkkaa tietoa, mutta venttiilikoneiston suunnittelun yhteydessä sille asetettiin maksimaaliseksi pyörintätavoitteeksi 8500 rpm. Ottaen huomioon henkilöauton suuren ilmanvastuskertoimen, pitäisi edellä mainitulla perävälityksellä saavuttaa 300 km/h yhden mailin aikana. Tavoite edellyttää tietenkin sen, että autossa on tarpeeksi tehoa ja että sääolosuhteet ovat optimaaliset.

Useampi yhdysvaltalainen taka-akselikomponentteihin erikoistunut yritys tarjoaa eri käyttökohteisiin soveltuvia perävälityksiä. Hinta määräytyy valmistustavan ja materiaalin mukaan. Merkittävimminä eroina ovat hammastuksien pintojen laatu, karkaisumenetelmät ja brändi. Perävälitykseksi valikoitui Richmondin valmistama ”street and strip”-käyttöön soveltuva vetopyöräpari.

Uutta tasauspyörästä ja perävälitystä varten tilattiin myös Timken-merkkiset laakerit ja Strange Engineeringin valmistama kardaaniin ristikkonivelen kiinnike 1350-ristikolle. Kaikki osat toimittivat Racers Place Oy.

4.3 Taka-akselin pinnoitus

Ennen taka-akselin kokoonpanokasausta oli se pinnoitettava sopivaa pinnoitusmenetelmää käyttäen. Yleisin vaihtoehto on maalaus, mutta myös galvanointi tai nikkelöinti on todettu hyvin toimiviksi ratkaisuuksi. Useimmiten maalaus toteutetaan paineilmaruiskulla tai siveltimellä. Tässä insinööriyössä päädyttiin ulkoistamaan maalaustyöt pulverimaalaukseen erikoistuneelle yritykselle nimeltään Eleko Oy. Pulverimaalaus on erittäin kuluusta ja korroosiota kestävä maalausmenetelmä. Ennen varsinaista pulverimaalausta kaikki reiät oli peitettävä ja tiivistettävä suojalevyillä, koska taka-akseli hiekkapuhallettiin ennen pulverimaalausta. Tämä tehdään sen vuoksi, että maalattava pinta on hiekkapuhalluksen jälkeen ruosteeton eikä siinä ole epäpuhtauksia, jotka alkaisivat reagoida, kun pulverimaali kuivatetaan ja kiinnitetään pintaan yli 200 celsiusasteisessa uunissa. Kuvassa 12 esitetään pulverimaalattu taka-akselin kuori eli banjo.



Kuva 12. Pulverimaalattu taka-akselin kuori.

4.4 Kokoonpanokasaus

Maalauksen jälkeen oli vuorossa taka-akselin sisäisten pyörivien osien kokoonpano. Vetopyöräparin hammaskosketus piti optimoida, laakerit sovittaa ja muutenkin huolehtia siitä, että pyörivien komponenttien toleranssit ovat tehtaan ilmoittaman standardin mukaiset. Tämän vuoksi työ ulkoistettiin Jaska Hussolle ja Helsinki Automatic Center Oy:lle.

4.5 Vetoakseleiden suunnittelu ja mittaus

Kokoonpanokasauksen jälkeen tasauspyörästön sijainti oli tiedossa ja ryhdyttiin vetoakseleiden suunnitteluun ja mittaamiseen. Koska uudessa taka-akselissa käytettiin alkuperäisen taka-akselin akselipäätyjä, pystyttiin mallintamaan uusien vetoakseleiden päädyt ja pyöränlaakereiden sijainnit alkuperäisten vetoakseleiden mukaan. Vetoakseleita tilattaessa on oltava erittäin täsmällinen mittojen suhteen. Myös käytettävien laakereiden ilmoittaminen vetoakseleiden valmistajalle on suotavaa, koska yleisimpien standardien täyttävien pyöränlaakereiden tarkat mitat ovat heidän tiedossaan. Alkuperäisessä taka-akselissa käytetään pyöränlaakereina amerikkalaisvalmisteisia TIMKEN SET10-kartiolaakereita. Saman valmistajan laakereihin luotettiin myös suunniteltaessa uutta taka-akselia. Tilattavien vetoakseleiden mittausta varten käytettiin Mitutoyo-merkkistä työntömittaa ja mikrometriä. Vetoakseleiden kestävyuden määrittää vetoakselien halkaisija ja rihlausten lukumäärä, joka luonnollisesti vaikuttaa halkaisijaan. Rihlaus koostuu 45 asteen kulmasta. Materiaalin valinta määräytyy useimmiten käyttökohteen mukaan. Uuden fyysisesti suuremman tasauspyörästön ansiosta rihlamäärä kasvatettiin 27:sta 33:een.

Useimmat vetoakselivalmistajat ovat tilaamisen helpottamiseksi kehittäneet kaavalo-makkeen, joka on erittäin kätevä tarvittavien mittojen havainnollistamiseksi. Yhdysvaltalaiset käyttävät todennäköisesti metrisiä arvoja koneistuskeskuksissa, mutta työssä haluttiin varmistaa tilauksen yksinkertaisuus muuttamalla yksiköt tuumiksi.

4.5.1 Vetoakseleiden valmistajan valinta

Mittaus vetoakseleita valmistavat muutama yritys Yhdysvalloissa. Aikaisempien kokemuksien perusteella päätettiin kysyä tarjouspyyntöä Strange Engineeringiltä ja Moser Engineeringiltä. Molemmat valmistajat pystyivät valmistamaan vetoakselit, mutta Strange Engineering ilmoitti aihoiden olevan pelkästään kilpailukäyttöön soveltuvia. Käytettävä materiaali on siis erittäin kestävä, mutta altistuu samalla herkästi murtumiselle. Katukäyttöön nämä olisivat heidän mielestään liian lujasta materiaalista, koska tiukoissa käänöksissä ja kaarreaajossa pienikin isku vetoakselille voi johtaa murtumiseen. Tästä syystä valittiin Moser Engineering vetoakseleiden valmistajaksi.

Moser Engineeringin materiaalivalikoima on suurempi ja yritys on erikoistunut ns. Street & Strip -käyttöön soveltuvien vetoakseleiden valmistukseen. Lisäksi Moser Engineerin vetoakseleihin oli mahdollista saada kaksi pulttijakoa vanteiden kiinnitystä varten. Tämä etu kasvattaa jälleen kerran vannevalikoimaa. Pulttijaoiksi valittiin 5 x 120 mm ja 5x108 mm. Pyöränlaakerit ja vetoakselit tilattiin US-Parts Finn-Am Oy:n kautta. Kuvassa 13 on nähtävissä uudet vetoakselit. Liitteenä on vetoakseleiden täyttölomake (liite 4).



Kuva 13. Moser-mittatilausvetoakselit.

4.5.2 Vetoakseleiden asennustoimenpiteet

Vetoakseleiden saavuttua valmistettiin laakereiden asentamista varten prässäystyökalu, jolla laakereiden asennus suoritetaan hydraulisella prässillä laakera vahingoittamatta. Kartiolaakeri lukitaan vetoakseliin ahdustusovitteella ja erillisellä krymppirenkaalla. Krymppirengas lämmitettiin ja prässättiin paikoilleen. Vetoakseleiden kokoonpanon jälkeen pystyttiin toteamaan, että vetoakselit istuvat paikalleen suunnitellusti ja niiden pituudet ovat optimaaliset.

4.6 Taka-akselin kestävyuden takaaminen

Uuden taka-akselin kestävyuden varmuuskertoimen kasvattamisen vuoksi tilattiin banjoon vielä erikoisvalmisteinen Moser Engineeringin tasauspyörästön kansi, joka on esitetty kuvassa 14. Kanteen on koneistettu kaksi kierrettä, johon asennetaan pinnapultit. Pinnapultit kiristyvät tasauspyörästön runkopukkeihin. Tämän avulla pystytään säättämään runkopukkien esijännitystä ja eliminoimaan tasauspyörästön sisäiset värähtelyt,

jotka pahimmassa tapauksessa johtavat runkopukkien väsymismurtumiseen. Myös tasauspyörästön runkopukkien kuusioruuvit korvattiin ARP-merkkisillä pinnapulteilla ja hienokierteisillä muttereilla, jotka mahdollistavat kestävämmän ja tarkemman kiristysmomentin tasauspyörästöön.



Kuva 14. Moserin vahvistettu tasauspyörästön kansi.

4.7 Valmis taka-akseli

Taka-akselin ollessa valmis sovitettiin kohteessa käytettäviä vanteita, jotta voitiin todeta, että lopullinen leveys ja mittaukset olivat suunnitteluvaiheen mukaiset. Kuvassa 15 on esitetty taka-akselikokonaisuus.



Kuva 15. Valmis taka-akseli vanteet kiinnitettynä.

5 Yhteenveto

Tämän insinööriyön tavoitteena oli valmistaa Volvo 240 -mallisarjan alkuperäisen taka-akselin tilalle kestävämpi kokonaan uusi taka-akselikokonaisuus. Alkuperäisen taka-akselin ongelmakohtana oli sisällä pyörivien voimansiirtokomponenttien hajoaminen, kun tehoa ja vääntömomenttia kasvatetaan moninkertaiseksi alkuperäiseen nähden. Työssä perehdyttiin taka-akseleiden konstruktitekniikkaan ja toimiviksi todettuihin ratkaisuihin.

Työ aloitettiin tekemällä selvitystyötä uuden taka-akseli aihion saatavuudesta ja sopivuudesta. Taka-akseli valmistettiin ahiosta, joka on lähtökohtaisesti konstruktioltaan paljon tukevampi ja kestävämpi. Ahioksi valittiin General Motorsin valmistama 12-bolt -taka-akseli, joka muokattiin käyttötarkoitusten mukaiseksi poistamalla alkuperäiset kiinnikkeet ja kannakkeet ja kaventamalla aihio sopivaan leveyteen. Alkuperäisen taka-akselin sisällä pyörivien osien tilalle hankittiin kestävämmät ja käyttötarkoitukseen sopivimmat osat.

Catia 3D-CAD -ohjelmistolla suunniteltiin 4-link-kannakkeet ja coilovereiden kannakkeet. Osat teetettiin laserleikkaukseen erikoistuneella yrityksellä. Lisäksi tutustuttiin erilaisiin pinnoitusmenetelmiin ja hitsaustekniikkoihin. Työn lopputuloksena saatiin valmistettua kohdeauton korikehikkoon soveltuva taka-akselikokonaisuus, joka mahdollistaa paremman kestävyuden alkuperäisen henkilöauton taka-akseliin verrattuna.

Insinööriyössä suunniteltiin taka-akselin kuori ja se valmistettiin omatoimisesti harrastajatasoisessa ympäristössä. Insinööriyön edetessä huomattiin, että kaikkea ei välttämättä kannata tehdä itse vaan voidaan turvautua myös ulkopuolisten apuun. Työssä ulkoistettiin muun muassa kokoonpanokasaus ja pinnoitustyö.

Lähteet

Artmorrison IRS. 2017. Verkkodokumentti. Art Morrison Enterprises. <<https://www.art-morrison.com/multilinkirs.php>>. Luettu 28.4.2017.

Dodge suspension. 2015. Verkkodokumentti. Quora, Inc. <<https://www.quora.com/Cars-and-Automobiles-What-are-the-advantages-and-disadvantages-of-double-wishbone-macpherson-strut-and-solid-axle-suspensions>>. Luettu 28.4.2017.

Eaton Differentials. 2017. Verkkodokumentti. Eaton. <<http://www.eaton.eu/Eaton/ProductsServices/Vehicle/Differentials/detroit-truetrac/>>. Luettu 30.4.2017.

Erjavec, J. & Pickerill, K. 2015. Today's Technician: Automatic Transmissions and Transaxles 6th ed. Boston. Cengage Learning.

Finch, R. 2005. Performance welding handbook. 2nd ed. Minnesota. MotorBooks International.

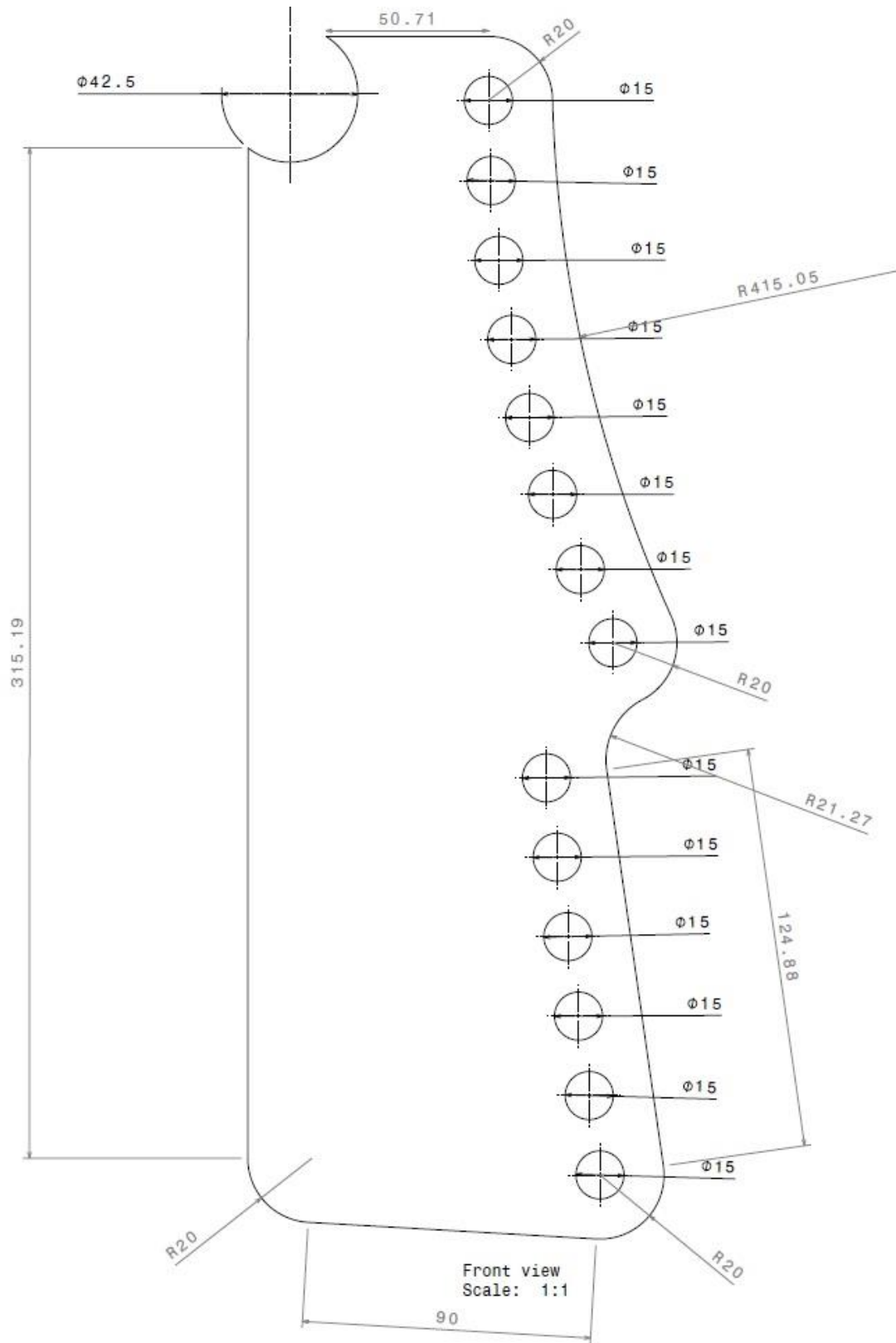
Knowels, D. 2003. Automotive Suspension and Steering Systems. 3rd ed. New York. Cengage Learning.

Palazzolo, J. 2009. High-Performance Differentials, Axles, and Drivelines. Minnesota. CarTech Inc.

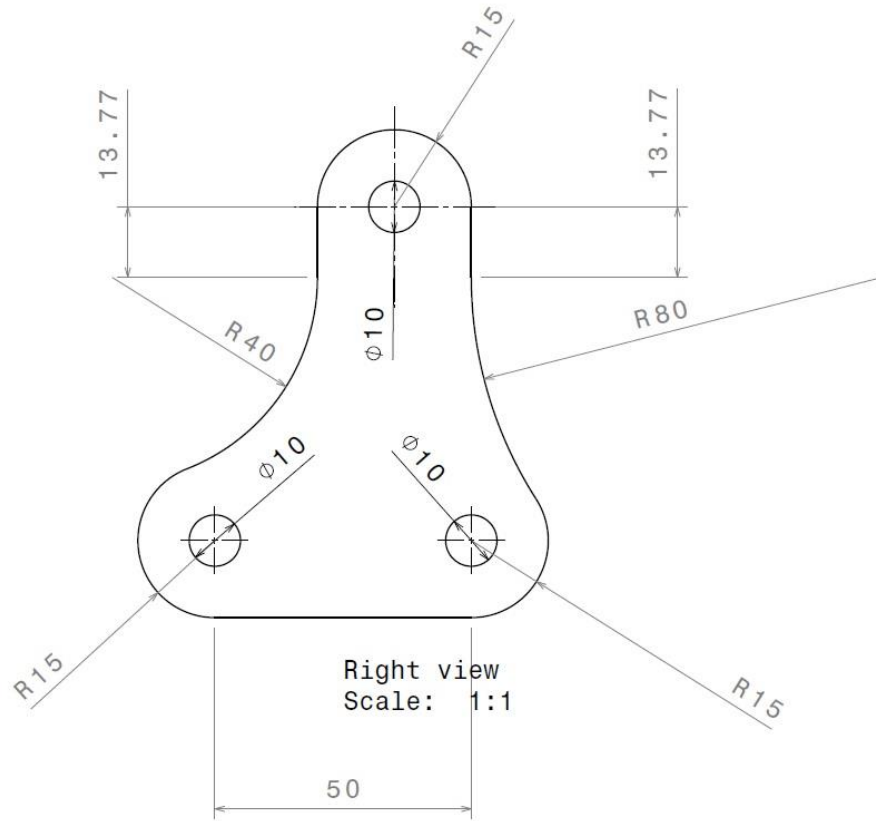
Reimpell, J., Stoll, H. & Betzler, J. W. 2001. The Automotive Chassis: Engineering Principles. 2nd ed. Woburn: Butterworth-Heinemann.

Trafi. 2015. Verkkodokumentti. Trafi Liikenteen turvallisuusvirasto. <<http://www.finlex.fi/fi/viranomaiset/normi/454001/42326>>. Luettu 25.4.2017.

Korikehikon 4-link-kannakelevy



Coilover-kannake



Moser vetoakseleiden tilauslomake

Order Form



102 Performance Drive
Portland, IN 47371
Phone 260-726-6689
Fax 260-726-4159

BILLING ADDRESS

Name FABIAN WIKHOCM
Address _____
City, State, Zip _____
Phone No. _____

SHIPPING ADDRESS (if different than billing address)

Name _____
Address _____
City, State, Zip _____
Phone No. _____

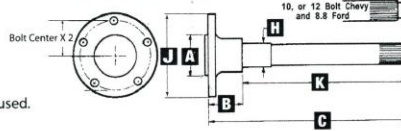
Cashier's Check/Money Order enclosed (payable to Moser Engineering)

Credit Card Number _____ Exp. Date _____ 3 or 4 digit security code _____

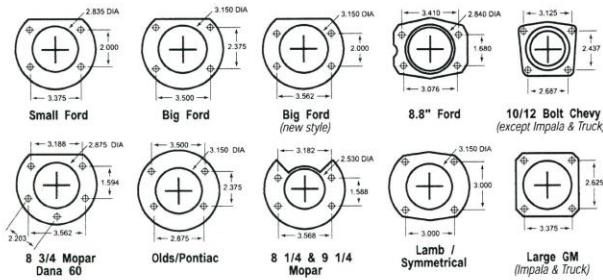
MEASURING FOR INDIVIDUAL AXLE LENGTH

Required Information

- "C" dimension.
- "A" dimension.
- The type of rear end.
- Spline count.
- The type of housing end being used.
- Bolt pattern.



If you are ordering axles and you do not have a housing to measure, we need the required information. If this information is not provided your order cannot be processed.



Type of Rear End 12 BOLT CHEVY
(9" Ford, 12 Bolt Chevy, etc.)

You must choose one of the housing ends below left.

Driver Side Dimensions:

C 25.300"
K 22.485"

Passenger Side Dimensions:

C 25.300"
K 22.485"
A 2.677" 5x4.75"

Bolt Circle & Stud Type: JA 5x4.75"

Screw In Press In Size or Part# _____

If using disc brakes, list axle flange diameter needed

J 5.910"
B 2.815" FOR TIMKEN SET-16
H 1.563" U399/U360L

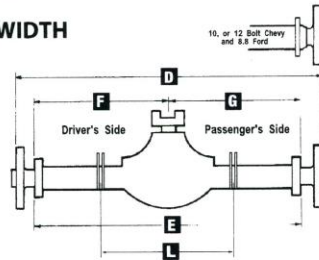
Spline Count 33

(If spool list manufacturer) TRUETRAL 944576

MEASURING FOR REAR END WIDTH

Required Information

- "F" and "G" dimensions.
- or "E" dimension and your pinion offset.
- or "D" dimension and your pinion offset.
- "A" dimension.
- The type of rear end.
- Spline count.
- The type of housing end being used.
- The type of brakes being used.



If you are ordering axles and you do not have a axles to measure, we need the required information. If this information is not provided your order cannot be processed.

D Axle flange to axle flange width

E Housing flange to housing flange

F Driver side housing flange to pinion center

G Passenger side housing flange to pinion center

D 51.772"

E _____

F _____

G _____

L _____ 4-Link bracket ctr-ctr

Type of Rear End 12 BOLT CHEVY
(9" Ford, 12 Bolt Chevy, etc.)

Type of Housing End OTHER
(9" Ford, 12 Bolt Chevy, etc.)

You must choose one of the housing ends above left.

ITEMS YOU ARE ORDERING

Item No.	Quantity	Page No.	Product Name	Description