



Heilahduksenvaimentimien testilaitteen käyttöönotto ja laboratoriotyön suunnittelu

Roope Hakala

Joona Paunukoski

OPINNÄYTETYÖ
Toukokuu 2020

Ajoneuvotekniikka
Korjaamotekniikka, työkonetekniikka

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Ajoneuvotekniikka
Korjaamotekniikka, työkonetekniikka

HAKALA, ROOPE & PAUNUKOSKI, JOONA:
Heilahduksenvaimentimien testilaitteen käyttöönotto ja laboratoriotyön suunnittelu

Opinnäytetyö 98 sivua, joista liitteitä 33 sivua
Toukokuu 2020

Opinnäytetyön tarkoituksena oli käyttöönottaa Tampereen ammattikorkeakoulun ajoneuvotekniikan osaston tiloihin investoitu heilahduksenvaimentimien testilaitte. Työssä suunniteltiin heilahduksenvaimentimien testilaitteella mitattava laboratoriotyö, jonka toteuttaminen vaati myös kiinnikkeiden suunnittelun, jotta halutut heilahduksenvaimentimet saatiin kiinnitettäväksi testilaitteeseen. Näiden lisäksi luotiin laiteelle soveltuvat käyttöohjeet. Teoriaosuudessa keskityttiin heilahduksenvaimentimien rakenteeseen, toimintaan ja säätämiseen, jotta pystyttiin valmistamaan edellä mainitut kokonaisuudet.

Heilahduksenvaimentimien toiminta perustuu vaimentimen sisällä liikkuvan nesteen virtauksen rajoittamiseen, jonka toteuttamiseksi käytetään erilaisia venttiilikokonpanoja. Heilahduksenvaimentimien toiminnan optimoimiseksi on kehitetty sisäisiä säätömahdollisuuksia, joita voidaan muuttaa tietyissä rajoissa jopa vaimenninta purkamatta.

Heilahduksenvaimentimien kiinnikkeiden valmistusprosessissa käytiin läpi kiinnikkeiden suunnittelu, prototyyppien testaaminen sekä varsinaisten kiinnikkeiden valmistus. Valmiit kiinnikkeet vastasivat niiden valmistukseen asetettuja vaatimuksia ja ne käyttöönotettiin opetuskäyttöön suunnitellussa laboratoriotyössä. Laboratoriotyön kehittämisessä huomioitiin työn suorittamiseen käytössä oleva aika sekä opiskelijoiden valmius suorittaa mittaus. Mittauksen avuksi luodut vaimenninpenkin käyttöohjeet helpottavat opiskelijoiden toimintaa työn parissa.

Kokonaisuutena pystyttiin luomaan toimiva ja johdonmukainen laboratoriomittausjärjestelmä, jonka uskotaan olevan mielenkiintoinen tutkimuskohde opiskelijoille.

Asiasanat: heilahduksenvaimennin, vaimennintestilaitte

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Vehicle Engineering
Garage Engineering, Industrial Vehicle Technology

HAKALA, ROOPE & PAUNUKOSKI, JOONA:
Shock Absorber Dynamometer Implementation and Laboratory Exercise design

Bachelor's thesis 98 pages, appendices 33 pages
May 2020

The purpose of the thesis was to introduce a shock absorber dynamometer to the Vehicle Engineering laboratory of Tampere university of applied sciences. In order to use the dynamometer as a measuring instrument a laboratory exercise was created in the thesis. This required designing a set of brackets which were used to mount the desired dampers to the dynamometer. Also, appropriate instruction-manual was written for the machine. The theoretical part of the Thesis focused on the structure, operation, and adjustment of the dampers to create the above-mentioned entirety.

The operation of car shock absorbers is based on restricting the fluid movement inside the damper, which is implemented using various valve assemblies inside the damper. In order to optimize the operation of shock absorbers, internal adjustment possibilities have been developed which can be changed within certain limits even without dismantling the damper.

The manufacturing part of the thesis included designing of the mounting brackets, testing prototypes and fabricating the brackets. The fabricated brackets matched the requirements set for them and they were adopted to use. Time and readiness to perform the measurement of the students was considered while designing the laboratory exercise. An operation manual for the dynamometer was made to ensure safe usage of the machine and help students during the laboratory study.

In its totality it was possible to create a functional and consistent laboratory exercise, which is believed to be an interesting subject among students.

Key words: shock absorber, shock absorber dynamometer

SISÄLLYS

| | | |
|---|--|----|
| 1 | JOHDANTO | 6 |
| 2 | HEILAHDUKSENVAIMENNIN | 7 |
| | 2.1 Yleistä | 7 |
| | 2.2 Materiaalit ja valmistus | 11 |
| | 2.3 Teleskooppivaimentimet..... | 12 |
| | 2.3.1 Kaksiputkivaimennin..... | 13 |
| | 2.3.2 Yksiputkivaimennin..... | 15 |
| | 2.3.3 Joustintuki..... | 16 |
| | 2.3.4 Lisäsäiliölliset heilahduksenvaimentimet | 18 |
| | 2.4 Heilahduksenvaimentimen mitoitus..... | 19 |
| 3 | HEILAHDUKSENVAIMENTIMIEN SÄÄTÄMINEN | 25 |
| | 3.1 Passiiviset säädöt | 26 |
| | 3.1.1 Sisäiset säädöt | 26 |
| | 3.1.2 Ulkoiset säädöt | 31 |
| | 3.2 Aktiiviset säädöt | 34 |
| | 3.3 Volkswagen Golf VI puoliaktiivinen jousitusjärjestelmä | 36 |
| 4 | KIINNIKKEET | 40 |
| | 4.1 Suunnittelu | 40 |
| | 4.2 Prototyypit | 43 |
| | 4.3 Valmistus..... | 48 |
| | 4.4 Työturvallisuus valmistuksessa | 48 |
| 5 | BACAR TUNING -VAIMENNINTESTILAITE..... | 50 |
| | 5.1 Toiminta | 50 |
| | 5.2 Vaimennintestilaitteen käyttöönotto..... | 54 |
| 6 | LABORATORIOTYÖ..... | 56 |
| | 6.1 Työn suunnittelu..... | 56 |
| | 6.2 Laboratoriotyöohjeiden tekeminen | 58 |
| | 6.3 Laboratoriotyön mittaustulokset | 59 |
| 7 | POHDINTA | 62 |
| | LÄHTEET | 64 |
| | LIITTEET..... | 66 |
| | Liite 1. Teräsruuvien ja muttereiden ominaisuudet..... | 66 |
| | Liite 2. Kierretappien alkureikien ohjetaulukko | 67 |
| | Liite 3. Piirustukset..... | 68 |
| | Liite 4. Vaimennintestilaitteen käyttöohjeet | 73 |
| | Liite 5. Laboratoriotyö | 92 |

LYHENTEET JA TERMIT

| | |
|-------------------------|---|
| Shock compression | Vaimentimen liike sisäänjouston aikana |
| Shock rebound | Vaimentimen liike ulosjouston aikana |
| High speed -vaimennus | Vaimentimen nopean liikkeen vaimennus |
| Low speed -vaimennus | Vaimentimen hitaan liikkeen vaimennus |
| Säätölevy | Vaimentimen nestevirtausta rajoittava vastuslevy |
| Bleed hole | Nestevirtauksen vapaa reitti vaimentimen männässä |
| Plastinen muodonmuutos | Muodonmuutosta, jossa kappale ei palaudu alkuperäiseen muotoonsa |
| Vaimentimen mäntä | Heilahduksenvaimentimen sisällä oleva metallista valmistettu rei'itetty kappale |
| Männän varsi | Mäntään kiinnitetty liikkeen välittävä kappale |
| Progressiivinen | Jäykkyyttä kasvattava vaimennustyyppi |
| Digressiivinen | Jäykkyyttä pienentävä vaimennustyyppi |
| Piggybag-vaimennin | Kiinteällä lisäsäiliöllä varustettu vaimennintyyppi |
| Magnetoreologinen neste | Vaimentimissa käytetty neste, jonka viskositeetti kasvaa ulkoisen magneettikentän vaikutuksesta |
| S235 | Rakenneteräksen lujuusluokka |
| Kovakromi | Männänvarressa käytetty materiaali |
| DIN 960 | Hienokierteinen kierrestandardi |

1 JOHDANTO

Tampereen ammattikorkeakoulu oli hankkinut heilahduksenvaimentimien testaamiseen liittyvän laitteen, mutta sitä ei ollut otettu vielä käyttöön. Tarve opinnäytetyölle syntyi, kun koulun opetuskalustoon ei liittynyt mitään ajoneuvojen vaimentimiin liittyvää laboratoriokäytössä olevaa opetusmateriaalia. Tampereen ammattikorkeakoulu hankki myös heilahduksenvaimentimet laboratoriotyön kehittämiseksi.

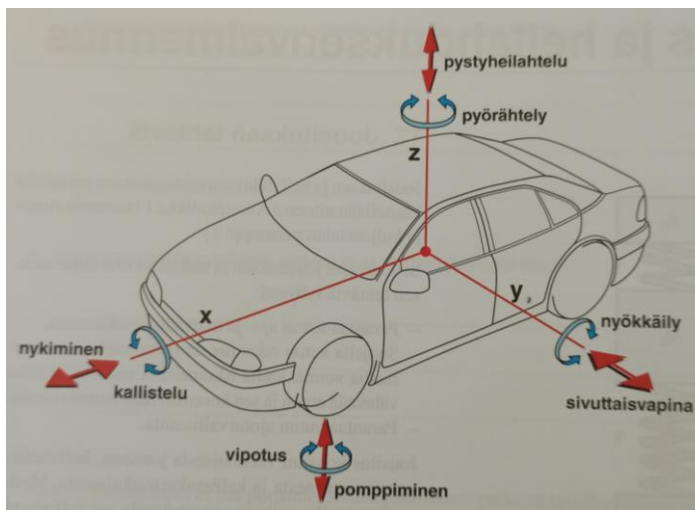
Opinnäytetyön tilaaja oli Tampereen ammattikorkeakoulu ja opinnäytetyö tehtiin ajoneuvotekniikan alalle poikkeuksellisesti parityönä. Työssä käydään läpi heilahduksenvaimentimiin liittyvää teoriaa, suunnittelua ja säätämistä. Näiden pohjalta tutkitaan testilaitteen ominaisuuksia ja sen laajaa hyödyntämistä suunnittelussa laboratoriotyössä. Lisäksi laboratoriotyössä käytettävien henkilöauton heilahduksenvaimentimien kiinnikkeiden kehittämistä tutkitaan opinnäytetyössä yksityiskohtaisesti.

Työn tavoitteena on tehdä toimiva laboratoriotyö, jota voidaan käyttää valmistettujen kiinnikkeiden kanssa opetustilanteissa turvallisesti. Lisäksi saatetaan heilahduksenvaimentimien testilaitte toimintaan, jotta sen käyttökynnys pienentyisi ja laitetta voitaisiin hyödyntää esimerkiksi koulun aktiivisten kerhojen toiminnassa.

2 HEILAHDUKSENVAIMENNIN

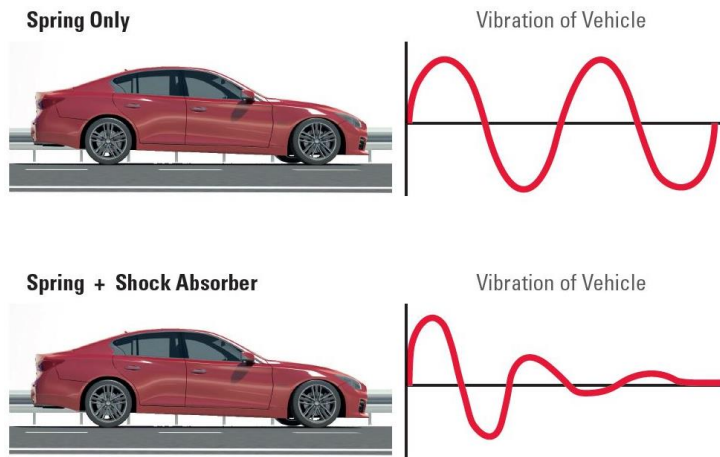
2.1 Yleistä

Heilahduksenvaimentimien tarkoituksena on vaimentaa ajoneuvon koriin ja pyöriin kohdistuvia värähtelyitä, jotka syntyvät tienpinnan epätasaisuuksista sekä vaihtelevista ajo-olosuhteista ja ajo-olosuhteista. Nämä autoon kohdistuvat heilahdukset voidaan kuvata auton pysty-, sivu- ja pitkittäisakselien suuntaisiksi heilahteluiksi tai kierroksi näiden akseleiden ympäri kuvan 1 osoittamalla tavalla. (Rantala & Sirola 2011, 180.)



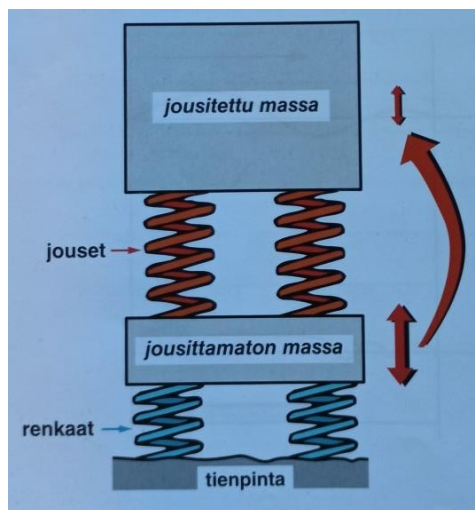
KUVA 1. Autoon kohdistuvat heilahtelut (Rantala & Sirola 2011, 180).

Heilahduksenvaimentimia käytetään yhdessä jousien kanssa. Heilahduksenvaimennin pyrkii vaimentamaan jousen edestakaista liikettä, jotta renkaan tiekosketus pysyy mahdollisimman hyvänä ajotilanteeseen nähden. Vaimentimen ja jousen lisäksi ajoneuvon jousitusjärjestelmään eli alustaan kuuluu muita komponentteja kuten kallistuksenvakaajia ja tukivarsia. Ilman vaimentimia ajoneuvon korin värähtely jatkuisi, kunnes auton korin ja jousien sisäinen kitka vaimentaisi sen. Tällöin toistuvat epätasaisuudet saattavat jopa voimistaa korin liikettä ja täten heikentää ajomukavuutta, liikenne- ja ajoturvallisuutta sekä renkaiden tiekosketusta. (Rantala & Sirola 2011, 179-180.)



KUVA 2. Vaimentimen vaikutus joustoliikkeeseen (KYB Shock Absorbers. 2017).

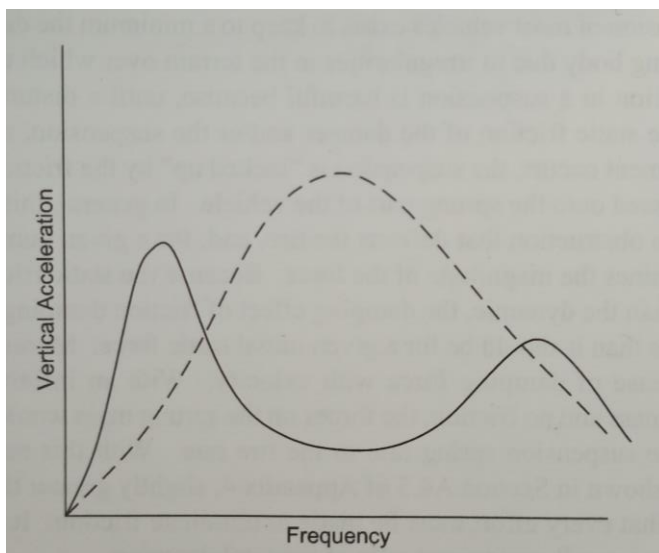
Ajoneuvon jousitusta kuvaa parhaiten kaksimassasysteemi, jossa jousitettu eli korin massa ja jousittamaton eli pyörän ja tukivarsiston massa on erotettu toisistaan. Auton jousitus koostuu kaksimassasysteemin vastaisesti paljon useammasta massasysteemistä, esimerkiksi kuljettajan massasta, mutta tarkastelun mielekkyyden kannalta riittää tutkia edellä mainittua systeemiä. Kaksimassasysteemi on havainnollistettu kuvassa 3. (Rantala & Sirola 2011, 179-180, 206.)



KUVA 3. Kaksimassasysteemi (Rantala & Sirola 2011, 180).

Kaksimassasysteemissä huomioidaan korin ja renkaan sekä renkaan ja tien väliset jousto- ja vaimennusjäykkyudet. Kaksimassasysteemissä syntyvät ominaistaajuudet korille ja pyörälle, joiden laskenta on esitetty luvussa 2.4. Ajomukavuuden säilyttämiseksi nämä taajuudet eivät saa osua ihmiskehon ominaistaajuuden alueelle, joka on noin 4-8 Hz. Korin ominaistaajuus osuu tavallisesti 1-

1,5 Hz:n ja pyörän ominaistajuus 9-14 Hz:n alueelle, riippuen jousituksesta. Kuvan 4 pystyakselilla on esitetty auton pystysuuntainen kiihtyvyys ja vaaka-akselilla taajuus ajoneuvon liikkuessa. Kuvassa on havainnollistettu jousitetun ajoneuvon ominaistajuuksia yhtenäisellä viivalla, jossa ensimmäinen piikki kuvaa jousitetun massan ominaistajuutta ja toinen piikki jousittamattoman massan ominaistajuutta. Vertailun vuoksi samaan kuvaan on piirretty katkoviivalla kuvaaja jousittamattomasta autosta, jolloin ominaistajuuden piikki osuu juuri ihmisen ominaistajuuden alueelle. Tämä koetaan epämukavuutena ja se saattaa aiheuttaa myös pahoinvointia. Siirryttäessä urheilullisempaan alustaratkaisuun, yhtenäisellä viivalla piirretyn kuvaajan piikit jousitetun ja joustamattoman ominaistajuuksien välillä tasoittuvat, eikä kuvaajassa ole havaittavissa enää voimakasta notkahdusta ominaistajuuksien välillä. (Bastow, Howard & Whitehead 2004, 166-168.)



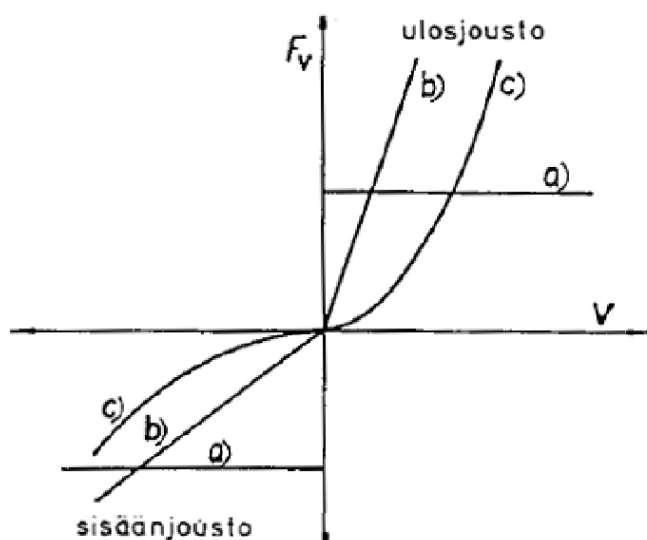
KUVA 4. Kaksimassasysteemin ja joustamattoman systeemin ominaistajuudet (Bastow ym. 2004, 166).

Heilahduksenvaimennin kiinnitetään auton tukivarsistoon ja koriin. Tukivarsiston ja pyörän eli kaksimassasysteemin jousittamattoman massan pienentäminen parantaa renkaan tiekosketusta ja täten ajoturvallisuutta. Jousittamaton ja jousitettu massa vaikuttavat siis ominaistajuuksiin, kuten luvussa 2.4 tullaan esittämään. Heilahduksenvaimentimien niin kuin koko jousituksen mitoitus onkin kompromissi matkustusmukavuuden ja ajoturvallisuuden väliltä. (Rantala & Sirola 2011, 180, 206.)

Erilaisia vaimennintyypppejä ovat jo nykyään harvinainen mekaaninen kitkaan perustuva vaimennin, sekä nykyaikaisempi hydraulinen vaimennin. Hydrauliset vaimentimet voidaan jakaa vielä kaasu- ja nestevaimentimiin, vaikka molemmissa ratkaisuissa vaimennukseen käytetään öljyä. Rakenteensa perusteella vaimentimet voidaan jakaa vipu- tai putkivaimentimiin, jotka ovat edelleen jaettavissa moniin erilaisiin vaimenninratkaisuihin. Erilaisilla vaimenninrakenteilla saavutetaan monipuolisia vaimennusominaisuuksia. Vaimentimiin voidaan myös asentaa ulkoisia painesäiliöitä ja jäähdyttimiä. (Bastow ym. 2004, 174-183.)

Vaimennin voi olla ominaisuuksiltaan joko yksitoiminen, jolloin se vaimentaa vain toiseen suuntaan liikkeessään eli yleensä ulosjouston aikana tai kaksitoiminen, jolloin vaimennin vaimentaa ulos- ja sisäänjoustoa (Dixon 2007, 11). Lähes poikkeuksetta vaimentimet ovat kaksitoimisia, jotta vältetään jousituksen pohjaamista. Puristusvaimennuksen tehtävänä on myös hallita auton liiallisia heilahteluja jarrutuksissa ja kaarteissa. Vaimentimen sanotaan olevan symmetrinen, jos se vaimentaa samalla voimalla puristus- ja paluuliikettä. Vaimentimet ovat kuitenkin normaaleissa henkilöautoissa yleensä epäsymmetrisiä eli paluuliikkeen vaimennus on suurempi kuin puristuksen. Tällöin vaimennin ei liiaksi jäykennä jousitusta eikä kannata jouselle tarkoitettua kuormaa, mutta estää jousituksen epätoivottua pohjaamista. (Bastow ym. 2004, 168-172.)

Erilaiset vaimennintyyppit käyttäytyvät eri tavoin. Vaimennin, joka on vaimennusvoimaltaan vakio, vastustaa liikettä aina samalla voimalla jouston nopeudesta riippumatta. Lineaarivaimentimessa vaimennusvoima on suoraan verrannollinen joustoliikkeen nopeuteen ja progressiivisessa vaimentimessa vaimennusvoima kasvaa eksponentiaalisesti joustoliikkeen nopeuden kasvaessa. Vaimentimen ollessa digressiivinen, vaimennusvoima pienenee jouston nopeuden kasvaessa. Kuvassa 5 on esitetty eri vaimentimien vaimennusvoiman kehittymistä vaimennusliikkeen nopeuden suhteen. Kuvassa vaimennin a on vaimennusvoimaltaan vakio, b kuvaa lineaarivaimenninta ja c progressiivista vaimenninta. (Peltonen 2017, Jousitus.)



KUVA 5. Vaimennusliikkeen nopeuden vaikutus vaimennusvoimaan (Peltonen 2017, Jousitus).

2.2 Materiaalit ja valmistus

Heilahduksenvaimentimien materiaalivalinnoissa ja valmistuksessa otetaan vahvasti huomioon vaimentimen käyttötarkoitus. Tavallisten tuotantoautojen vaimentimet valmistetaan massatuotantona, jolloin valmistusprosessit automatisoidaan ja käytetään kustannustehokkaita materiaaleja, joiden avulla saadaan riittävät ominaisuudet liikennekäyttöön. Kilpakäyttöön suunnitelluissa vaimentimissa käytetään korkeampilaatuisia materiaaleja ja valmistusmenetelmiä parempien kestävyysominaisuuksien tavoittelemiseksi, jolloin vaimentimien hinta nousee korkeaksi. (Dixon 2007, 53-54.)

Iskunvaimentimien putket valmistetaan pääasiallisesti koneistamalla ja hitsaamalla. Hintaluokan noustessa putket voidaan myös puristaa, jolloin hitsausta ei tarvita. Koneistamalla valmistetuissa sylintereissä tarvitaan erityisen tarkkoja pinnanlaatuja, koska vaimentimien osat liukuvat jatkuvasti toisiaan vasten. Valmistamiseen käytetään yleisimpiä metalleja kuten terästä, alumiinia, messinkiä, kuparia ja niiden erilaisia seoksia. Esimerkiksi moottoripyörien ja polkupyörien vaimentimet ovat valmistettu poikkeuksetta alumiinista, kun taas henkilö- ja kuorma-autojen vaimentimet on valmistettu teräksestä. (Dixon 2007, 53-54.)

Vaimentimien rungoissa ja männänvarsissa käytetään erityisen kovia ja korroosionkestäviä materiaaleja, kuten lujaa hiiliterästä, koska vaimentimien sisäiset paineet kasvavat hetkellisesti käytössä erittäin suureksi ja osien tulee kestää jatkuvaa kuormitusta, lämpenemistä ja korroosiota ilman muodonmuutosta tai hajoamista. Männänvarren kovakromauksella saavutetaan edellä mainittujen ominaisuuksien lisäksi korkealaatuinen pintakäsittely, joka parantaa varsitiivisteiden käyttöikä. (Dixon 2007, 53-54.)

Vaimentimien männät valmistetaan takomalla tai sintraamalla. Kilpavaimentimien männät puolestaan alumiinista sorvaamalla. Mäntä tiivistetään vaimentimen sylinteriputkeen männänrenkaiden avulla, jotka valmistetaan teräksestä, kumista tai kovista muoveista kuten nailonista. (Dixon 2007, 53-54.) Männän läpi kulkevaa nestevirtaa säätelevät säätölevyt valmistetaan teräksestä hiomalla, jolloin saavutetaan erittäin korkea mittatarkkuus, mikä on säätölevyjen käyttötarkoituksessa välttämätöntä (Strip steel for shock absorber shims 2020).

Vaimentimen osien ollessa valmiit alkaa vaimentimen kokoonpano rakenteen mahdollistamalla tavalla. Kokoonpanon jälkeen heilahduksenvaimennin viimeistellään ulkoisesti ja tehdään mahdollinen testiajo, josta kerrotaan lisää luvussa 5. (Dixon 2007, 53-54.)

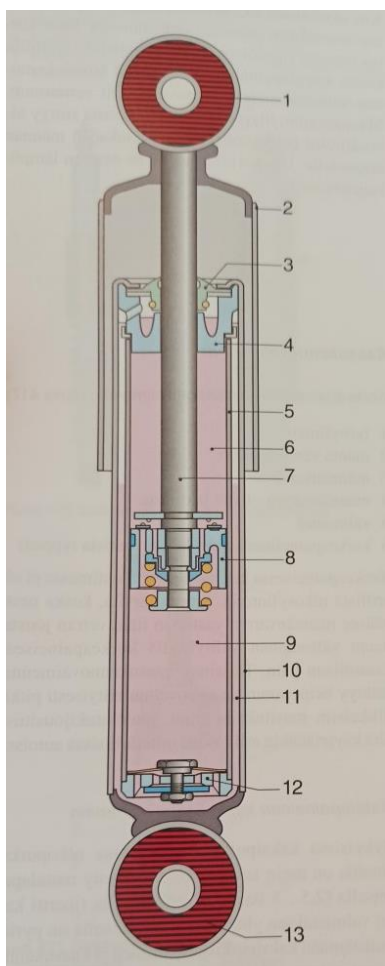
2.3 Teleskooppivaimentimet

Nykyaikaiset vaimentimet ovat rakenteeltaan lähes poikkeuksetta teleskooppivaimentimia, jotka koostuvat sylinteriputkesta ja männänvarren avulla liikkuvasta männästä. Männänvarsi on yleensä tuotu sylinterin yläkannen läpi ja se on kiinnitetty koriin eli jousitettuun massaun. Teleskooppivaimentimen sylinteriosuus on tavallisesti kiinnitettynä jousittamattomaan massaun. (Bastow ym. 2004, 176-177.) Tällainen rakenne voi olla myös käännettynä, jolloin saavutetaan merkittävästi paremmat ominaisuudet kaikilla vaimentimen osa-alueilla hinnan kustannuksella. Lähes poikkeuksetta kaikki moottoriurheilussa käytetyt vaimentimet ovat rakenteeltaan tällaisia. (Bilstein 2013.)

Teleskooppivaimentimen sylinteriosuus on täytetty vaimenninöljyllä, jonka vuoksi puhutaan hydraulisista vaimentimista (Bastow ym. 2004, 177). Vaimentimessa olevan öljyn tulee kestää lämpötilan muutoksia ilman suuria viskositeetin muutoksia, jotta vaimentimen toiminta pysyy koko ajan suunnitellulla tasolla. Tästä syystä vaimentimen öljyn tulee olla laadukasta, sillä esimerkiksi pohjoismaissa lämpötilaerot ovat suuria ja vaimentimen toimiessa öljyn lämpötila saattaa nousta korkeaksi. (Alusta ja iskunvaimennus.) Pitkään käytössä ollessaan vaimenninöljy imee itseensä vettä ilmasta, joka heikentää öljyn viskositeettia alentaen samalla kiehumispistettä. Männässä olevat venttiilit avautuvat paineen alla, jolloin neste virtaa männän läpi ja mäntä pääsee liikkumaan sylinterissä. Venttiileiden ja niitä säätelevien joustien avulla pystytään siis vaikuttamaan vaimentimen ominaisuuksiin. (Bastow ym. 2004, 177.)

2.3.1 Kaksiputkivaimennin

Kaksiputkivaimentimen rakenne koostuu kahdesta eri halkaisijalla olevasta putkesta. Sisäputki toimii sylinteriputkena vaimentimessa liikkuvalla männällä, ulkoputken ollessa nestevarastona. Pohjaventtiili erottaa sisä- ja ulkoputken toisistaan. Männän varren tiivistys ja suojaputki suojaavat nestevuodoilta ja ulkoisilta iskuilta. Kaksiputkivaimentimen nestetila täytetään hieman vajaaksi vaimenninöljyllä. (Nieminen 1984, 211.) Kaksiputkivaimentimen ilmatila voi olla täytetty ilman sijaan myös matalapaineisella kaasulla, yleensä työllä, jonka paine on noin 2,5-5 baaria. Tällöin puhutaan matalapaineisesta kaasukennovaimentimesta. (Rantala & Sirola 2011, 208.)



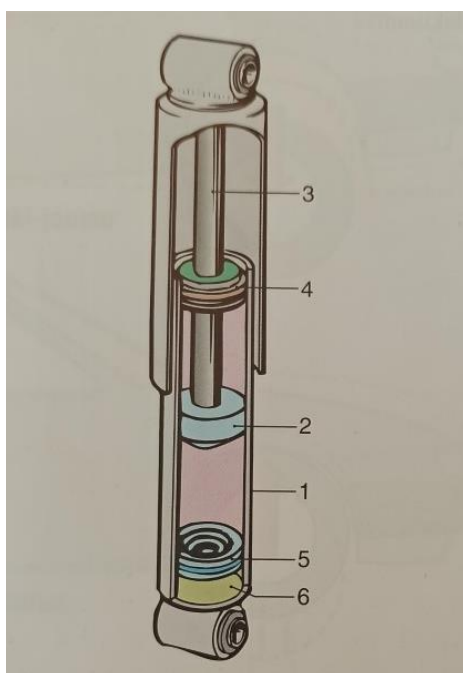
KUVA 6. Kaksiputkivaihtimen rakenne (Rantala & Sirola 2011, 207).

Kaksiputkivaihtimen toiminta perustuu männän liikkeen aiheuttamaan nestevirtaukseen männän läpi sekä vaihtimen sisä- ja ulkoputken välillä. Männässä ja putkien välillä olevat venttiilit ohjaavat nesteen virtausta niin että puristuksessa neste siirtyy männän alapuolelta mäntäventtiileiden kautta männän yläpuolelle. Männän yläpuolinen tilavuus on männän varren takia pienempi kuin alapuolinen osuus, joten puristuksessa nestevirtausta tapahtuu myös pohjaventtiin kautta sisäputkesta ulkoputkeen. Paluuvaimennuksen aikana männän liikkua takaisin ylöspäin neste virtaa männän paluuvaimennusventtiileiden kautta takaisin männän alapuolelle. Samaan aikaan öljy virtaa ulkoputkesta pohjaventtiin kautta takaisin sisäputkeen. (Rantala & Sirola. 2011, 208.) Käytännössä siis mäntäventtiilit ja pohjaventtiilit vaihtavat sekä puristusta että paluujoustoa. Kaksiputkivaihtimen kaksi erillistä venttiilikokoonpanoa mahdollistavat venttiilien suunnittelulle laajuutta, jota hyödynnetään vaihtimen ominaisuuksien toteuttamisessa. (Bastow ym. 2004, 179-180.)

Öljyn virtaus muuttuu vaimennuksessa nesteen lämpöenergiaksi. Vaimentimen puristuksessa öljy siirtyy ulkoputkeen, jossa ilmavirta toimii jäähdytyksenä. Vaimentimen nestetäyttö tulee olla oikea, jotta öljyn yläpuolella oleva kaasu ei paineistu liikaa ja näin ollen aiheuta vaimentimen liiallista lämpenemistä. Paineistetun kaasun tehtävänä on vähentää öljyn kavitaatiota ja ilmastusta. (Bastow ym. 2004, 179-180.)

2.3.2 Yksiputkivaimennin

Yksiputkivaimennin koostuu vain yhdestä putkesta, joka toimii sylinteriputkena sisällä liikkuvalla männällä ja mäntäventtiileille. Männänvarren varsitiivisteet ja suojaputki ovat kuten kaksiputkirakenteisessa vaimentimessa. Yksiputkivaimentimen sylinteriosan pohjassa on kaasutila, joka on erotettu nesteestä joko kuristuslevyn tai erotusmännän avulla. (Nieminen 1984, 212.) Kaasutilan paine on noin 25 baaria, jolloin puhutaan korkeapaineisista kaasukennovaimentimista. Kaasuna käytetään tavallisesti typpeä. Kuvassa 7 on esitetty yksiputkivaimentimen rakenne, jonka osat ovat numerojärjestyksessä: työsylinteri, mäntä venttiilikokoonpanoineen, männänvarsi, männänvarren ohjain sekä tiiviste, välimäntä ja kaasutila. (Rantala & Sirola 2011, 208).



KUVA 7. Yksiputkivaimentimen rakenne (Rantala & Sirola 2011, 208).

Yksiputkivaimentimissa vaimennusvoima saadaan aikaan mäntäventtiileiden avulla. Männässä tulee olla sekä puristus että paluuventtiilit, jotta mäntä voi liikua ja vaimennusta voidaan ohjata molempiin suuntiin. (Bastow ym. 2004, 177-179.) Paineistetun kaasun tehtävänä on tasapainottaa männän varren liikkeestä ja nesteen lämpenemistä aiheutuvia tilavuuden muutoksia vaimentimessa. Paineistettu kaasu aiheuttaa myös öljyn paineistumisen, joka vähentää öljyn kavi-taatiota. (Alusta ja iskunvaimennus.) Kaasutila korvaa siis kaksiputkivaimenti-men ulkoputken. Puristuksen aikana neste työntää välimäntää kohti kaasutilaa, jolloin kaasu puristuu kasaan männän varren tilavuuden verran. Ulosjouston ai-kana öljytilavuus taas pienenee eli kaasutila mukailee vaimentimen öljytilan muutoksia pitäen vaimentimen toiminnan oikeanlaisena. (Rantala & Sirola 2011, 208.)

Kuristuslevyllä varustetussa yksiputkivaimentimessa kaasu ja öljy pääsevät sa-maan tilaan ja näin ollen vaimennin tulee asentaa männän varsi alaspäin. Ero-tusmännällä varustetussa vaimentimessa kaasu ja neste ovat erillään toisis-taan, joten vaimennin toimii kaikissa asennoissa. (Bastow ym. 2004, 177-179.)

Kaksiputkivaimennin on rakenteensa vuoksi lyhyempi kuin yksiputkivaimennin, joten se voidaan sijoittaa pienempään tilaan. Erotusmännällä varustettu yksiput-kivaimennin voidaan kuitenkin sijoittaa ylösalaisin, jolloin saadaan parempi kes-tävyys sivuvoimia vastaan. Yksiputkivaimentimen rakenne mahdollistaa myös suuremman männän halkaisijan ja öljytilavuuden, joilla saavutetaan hallitumpi vaimennus. Säädettävyys on kuitenkin kaksiputkivaimentimissa helpommin to-teutettavissa useamman venttiilikoneiston takia. Lisäksi yksiputkivaimennin jäähtyy tehokkaammin, koska koko työsylinteri on yhteydessä ulkotilaan. (Bas-tow ym. 2004, 177-179.)

2.3.3 Joustintuki

Joustintuki on nykyautoissa todella yleinen etu- ja takajousituksissa käytetty rat-kaisu, joka toimii osana pyöränripustusta. Joustintuki yhdessä alatukivarren kanssa ohjaa pyörän joustoliikettä ja etuakselilla se toimii pyörien kääntöakse-lina. Joustintuessa vaimennin ja jousi ovat samassa paketissa, jonka ansiosta

joustintuen vaatima tilan tarve on muihin tuentaratkaisuihin verrattuna pienempi. (Bastow ym. 2004, 181-183.)

Joustintuen rakenne koostuu vaimentimesta, joka voi olla joko yksi- tai kaksiputkivaimennin. Vaimentimen lisäksi joustintuessa on jousilautanen kierrejousen alaosalle ja yläkiinnityslevy, johon kiinnitetään männänvarren yläosa. Jousen yläosa painuu yläkiinnityslevyssä olevaa jousiuraa vasten. Auton koriin kiinnitettävä yläkiinnityslevy sisältää myös tukilaakerin, joka mahdollistaa kiertoliikkeen, koska joustintuen alapää kääntyy olka-akselin mukana käännettäessä sekä joustoliikkeen aikana. Toimintansa takia joustintuen rakenteen tulee olla kestävä, että mäntä, männänvarsi ja varren tiiviste kestävät vaimenninratkaisuun kohdistuvat väännöt. (Rantala & Sirola 2011, 212-217.)



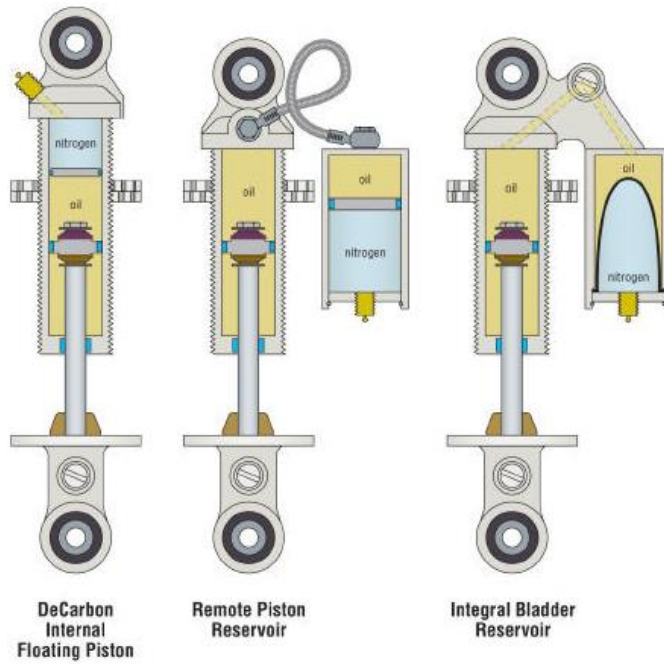
KUVA 8. Joustintuki vaimennintestilaitteessa.

2.3.4 Lisäsäiliölliset heilahduksenvaimentimet

Sekä yksi- että kaksiputkivaimentimet voivat olla lisäsäiliöllisiä. Lisäsäiliö voi olla kiinnitettynä kiinteästi vaimentimen runkoon, jolloin puhutaan piggybag-vaimentimesta. Toinen tapa lisäsäiliön yhdistämisestä vaimentimen runkoon on letkun avulla. (Alusta ja iskunvaimennus.)

Lisäsäiliön avulla kasvatetaan vaimentimen öljy- ja kaasutilavuutta, joka edesauttaa vaimentimen lämmönhallintaa ja täten vaimennin toimii koko ajan suunnitellulla tavalla. Lisäksi vaimentimen ulkopinta-ala kasvaa eli lämpö pääsee vaimentimesta ulkoilmaan paremmin, sekä lisäsäiliö voidaan sijoittaa letkuliitännän avulla paremmin jäähdyttävään paikkaan. Lisäsäiliö mahdollistaa vaimentimen lisääntyvät säätömahdollisuudet, sillä öljyn virtausta pystytään säätämään lisäsäiliön ja vaimentimen rungon välillä. (Alusta ja iskunvaimennus.)

Lisäsäiliöllinen yksiputkivaimennin ei muutu toiminnaltaan normaaliin yksiputkivaimentimeen verrattuna. Ainoastaan vaimentimen kaasutila on sijoitettuna lisäsäiliöön, jolloin vaimentimen runko voidaan tehdä pienemmäksi eli saadaan tilansäästöä. Kaksiputkivaimennin lisäsäiliöllä toimii lähes yksiputkivaimentimen tapaan. Tavallisen kaksiputkivaimentimen ulkoputkessa oleva kaasu on sijoitettuna lisäsäiliöllisissä kaksiputkivaimentimissa lisäsäiliöön. Kaasu on erotettu öljystä erotinmännällä eli rakenne on kelluva. (Alusta ja iskunvaimennus.)



KUVA 9. Tavallinen ja lisäsäiliöllinen yksiputkivaimennin (Clemens 2015).

2.4 Heilahduksenvaimentimen mitoitus

Vaimentimien mitoitukseksi tulee tietää vaimentimen käyttökohde ja halutut ominaistajuudet, jotka esitettiin luvussa 2.1. Kaksimassasysteemissä syntyvät ominaistajuudet lasketaan korille kaavaa 1 ja pyörälle kaavaa 2 käyttäen.

$$f_1 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{c_1}{m_1}} \quad (1)$$

$$f_2 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{c_1 + c_2}{m_2}} \quad (2)$$

Ominaistajuuksien laskemiseksi täytyy selvittää jousen joustojäykkyys c_1 ja jousitettu massa m_1 sekä renkaan joustojäykkyys c_2 ja jousittamaton massa m_2 . (Bastow ym. 2004, 363-364.) Pyörän joustojäykkyyden oletetaan olevan noin 10-kertainen auton jousitukseen verrattuna. Pyörän joustojäykkyys c_2 lasketaan kaavalla

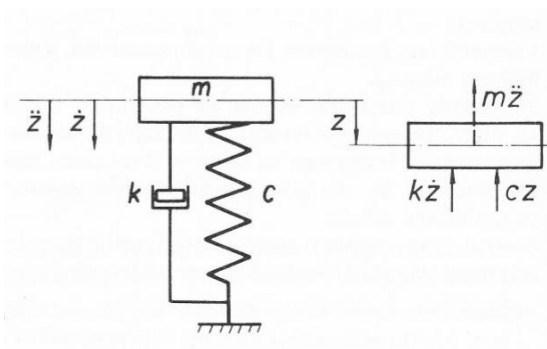
$$c_2 = \frac{m_r g}{\frac{D_u}{2} - R}, \quad (3)$$

jossa m_r on renkaalle kohdistuva massa, g on gravitaatiovakio, D_u on renkaan ulkohalkaisija ja R on renkaan vierintäsäde. Lineaarisen kierrejousen joustojäykkyys c_1 lasketaan kaavalla

$$c_1 = \frac{G d^4}{8 D_j^3 i_{teh}}, \quad (4)$$

jossa G on jousen materiaalin liukumoduuli, d on jousilangan paksuus, D_j on jousen halkaisija jousilangan keskeltä keskelle ja i_{teh} on jousen tehollinen kierteiden lukumäärä eli jousen kierrelukumäärästä on vähennetty 1,5 kierrosta. Joustojäykkyys lasketaan erimallisille jousille eri tavoin, joten lauseketta (4) ei voi soveltaa esimerkiksi progressiivisille jousille, joiden joustojäykkyys muuttuu kuormituksen mukaan. (Peltonen 2017, Jousitus.)

Vaimentimen mitoituksessa tutkitaan vaimentimen ja jousen vaikutusta jousitettuun massaun (KUVA 10). Systemi on tasapainotilassa, jos siihen ei vaikuta mitään ulkopuolinen voima. Ulkopuolinen heräte saa systeemin liikkeelle, jolloin vaimennettuun massaun vaikuttavat vaimentimen ja jousen liikettä vastustavat voimat. Lisäksi vaimennettu massa saa kiihtyvyyden. (Dixon 2007, 63-65)



KUVA 10. Jousitettuun massaun vaikuttavat voimat tasapainoaseman järkyttyä (Peltonen 2017, Jousitus.)

Tutkimusasetelmasta voidaan muodostaa toisen asteen differentiaaliyhtälö kaavan (5) mukaan mikäli tutkitaan kaksitoimista lineaarivaimenninta. Sisäänjouston

aikana vaimentimen ja jousen muodostamien voimien suunta on eri kuin jousitetun massan kiihtyvyys.

$$mz'' + kz' + cz = 0 \quad (5)$$

Kaavassa (5) ja kuvassa (10) m on jousitettu massa, k on vaimentimen vaimennuskerroin, c on jousen jousijäykkyys ja z on jousen liikematka. Merkitsemällä ajansuhteen derivointia merkillä λ , saadaan differentiaaliyhtälö muotoon

$$\lambda^2 z + \frac{k}{m} \lambda z + \frac{c}{m} z = 0. \quad (6)$$

Yhtälö voidaan nyt jakaa z :lla ja näin saadaan differentiaaliyhtälön karakteristinen yhtälö, joka ratkaistaan toisen asteen yhtälön ratkaisukaavaa käyttämällä

$$\lambda = -\frac{k}{2m} \pm \sqrt{\left(\frac{k}{2m}\right)^2 - \frac{c}{m}}. \quad (7)$$

Ratkaisu voidaan ilmoittaa vaihtoehtoisesti kulmataajuuden avulla

$$\lambda = \alpha \pm \sqrt{\alpha^2 - \omega_N^2}. \quad (8)$$

Kaksi eri ratkaisua sisältävän homogeenisen toisen asteen differentiaaliyhtälön täydellinen ratkaisu on kuitenkin muotoa

$$z = C_1 e^{\lambda_1 x} + C_2 e^{\lambda_2 x}, \quad (9)$$

jossa C_1 ja C_2 ovat integrointivakioita. (Dixon 2007, 63-65.) Lauseiden (7) ja (8) avulla voidaan ilmoittaa seuraavat termit. Vaimentimen aikavaimennuskerroin δ kuvaa miten vaimennin vaikuttaa heilahtelun ominaistaajuuteen ja se lasketaan kaavalla

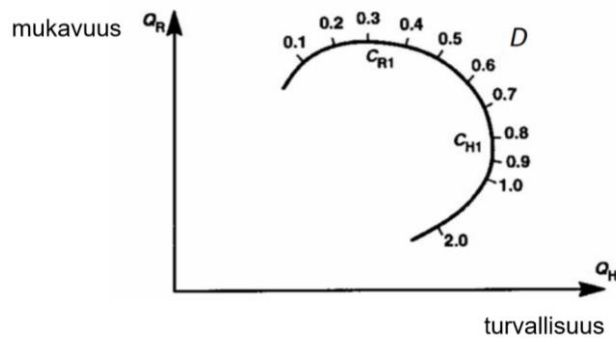
$$\delta = \frac{k}{2m}, \quad (10)$$

jossa k on vaimentimen vaimennuskerroin ja m vaimennettu massa. Vaimennettun liikkeen kulmataajuuden laskemiseksi on kaava

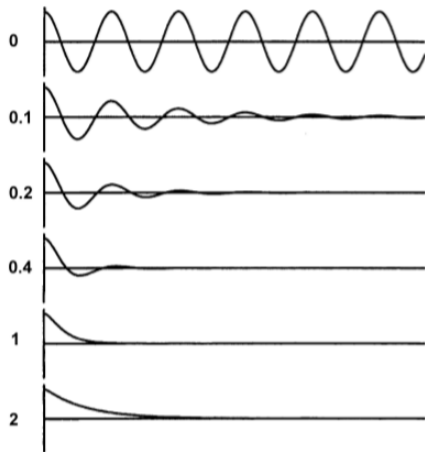
$$v = \sqrt{\omega_0^2 - \delta^2}, \quad (11)$$

missä ω_0 on vaimentamattoman massan ominaiskulmataajuus. Suhteellinen vaimennusvakio D saadaan lausekkeen (12) avulla ja se kuvaa joustoliikkeen palautumista tasapainoasemaan. Vaimennusvakion vaikutusta ajoturvallisuuteen ja matkustusmukavuuteen on havainnollistettu kuvassa 11. Kuvasta 12 nähdään, että vaimennusvakion arvolla 0 vaimennusta ei tapahdu ja vaimennusvakion arvolla 1 vaimennus tapahtuu ilman värähtelyä eli puhutaan kriittisestä vaimennuksesta. Liikennekäytössä vaimennusvakio on noin 0,2-0,4, mutta kilpakäytössä käytetään suurempaa vaimennusvakiota. (Dixon 2007, 63-66.)

$$D = -\frac{\delta}{\omega_0}. \quad (12)$$



KUVA 11. Vaimennusvakion vaikutus matkustusmukavuuden ja ajoturvallisuuden välillä (Peltonen 2017, Jousitus).



KUVA 12. Vaimennusvakion vaikutus joustoliikkeeseen. (Dixon 2007, 64).

Edellä esitettyjen perusteella vaimentamattoman ja vaimennetun heilahtelun ominaiskulmataajuuksien suhde voidaan selvittää lauseella

$$\frac{v}{\omega_0} = \frac{\sqrt{\omega_0^2 - \delta^2}}{\omega_0} = \sqrt{1 - D^2}. \quad (13)$$

(Dixon 2007, 66.) Näiden lausekkeiden avulla pystytään määrittämään vaimennuskerroin, jonka avulla tiedetään, miten vaimennin käyttäytyy joustoliikkeen nopeuden suhteen. Suuri vaimennuskerroin tarkoittaa siis jäykkää vaimenninta. Vaimentimen vaimennuskerroin k lasketaan jousijäykkyyden c , pyörän massan m ja suhteellisen vaimennusvakion D avulla.

$$k = 2 \cdot \sqrt{c \cdot m} \cdot D \quad (14)$$

tai vaihtoehtoisesti

$$k = 4 \cdot \pi \cdot D \cdot f_0 \cdot m, \quad (15)$$

jossa f_0 on vaimentamattoman massan taajuus. (Peltonen 2017, Jousitus.)

Vaimentimen tuottama vaimennusvoima F lasketaan vaimennuskertoimen k ja vaimentimen männän nopeuden v avulla

$$F = k \cdot v^n, \quad (16)$$

jossa: $n = 1$, lineaarivaimennin
 $n > 1$, progressiivinen vaimennin
 $n < 1$, digressiivinen vaimennin.

Vaimentimen ja jousen asennuskulma vaikuttavat siihen, miten ne käyttäytyvät joustoliikkeen aikana, joten vaimentimen vino asennus täytyy ottaa huomioon vaimentimen mitoituksessa. Tien pinnasta aiheutuva voima ei kohdistu vaimentimen suuntaisesti, jolloin vinoon asennettuun vaimentimeen vaikuttaa vain vaimentimen suuntainen voimakomponentti. (Peltonen 2017, Jousitus.)

Lineaarisisessa vaimentimessa syntyvä vaimennusvoima voidaan laskea kaavalla (17), jossa l on männän paksuus, d männässä olevien reikien halkaisija, z männässä olevien reikien lukumäärä, D vaimenninputken sisähalkaisija ja μ_v dynaaminen viskositeetti.

$$F \approx \frac{8\pi l \mu_v}{z} \left(\frac{D}{d}\right)^4, \quad (17)$$

Progressiivisen vaimentimen kohdalla, kun $n = 2$, vaimennusvoiman muodostuminen voidaan selvittää kaavaa (18) käyttäen. Kaavassa A on männän pinta-ala, A' männässä olevien reikien kokonaispinta-ala, ρ on nesteen tiheys ja ζ reikien virtauskerroin.

$$F \approx A \frac{\rho}{2g} v^2 \left[\left(\frac{A}{A'}\right)^2 (1 - \zeta) - 2 \frac{A}{A'} + 1 \right] = k \cdot v^2. \quad (18)$$

Huomataan, että vaimentimen tuottama vaimennusvoima on lausekkeen (16) mukainen. (Peltonen 2017, Jousitus.)

3 HEILAHDUKSENVAIMENTIMIEN SÄÄTÄMINEN

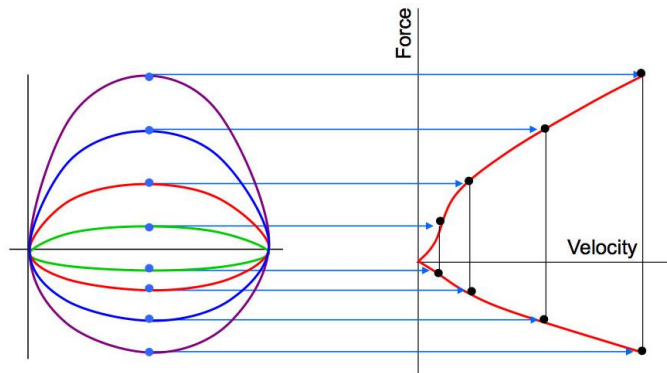
Vaimentimen tehtävänä yhdessä jousten kanssa on säilyttää mahdollisimman hyvä renkaan ja tien välinen kosketus. Vaimentimien on siis toimittava mahdollisimman hyvin sekä sisään että ulosjouston aikana, jotta renkaan tiekosketus säilyy. Jousen jäykkyyden ja vaimentimen vaimennusvoiman tulee olla toisiinsa nähden sopivassa suhteessa, jotta haluttu toiminta saavutetaan. Huono jousi-vaimenninyhdistelmä vaikuttaa merkittävästi ajoneuvon käyttäytymiseen. (Alusta ja iskunvaimennus.)

Henkilöautoissa käytettävien vaimentimien huoltaminen rajoittuu käytännössä ennaltaehkäisevään ulkopuoliseen pesemiseen. Vaimentimien sisäiset vuodot tai männän varren tiivisteiden vuotaminen aiheuttavat vaimennusvoiman heikkenemisen. Henkilöautojen vaimentimien kohtuullisen hinnan ansiosta ne ajetaan usein loppuun ja vaihdetaan uusiin. (Nieminen 1984.)

Vaimentimien käyttötarkoituksen muuttuessa myös niiden sisäinen rakenne muuttuu. Vaimentimien sisäinen säädettävyys toteutetaan purettavalla rakenteella, jolloin myös vaimentimien huoltaminen on mahdollista. Tällaiset vaimentimia käytetään muun muassa kilpakäytössä. (Alusta ja iskunvaimennus.)

Vaimentimien toiminnasta ja säätämisestä puhuttaessa törmää väistämättä termeihin shock compression ja shock rebound sekä high speed- ja low speed-vaimennuksiin. Säätämisen onnistumisen kannalta on välttämätöntä tuntea mitä edellä mainitut termit tarkoittavat ja mitä vaikutuksia niiden säätämisellä on ajoneuvon käyttäytymiseen. Low speed-vaimennusta tarvitaan auton tavallisissa ajotilanteissa kuten kaarrejaissa, kiihdytyksissä ja jarrutuksissa, jolloin vaimentimen liike on hidasta ja pitkäkestoista. Vastaavasti high speed-vaimennus korostuu nopeissa joustoliikkeissä, joita syntyy muun muassa tien epätasaisuuksista ja pinnanvaihteluista. Ajonopeudella on vaikutus vaimentimen toimintaan eli kuinka nopea vaimentimeen kohdistuva voima on ja kuinka nopeasti seuraava vaimentimeen kohdistuva voima saavutetaan. Tämä tulee huomioida hitaan ja nopean vaimennuksen säädöissä. (Alusta ja iskunvaimennus.)

Vaimenninta säädettäessä tutkitaan voiman vaikutusta vaimentimen kokoonpuristumiseen ja nopeuden vaikutusta muodostuvaan voimaan. Näiden kuvaajien avulla voidaan tehdä havaintoja vaimentimen toiminnasta ja tarkastella säätöjen vaikutuksia. Vaimentimen toimintaa havainnollistava nopeus-voima-käyrä luodaan testaamalla vaimenninta eri nopeuksilla ja yhdistämällä voiman huippuarvot samaan kuvaajaan. (Extremeshocks, Tech lab – Episode 3.)



KUVA 13. Vaimentimen voima-nopeus-kuvaajan luominen (Extremeshocks, Tech lab – Episode 3).

3.1 Passiiviset säädöt

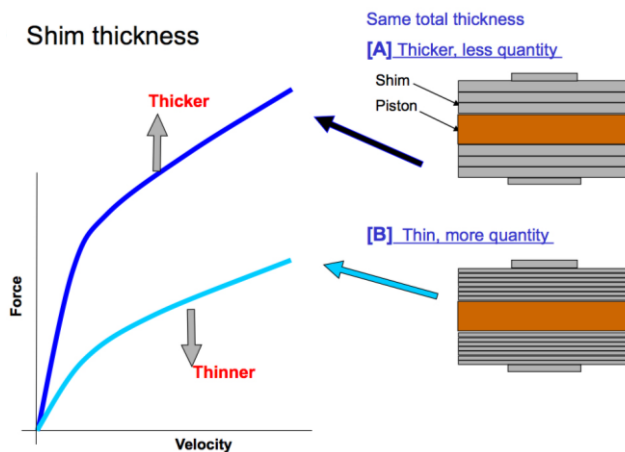
Passiiviset säädöt ovat heilahduksenvaimentimen säätöjä, joihin ei kohdistu minikäänlaista automatiikkaa. Passiiviset säädöt jaetaan sisäisiin ja ulkoisiin säätöihin sen perusteella, vaatiiko vaimentimen ominaisuuksien muuttaminen vaimentimen purkamista vai voidaanko säätäminen tehdä vaimentimen ulkoisten säätömekanismien avulla. (Dixon 2007, 289-301.)

3.1.1 Sisäiset säädöt

Luvussa 2 esitetyt vaimenninrakenteet havainnollistavat hyvin vaimentimien toimintaa. Vaimentimen sisäisiä osia muuttamalla tai lisäämällä voidaan vaikuttaa vaimentimen toimintaan halutulla tavalla. Tällöin puhutaan vaimentimen sisäisistä säädöistä.

Vaimentimien toimintaan oleellisesti vaikuttavia osia ovat vaimentimen mäntä ja siinä olevat reiät sekä nesteen virtausta reikien läpi ohjaavat venttiilin levyt eli säätölevyt. Säätölevyjen paksuus, lukumäärä, halkaisija ja järjestys vaikuttavat nesteen virtaukseen männän venttiileiden läpi ja täten vaimentimen toimintaan. Säätölevyjä on vaimentimen toiminnan takia männän molemmilla puolilla, jonka ansiosta sisään- ja ulosjousto voidaan säätää eri tavoin. Männän venttiileillä ja niitä ohjaavien säätölevyjen avulla siis säädetään vaimentimessa liikkuvan öljyn virtausta ja virtaussuuntaa. (Dixon 2007, 290-295.)

Saman kokoisten ja paksuisten säätölevyjen määrää lisäämällä saadaan kasvatettua vaimentimen liikenopeuteen tarvittavaa voimaa eli jäykennettyä vaimentiminta. Ohuempien säätölevyjen käyttäminen saa vaimentimen löysemmäksi, vaikka niitä olisi kappalemäärältään enemmän kuin paksuja säätölevyjä. Tätä on havainnollistettu kuvassa 14. (Extremeshocks, Tech lab – Episode 4.)

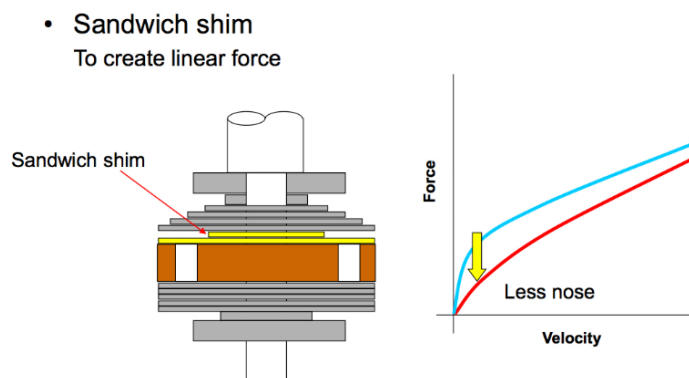


KUVA 14. Säätölevyjen paksuuden vaikutus vaimentimen käyttäytymiseen. (Extremeshocks, Tech lab – Episode 4.)

Tutkittaessa venttiililevyjen halkaisijan ja pinoamisjärjestyksen muutoksia voidaan tehdä seuraavat havainnot. Suora säätölevypakka eli halkaisijaltaan saman kokoisten säätölevyjen pino tekee vaimentimesta digressiivisen eli liikenopeuteen tarvittavan voiman kasvu hidastuu vaimentimen suurilla nopeuksilla, kuten kuvasta 14 nähdään. Pinottaessa eri halkaisijaltaan olevia säätölevyjä päällekkäin niin, että suurin säätölevy on lähimpänä mäntää ja seuraavat ovat aina edellistä pienempiä, saadaan vaimentimen digressiivisyyttä lineaarisempaan suun-

taan. Kun mäntää lähinnä olevasta säätölevystä seuraavat levyt ovat huomattavasti edellistä pienempiä vaimennin käyttäytyy lähes lineaarisesti. (Extremeshocks, Tech lab – Episode 4.)

Säätölevypakan päällä olevan ylälevyn koko vaikuttaa vaimenninkäyrän muotoon. Käytettäessä halkaisijaltaan suurta ylälevyä, muiden säätölevyjen aukeamiseen tarvitaan enemmän voimaa, joten vaimennin jäykistyy. Lisäksi eri paksuisia säätölevyjä käyttämällä saadaan levypakkaan muun muassa esijännitystä. Käytettäessä ulkoreunalla paksua säätölevyä ohuempien säätölevyjen välissä paksumman levyn yläpuolella olevat säätölevyt ovat jo hieman taipuneena, joten niiden lisätaipumiseen tarvitaan enemmän voimaa, joka huomataan vaimentimen esijännityksen kasvuna. Tällöin vaimenninkuvaajassa on havaittavissa selkeä taitekohta. Vaihtoehtoisesti pieni halkaisijainen säätölevy muiden levyjen välissä saa vaimenninkuvaajan lineaarisempaan suuntaan kuvan 15 mukaisesti, koska virtaussuunnassa ensimmäiset levyt pääsevät taipumaan vapaammin. (Extremeshocks, Tech lab – Episode 4.)



KUVA 15. Pieni halkaisijaisen säätölevyn vaikutus (Extremeshocks, Tech lab – Episode 4).

Vaimentimen männässä olevien virtausaukkojen koolla lukumäärällä ja muotoilulla on vaikutus muodostuvaan vaimenninvoimaan. Männässä voi olla myös bleed-kanaviksi kutsuttavia ohivirtausreikiä, joiden kautta öljy pääsee virtaamaan vapaammin. Bleed-kanavat voidaan varustaa suuntaventtiileillä, jolloin niiden vaikutus saadaan vain haluttuun suuntaan. Lisäksi männän muotoilulla on vaikutusta virtauksiin eli mäntä voi olla ylä- ja alapinnoiltaan joko täysin tasainen tai

esimerkiksi reunoiltaan hieman nostettu, joka vaikuttaa säätölevyjen taipumiseen. Yhdistelemällä männän ja säätölevyjen tuomia ominaisuuksia voidaan vaimentimesta saada joko lineaarinen, digressiivinen tai progressiivinen. (Banner 2016).



KUVA 16. Vaimentimen mäntä (Tune Your Suspension 2017).

Seuraavissa vaimenninesimerkeissä on käytetty tasapintaisia mäntiä. Digressiivisen vaimennuskäyrän luomiseksi levypakassa käytetään paksua säätölevyä, jonka avulla saadaan luotua esijännitystä. Vaimentimen voima-nopeus-käyrä kasvaa siis alkuun nopeasti ja esijännityksen voitettuaan öljy pääsee liikkumaan vapaammin vaimentimessa. Digressiivisyyden luomiseksi mäntään voidaan tehdä myös pienet bleed-kanavat, joiden kautta öljy voi kulkea vapaammin. (Accutuneoffroad 2017.)

Lineaarinen vaimennuskuvaaja saadaan pinoamalla säätölevyt pyramidin muotoon. Toinen vaihtoehto on niin kutsuttu räpytyspino, jossa pyramidimuotoon pinottujen säätölevyjen väleissä on aina pienempihalkaisijaiset säätölevyt. Edellä mainittujen ominaisuuksien ja bleed-kanavien riittävän koon avulla säätölevyjen taipumiseen tarvittava voima ei kasva liian suureksi ja vaimennin on toiminnaltaan lähes lineaarinen. (Accutuneoffroad 2017.)

Progressiivisen vaimennuskäyrän saavuttamiseksi on monia tapoja. Säätölevyjen räpytyspino saa aikaan progressiivisen vaimennuskäyrän. Lineaarista vaimennuskäyrää tavoiteltaessa räpytyspinon tarkoituksena oli loiventaa käyrän

alussa olevaa esijännitystä. Progressiivisen vaimennuskäyrän tapauksessa räpytyspinolla mahdollistetaan säätölevyjen taipumiseen tarvittava voiman nousuminen. Korotuslevyllä aikaansaatu progressiivinen vaimennus toimii lähes räpytyspinoperiaatteella. Säätölevyt taipuvat normaalisti, kunnes ne kohtaavat paksun korotuslevyn, jonka jälkeen taipumiseen tarvittava voima kasvaa eksponentiaalisesti. Suurten bleed-kanavien avulla saadaan öljy virtaamaan vapaammin vaimentimen pienillä liikenopeuksilla. Nopeuden kasvaessa öljy alkaa virrata männän venttiileiden kautta, koska reikien virtausnopeus ei enää mahdollista kaiken öljyn virtausta reikien läpi. Tästä syystä vaimenninkäyrästä tulee progressiivinen. (Accutuneoffroad 2017.)

Vaimentimen männänvarressa voi olla neulaventtiili, jonka avulla säädetään öljyn virtausta säätölevyjen ohi. Männänvarressa on siis öljykanava, jonka kautta öljy pääsee virtaamaan männän ohi ilman suurta virtausvastusta. Virtaus on rajoitettu takaiskuventtiilin avulla vain toiseen yleensä rebound-vaimennuksen suuntaan. (Kwsuspensions 2020.) Neula voi sijaita myös vaimentimen puristuspuolella, jolloin neste virtaa puristuksen aikana männänvarren kautta toisiomäntään, jossa on venttiilikokoonpanot kuten päämännässäkin. Puristuksen jatkuessa vaimennin painuu kasaan ja neula tukkii nestevirtauksen männänvarren läpi. Tällöin vaimennus siirtyy pelkästään päämännän venttiilikokoonpanolle ja vaimennin jäykistyy, sillä toisiomännän venttiilikokoonpano on löysempi kuin päämännän. Neulamaista muotoa käytetään tasoittamaan vaimentimen jäykistyminen männänvarren läpi tapahtuvan virtauksen loppuessa. (Banner 2016.)

Sisäiset ohivirtausreiät voivat olla myös vaimentimen rungossa, jolloin ne mahdollistavat pehmeän vaimennuksen yleensä vaimennuksen alkuosalla. Ohivirtausreiät vaativat ikään kuin kaksiputkivaimentimen rakenteen mutta ilman kaasua ja pohjaventtiiliä. Reikien sijainnilla voidaan vaikuttaa pehmeämmän jousitusalueen pituuteen. Männän ohittaessa vaimentimen rungossa olevat ohivirtausreiät vaimennus jäykistyy, koska vaimennus tapahtuu täysin männän venttiilikokoonpanossa. Ohivirtausreikien avulla saadaan siis kaksi erilaista toiminta-aluetta, kuten neulatyypissäkin ratkaisuisissa. (FOX Internal Bypass Explained | UTV.)

Ulkoiset ohivirtausputket eroavat sisäisistä siten, että niitä voidaan säätää. Ulkoisten ohivirtausputkien avulla saadaan neste kulkemaan männän ohi kuten sisäisissäkin ohivirtauskanavissa, mutta putkia voi olla useita ja eri mittaisia, jotka vaikuttavat vaimentimen käyttäytymiseen. Nestevirtausta putkissa säädetään esijännitys-jousilla, jotka säätelevät venttiilien avautumiseen tarvittavaa painetta. Säädetävän ansiosta neste voi virrata ulkoisissa ohivirtausputkissa vain toiseen suuntaan, joten compression- ja rebound-vaimennuksille voidaan säätää omat ohivirtauskanavat. Tämän ansiosta vaimentimen toiminta pystytään säätämään tarkasti käyttövaatimusten mukaan. Ulkoisia ohivirtausputkia käytetään lähinnä maastoautojen vaimentimissa. (Banner 2016.)

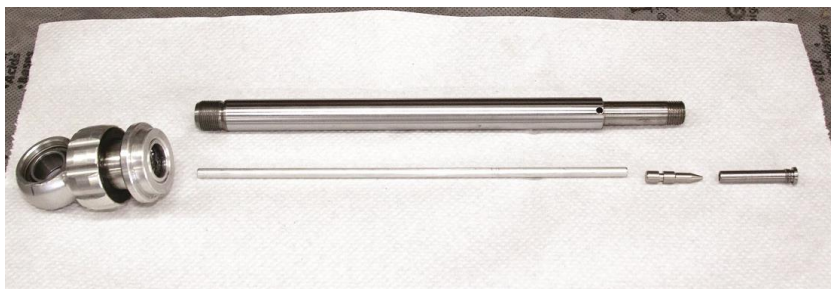


KUVA 17. Vaimenninputki ulkoisilla ohivirtauskanavilla (Banner 2016).

3.1.2 Ulkoiset säädöt

Vaimentimen ulkoisilla säädöillä tarkoitetaan säädettävyyttä, joka voidaan tehdä vaimenninta purkamatta. Ulkoisilla säädöillä muutetaan kuitenkin vaimentimen sisäisiä toimintoja, jotka määrittävät miten vaimennin käyttäytyy. Täytyy muistaa, että ulkoisten säätöjen avulla voidaan säätää vaimenninta vain sisäisten ominaisuuksien rajoissa. Vaimentimen ulkoiset säädöt voivat olla passiivisia, jolloin säädöt tehdään käsin esimerkiksi vaimentimen säätönupeista tai aktiivisia, jolloin säätö tapahtuu automaattisesti jousitusta säättävän järjestelmän avulla. Aktiivisista säädöistä kerrotaan lisää luvussa 3.2. (Peltonen 2017, Jousitus.)

Vaimentimen männänvarressa olevaa neulaventtiiliä pystytään säätämään ulkoisesti männänvarren päästä. Säätötanko kulkee siis männänvarrtta pitkin neulaventtiilille. Säädettäessä muutetaan männän varren sisäosassa olevan neulaventtiilin pinta-alaa, jonka läpi öljy voi virrata vaimennuksen aikana. Tällä tavoin voidaan joko lisätä tai vähentää vaimentimen paluuliikkeen aikana säätölevypakan ohittavaa öljyn virtausta. Suuri virtaus säätölevyjien ohi pehmentää vaimennusta tiettyyn pisteeseen asti. (Tune Your Suspension 2017.)



KUVA 18. Männänvarren sisäinen säätötanko (Tune Your Suspension 2017).

Kaksiputkivaimentimen säätäminen toteutetaan puristusliikkeessä pohjaventtiilin avulla vaimentimen pohjasta. Puristuksessa pystytään säätämään pohjaventtiilin säätölevypakan esijännitysjousta, joka vaikuttaa nopeaan vaimennukseen. Bleed-kanavien kokoa tai neulaventtiilin avulla virtausta bleed-kanavien läpi muuttamalla pystytään säätämään hitaan vaimennuksen ominaisuuksia. Rebound-vaimennuksen osalta männässä olevien säätölevyjien esijännitys tapahtuu niin ikään esijännitysjousten avulla, mutta säätäminen tehdään männänvarren päästä. Bleed-kanavien rajoittaminen neulaventtiilillä tai vapaiden bleed-kanavien reikien koon muutos säädetään myös männänvarren sisällä olevan säätötangon avulla. (Kwsuspensions 2020.)

Lisäsäiliöttömän yksiputkivaimentimen ulkoista säätämistä rajoittaa vaimentimen rakenne. Säätäminen voidaan tehdä ainoastaan männänvarren kautta männän säätölevypakkaa esijännittämällä tai bleed-kanavia ohjaamalla. Useiden säätötankojen lisääminen vaimentimen männänvarteen heikentää rakennetta. Tämän takia lisäsäiliöttömien yksiputkivaimentimien säätäminen rajoittuu yleensä vain joko compression- tai rebound-vaimennukseen tai säätöön, joka muuttaa molempia tietyssä suhteessa. (Bilstein 2013.)

Lisäsäiliöllisissä iskunvaimentimissa vaimentimen säätäminen voidaan jakaa männänvarren kautta tehtäviin säätöihin ja lisäsäiliössä tapahtuviin säätöihin (Öhlins shock absorbers, Car Rally & Track). Kaksiputkivaimentimen tapauksessa säätäminen voidaan tehdä lisäksi pohjaventtiilin avulla (Kwsuspensions 2020). Lisäsäiliöllisen yksiputkivaimentimen compression-vaimennuksen säätäminen tapahtuu lisäsäiliössä. Hitaaseen vaimennukseen vaikutetaan rajoittamalla bleed-kanavan virtausta neulaventtiilillä, jota säädetään lisäsäiliön päältä. Nopeaan vaimennuksen osalta säätö tehdään niin ikään lisäsäiliön päältä, josta säädetään nopeaan vaimennukseen vaikuttavaa säätölevypakan esijännitys-jousta. Kuvassa 19 on nähtävillä lisäsäiliöllisen vaimentimen esijännitysjouset ja säätönupit. Rebound-vaimennuksen nopeaa ja hidasta vaimennusta säädetään männänvarren päästä säätötangoilla, jotka säätävät rebound-vaimennuksen säätölevypakan esijännitys-jousta tai bleed-kanavan virtausta. (Öhlins shock absorbers, Car Rally & Track.)



KUVA 19. Lisäsäiliöllisen vaimentimen säätömekanismi (Tune Your Suspension 2017).

Vaimentimen kaasutilan painetta muuttamalla pystytään oleellisesti muuttamaan vaimentimen toimintaa. Lisäämällä painetta vaimennin jäykistyy compression-vaimennuksen osalta, mutta rebound-vaimennus tuntuu löysältä, koska lisääntynyt kaasunpaine pyrkii työntämään vaimentimen mäntää ulospäin. Kaasunpai-

neen tuomat muutokset vaimentimen toimintaan ovat näin ollen suuret eli vaimentimen compression- ja rebound-vaimennukset on säädettävä kaasunpaineen muutoksen jälkeen. Mikäli vaimentimen kaasutilan paineenmuutos on mahdollista, se tapahtuu vaimentimen rungossa olevan venttiilin kautta, joka on yhteydessä kaasutilaan. (Alusta ja iskunvaimennus.)

3.2 Aktiiviset säädöt

Aktiivijärjestelmät voidaan luokitella niiden säätövyöden mukaan joko puoliaktiivisiin tai täysaktiivisiin säätöjärjestelmiin. Puoliaktiiviset jousitusjärjestelmät on varustettu ainoastaan jäykkyyden säädöllä, kun taas täysaktiivisissa järjestelmissä on tämän lisäksi korkeudensäätö. Aktiivijärjestelmät voidaan jakaa myös niiden ajon aikana tapahtuvan säätönopeuden perusteella, mikä onkin parempi tapa erotella järjestelmiä, kun puhutaan niiden laadukkuudesta. Tällöin järjestelmät jaetaan hidas- ja nopeatoimisiin aktiivisiin ja adaptiivisiin järjestelmiin. Hitaissa adaptiivisissa järjestelmissä säätönopeus on hitaampi kuin heilahtelutaajuus, minkä vuoksi sitä kutsutaan mukautuvaksi järjestelmäksi. Nopeatoimisissa adaptiivisissa säätöjärjestelmissä säätöviive on pienempi kuin heilahtelutaajuus, jotta voidaan vaikuttaa tiestä kohdistuviin voimiin. Täysaktiivinen järjestelmä eroaa adaptiivisesta siinä, että järjestelmässä säätö voidaan tehdä tarvittaessa myös vaikuttavaa voimaa vastaan, eli järjestelmän energiantarve on suuri ja toimintaan tarvitaan erillinen tehontuottoyksikkö. Adaptiivisissa järjestelmissä venttiilien säätämiseen tarvittava teho on huomattavasti pienempi. (Dixon 2007, 289-301.)

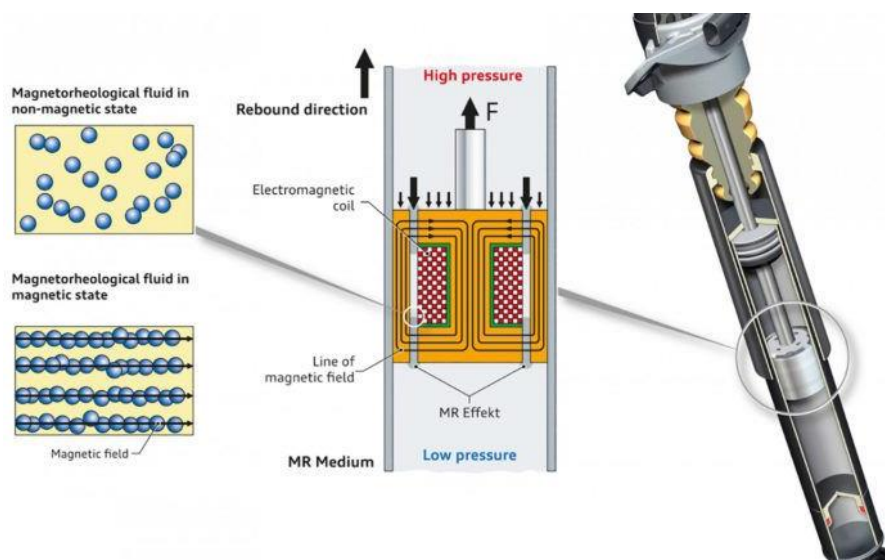
Aktiivijärjestelmien tavoitteena on mukaila tien epätasaisuuksia tiekosketus ja matkustusmukavuus säilyttäen. Pyritään siis muuttamaan jousitusta ajotilanteen mukaan hyväpintaisella tiellä matkustusmukavuuden suuntaan ja epätasaisella tiellä tavoitellaan mahdollisimman hyvää tiekosketusta. (Dixon 2007, 289-301.)

Niin adaptiivisten kuin aktiivistenkin järjestelmien säätövyöys ajon aikana mahdollistetaan laajan tiedonkeruun avulla. Pyöristä kerätään paikka- ja kiihtyvyyssantureiden avulla dataa, jotka tuodaan muiden tarvittavien anturitietojen kuten ajo-
neuvon nopeuden ja ratin kääntökulman tapaan ohjainlaitteelle. Valtaosaa tarvittavista anturitiedoista käytetään nykyaikaisissa ajoneuvoissa jousituksen lisäksi

muihin ominaisuuksiin, joten anturoinnista aiheutuvat kulut eivät ole este aktiivijärjestelmien yleistymiselle. Ohjainlaitteen säätötoiminnot määräytyvät anturitietojen ja valitun ajoasetuksen mukaan ja säätötiedot ohjataan vaimentimen säätöventtiilille tai täysaktiivisen järjestelmän tapauksessa voimantuottoyksikölle. Vaimentimien säätömahdollisuudet ovat samat kuin manuaalisissakin säädöissä, mutta säätöjä ohjataan sähköisesti. (Dixon 2007, 289-301.)

Vaimentimien säädettävyys toteutetaan aktiivijärjestelmissä nesteen virtausta tai viskositeettiä muuttamalla. Nestevirtauksen muutos toteutetaan solenoidiohjauksella eli vaimentimen virtauskanavaa muutetaan sähkövirran avulla. Sähkövirran avulla saadaan luotua solenoidin kelaan magneettikenttä, joka vetää ankkuria puoleensa ja näin ollen muuttaa nesteen virtauskanavan suuruutta. Kaksiputkivaimentimien tapauksessa säätö on sijoitettu vaimentimen pohjaventtiiliin yhteyteen. (Kamakura, Furuta, Mori & Tomita 2017.) Solenoidiohjattu säätö voidaan toteuttaa myös vaimentimen männän varren sisällä olevaa säätötankoa liikuttamalla kuten manuaalisäätö. Kiertosolenoidi säätää männän varren sisällä kulkevan säätötangon avulla vaimentimen männän läpi kulkevaa nestevirtausta. (Rantala & Sirola 2011, 209.)

Viskositeetin muuttamisen edellytyksenä on magnetoreologisen nesteen käyttäminen eli nesteen ominaisuuksia voidaan muuttaa magneettikentän avulla. Magnetoreologinen neste koostuu tavallisen öljyn lisäksi pienistä magneettisista partikkeleista, joiden koko on noin 10 mikrometrin luokkaa. Magnetoreologisten vaimentimien säätäminen tapahtuu siis vaimentimen magneettikenttää muuttamalla, jolloin magneettisen öljyn viskositeetti muuttuu. Vaimentimessa ei tapahdu sisäisiä rakennemuutoksia eli magneettikentän avulla ei liikuteta säätötankoja vaimentimen sisällä. Magneettikentän muutos tapahtuu vaimentimen männässä, jolloin nesteen virtausta voidaan ohjata mäntäventtiileiden läpi. Sähköisesti ohjattu magneettikenttä on 90 asteen kulmassa vaimentimen virtausta vastaan, eli magneettikenttä vastustaa nesteeseen sekoitettujen magneettipartikkelien virtausta mäntäventtiileiden läpi. Magnetoreologisen vaimentimen toimintaa on havainnollistettu kuvassa 20. (Dixon 2007, 324-332.)



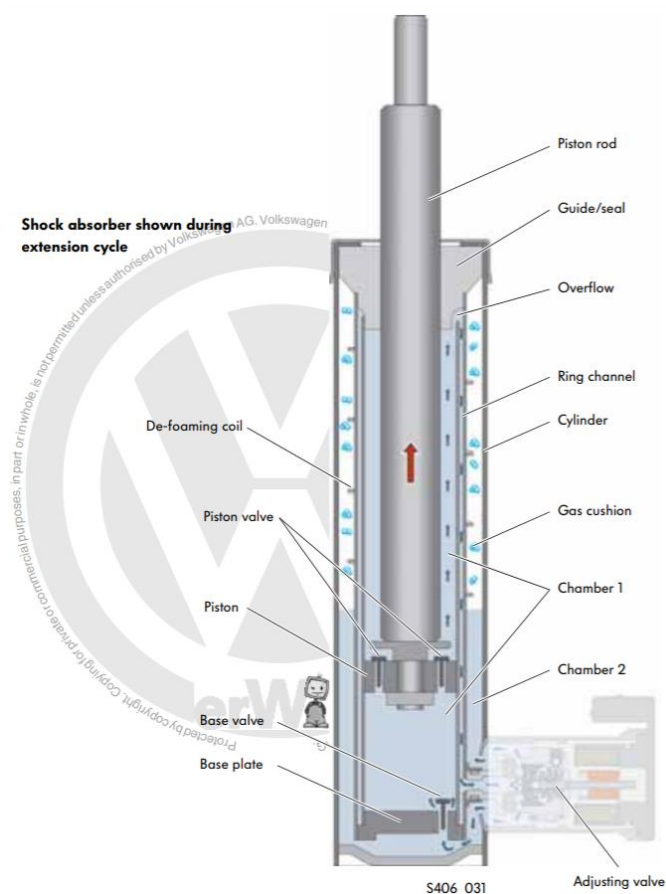
KUVA 20. Magnetoreologisen vaimentimen toimintaperiaate (Ahtiainen 2018).

Aktiivijousitus tuo hyötyjen mukanaan myös muutamia ongelmia. Suurin hidaste aktiivijärjestelmien yleistymiselle on niiden korkea hintataso. Komponenttimäärän kasvu vaatii tilaa ja tuo mukanaan lisääntyvät vikamahdollisuudet sekä huollon tarpeen. (Peltonen 2017, Aktiivijousitus.) Dixon (2007) kertoo adaptiivisten järjestelmien olevan kustannustehokkaampia aktiivijärjestelmiin verrattuna, mikä on nähtävissä autotuotannossa. Magnetoreologisten vaimentimien kohdalla voi tapahtua nesteen sedimentaatio eli magneettipartikkelit valuvat nesteen pohjalle, joka johtuu magneettipartikkelien ja nesteen välisestä tiheyserosta. Tähän voidaan vaikuttaa hidastavasti käyttämällä pienempiä magneettipartikkeleita, vaikkakin vaimentimissa käytettynä nesteen sedimentaatio on varsin vähäistä nesteen virtauksen takia. (Kuljetusnet 2018.)

3.3 Volkswagen Golf VI puoliaktiivinen jousitusjärjestelmä

Opinnäytetyön aikana suunniteltiin ajoneuvotekniikan laboriotyökurssille heilahduksenvaimentimiin liittyvä laboriotyö. Työ toteutetaan autolaboratorion Volkswagen Golf VI henkilöautoon, jossa on adaptiivinen jousitusjärjestelmä. Työn kehittämiseksi käytettävään vaimennusratkaisuun tutustuttiin ennen työn suunnittelua, jotta tiedettiin, miten jousitusjärjestelmää voidaan hyödyntää kehitettävässä laboriotyössä.

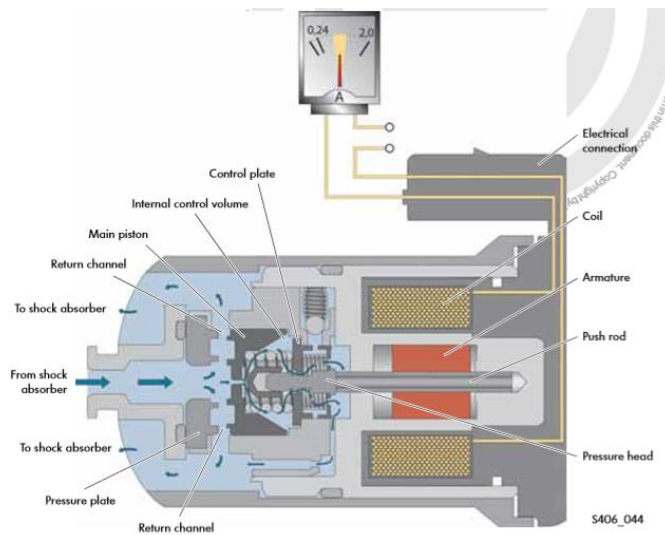
Volkswagenin puoliaktiivinen jousitusjärjestelmä on toteutettu sähkösäätöisillä heilahduksenvaimentimilla, joiden toimintaa ohjataan eri anturitietojen avulla. Heilahduksenvaimentimet ovat malliltaan kaksiputkisia. Vaimentimen rakenne ja venttiilit on toteutettu siten, että vaimentimen sisällä oleva öljy kulkee samaan suuntaan säätöventtiilissä sekä vedon että puristuksen aikana. Öljy kulkee siis puristuksen ja vedon aikana samaa reittiä säätöventtiilille, mikä on mahdollistettu pohjaventtiilin ja mäntäventtiileiden avulla, joissa virtaus on ainoastaan alhaalta ylöspäin. Näin ollen öljy virtaa aina samaan suuntaan säätöventtiilille, joka ohjaa öljyn ulkoputkeen, halutun vaimennustason mukaan. Esimerkiksi puristuksen aikana pohjaventtiili on sulkeutuneena ja vaimentimen männässä olevat venttiilit avautuvat, jolloin öljyn virtaa säätöventtiilille ja sieltä ulkoputkeen. Ulkoputki on kaksiputkirakenteelle tyypillisesti vajaatäyttöinen ja öljyn lisäksi ulkoputkessa on kaasua, joka estää öljyn vaahtoamisen. Alla olevassa kuvassa 21 on esitetty vaimentimen rakenne toiminta vedon aikana. (DCC Adaptive Chassis Control.)



KUVA 21. Volkswagen Golf sähkösäätöisen vaimentimen rakenne (DCC Adaptive Chassis Control).

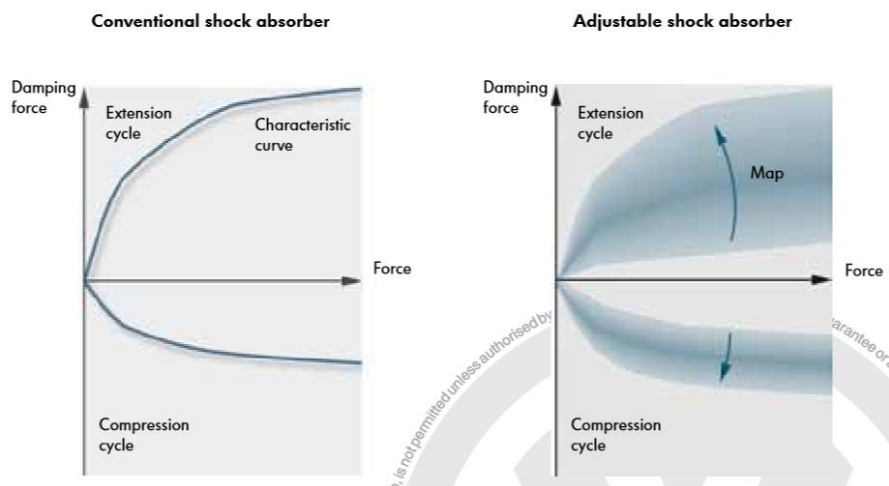
Vaimentimen säätöventtiili tarvitsee toimiakseen valtavan määrän anturitietoja. Volkswagenin järjestelmä kerää tietoa korin kiihtyvyyssantureista, joita on edessä molemmin puolin sekä yksi takana. Lisäksi järjestelmässä on korin tason ilmaisin edessä molemmilla puolin mutta takana vain vasemmalla puolella. Anturitiedot sekä ohjaamossa sijaitseva vaimennuksen valintapainikkeen tieto ohjataan vaimennusohjausyksikölle, joka on yhteydessä auton väylään ja sitä kautta moniin turvallisuutta parantaviin järjestelmiin ja niiden signaaleihin. Näitä ovat muun muassa ohjaustehostin, kaasupolkimen asento, ohjauspyörän kiertokulma ja jarrupaine. Vaimennusohjausyksikkö säätää kerättyjen anturitietojen, muiden toimilaitteiden ja kuljettajan valitseman ajotilan mukaan vaimentimien säätöventtiileitä. (DCC Adaptive Chassis Control.)

Sähköohjattu säätöventtiili sijaitsee vaimentimen sivulla ja se muuttaa vaimentimen jäykkyyttä millisekunneissa. Säätöventtiilin ohjausvirta vaihtelee 0,24-2,0A välillä, jonka mukaan säätöventtiilin sisällä olevat päämätä ja ohjausmätä säätävät nestevirtausta venttiilin läpi. Säätöventtiilin toiminta perustuu paine-eroon vaimentimesta virtaavan öljyn ja säätöventtiilin sisäisen paineen välillä. Ohjausvirralla säädetään kelaan muodostuvaa magneettikenttää, joka vastustaa ankkurin liikettä säätöventtiilissä. Mitä suurempaa ohjausvirtaa käytetään, sitä suurempi paine-ero muodostuu säätöventtiiliin ja näin ollen virtaava öljy avaa paluuvirtauskanavia vaimentimeen vain hieman ja vaimennus muuttuu kovemmaksi. Säätöventtiileiden virransyöttö katkeaa, mikäli vaimennuksen ohjausyksikkö tai vähintään kaksi tiedonkeruuanturia menevät vikatilaan. Säätöventtiilissä on tätä varten turventtiili. Ohjausmännän liikkeessa tarpeeksi oikealle, se tukkii öljyn paluun vaimentimeen, jolloin paine avaa turventtiilin ja öljy pääsee kulkemaan ohjauskanavaa pitkin takaisin vaimentimeen. (DCC Adaptive Chassis Control.)



KUVA 22. Säätoventtiilin rakenne (DCC Adaptive Chassis Control).

Volkswagenin järjestelmässä kuljettaja voi valita ohjaamossa sijaitsevasta valintapainikkeesta kolmen eri ajotilan välillä, joita ovat normal, comfort ja sport. Ajotilan valinnalla on vaikutusta vaimentimien ohjaukseen. Normaalityllassa käytetään koko säätöaluetta suosien keskimääräisiä ohjausvirtoja, kun taas sporttilassa vaimentimen ohjaus lähestyy maksimivirtaa ja comfort-tilassa puolestaan minimivirtaa. Sähkösäätöisellä vaimennuksella saavutetaan yhden vaimennuskäyrän sijaan laajempi vaimennuskartta, jolloin pystytään mukautumaan tien epätasaisuuksiin huomattavasti paremmin. (DCC Adaptive Chassis Control.)



KUVA 23. Sähkösäätöisen vaimentimen mahdollistava vaimennuskartta (DCC Adaptive Chassis Control).

4 KIINNIKKEET

4.1 Suunnittelu

Opinnäytetyön yksi päätavoitteista oli asentaa Volkswagen Golf VI:n puoliaktiivisen jousitusjärjestelmän vaimennin vaimentimien testauslaitteeseen. Tähän tuli suunnitella ja valmistaa kiinnikkeet, jotka mahdollistivat vaimentimen kiinnityksen. Suunnittelutarve syntyi, koska testilaitteen mukana toimitettuja kiinnikkeitä ei ollut suunniteltu käytettäväksi pääasiallisten henkilöautojen vaimentimien kanssa. Kiinnikkeiden suunnittelu aloitettiin kiinnikkeiden ominaisuuksien määrittelyllä ja vaatimusasettelun tekemisellä. Vaatimusasettelutaulukkoon taulukoitiin kiinnikkeiden ominaisuuksia ja niille annettiin painoarvot.

TAULUKKO 1. Kiinnikkeiden vaatimusasettelu

| Päätunnus | Vaati- mus | Toivo- mus | Arvo |
|---------------------------|---------------|---------------|------|
| Liikuteltavuus | x | | 3 |
| Vaimentimen kiinnityskyky | x | | 5 |
| Käyttöikä | x | | 4 |
| Käyttöaika | x | | 3 |
| Käyttöolosuhteet | | x | 2 |
| Esteettisyys | | x | 2 |
| Edullisuus | | x | 1 |
| Huollettavuus | x | | 3 |
| Kuormitettavuus | x | | 5 |
| Kulutuksen kesto | | x | 3 |
| Turvallisuus | x | | 5 |

Kiinnikkeitä suunniteltaessa niiden ominaisuuksille asetettiin vaatimuksia ja toivomuksia. Kiinnikkeiden tuli täyttää niille asetetut vaatimukset. Tiettyjä ominaisuuksia myös toivottiin, mutta niitä ei vaadittu ja niiden puuttuminen ei aiheuttanut projektin keskeytymistä.

Vaatimusasettelun erittely:

- **Liikuteltavuus.** Kiinnikkeet tuli olla helposti liikuteltavissa, koska heilahduksenvaimenninta irrotetaan ja kiinnitetään jatkuvasti. Testilaitteessa

käytetään myös muita vaimentimia ja niiden kiinnikkeet ovat erilaisia kuin tässä työssä on suunniteltu.

- **Vaimentimen kiinnityskyky.** Tämä on ehdoton vaatimus kiinnikkeille, koska kiinnikkeiden suunnittelu perustuu tämän ominaisuuden ympärille. Kiinnikkeiden tulee kiinnittää vaimentimet turvallisesti ylhäältä ja alhaalta testilaitteeseen ja niiden tulee kestää laitteen aiheuttama jatkuva kuormitus. Kiinnikkeiden tulee myös olla helposti huollettavissa esimerkiksi kierteistään, koska kiinnikkeitä irrotetaan jatkuvasti ja kierteet kuluvat mitä enemmän niitä käytetään.
- **Käyttöikä.** Käyttöikä tulee olla hyvin pitkä, mutta väistämättä kiinnikkeet tulee uusia jossain vaiheessa, koska niitä kuormitetaan ja kierteitä avataan ja kiristetään, mikä aiheuttaa niiden kulumista.
- **Käyttöaika.** Keskimääräiseksi käyttöajaksi arvioitiin n. 30-60 minuuttia. Arvioitiin, että tämä on se aika, joka kuluu yhden testikierroksen tekemiseen eri säädöillä. Käyttöaika ei ollut mitoittava tekijä suunnittelussa, koska kiinnikkeet suunniteltiin kestämaan monet eri käyttökerrat.
- **Käyttöolosuhteet.** Yleisin käyttöolosuhde kiinnikkeille on laboratorio-olosuhteet, jossa epäpuhtauksia tai väärinkäytöksiä ei pääse syntymään.
- **Esteettisyys.** Kiinnikkeiden ulkonäöllä ei ole merkitystä, koska ne ovat työkaluja ja niitä käytetään vain heilahduksenvaimentimien testaamiseen, eikä esimerkiksi yrityksen markkinointiin.
- **Edullisuus.** Opinnäytetyön kustannukset tuli pitää mahdollisimman pienenä. Tästä syystä käytettävät materiaalit ja työkalut pyrittiin löytämään Tampereen ammattikorkeakoululta.
- **Huollettavuus.** Kiinnikkeiden huollettavuudessa tärkeää on kierteiden toiminta. Tästä syystä testilaitteen välittömään läheisyyteen jätetään kierteiden puhdistukseen käytettävät kierretapit, joita voi käyttää tarvittaessa.
- **Kuormitettavuus.** Kiinnikkeiden yhtenä ehdottomana vaatimuksena oli kestää vaihtelevaa kuormaa. Kiinnikkeiden rikkoutuessa on riskinä henkilö- tai materiaalivahingot, jotka johtuvat metallien sinkoutumisesta ja pahimmassa tapauksessa näistä seuraa käyttäjän kuolema.
- **Kulutuksen kesto.** Varsinaista kulutuksenkestoa kiinnikkeisiin ei tarvita, koska niiden ei oleteta kuluvan käyttöolosuhteissa.

- **Turvallisuus.** Turvallisuus on yksi ehdoton vaatimus, koska kiinnikkeet eivät saa rikkoutua missään tilanteessa. Hajotessaan ne voivat aiheuttaa käyttäjälleen vammoja ja pahimmassa tapauksessa kuoleman.

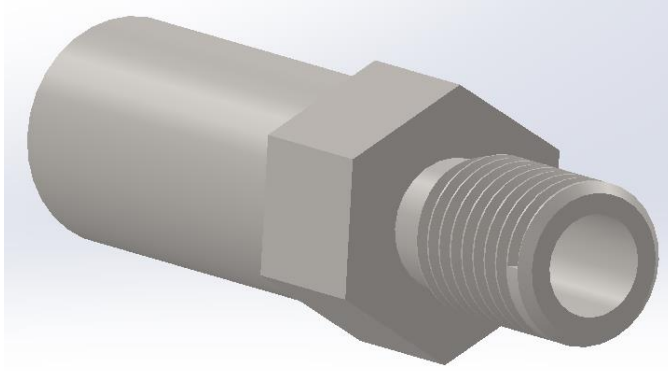
Suunnittelutarve oli seuraaville komponenteille:

- Etuheilahduksenvaimentimen yläkiinnitys
- Takaheilahduksenvaimentimen yläkiinnitys
- Etuheilahduksenvaimentimen alakiinnitys
- Takaheilahduksenvaimentimen alakiinnitys

Suunnittelussa käytettiin apuna jo olemassa olevia kiinnikkeitä ja uudet kiinnikkeet ovatkin vastaavanlaiset kuin alkuperäiset, mutta niillä on kyky kiinnittää opinnäytetyön heilahduksenvaimennin testipenkkiin.

Suunnittelu aloitettiin heilahduksenvaimentimien kierteiden selvityksellä. Vaimentimissa pääteltiin olevan normaalista poikkeavat kierreteet, koska lähtökohtaisesti heilahduksenvaimentimissa on käytetty lähes aina DIN 960-standardin mukaisia kierreteitä niiden parempien lujuus- ja kiinnitysominaisuuksien takia (Nordic Fastening Group Ab 2020). Kierteiden koko ja nousu selvitettiin käyttämällä catcar.info -internet sivua, josta näkee tarkasti eri autojen varaosia ja räjäytyskuvia, sekä osaluetteloita. Etuvaimentimen kierreeksi havaittiin M14x1.5 ja takavaimentimessa kierre oli M10x1. Kun vaimentimien kierreteet oli selvitetty, voitiin tarkastaa mitkä kierreteet testilaitteessa on. Testilaitteesta mitattiin standardi M16-kierre, joka on nousultaan 2 millimetriä.

Kierteiden määrittämisen jälkeen aloitettiin kiinnikkeiden tarpeiden määrittely. Suunnittelun lähtökohdiksi valittiin vaatimusasettelun mukaiset ominaisuudet. Kiinnikkeiden tuli kiinnittää Volkswagen Golf:n heilahduksenvaimentimet turvallisesti dynamometriin. Tämä tarkoitti sitä, että kaikki kiinnikkeet tuli suunnitella alusta loppuun lähes tyhjästä eikä referenssiosia voitu käyttää. Vaimentimien yläpäiden kiinnitykset toteutettiin yksinkertaisella kierteenmuutosadapterilla, joka toimii samalla mutterina. Adapterit tuli myös kiristää jollain tavalla, joten niihin suunniteltiin avainvälit ja läpireikä, jotka mahdollistavat vaimentimen männän varren paikallaan pitämisen valmistajan alkuperäistä tapaa käyttäen. Adaptereiden avainvälit saatiin kätevästi valmistamalla adapterit kuusiotangosta.



KUVA 24. Etuvaimentimen yläpään kiinnitys.

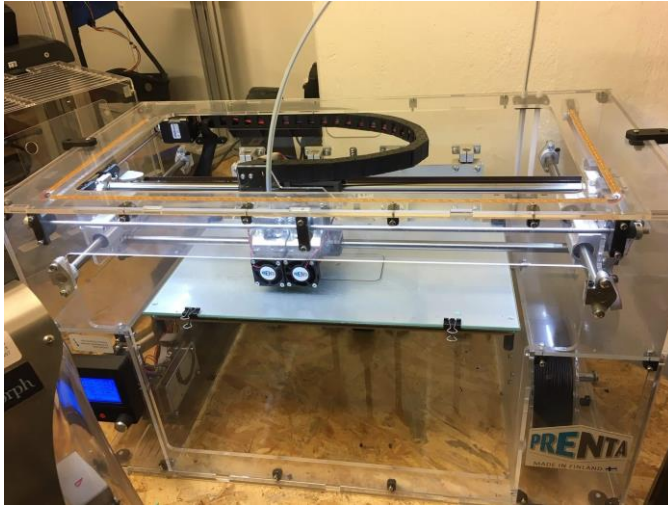
Edessä heilahduksenvaimentimen alapään suunnittelu tuotti runsaasti tuloksia. Ongelmana oli, että saavutetaanko millään mekaanisella kiinnitystavalla riittäviä pito-ominaisuuksia, koska testilaitteen veto- ja työntövoimaa ei ollut tiedossa. Ensin päädyttiin hitsattavaan rakenteeseen, mikä kuitenkin hylättiin merkittävästi kasvavien turvallisuusriskien takia. Tämän jälkeen suunniteltiin ruuvipuristeinen ratkaisu, jota kehitettiin jälkeinpäin puristuskiinnikkeeksi. Vaimentimien kierteiden valmistamiseksi hankittiin 9.00 mm ja 12.5 mm poranterät.

4.2 Prototyyppi

Alustavan suunnittelun jälkeen jatkettiin prototyypin valmistukseen. Prototyyppien valmistukseen päädyttiin, koska sen tekeminen ehkäisee suunnittelussa syntyneiden virheiden pääsemistä lopputuotteeseen ja prototyyppien tekeminen 3D-tulostamalla on yksinkertainen ja aikaa ja resursseja vaatimaton prosessi. 3D-tulostamalla tehdyt kappaleet muistuttavat lopullisia kappaleita fyysisiltä ja sisäisiltä ominaisuuksiltaan. Vaikka 3D-tulostamalla ei aina saada tehtyä toimivia kierteitä on niiden valmistaminen kannattavaa. Tulostetuilla kierteillä voidaan havaita, onko esimerkiksi kierre liian pitkä tai lyhyt ja onko kappaleen muut ratkaisevat mitat oikeita käyttökohteen kannalta. Tulostettuja kappaleita voidaan myös kuormittaa kevyesti ja ne voidaan asentaa niille suunnitellulle paikalle.

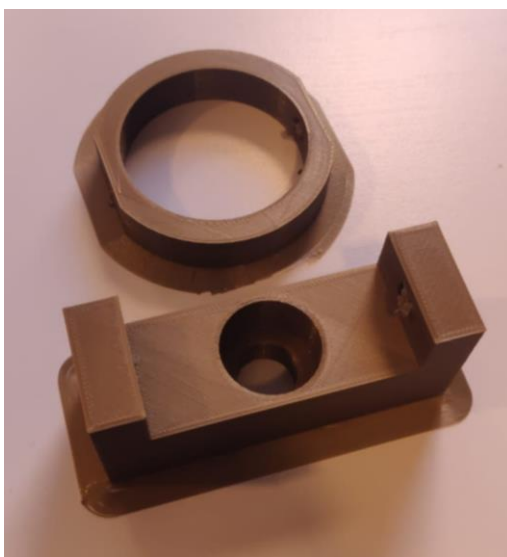
Prototyypit tulostettiin käyttämällä Tampereen ammattikorkeakoululla sijaitsevia 3D-tulostimia. Tulostamiseen käytettiin Suomalaisen Prenta Oy:n valmistamia

Prenta Duo XL tulostimia. Nämä tulostimet on suunniteltu erityisesti laadukkaampiin tulosteisiin, joiden tilavuus on hieman normaalia suurempi. Tulostettavana materiaalina käytettiin 1,75 millimetrin halkaisijalla olevaa PLA-filamenttia. Itse tulostimen asetuksissa päädyttiin hieman karkeampaan laatuun, koska tulostettavilla kappaleilla pyrittiin vain havaitsemaan lopputuotteessa esiintyvät mahdolliset suunnitteluvirheet.

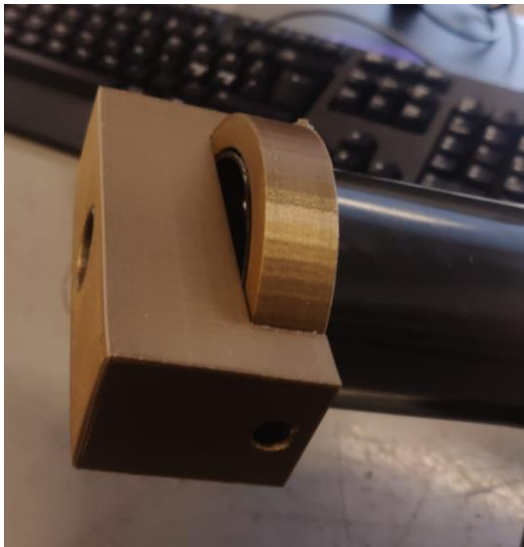


KUVA 25. Prenta Duo XL (AN-Cadsolutions 2020).

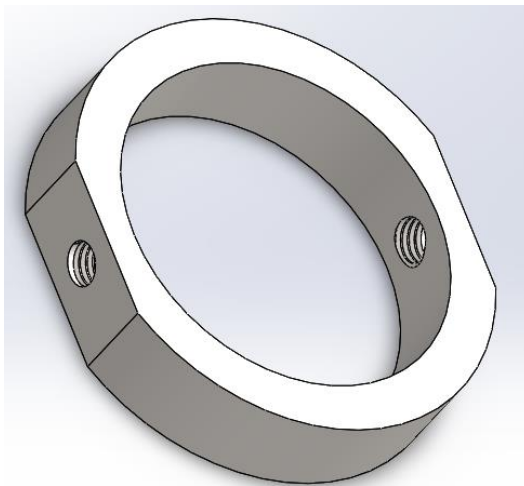
Ensimmäiseksi tulosteeksi päädyttiin tulostamaan etupään alakiinnityskokoonpano, koska siihen oli suurin suunnittelutarve ja näin ollen siihen oletettiin kuluvan eniten aikaa. Kuvassa 26 on nähtävillä ensimmäinen tulostettu prototyyppi.



KUVA 26. Ensimmäinen prototyyppikokoonpano.



KUVA 27. Ensimmäinen prototyyppi kasattuna.

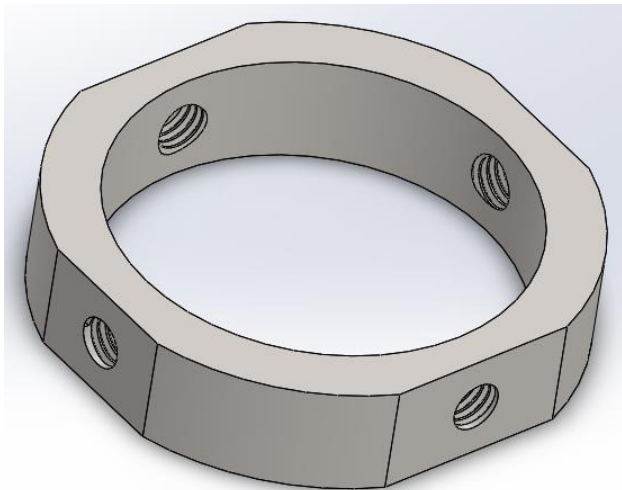


KUVA 28. Ensimmäinen suunniteltu kiristinmalli.

Kuvissa 26-28 havainnollistettu kiinnitystapa oli ensimmäinen suunniteltu. Kuvassa 28 esitetty teräksestä valmistettu pyöreä osa hitsataan vaimentimen runkoon ja kiinnitetään ruuveilla alakiinnitykseen. Tästä ratkaisusta päätettiin luopua, koska vaimentimen rungon tai vaimentimen sisällä olevan kaasun käyttäytymisestä hitsattaessa ei ollut riittävää tietoa. Rungon sisällä tapahtuva hetkellinen lämpötilan nousu voi aiheuttaa myös vaimenninöljyn palamisen tai kaasun hetkellisen laajenemisen. Kaasu voi näin käyttäytyessään purkaantua räjähdysmäisesti pettävien tiivisteiden kautta ja aiheuttaa henkilö- sekä materiaalivahinkoja.

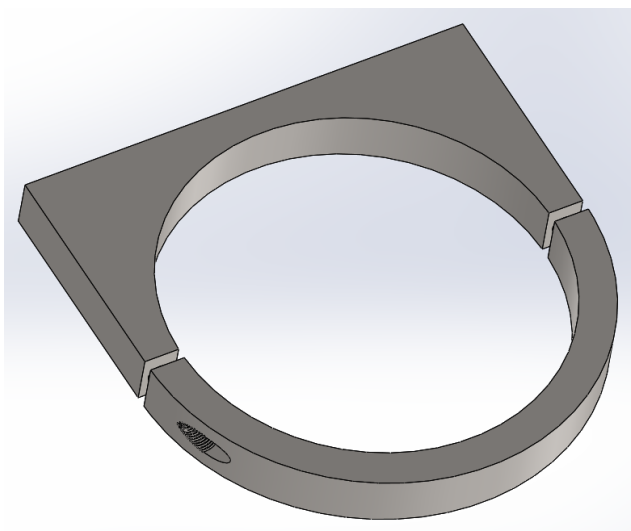
Seuraavaksi suunniteltu kiinnitystapa perustui edelliseen, mutta siinä kappaletta ei hitsattu kiinni, vaan se sisälsi 4 kappaletta M8 pultteja, jotka puristettaisiin kiinni

vaimentimen runkoon. Tästä ideasta luovuttiin, koska vaimentimen jatkuva puristelu voi aiheuttaa sen rungolle plastista muodonmuutosta, joka johtaa kiinnitysvaiman heikentymiseen ja näin ollen kiinnike ei pysy välttämättä kiinni. Neljän M8-ruuvien pinta-alalta tapahtuva puristusvoima oletettiin myös liian pieneksi käyttökohteessa.



KUVA 29. Toinen suunniteltu kiristinmalli.

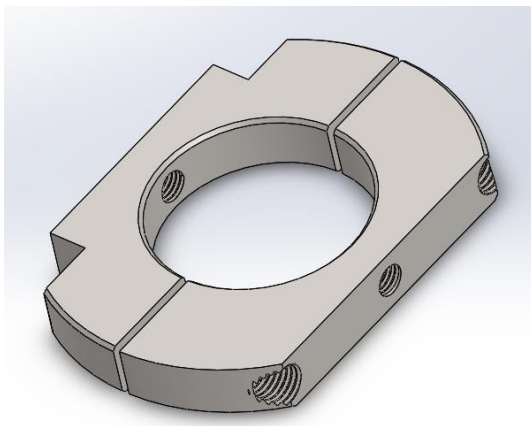
Kolmanneksi kiinnitystavaksi suunniteltiin puristintyyppistä ratkaisua, jossa puristaminen tapahtuisin koko kiinnikkeen pinta-alalta eikä vain ruuveista.



KUVA 30. Kolmas kiinnitintyyppi.

Kiinnike olisi muutoin samanlainen kuin ensimmäinen, mutta sitä ei hitsata ja se puristaa runkoa huomattavasti suuremmalta pinta-alalta. Tästä luovuttiin valmistusteknisistä syistä, koska kyseisen muodon valmistaminen olisi hankalaa ja turhaa eikä kiinnikettä pystytä turvallisesti kiinnittämään testilaitteeseen.

Neljäs prototyyppi oli viimeinen suunniteltu kiinnitystyyppi ja se perustui kaikkiin edellisiin kiinnikkeisiin. Siinä esiintyi kaikkien aikaisempien kiinnikkeiden edut. Suurimpana etuna pidettiin modulaarisuutta ja puristusvoimaa, koska kiinnike oli helposti irrotettavissa ja siinä oli suuri puristusvoima.



KUVA 31. Lopullinen kiristintyyppi.



KUVA 32. Tulostettu kokoonpano.

3D-tulostamisen jälkeen kiinnike todettiin testauksessa hyväksi ja se päätettiin valmistaa. Kiinnikkeeseen suunniteltiin M10-pultit puristukseen, joiden kovuusluokka 10.9 on normaalia kovempi. Kovempaan pulttiratkaisuun päädyttiin toistuvan rasituksen takia. Luokan 10.9 pulttien murtolujuus ja kovuus ovat merkittävästi suuremmat kuin esimerkiksi 8.8 luokan. Pulttien valitsemiseen vaikutti myös pulttien toistuva availu, sekä epäpuhtauksien mahdollinen pääsy kierteisiin. Kovemman luokan pultit kestävät paremmin mekaanisia epäpuhtauksia kulumatta. (Liite 1)

4.3 Valmistus

Kiinnikkeiden valmistaminen aloitettiin materiaalien hankinnalla. Valmistus suoritettiin Tampereen ammattikorkeakoululla sijaitsevalla työpajalla, josta löytyivät yksinkertaiset pienen metallipajan työvälineet. Materiaaleiksi valikoitui pajalta löytyvä 15 mm paksu teräslevy ja 27 mm läpimitalla oleva teräksinen kuusio-tanko. Alakiinnitykseen löytyi pajalta sopiva 30 mm paksuinen teräslevy.

Kiinnikkeet valmistettiin käyttämällä pajalta löytyvää sorvia ja metallijyrsintä. Ongelmaksi muodostui heti alussa työkalujen riittämättömyys. Pajalla ei ollut tarvittavia kierretappeja DIN 960-standardin mukaisen sisäkierteen valmistukseen. Tämä ongelma pyrittiin ratkaisemaan hankkimalla sopivat kierretapit. Tappien ostopaikaksi valikoitui Pirkanmaan työkalukeskus, koska sinne oli olemassa ostotili ja liike lupasi työkalut lyhyellä toimitusajalla. Hienokierteisen kierteen tekemiseen tarvittiin myös vakiokierrestandardista poikkeavia poranteriä, koska hienokierteisen kierteen nousu on tiheämpi ja näin ollen porattava esireikä tulee olla isompi (Liite 2). Työkaluinvestointien jälkeen kappaleiden valmistus onnistui piirustusten avulla ongelmitta (Liite 3).

4.4 Työturvallisuus valmistuksessa

Työturvallisuus on merkittävässä roolissa työskennellessä metallien koneistamiseen suunnitelluilla laitteilla. Erityisenä riskinä on niistä lentävät kuumat metalli-

lastut. Suurena riskinä voidaan myös pitää itse sorviin joutumista, joka ei ole tavomaista ja tällaisessa tapauksessa tapahtuu hyvin todennäköisesti välitön kuolema.

Konepajalla noudatettiin sen omia turvallisuusmääräyksiä Tampereen ammattikorkeakoulun määräysten lisäksi ja koneistaessa käytettiin laitteiden lisäsuojauksia. Henkilökohtaisina suojaimina käytettiin työtakkia, työhanskoja suojalaseja, kuulonsuojaimia ja turvakenkiä. Tampereen ammattikorkeakoulu järjesti myös säännöllisiä pajakoulutuksia työpajalla työskenteleville henkilöille. Koulutuksen tarkoituksena oli perehdyttää opiskelijoita ja henkilökuntaa laitteiden käyttöön ja varmistaa turvalliset työskentelytavat.

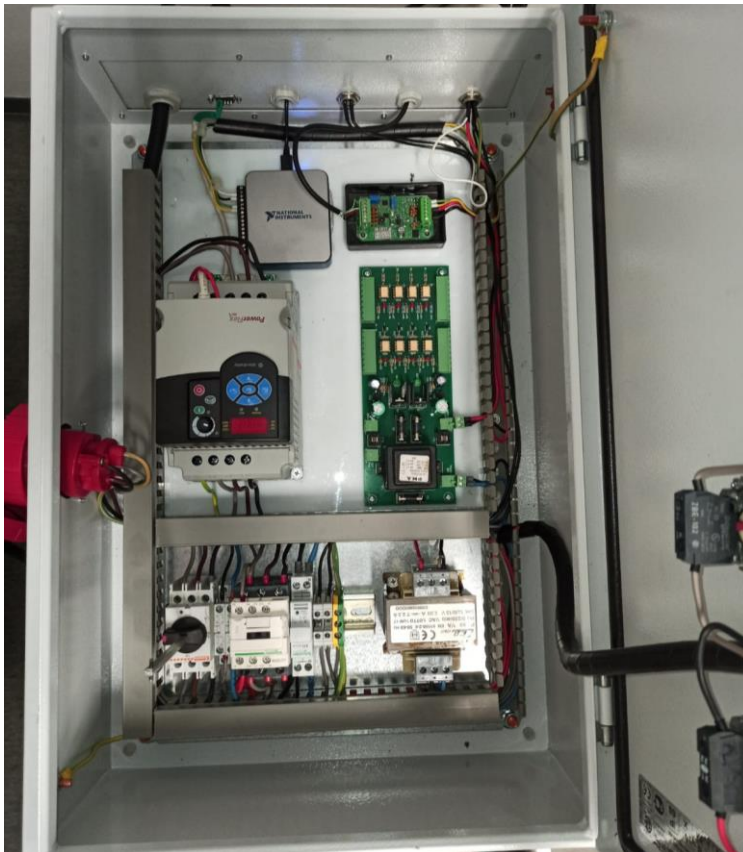
5 BACAR TUNING -VAIMENNINTESTILAITE

Tampereen ammattikorkeakoululle investoitu vaimennintesteri on Italialaisen Bacar Tuning:n valmistama. Verkkosivuillaan Bacar Tuning ilmoittaa testilaitteen soveltuvan autojen ja moottoripyörien vaimentimien testaamiseen ja säätämiseen. Vaimennintestilaitteen avulla vaimentimen säätämisen vaikutuksia on mahdollista tarkastella heti säädön jälkeen laitteen eri toimintojen ja mittaustulosten avulla. Näin ollen testipenkki soveltuu hyvin myös kilpakäyttöön kuten rata-ajoon, ralliin tai motocrossiin, missä jousituksen ja vaimennuksen säätö on välttämätöntä. (Bacar Tuning 2020).

Tampereen ammattikorkeakoululla vaimennintestilaitteen käyttöä sovelletaan tässä työssä suunniteltuun laboratoriotyöhön, missä testataan vaimentimen säädön vaikutusta vaimennusarvoihin. Laitteesta on varmasti hyötyä myös ammattikorkeakoulun muissa projekteissa ja opiskelijatöissä kuten Formula Student kilpa-auton kehittämisessä.

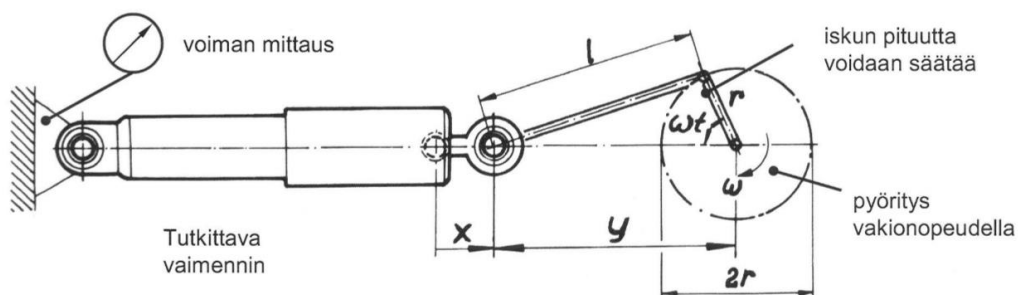
5.1 Toiminta

Laitteen alumiiniosien kestävyyttä ja ulkonäköä on parannettu anodisoinnilla ja teräsosien galvanoinnilla. Valmistaja ilmoittaa, että vaimennintesterissä on käytetty korkealaatuisista sähkökomponentteja (Bacar Tuning). Vaimennintestilaitteen suojatusta sähkökaapista löytyy sähkölaitteille yleisiä komponentteja kuten sähkömoottori, kontaktori, taajuusmuuttaja, voima-anturi, lineaarianturi ja signaalinvahvistin. Testilaitteen tiedonkeruun kannalta keskeiset osat ovat lineaarinen potentiometri ja voima-anturi.



KUVA 33. Bacar tuning -vaimennintestilaitteen sähkökaappi.

Vaimennintesteriä ohjataan tietokonesovelluksella, joka tulee käyttöohjeineen laitteen mukana. Bacar Tuningin vaimennintesteri toimii kampiperiaatteella kuvan 34 mukaisesti eli vaimennintesterin sähkömoottorille määritetään sovelluksessa nopeus, jolloin taajuusmuuttaja säätää sähkömoottorin liikkeen vastaamaan asetettua nopeutta. Tällöin sähkömoottorin tuottama liike kampijärjestelmässä saa aikaan muutoksia voima- ja lineaarianturissa. Anturitietojen avulla sovellus laskee vaimentimen tai jousen ominaisuuksia ja piirtää toimintaa mallintavia kuvaajia. Testerissä oleva lineaarianturi mittaa vaimentimen liikematkaa ja yläpäässä oleva voima-anturi mittaa vaimentimeen aiheutuvaa kuormitusta.



KUVA 34. Vaimennintestilaitteen kampiperiaate (Peltonen 2017, Jousitus).

Vaimennintesterin asetuksissa määritetään kuvan 34 mukaan laitteen iskunpituus. Iskunpituuden lisäksi laitteen toiminta vaatii ylä- ja alakuolo kohtien määrittämisen, jotta lineaarianturin tuottamat jännitelukemat pystytään muuttamaan kuvassa 32 näkyvän y-mitan suuntaiseksi liikematkaksi. Iskunpituuden muuttaminen toteutetaan kuvassa näkyvän l-mitan kiinnityspistettä muuttamalla, jolloin säde r ja täten myös pyörimisliikkeen aikana tapahtuva liikematka muuttuu.

Voima-anturi mittaa kampijärjestelmän tuottaman liikkeen aikana syntyviä puristus- ja vetovoimia. Voima-anturi on kalibroitava kalibrointijousella, jonka tiedot syötetään laitteen asetuksiin ennen kalibrointia. Kalibrointijousen ja iskunpituuden tietojen avulla laitteen voima-anturi voidaan kalibroida, jonka jälkeen sovellus laskee testin aikana muodostuvan voiman oikein. Vaimentimen testauksessa suoritetaan vaimentimen esijännityksen kalibrointi, eli mitataan voima-anturin lukema kammien ollessa alakuolo kohdassa. Tällöin saadaan määritettyä voima-anturin nollapiste. Voiman ja liikematkan lisäksi testin aikana mitataan aikaa tarvittavien kuvaajien saamiseksi.

Vaimennintestilaitteen tuottaman datan avulla käyttäjä pystyy tekemään vaimentimen toiminnasta selkeitä havaintoja. Vaimennintestin aikana saadaan seuraavat tiedot sisään- ja ulosjoustoista: maksiminopeus, maksimivoima ja maksimivaimennus. Sovellus piirtää voima-aika-, voima-siirtymä- ja voima-nopeus-kuvaajat. Näiden kuvaajien avulla pystytään tarkastelemaan vaimentimen käyttäytymistä tarkemmin ja esimerkiksi kilpakäyttöä ajatellen voidaan tehdä tarkkoja säätöjä niin, että vaimennin toimii koko vaimennusmatkalla halutulla tavalla. Vaimentimien laajaan säätämisen mahdollistaa myös laitteen säädettävä iskunpituus. Iskunpituuden ja joustonopeuden säätöjen ansiosta laitteella pystytään mallintamaan niin pienet pinnan epätasaisuudet kuin hyppyjen aiheuttamat suuret joustoliikkeet.

Vaimennintesterin avulla vaimentimesta saadaan siis toimintaa mallintavia kuvaajia kuten kuvissa 35 ja 36 on esitetty. Laite piirtää kuvaajia koko kammien liikkeen aikana, jonka ansiosta pystytään tarkastelemaan miten toistot vaikuttavat vaimentimen toimintaan. Toistojen lukumäärää voi ohjelmallisesti lisätä. Ku-

vaajien avulla nähdään vaimennusvoiman kehittyminen niin puristus- kuin paluuvaimennuksen aikana, josta on suuri hyöty verrattuna pelkästään ajotuntuman perusteella tehtyyn heilahduksenvaimentimen säätämiseen.



KUVA 35. Ohjelmiston piirtämä kuvaajat vaimentimen toiminnasta.

| "Data Acquisition" | | "Speed Command" | |
|---------------------------|----------------|--|---------------|
| Test Duration(s) | 10 s | FailureCode | 13 Hz |
| Max L.Cell | 11,3 kg | | 0 19 RPM |
| Min L.Cell | -26,21 kg | # Iterations | 3 |
| Offset L.Cell | -1,6 kg | Speed (m/s) | 0,06 |
| Offset X | 3,00 cm | <input type="button" value="TEST START"/> <input type="button" value="TEST STOP"/> | |
| Range X | 6,00 cm | MIN Temp[°C] | Temp[°C] |
| | | 0,43 | 0,48 |
| | | MAX Temp[°C] | Speed |
| | | 2,20 | 0,0588 |
| "Damper Meas." | | "Dumper Indicators" | |
| Max Vel. compressione | 0,06 m/s | Massa sospesa | 0 kg |
| Max Vel. trattenuta | -0,06 m/s | Rigidezza | 0 kg/cm |
| Max Forza in compressione | 10,36 Kg | Taratura media | 307,37 Kg/m/s |
| Max Forza in trattenuta | -25,9 Kg | Indice di Taratura | Inf |
| Taratura in compressione | 172,69 Kg/m/s | <input type="button" value="TEST SAVE"/> | |
| Taratura in Trattenuta | 442,05 Kg/m/s | <input type="button" value="PRINT REPORT"/> | |
| Energia Dissipata | -25,08 J/ciclo | | |

KUVA 36. Vaimennintestistä saatavat tiedot.

Vaimennintestin aikana saaduista tiedoista pystytään tarkastamaan, miten vaimentimen säätäminen on onnistunut tietyllä nopeudella testattaessa. Lisäsaädön tarpeellisuus on heti nähtävissä, mikäli tähdätään johonkin tiettyyn vaimentimen ominaisuuteen.

5.2 Vaimennintestilaitteen käyttöönotto

Opinnäytetyön yhtenä tavoitteena oli vaimennintestilaitteen käyttöönotto. Laitteen toiminnasta ja oikeaoppisesta käyttämisestä ei ollut muuta esitietoa kuin oston yhteydessä saatu muutaman sivun mittainen käyttöohjekirja. Laitteen käyttöön perehdyttiin lukemalla käyttöohjeet ja kokeilemalla eri toimintoja. Antureita kalibroitaessa huomattiin, että käyttöohjekirjassa oli ohjeet vaimenninpenkiä ohjaavan tietokonesovelluksen vanhaan versioon. Vaimennintesteriä ohjataan kuitenkin päivitetyllä sovellusversiolla, jonka vuoksi ohjeista löytyi muutamia poikkeamia etenkin kalibroitimitoiminnoissa. Vanhassa sovellusversiossa kalibroitimitoimenpiteitä oli vain kaksi, mutta uudessa versiossa kalibroitivaihteita on kolme. Tämän takia kalibroitiohjeet tehtiin kokonaan uudestaan ja muilta osin käyttöohjeet korjattiin vastaamaan uutta sovellusversiota. Vaimennintestilaitteen käyttöönoton myötä laitteen ympärille suunniteltiin opetuskäyttöön laboratoriotyö. Näin ollen englanninkieliset Bacar Tuning käyttöohjeet päätettiin kääntää suomeksi ja muotoilla kieliasu selkeämmäksi. Kehitetyt vaimennintestilaitteen käyttöohjeet ovat liitteenä opinnäytetyön lopussa (Liite 4).

Laite on tarkoitettu alan ammattilaisille, mikä lienee syynä siihen, ettei mukana tulleissa käyttöohjeissa ollut ohjeistusta vaimentimen tai jousen kiinnittämisestä testilaitteeseen. Testipenkin turvallisen käyttämisen varmistamiseksi tulee kuitenkin huomioida, että vaimennin pääsee liikkumaan vapaasti koko kampijärjestelmän muodostamalla liikeradalla. Kampijärjestelmä tulee liikuttaa alakuolokohtaan ja vaimentimen yläpään kiinnityssiltaa tulee painaa hieman alaspäin ennen sen kiristämistä. Näillä toimenpiteillä vaimennin ei saavuta ääriasentojaan kampijärjestelmän kierroksen aikana. Sovelluksen suomennettujen käyttöohjeiden lisäksi samaan ohjeeseen lisättiin vaimentimen ja jousen kiinnitysohjeet sekä muutamia työturvallisuuteen ja ongelmatapauksiin liittyviä asioita.

Vaimenninpenkin toimintaa testatessa törmättiin muutamiin ongelmiin, jotka saatiin ratkaistua opinnäytetyön teon aikana. Suurin ongelma oli lineaarianturin anturitietojen vajavaisuus. Vaimenninta testattaessa voima-aika kuvaaja piirtyi oikeanlaisesti, mutta voima-siirtymä-kuvaaja ei muodostanut selkeää muotoa. Vika paikallistettiin rikkiäisestä anturikaapelista, joka korjattiin asianmukaisin suojauskein. Samalla päätettiin tarkastaa muut kaapelit ja myös voima-anturin

kaapelin todettiin vioittuneen, vaikkakin anturitiedot olivat vielä oikeita. Voima-anturin kaapelia vain lyhennettiin, sillä hiertymä sijaitsi niin lähellä kaapelin päätä. Kaapeleiden korjausten jälkeen anturitiedot olivat oikeita ja kuvaajat piir-tyivät oikein.

Laitteessa on pitkät kaapelit, jotka mahdollistavat vapaamman laitteen sijoitta-misen. Autolaboratorioon sijoitettu vaimenninpenkki pysyy paikoillaan testihuo-neessa ja laboratoriotyön myötä laitteen käyttö lisääntyy, joten kaapelit niputet-tiin siististi ja sijoitettiin suojaisampaan paikkaan laitteen takapuolelle. Tällä ta-voin pyritään pitämään kaapeleiden kunto hyvänä ja takaamaan laitteen huolto-vapaa käyttäminen.



KUVA 37. Vaimenninpenkki käyttövalmiina.

6 LABORATORIOTYÖ

Vaimennintestilaitteen käyttöönoton myötä laitteen ympärille suunniteltiin myös laboratoriotyö, jota on tarkoitus käyttää autolaboratoriokursseilla. Laboratoriotöissä tulee olla vaihtelevuutta ajoneuvotekniikan eri osa-alueiden välillä mahdollisimman laajan kokonaiskuvan saamiseksi, sillä laboratoriotyöskentelyä on opetuksen aikana rajallisesti. Iskunvaimentimiin liittyvää työtä ei varsinaisesti vielä ollut, joten laitteen hankinta mahdollisti uuden laboratoriotyön kehittämisen.

Uusia laboratoriotöitä suunnitellessa tulee ottaa huomioon työn suorittamiseen käytettävissä oleva aika sekä työn toteutettavuus koulun autolaboratorion tiloissa. Lisäksi autolaboratoriossa käytettävien autojen määrä on rajallinen ja saman auton ympärille on kehitetty useita eri laboratoriotöitä. Laboratoriotyön suorittamiseksi täytyy huomioida myös muut samojen oppituntien aikana suoritettavat työt. Omiin autoihin sovellettavat ja ilman autoa tehtävät laboratoriotyöt mahdollistavat uusien töiden kehittämisen koulun autoihin. Työn laajuuden järkevä rajaaminen ja selkeiden työohjeiden laatiminen mahdollistavat työn suorittamisen oppituntien aikana.

6.1 Työn suunnittelu

Laboratoriotyön suunnittelu alkoi miettimällä mitä kaikkea voidaan mitata tai laskea ja millä aikataululla sekä välineistöllä. Laboratoriotyössä käytettävä auto on luvussa 3 esitelty Volkswagen Golf VI. Työn kehittämistä varten koulu oli investoinut uudet etu- ja takaheilahduksenvaimentimet sekä jouset kyseiseen autoon. Autossa käytetään etuakselilla joustintukea, joten etuheilahduksenvaimentimen mittausta päätettiin suorittaa testipenkissä yhdessä jousen kanssa. Tällöin saadaan selville, miten vaimennin ja jousi toimivat yhdessä. Takaheilahduksenvaimentimen mittausta suoritetaan ilman joustusta heilahduksenvaimentimeen kiinnittämällä pelkkä vaimennin testilaitteeseen.

Työhön valitussa autossa on sähkösäätöiset heilahduksenvaimentimet, joten vaimentimien säädeltävyys otetaan huomioon työn suunnittelussa. Autossa oleva vaimennuksen valintapainike muuttaa vaimentimien jäykkyyttä. Tätä ominaisuutta ja sen vaikutuksia vaimennukseen tutkitaan työn aikana. Testipenkillä pystytään mittaamaan miten eri vaimennusasetukset vaikuttavat etu- ja taka-akseilla vaimennukseen. Vaimentimien sähkösäädön käyttö testipenkissä toteutettiin rakentamalla välikaapeli, jonka päissä on auton johtosarjaan ja vaimentimeen sopivat liittimet. Liittimien osanumerot tarkistettiin auton alkuperäisistä liittimistä, jotta pystyttiin tilaamaan vastaavat liittimet välikaapelin rakentamiseksi. Kaapeli liitetään siis auton iskunvaimentimelle tulevaan sähköjohtoon ja toinen pää testipenkissä olevaan vaimentimeen. Autossa oleva vaimentimen liitin saadaan näkyviin irrottamalla auton etu- tai takapyörä, joten suurilta purkutöiltä vältetään ja työn painopiste säilyy vaimentimien testauksessa.

Testipenkissä olevan vaimentimen yhdistämistä auton sähköjärjestelmään suunniteltiin myös toisella toteutustavalla. Auton alkuperäinen etuvaimentimelle menevä sähköjohto voidaan tuoda moottoritilan kautta, jolloin moottoritilaan pystytään tekemään ylimääräinen liitos. Tämä liitos olisi helposti avattavissa ilman purkutöitä ja auton ylös nostamista. Moottoritilaan rakennettu liitos voidaan toteuttaa tavallisilla kaksinapaisilla liittimillä, jolloin ainoastaan testipenkissä olevaan vaimentimeen tarvitaan alkuperäinen liitin. Takavaimentimelle vastaava ylimääräinen liitos voidaan sijoittaa tavaratilaan. Testipenkissä oleva vaimennin liitetään suunnitellussa työssä kuitenkin pyörä irrottamalla. Tällöin sähkösäätöisen vaimentimen toimintaan tarvittavat korin tasoa mittaavat anturit ovat opiskelijoiden nähtävillä.

Vaimenninpenkin tulosten rinnalle suunniteltiin auton ominaistuuksien ja vaimennuskertoimien laskemista manuaalisesti. Autolaboratoriosta olisi löytynyt laitteistoa laskennan suorittamiseen, mutta jousittamattoman massan määrittämiseksi olisi joutunut purkamaan autoa melko paljon. Tämä ei ole mahdollista työhön käytettävissä olevan ajan puitteissa, joten idea hylättiin. Vaimennintestilaitteella mittaaminen vie paljon aikaa ensimmäisellä kerralla. Niinpä oppimisen ja työturvallisuuden kannalta oli parasta rajata alue riittävän suppeaksi, jotta mitaamiseen ja testilaitteeseen tutustumiseen jää riittävästi aikaa.

6.2 Laboriatoriutyöohjeiden tekeminen

Laboriatoriutyön ohjeistuksen laatimiseen käytettiin apuna aikaisempia työohjeita, jotta tiedettiin, miten työohjeet laaditaan ja kuinka paljon ohjeessa tulee olla työtä helpottavia neuvoja. Työohjeiden teko aloitettiin siis kirjaamalla työn opetustavoitteet ja kysymykset, joihin tulee vastata työstä kirjoitettavassa raportissa. Alkuun listattiin myös työssä tarvittavat työkalut.

Seuraavaksi kirjoitettiin itse työn suorittamisen ohjeistus, joka osoittautui vaikeaksi kirjoittaa vain työn kulkua miettimällä. Työohjeiden tulee olla tarkkoja ja selkeitä, jotta työn tekeminen on mahdollista. Näin ollen päätettiin tehdä työ kohta kohdalta itse, jolloin työvaiheiden mieltäminen oli helpompaa sekä tarkentavien kuvien ottaminen mahdollista. Työtä tehdessä kirjattiin raakaversiot työvaiheista ja tehtiin oleelliset muistiinpanot muun muassa työturvallisuudesta. Vaimentimen asentaminen testipenkkiin täytyy tehdä omavalmisteisia kiinnikkeitä käytettäessä oikeassa järjestyksessä. Lisäksi testipenkin kammen tulee olla täsmälleen alakuolokohdassa yläpäättä kiristettäessä, jotta vaimennin ei hajoa testipenkissä. Nämä asiat ovat työturvallisuuden kannalta erittäin tärkeitä ja niitä painotettiin työohjeita tehdessä.

Lopuksi työohjeet kirjoitettiin puhtaaksi muita laboriatoriutyöohjeita vastaavaan muotoon. Työn suorittamista työohjeiden avulla olisi ollut hyvä testata muuttaman oppilaan kanssa jo opinnäytetyön teon aikana, jolloin mahdolliset puutteet olisi voitu korjata. Itsestään selvät asiat saattavat jäädä helposti huomioimatta, kun testipenkkiä ja sen kiinnikkeitä käytetään paljon opinnäytetyön teon aikana. Työn testauttaminen ei ollut kuitenkaan mahdollista, joten valmiit työskentelyohjeet luetutettiin opinnäytetyötä ohjaavalla opettajalla ja muutamalla muulla henkilöllä mahdollisten epäkohtien löytämiseksi. Työohjeista pyrittiin tekemään mahdollisimman selkeät ja helppolukuiset, joten kuvia käytettiin paljon tekstin tukena. Opetuskäyttöön valmiit laboriatoriutyöohjeet ovat liitteenä opinnäytetyön lopussa (Liite 5).

6.3 Laboratoriotyön mittaustulokset

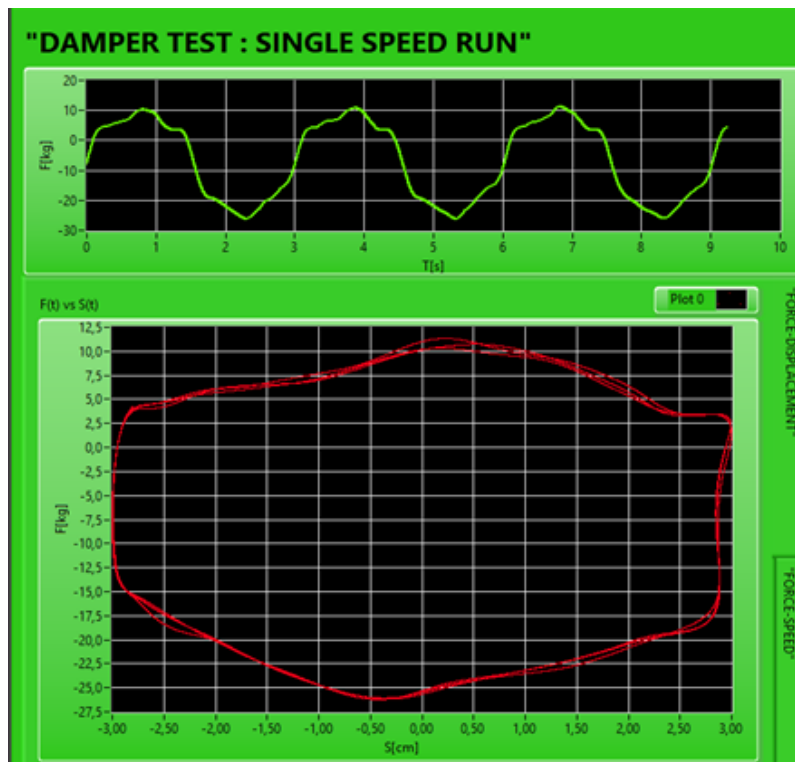
Opiskelijoiden tulee kirjoittaa laboratoriotyön aikana tehtyjen mittausten pohjalta raportti, johon kirjataan mittaustulokset ja niiden analysointi. Sunnitellusta työstä mittaustuloksia ovat vaimennintestilaitteen piirtämät kuvaajat ja lukemat, jotka sovellus ilmoittaa. Vertailun vuoksi on oleellista tutkia, eroavatko kuvaajat toisistaan eri ajoasetuksilla tehtyjen mittausten osalta ja mitä eroavaisuuksia kuvaajissa on nähtävillä. Insinööriopiskelussa tärkeää on myös kuvaajien ja tulosten analysointi eli selvitys mistä erot mittaustuloksissa johtuvat.

Työssä tulisi huomata, että jousen ja vaimentimen testaus yhdessä vaikuttaa kuvaajien muotoon verrattuna pelkän vaimentimen mittaukseen. Jousi aiheuttaa huomattavaa puristusvoiman kasvua eikä paluujoustoon tarvita testilaitteelta enää erisuuntaista voimaa puristukseen nähden, kun jousi työntää vaimentimen takaisin alkuasentoon. Puristusliikkeen voima-liikematka-kuvaaja mukailee lähinnä jousen puristukseen tarvittavan voiman kuvaajaa, sillä vaimenninpenkin testausliike on todella hidas ja se tulee huomioida tuloksissa. Kuvaajasta huomataan myös jousen kuormankantavuus eli jousi tarvitsee riittävästi painoa ennen kuin se alkaa joustamaan. Tulee kuitenkin huomioida, että jousi-vaimenninyhdistelmä painuu kasaan auton painosta, jolloin joustoliike töyssyyn ajettaessa tapahtuu juuri kuvassa 10 olevan voima-liikematkakuvaajan keskivaiheilla. Mikäli jousen puristuksen paluuta alkuasentoon ei rajoitettaisi, vaimentimen paluuliike olisi nopeampi ja siihen kohdistuisi suurempi voima. Tällöin kuvaajan muoto muuttuisi lähemmäs todellista ajotilannetta, missä liikenopeudet ovat suurempia.



KUVA 38. Etuheilahduksenvaimentimen mittaus jousen kanssa.

Vaimenninkuvaajissa on nähtävillä testilaitteen kampijärjestelmän liike. Tämä huomataan pelkän vaimentimen mittauksesta saaduista kuvaajista, koska vaimennin saavuttaa suurimman voimansa aina nopeuden ollessa suurimmillaan eli kammien 90° ja 270° kiertokulmilla. Vaimentimen toiminnasta voidaan tehdä kuvaajien perusteella havainto, että vaimennusvoiman suhde paluujouston ja puristuksen välillä on noin 2,5:1, eli normaalin henkilöauton vaimentimelle tyypillinen lukema, jonka ansiosta saavutetaan halutut ajo-ominaisuudet. Vaimennusvoima muodostuu alkuun nopeasti ja tämän jälkeen hitaammin. Tähän on syynä luvussa 3 kerrotut vaimentimien hitaan ja nopean vaimennuksen ominaisuudet eli pyritään välttämään suuria kallisteluja tavallisissa ajotilanteissa kuten kaarteissa ja jarrutuksissa.



KUVA 39. Takaheilahduksenvaimentimen mittaus.

Edellä on esitetty muutamia esimerkkejä mitä havaintoja vaimennintestilaitteen mittauksista voidaan tehdä. Lisäksi on paljon muitakin asioita mitä voidaan analysoida, kuten eri nopeuksilla tehdyt mittaukset tai toistojen lukumäärän vaikutuksen tarkastelu.

7 POHDINTA

Laboratoriotyön suunnittelu vaatii tietoa ja kokemusta työssä käytettävistä laitteista, jotta pystytään luomaan opiskelijoiden tieto- ja taitotasoa kehittävä työ käytettävissä olevan ajan puitteissa. Tieto siitä mitä voidaan mitata ja mitä havaintoja saatujen mittaustulosten avulla voidaan tehdä ovat laboratoriotyön kehittämisen vaatimia edellytyksiä. Esimerkiksi tässä opinnäytetyössä kehitetyssä laboratoriotyössä käytetään laitetta, jonka käyttämisestä ei ole monellekaan entuudestaan kokemusta, joten laitteen käyttämiseen tulee tutustua ennen työn suorittamista. Tällöin opiskelijoilla on jo työtä aloittaessa mielikuva siitä, mitä pitää tehdä eikä aikaa kulu turhaan ihmettelyyn.

Mahdollisimman selkeiden työhjeiden tekeminen edesauttaa työssä onnistumisista, joten ohjeisiin lisättiin paljon työtä helpottavia kuvia. Kuvat ovat lähinnä työturvallisuuden ylläpitämiseksi, joka on otettava koko ajan huomioon vaimennintestipenkillä mitattaessa. Muita kuvia esimerkiksi vaimenninpenkin sovelluksen käytöstä ei työhjeisiin laitettu vaan ne löytyvät erikseen. Työhjeiden tekemisen vaikeutena on riittävän selkeän, mutta samalla haastavan kokonaisuuden luominen.

Vaimenninpenkin sovellukselle suomeksi luotujen käyttöohjeiden tarkoituksena oli helpottaa ja selkeyttää laitteen käyttöä. Tavoite suomennetuista käyttöohjeista saavutettiin, mutta sovelluksen italiankielinen versio ei vastaa haluttua selkeystasoa. Sovelluksen uusi ohjelmointi englannin tai suomen kielelle selkeyttäisi niin laitteen käyttömukavuutta kuin luotuja käyttöohjeita.

Ajoneuvon yhdistäminen testipenkkiin kiinnitettyyn heilahduksenvaimentimeen voidaan toteuttaa liittimien uudella sijoittamisella, jota käsiteltiin luvussa 6.1. Tällöin voidaan keskittyä vain testipenkin käyttöön, mutta vaimentimen ohjauksen kannalta tärkeiden antureiden kohtaaminen jää pois. Työn käyttöönoton jälkeen pystytään tekemään havaintoja, kauanko opiskelijoilla kuluu aikaa työn suorittamiseen tai esiintyykö työssä joitain ongelmakohtia. Näiden perusteella työtä voidaan kehittää haluttuun suuntaan.

Kiinnikkeiden valmistuksen todettiin onnistuneen käytettävät tarvikkeet ja työvälineet huomioiden hyvin. Mikäli kiinnikkeiden rakenteessa tulee toistuvan käytön myötä ongelmia, voidaan ne suunnitella uudelleen esimerkiksi osana koululla toimivaa projektityökurssia.

Käytettyjä lähteitä pidetään luotettavina vaimentimen rakenteiden ja toiminnan osalta, koska tiedonhankintaan käytettiin suurien vaimenninvalmistajien verkkosivustoja. Painetussa kirjallisuudessa käytettiin yliopistojen tai vastaavien koulutusinstituuttien professoreiden tuottamaa kirjallisuutta. Siirryttäessä heilahdukseenvaimentimen säätämiseen, tietoa oli saatavilla runsaista eri verkkolähteistä. Lähteiden luotettavuuden säilyttämiseksi käytettiin ainoastaan tietolähteitä, jotka voitiin todeta luotettaviksi muiden käytössä olevien lähteiden avulla. Eri lähdemateriaaleja siis verrattiin toisiinsa, jotta vakuututtiin tiedon oikeellisuudesta. Säätämiseen liittyvää kirjallisuutta oli vaikeasti saatavilla, koska sen oletetaan olevan ammatti- ja liikesalaisuus.

LÄHTEET

- Accutuneoffroad. 2017. Digressive vs linear vs progressive pistons & shock valving. Luettu 2.3.2020. <https://accutuneoffroad.com/articles/digressive-vs-linear-vs-progressive-pistons-shock-valving/>
- Ahtiainen, L. 2018. MagneRide. Luettu 15.4.2020. <https://moottori.fi/ajoneuvot/jutut/magneride-nain-toimii-magneettinen-iskunvaimennin/>
- AN-Cadsolutions. 2020. Luettu 4.5.2020. https://www.an-cadsolutions.fi/wp-content/uploads/2019/10/IMG_8535.jpg
- Bacar Tuning. 2017. Dyno Shock Absorber. Luettu 3.3.2020. <http://www.elaborazioni.com/en/dyno-shock-absorber.html>
- Banner, J. 2016. Drivingline. Suspension theory with king shocks. Luettu 2.3.2020. <https://www.drivingline.com/articles/suspension-theory-with-king-shocks/>
- Bastow, D., Howard, G. & Whitehead, J. 2004. Car Suspension and Handling.4. painos. Bury St Edmunds: Professional Engineering.
- Bilstein. 2013. What really matters. Luettu 8.4.2020. https://www.bilstein.com/fileadmin/user_upload/downloads/broschueren/2013/en/Bilstein_Brosch_Wewa_GB_2013_0807_low.pdf
- Clemens, K. 2015. How shock absorbers work. Luettu 9.4.2020. <https://www.syncrowerkz.com.sg/wiki/907-how-shock-absorbers-work>
- Dirtwheelsmag. 2017. Tune Your Suspension. Luettu 13.3.2020. <https://dirtwheelsmag.com/how-to-tune-shocks/>
- Dixon, J. 2007. The Shock absorber handbook. Luettu 22.4.2020. <http://wanderlodgurus.com/database/Theory/The%20Shock%20Absorber%20Handbook.pdf>
- Extremeshocks. Tech lab – Episode 3: How to measure and look damping force. Luettu 3.3.2020. <http://www.extremeshox.com/blog-post/how-to-measure-and-look-damping-force/>
- Extremeshocks. Tech lab – Episode 4: How to find the correct damping forces. Luettu 10.3.2020 <http://www.extremeshox.com/blog-post/tech-lab-episode-4-find-correct-damping-forces/>
- FOX: FOX Internal Bypass Explained | UTV. Youtube-videopalvelu, julkaistu 11.8.2014. <https://www.youtube.com/watch?v=HBjZu3TfjF8>
- Kuljetusnet. 2018. Uudenlaisia iskunvaimentimia ja kytkimiä MR-nesteiden avulla. Luettu 15.4.2020. <https://kuljetusnet.fi/uudenlaisia-iskunvaimentimia-jakytkimi%C3%A4-mr-nesteiden-avulla.html>

Kwsuspensions. 2020. Damping and Valve - 2 way. Luettu 8.4.2020.
https://www.kwsuspensions.net/technology/valve_technology/2_way

Kamakura, R., Furuta, Y., Mori, T. & Tomita, K. 2017. Development of Externally-Mounted Shock Absorber with Adjustable Solenoid Damping Force. Luettu 29.4.2020. https://www.kyb.co.jp/english/technical_report/data/no55e/04_product_introduction_01.pdf

KYB Shock Absorbers. 2017. Luettu 21.4.2020. <https://www.kyb.com.au/faqs/>

M-pro racing. Alusta ja iskunvaimennus. Luettu. 8.4.2019 https://asiakas.kotisivukone.com/files/astsuomi.fi.kotisivukone.com/tiedostot/alusta_ja_iskunvaimennus_web.pdf

Nieminen, S. 1984. Auton alusta 1. Runko- ja korirakenteet. Jousitus ja pyöräntuenta. 1.painos. Porvoo: WSOY.

Nordic Fastening Group Ab. 2020. Luettu 12.4.2020. <http://nfgab.se/fi/tekniikka-ja-laatu/tekniset-tiedot/vahvuus/metrinen-karkeakierre/>

Peltonen, J. 2017. Aktiivijousitus. Kurssimateriaali: Ajoneuvon ohjaus ja pyöräntuenta. Tampereen ammattikorkeakoulussa.

Peltonen, J. 2017. Jousitus. Kurssimateriaali: Ajoneuvon ohjaus ja pyöräntuenta. Tampereen ammattikorkeakoulussa.

Procarmanuals. Itseopiskelumateriaali. DCC Adaptive Chassis Control. Luettu 20.4.2020. <https://procarmanuals.com/vag-ssp-406-dcc-adaptive-chassis-control/>

Rantala, J. & Sirola, J. 2011. Autotekniikka 3, Alusta- ja hallintalaitteet. Helsingissä: Otava.

Sandvik. Strip steel for shock absorber shims. Luettu 2.5.2020. <https://www.materials.sandvik/en/products/strip-steel/strip-products/shock-absorber-strip-steel/>

Tooloutlet. 2020. Luettu 12.4.2020. https://www.tooloutlet.fi/upload/Image/taulukko_0001.jpg

Öhlins. Käyttöohje. Öhlins shock absorbers, Car Rally & Track. Luettu 8.4.2020. <https://www.teknikmotorsport.com/assets/brochures/Ohlins%20Rally%20+%20Track%20Owners%20Manual.pdf>

LIITTEET

Liite 1. Teräsruuviin ja muttereiden ominaisuudet (Ruuvihankinta Oy 2020).

RUUVIHANKINTA OY

Teräsruuviin ja muttereiden mekaaniset ominaisuudet ISO 898 / 2

| Ominaisuus | | Lujuusluokka | | | | | |
|--|-------------------|--|------|-------------|-------------|--------|---------|
| | | 4.6 | 5.8 | 8.8 ≤M16 | 8.8 >M16 | 10.9 | 12.9 |
| Murtolujuus Rm, N/mm ² | Nimellinen | 400 | 500 | 800 | 800 | 1000 | 1200 |
| | Min | 400 | 500 | 800 | 830 | 1040 | 1220 |
| Vickers kovuus HV, F>= 98N | Min | 120 | 160 | 230 | 255 | 310 | 372 |
| | Max | 220 | 220 | 300 | 336 | 382 | 434 |
| Brinell kovuus, HB, F k 30 D2 | Min | 114 | 152 | 219 | 242 | 295 | 353 |
| | Max | 209 | 209 | 285 | 319 | 363 | 412 |
| Rockwell kovuus | HRB | 67 | 82 | - | - | - | - |
| | HRC | - | - | 20 | 23 | 31 | 38 |
| | HRB | 95 | 95 | - | - | - | - |
| | HRC | - | - | 30 | 34 | 39 | 44 |
| Pintakovuus HV 0,3 | Max | | | 320 | 356 | 402 | 454 |
| | Nimellinen | 240 | 400 | - | - | - | - |
| Myötöraja Rel, N/mm ² | Min | 240 | 420 | - | - | - | - |
| 0.2- raja Rp0.2 N/mm ² | Nimellinen | - | - | 640 | 540 | 900 | 1080 |
| | Min | - | - | 640 | 660 | 940 | 1100 |
| Jännitys koekuormituksessa Sp | sp/Rel-Rop | 0.94 | 0.91 | 0.91 | 0.91 | 0.88 | 0.88 |
| | N/mm ² | 225 | 380 | 580 | 600 | 830 | 970 |
| Murtovenymä a 5 % | Min | 22 | 10 | 12 | 12 | 9 | 8 |
| Lujuus vinolyöntikokeessa | | Kokonaisen ruuvin on täytettävä murtolujuuden minimi | | | | | |
| Iskusitkeys | Min | - | - | 30 | 30 | 20 | 15 |
| Kannan eheys | | Ei halkeamia | | | | | |
| Hiilikadottoman kierrealueen minimikorkeus | E | | | 1/2 H1 | 1/2 H1 | 2/3 H1 | 3/4 H1' |
| Täydellisen hiilikadon maksimisyvyys | G mm | | | 0.015 | 0.015 | 0.015 | 0.015 |

Liite 2. Kierretappien alkureikien ohjetaulukko (Tooloutlet 2020).

OHJETAULUKKO

Kierretappien alkureiät

M-metrinen kierre DIN 13

| Nim-Ø mm | Nousu mm | Alkureikä mm | Nim-Ø mm | Nousu mm | Alkureikä mm | Nim-Ø mm | Nousu mm | Alkureikä mm |
|-------------|-------------|-----------------|-------------|-------------|-----------------|-------------|-------------|-----------------|
| M 1 | 0,25 | 0,75 | M 4 | 0,70 | 3,30 | M20 | 2,50 | 17,50 |
| M 1,1 | 0,25 | 0,85 | M 4,5 | 0,75 | 3,70 | M22 | 2,50 | 19,50 |
| M 1,2 | 0,25 | 0,95 | M 5 | 0,80 | 4,20 | M24 | 3,00 | 21,00 |
| M 1,4 | 0,30 | 1,10 | M 5,5 | 0,90 | 4,60 | M27 | 3,00 | 24,00 |
| M 1,6 | 0,35 | 1,25 | M 6 | 1,00 | 5,00 | M30 | 3,50 | 26,50 |
| M 1,7 | 0,35 | 1,35 | M 7 | 1,00 | 6,00 | M33 | 3,50 | 29,50 |
| M 1,8 | 0,35 | 1,45 | M 8 | 1,25 | 6,80 | M36 | 4,00 | 32,00 |
| M 2 | 0,40 | 1,60 | M 9 | 1,25 | 7,80 | M39 | 4,00 | 35,00 |
| M 2,2 | 0,45 | 1,75 | M10 | 1,50 | 8,50 | M42 | 4,50 | 37,50 |
| M 2,3 | 0,40 | 1,90 | M11 | 1,50 | 9,50 | M45 | 4,50 | 40,50 |
| M 2,5 | 0,45 | 2,05 | M12 | 1,75 | 10,20 | M48 | 5,00 | 43,00 |
| M 2,6 | 0,45 | 2,15 | M14 | 2,00 | 12,00 | M52 | 5,00 | 47,00 |
| M 3 | 0,50 | 2,50 | M16 | 2,00 | 14,00 | | | |
| M 3,5 | 0,60 | 2,90 | M18 | 2,50 | 15,50 | | | |

MF-metrinen hienokierre DIN 13

| | | | | | | | | |
|-------|--------|-------|-----|--------|-------|-----|--------|-------|
| M 2,5 | x 0,35 | 2,15 | M13 | x 1,50 | 11,50 | M30 | x 1,00 | 29,00 |
| M 2,6 | x 0,35 | 2,25 | M14 | x 0,75 | 13,20 | M30 | x 1,50 | 28,50 |
| M 3 | x 0,35 | 2,65 | M14 | x 1,00 | 13,00 | M30 | x 2,00 | 28,00 |
| M 3,5 | x 0,35 | 3,15 | M14 | x 1,25 | 12,80 | M32 | x 1,50 | 30,50 |
| M 4 | x 0,35 | 3,65 | M14 | x 1,50 | 12,50 | M32 | x 2,00 | 30,00 |
| M 4 | x 0,50 | 3,50 | M15 | x 1,00 | 14,00 | M33 | x 1,50 | 31,50 |
| M 4,5 | x 0,50 | 4,00 | M15 | x 1,50 | 13,50 | M33 | x 2,00 | 31,00 |
| M 5 | x 0,50 | 4,50 | M16 | x 1,00 | 15,00 | M34 | x 1,50 | 32,50 |
| M 6 | x 0,50 | 5,50 | M16 | x 1,50 | 14,50 | M35 | x 1,50 | 33,50 |
| M 6 | x 0,75 | 5,20 | M17 | x 1,00 | 16,00 | M36 | x 1,50 | 34,50 |
| M 7 | x 0,75 | 6,20 | M18 | x 1,00 | 17,00 | M36 | x 2,00 | 34,00 |
| M 8 | x 0,50 | 7,50 | M18 | x 1,50 | 16,50 | M36 | x 3,00 | 33,00 |
| M 8 | x 0,75 | 7,20 | M18 | x 2,00 | 16,00 | M38 | x 1,50 | 36,50 |
| M 8 | x 1,00 | 7,00 | M20 | x 1,00 | 19,00 | M39 | x 2,00 | 37,00 |
| M 9 | x 0,75 | 8,20 | M20 | x 1,50 | 18,50 | M39 | x 3,00 | 36,00 |
| M 9 | x 1,00 | 8,00 | M20 | x 2,00 | 18,00 | M40 | x 1,50 | 38,50 |
| M10 | x 0,50 | 9,50 | M22 | x 1,00 | 21,00 | M42 | x 1,50 | 40,50 |
| M10 | x 0,75 | 9,20 | M22 | x 1,50 | 20,50 | M42 | x 2,00 | 40,00 |
| M10 | x 1,00 | 9,00 | M22 | x 2,00 | 20,00 | M42 | x 3,00 | 39,00 |
| M10 | x 1,25 | 8,80 | M24 | x 1,00 | 23,00 | M45 | x 1,50 | 43,50 |
| M11 | x 1,00 | 10,00 | M24 | x 1,50 | 22,50 | M45 | x 2,00 | 43,00 |
| M12 | x 0,50 | 11,50 | M24 | x 2,00 | 22,00 | M45 | x 3,00 | 42,00 |
| M12 | x 0,75 | 11,20 | M25 | x 1,50 | 23,50 | M48 | x 1,50 | 46,50 |
| M12 | x 1,00 | 11,00 | M26 | x 1,50 | 24,50 | M48 | x 2,00 | 45,00 |
| M12 | x 1,25 | 10,80 | M27 | x 1,50 | 25,50 | M48 | x 3,00 | 45,00 |
| M12 | x 1,50 | 10,50 | M27 | x 2,00 | 25,00 | M50 | x 1,50 | 48,50 |
| M13 | x 1,00 | 12,00 | M28 | x 1,50 | 26,50 | M52 | x 1,50 | 50,50 |

Liite 3. Piirustukset

1x45°

M16

22,00

3,00

15,00

22,80

11,80

M10x1 sisäkierre pohjaan asti

Ø 10,00

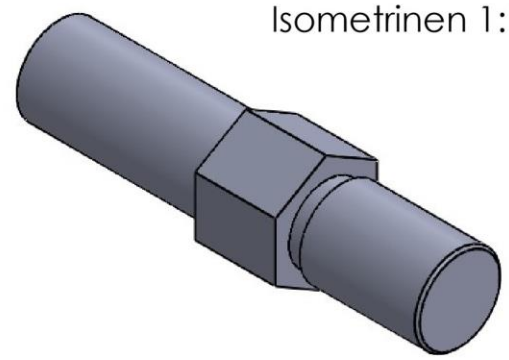
0.5x45°

Ø 13,00

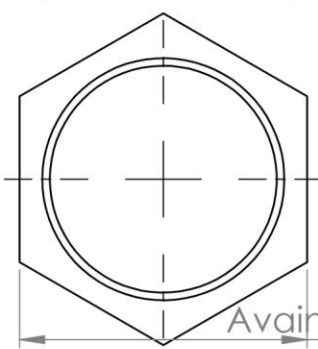
1x45°

Ø 16,00

Isometrinen 1:1



Kuusiotangosta valmistettaessa avainvälinä toimii perusaine



Avainväli 19,00 +8,00 / 0,00

UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:
DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS
SURFACE FINISH:
TOLERANCES:
LINEAR:
ANGULAR:

FINISH:
Ei viimeistelyä

DEBURR AND
BREAK SHARP
EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION

| NAME | SIGNATURE | DATE |
|--------|-----------|------|
| DRAWN | Rha | |
| CHK'D | | |
| APPV'D | | |
| MFG | | |
| Q.A | | |

TITLE:

MATERIAL:
S235

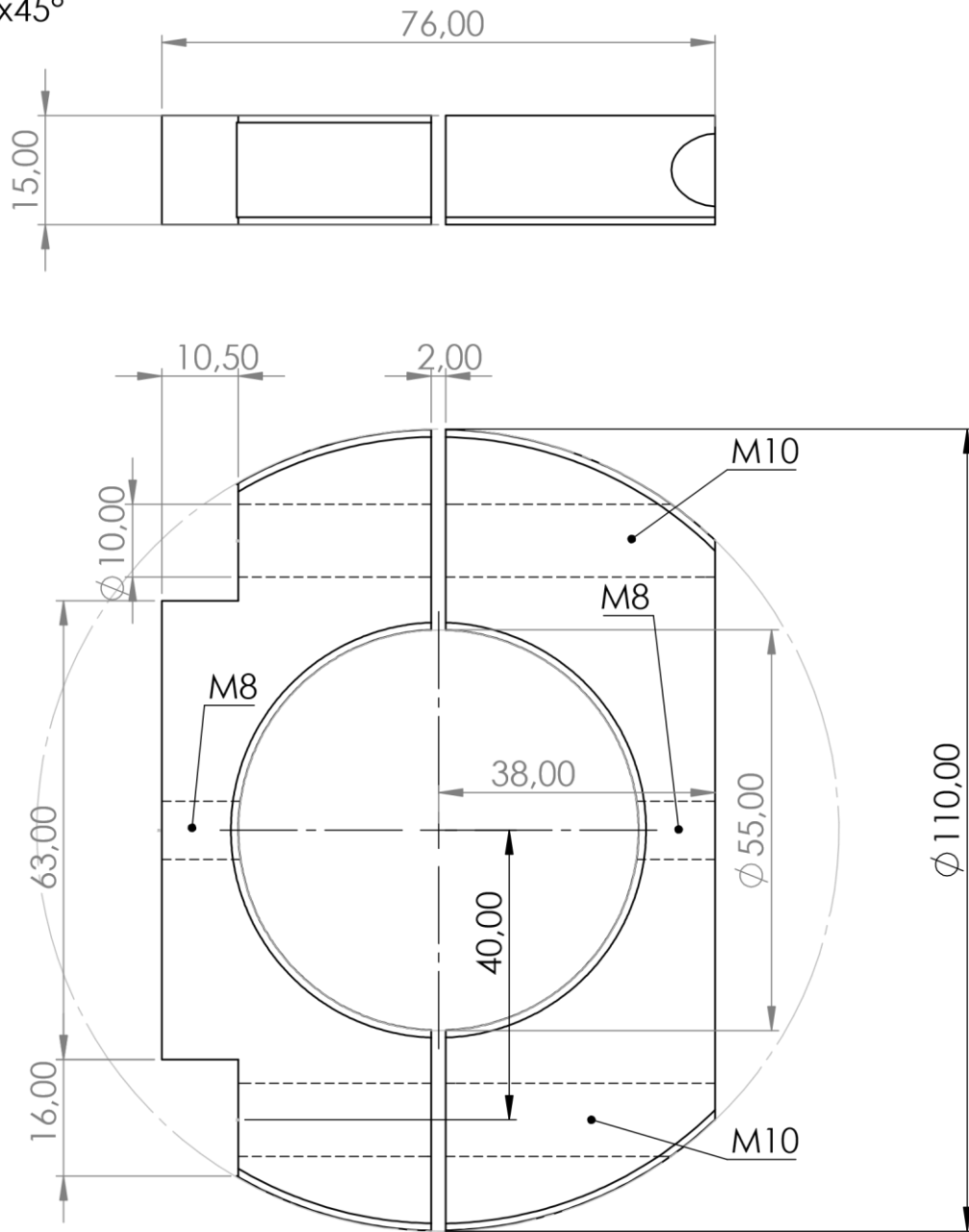
DWG NO.
TAKAISKARIN YLÄPÄÄ

WEIGHT:

SCALE:2:1

SHEET 1 OF 1

Kappale sahataan keskeltä katki sorvaamiseen jälkeen
 Puristukseen sopii M10x70 pultit kovuudessa 10.9
 Viisteet 2x45°



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:
 DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS
 SURFACE FINISH:
 TOLERANCES:
 LINEAR:
 ANGULAR:

FINISH:

Ei viimeistelyä

DEBURR AND
 BREAK SHARP
 EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION

| NAME | SIGNATURE | DATE |
|--------|-----------|------|
| DRAWN | RHa | |
| CHK'D | | |
| APPV'D | | |
| MFG | | |
| Q.A | | |

TITLE:

MATERIAL:

S235

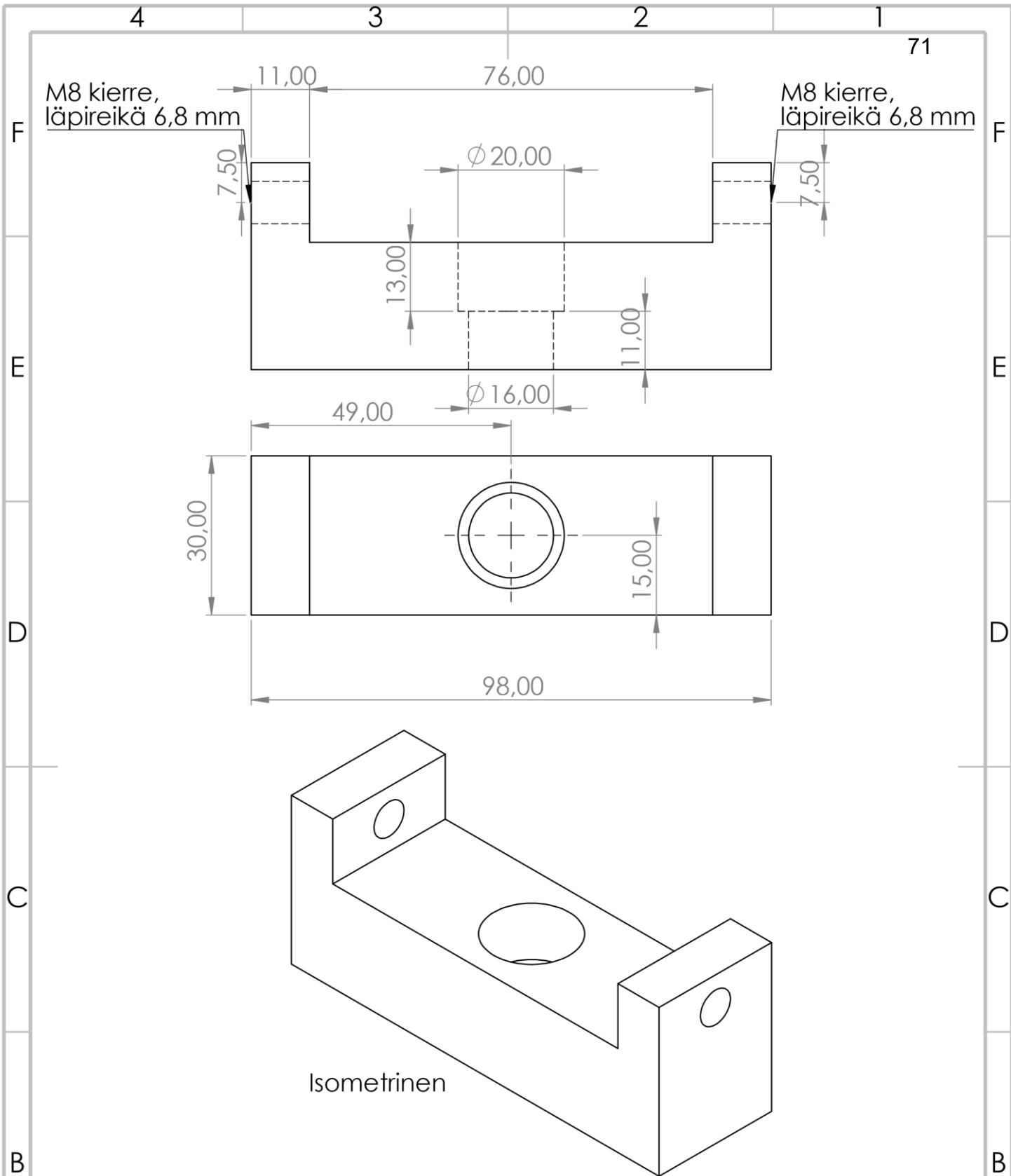
DWG NO.

iskarin kiristypanta A4

WEIGHT:

SCALE:1:2

SHEET 1 OF 1



Isometrinen

UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:
DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS
SURFACE FINISH:
TOLERANCES:
LINEAR:
ANGULAR:

FINISH:
Ei viimeistelyä

DEBURR AND
BREAK SHARP
EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION A

| | NAME | SIGNATURE | DATE |
|--------|------------|-----------|------|
| DRAWN | 10.05.2020 | RHa | |
| CHK'D | | | |
| APPV'D | 10.05.2020 | RHa | |
| MFG | | | |
| Q.A | | | |

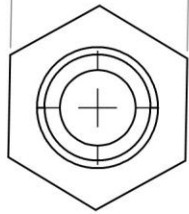
| | |
|-----------|-----------------------------|
| TITLE: | |
| MATERIAL: | S235 |
| DWG NO. | Kiristyspannan kiinnitysosa |
| SCALE:1:1 | SHEET 1 OF 1 |

4 3 2 1

F

F

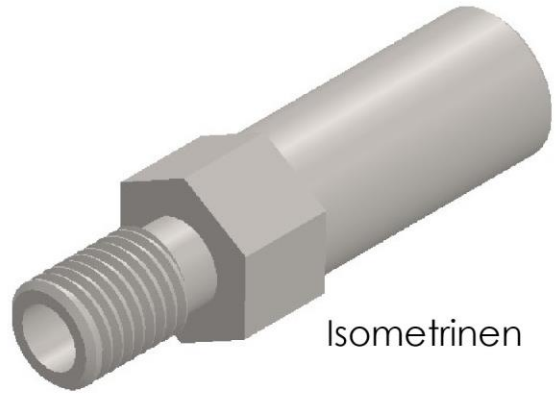
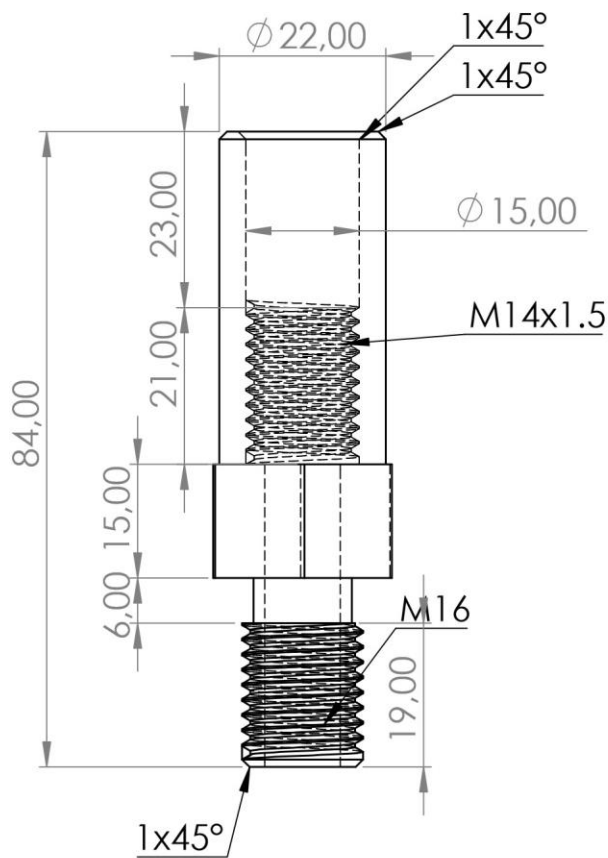
Avainväli 24,00 $\begin{matrix} +6,00 \\ 0,00 \end{matrix}$



Kappaleeseen tehdään 9 mm läpireikä koko pituudelta

E

E



Isometrinen

D

D

C

C

B

B

UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:
DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS
SURFACE FINISH:
TOLERANCES:
LINEAR:
ANGULAR:

FINISH:

Ei viimeistelyä

DEBURR AND
BREAK SHARP
EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION

| | NAME | SIGNATURE | DATE |
|--------|------|-----------|------|
| DRAWN | | RHa | |
| CHK'D | | | |
| APPV'D | | | |
| MFG | | | |
| Q.A | | | |

| | | | |
|------------|------------------------------------|--|--|
| TITLE: | | | |
| MATERIAL: | S235 | | |
| DWG NO.: | etuiskarin takapäähä ^{A4} | | |
| SCALE: 1:1 | SHEET 1 OF 1 | | |

A

A

4 3 2 1

Liite 4. Vaimennintestilaitteen käyttöohjeet

HEILAHDUKSENVAIMENNIN DYNAMOMETRI

TESTIPENKIN JA OHJELMISTON KÄYTTÖOHJE

Tämän testerin avulla käyttäjä saa täydellisen kuvauksen jousista ja heilahduksenvaimentimista, joita käytetään auto-teollisuudessa. Samaa laitetta voidaan käyttää myös pyörien vaimentimiin, sekä etuhaarukoihin. Ohjelmiston päävalikosta käyttäjä voi valita testerin kalibroinnin, testin suorittamisen tai tulosten analysoinnin. Päävalikon näkymä on esitetty alla olevassa kuvassa.



1. Introduction – Esittely

Päävalikosta löytyy seuraavat viisi kohtaa:

1. Bench & Run SetUp

- Test Setup → Antaa käyttäjän lisätä perustiedot ja suunnitella testin.
- Sensor Calibration → Kuormituskennon, lineaarisen potentiometrin ja vaimentimen esijännityksen kalibrointi.
- Exit → Sovelluksesta poistuminen.

2. Spring

- Spring Test → Suorittaa jousen testauksen.

3. Damper

- Single Speed Test → Käyttäjä voi suorittaa vaimennintestin yhdellä vakionopeudella
- Scheduled Runs → Käyttäjä voi suorittaa vaimennintestin useilla eri nopeuksilla, sekä määrittää toistojen määrän kullekin nopeudelle.

4. Test Files Database

- Find Test File → Käyttäjä näkee tietokantaan tallennetut testit
- View Test File → Usean testitiedoston tarkastelu ja analysointi

5. Reserved Area

- Insert Password → Käyttäjä pääsee tarkastelemaan ja muokkaamaan laitteen asetuksia ja kalibrointi-arvoja.

2. HW Setup

2.1 Test Setup

Vasemmalla olevan alapaneeliin "Test Description" täytetään tiedot "FirstName – Etunimi", "Surname – Sukunimi", "Dumper Model – Vaimentimen malli", "Note – Muut tiedot" jne. Kaikki tiedot kerätään testitiedostojen tietokantaan, paitsi "Dumped Mass – Vaimennettu massa" ja "Spring Elasticity – Jousijäykkyys", joita käytetään jousiparametrien laskennassa.

Oikeassa alapaneelissa oleva "Automatic Test Shedule" sallii käyttäjän syöttää, muokata tai ladata tietyt asetukset, joita käytetään testattavaan vaimentimeen Scheduled Runs-toiminnon aikana.

"Open" -painike lataa tallennetut testiasetukset ja "Save" -painike tallentaa uudet tai muokatut testiasetukset. Oletushakemisto on:
 C:\user\public\DUMPER_Test\Config\Schedule

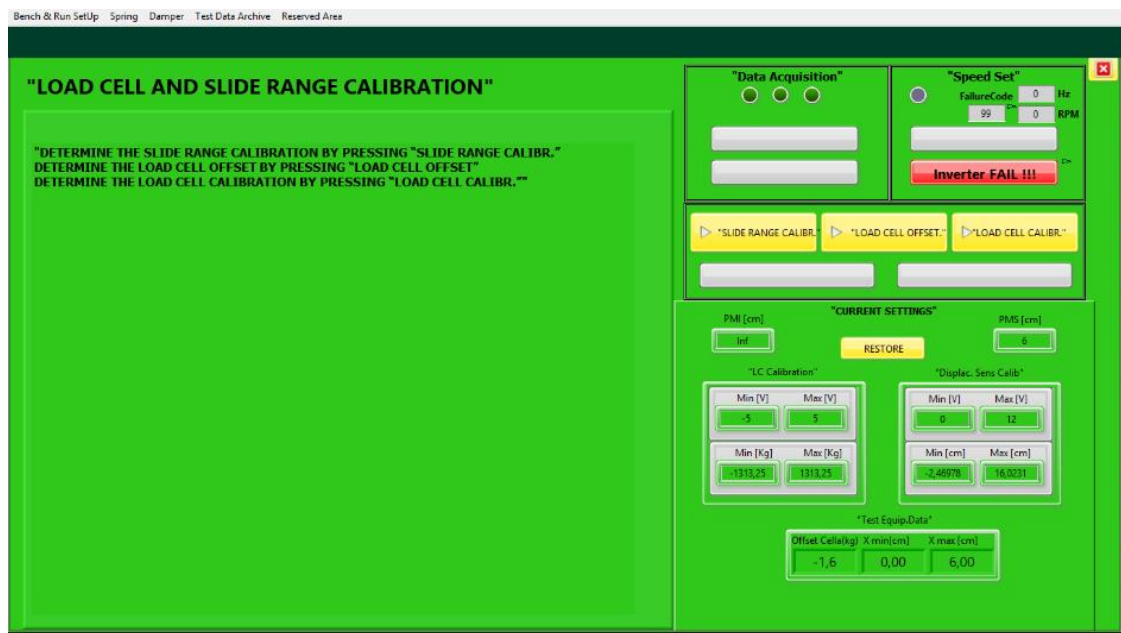
Jokainen testiasetus koostuu useista vaiheista, joissa käyttäjä valitsee, kuinka monta jaksoa testissä suoritetaan ja millä nopeudella (m/s). Syklien lukumäärä ja nopeus määrittelevät testin kestoajan.

"Up" ja "down" -painikkeilla voidaan liikkua muokattavien rivien välillä.

"Add" and "remove" -painikkeilla voidaan luoda tai poistaa rivi testijaksosta.

Testiasetusten luominen on pakollista automaattisen testin suorittamiseksi.

2.2 Sensor Calibration Panel

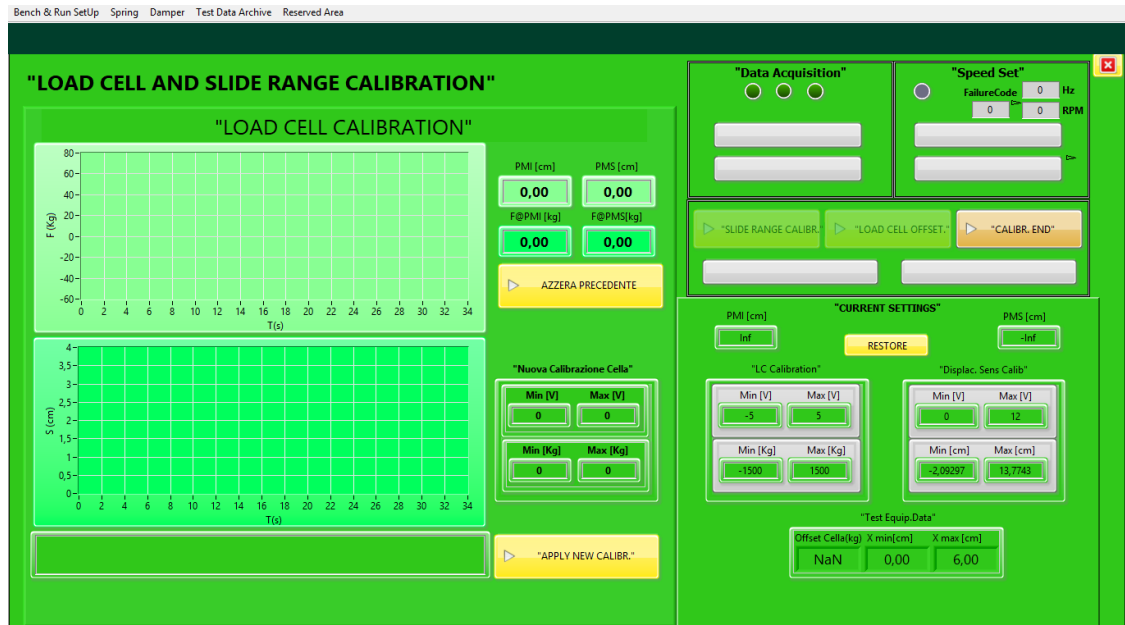


Vaimennintesteri vaatii alustavan kalibrointimenettelyn, jotta saadaan oikeita testaustuloksia. Vakiokalibrointi on suoritettava joka kerta kun testataan uutta vaimenninta tai joustaa. Kalibrointi on periaatteessa vain koneen asetus vaimentimen esijännityksen ja iskun määrittämiseksi. Toinen jaksollinen kalibrointi on suoritettava viitejousella, ja se on tarkoitettu vain voima-anturin kalibrointiin.

Vasemmalla puolella kalibrointipaneelia olevat ohjeet auttavat käyttäjää eri kalibrointitoiminnoissa. Voima-anturin ja lineaarisen potentiometrin perusominaisuudet ilmoitetaan "Load Cell Calibration" ja "Displacement Sensor Calibration" -otsikoiden alapuolella. Parametrien arvot eivät ole tässä näkyvässä muuttavissa, mutta niitä pysyttään muuttamaan siirtymällä sovelluksen vasemmassa yläpalkissa sijaitsevaan "Reserved Area" -välilehteen.

Kun kalibrointi on suoritettu, kuormituskennon uudet, Xmin ja Xmax -arvot näkyvät "Test Equipment Data" -otsikon alapuolella. Uudet arvot voidaan tallentaa kalibrointitoiminnoissa, jotka ovat näkyvissä keltaisina laatikoina sivun keskiosassa. Aiemmat kalibrointi-arvot voidaan ladata uudelleen painamalla "Restore" -painiketta.

2.3 Basic Load Cell Calibration (Reference Spring)

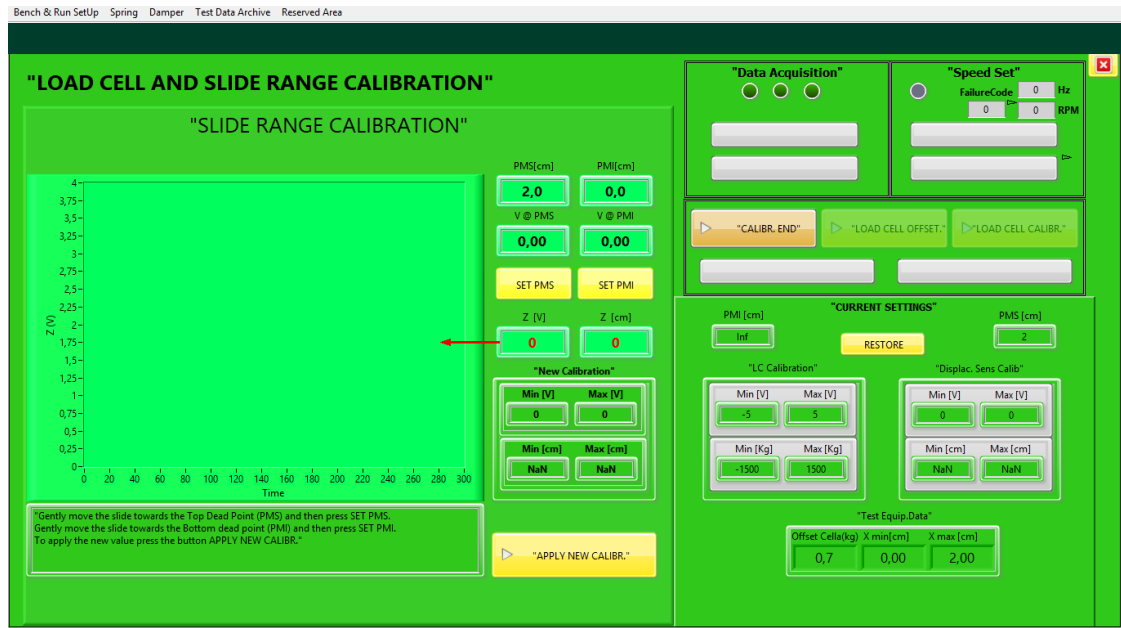


Yllä oleva kuva näyttää etupaneelin sellaisenaan kuin se näkyy voima-anturin kalibroinnin aikana. Voima-anturin kalibrointi suoritetaan käyttämällä viitejousta. Ohjelmisto tallentaa Reserved Area -välilehdelle viitejousen perustiedot. Tarkista, että tallennetut vertailuarvot vastaavat käytettävän vertailujousen arvoja. Kuvassa olevat kaksi kuvaajaa (aika - siirtymä ja aika - voima) näkyvät myös kalibroinnin aikana. Muista määrittää potentiometrin isku ennen kalibroinnin aloittamista!

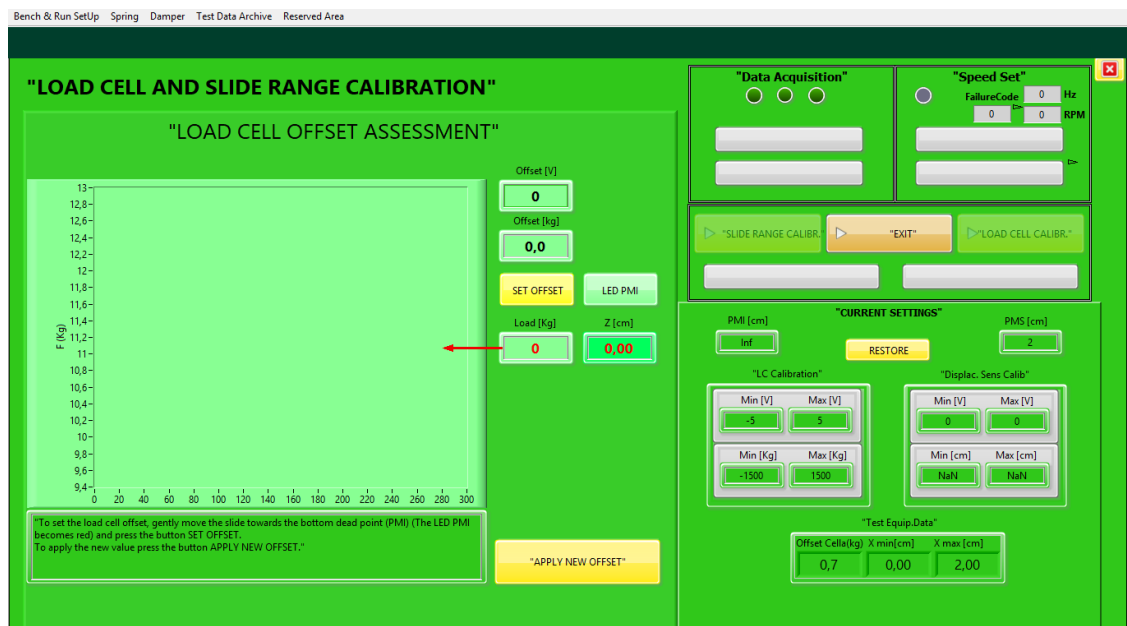
Voima-anturin kalibroinnissa sähkömoottori alkaa liikuttamaan kampea heti kun käyttäjä painaa "Load Cell Calibration" painiketta. Samalla ohjelma alkaa piirtämään kuvaajia. Tallenna kalibrointi-arvot painamalla "Apply New Calibration" vasta sitten, kun kuvaajat ovat vakaat. Kalibrointi-arvot voidaan tyhjentää painamalla "Azzera Precedente". Voima-anturin kalibrointi lopetetaan painamalla "Calibration End".

Työturvallisuuden takia on välttämätöntä varmistaa ennakkoon vaimentimen/jousen isku, joka kerta ennen uuden vaimentimen tai jousen asentamista koneeseen. Tämä toimenpide on tehtävä ennen kuorituskennon kalibrointia, koska kampijärjestelmä pyörii kalibroinnin aikana.

2.4 Pre-Load and Stroke Calibration



Laitteen iskunpituuden kalibrointi aloitetaan Slide Range Calibration -painiketta painamalla, jolloin aukeaa yllä olevan kuvan mukainen ikkuna. Vasemmassa alareunassa näkyvät kalibrointiohjeet. Kampea liikutetaan siis ensin yläkuolokohtaan ja painetaan SET PMS-painiketta. Tämän jälkeen kampea liikutetaan alakuolokohtaan ja painetaan SET PMI-painiketta. Lopuksi kalibrointiarvot tallennetaan painamalla "Apply New Calibration", jonka jälkeen kalibrointi lopetetaan painamalla "Calibration End". Tämä mittaus suoritetaan käyttäjän määrittelemällä toleranssilla (oletusarvo 0,3 mm).



Vaimentimen esijännityksen kalibrointi aloitetaan painamalla "Load Cell Offset", jolloin aukeaa yllä olevan kuvan mukainen ikkuna. Vasemmassa alareunassa näkyvät jälleen kalibrointiohjeet. Esijännityksen kalibrointi tehdään liikuttamalla kampi alakuolokohtaan ja painamalla "Set Offset", jolloin laite laskee vaimentimen esijännityksen. Esijännityksen laskemisen jälkeen lopeta kalibrointi painamalla "Exit".

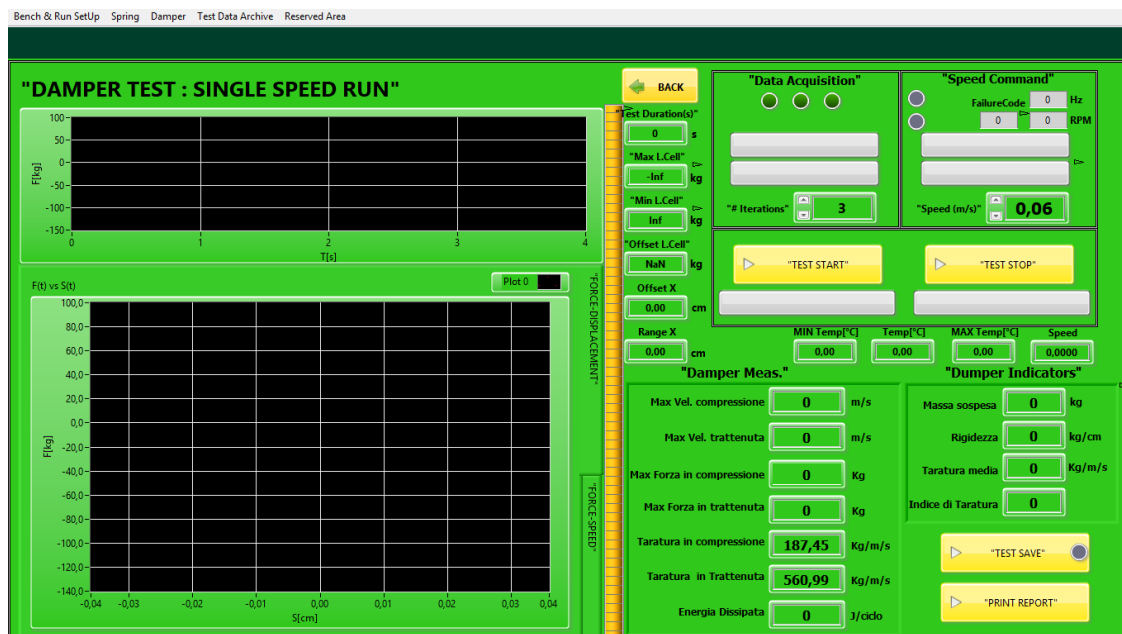
2.5 Calibration Procedure Summary – Kalibroinnin yhteenveto

Alla oleviin kohtiin on koottu yhteenveto kalibroinnista edellä mainittujen ohjeiden mukaan:

1. Etsi TDC (PMS) ja BDC (PMI) asemat painamalla LOAD CELL CALIB -painiketta. Uusi aika kuvaaja aloittaa tiedonkeruun ja sähkömoottori alkaa liikkua ylös ja alas. Paina APPLY NEW CALIBRATION -painiketta kun sekä TDC- että BDC -arvot ovat vakaat.
2. Laske punnituskennon siirtymä (iskunvaimentimen esijännitys) painamalla LOAD CELL OFFSET -painiketta. Liikuta kampea käsin alaspäin kohti alakuolokohtaa. Laske uusi esikuormitusarvo painamalla SET OFFSET -painiketta.
3. Lopuksi tallenna kalibrointitiedot painamalla SAVE NEW VALUES -painiketta.

3. Damper Test

3.1 Single Speed Run



Etupaneelin vasemmalla puolella on saatavana kolme kuvaajaa. Yläreunassa oleva kuvaaja on näkyvässä koko ajan, mutta alareunassa näkyvä kuvaaja voidaan valita sivun keskiosassa olevien välilehtien avulla. Pystyakseli kuvaa testin aikana mitatun voiman kilogrammoina. Alareunassa näkyvä ensimmäinen kuvaaja esittää voiman kehityksen siirtymän suhteen, jotka saadaan mitattua lineaarisella potentiometrillä. Toinen kuvaaja näyttää voiman kehityksen nopeuden suhteen. Kaikki kuvaajat päivittyvät reaaliajassa testin aikana. Koeajon lopussa voidaan tarkastella koko mittausjaksoa pois lukien puolijaksot testiajan alusta ja lopusta, jotka jätetään pois matemaattisten virheiden minimoimiseksi.

Oikealla puolella näkyy kaksi ruutua "Data" ja "Speed". Ne ilmoittavat tietoliikenteen tilan (onko DAQ kortti kytketty vai ei) ja sähkömoottorin tilan (käynnissä, pysäytetty tai irrotettu).

"#Iterations" -ohjauspainike kertoo järjestelmälle, kuinka monta toistoa suoritetaan ennen testin automaattista pysäyttämistä.

"Speed" -painikkeella määritetään vaimentimen suurin nopeus. Koska testilaite käyttää kampijärjestelmää vaimentimen puristamiseen niin "linear speed" parametri tarkoittaa nopeutta 90:n ja 270:n kiertovaiheissa. Muista tarkistaa nämä kaksi parametria ennen Single Speed Run -testiä.

”Test Start” -painike käynnistää vaimennintestin.

”Test Stop” -painikkeesta testi lopetetaan, vaikka asetettu testijakso olisi vielä kesken.

”Test Save” -painiketta painamalla voidaan tallentaa testitulokset ohjelmiston tietokantaan. Paina tätä painiketta vain kerran välttääksesi saman tiedoston tallentamista useaan kertaan.

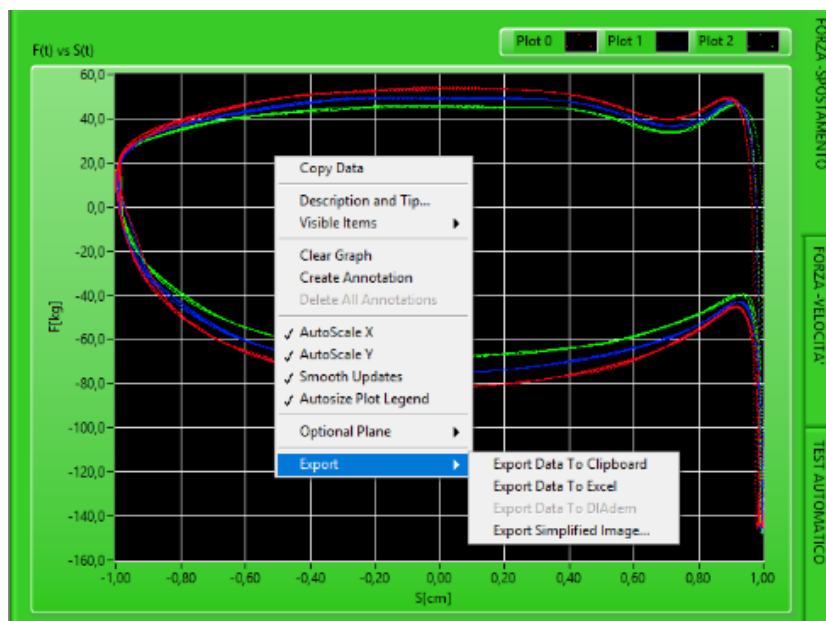
Keltainen pystysuora palkki täyttyy testin aikana ja se kuvaa testin edistymistä.

”Test Start” ja ”Test Stop” -painikkeiden alapuolella on ylikuormituksen merkkivalo. Se syttyy, kun voima-anturin lukema ylittää 1500 kg:n rajan. Testi lopetetaan automaattisesti, kun tämä raja saavutetaan.

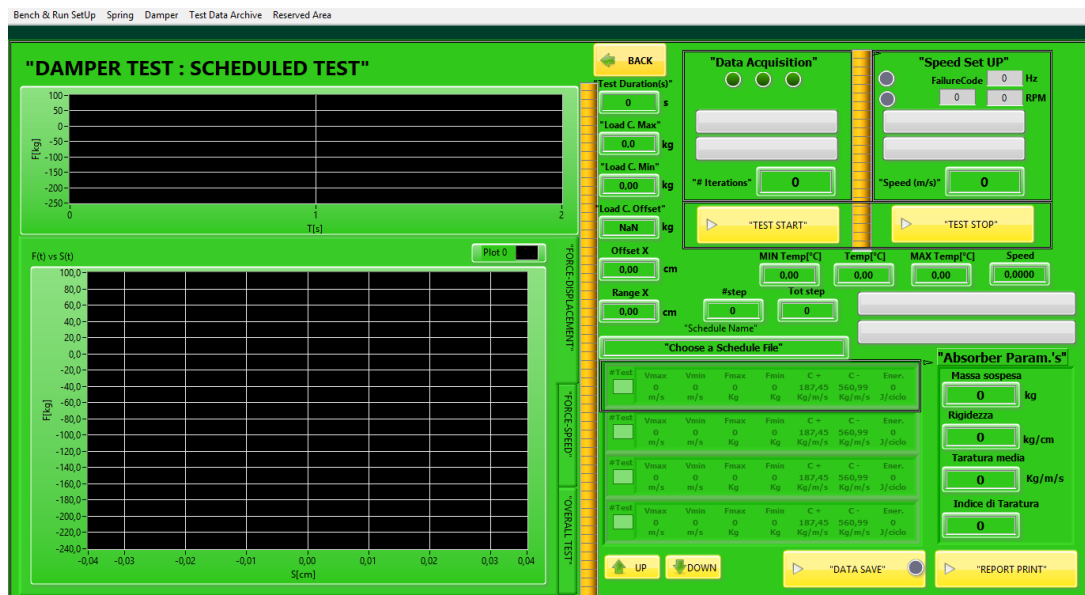
Kun testi on suoritettu oikein, kukin siihen liittyvä kuvaaja voidaan välittömästi tulostaa tai viedä haluttuun muotoon. Kuvaajan päällä hiiren oikeaa painiketta napsauttamalla ja valitsemalla export, voidaan tehdä seuraavat toiminnot:

- ”Export simplified image” Tallentaa ja tulostaa kuvan sellaisenaan.
- ”Export data to Clipboard” Tallentaa kuvan leikepöydälle.
- ”Export data to Excel” Luo mittaustuloksista Excel-tiedoston.

Nämä vaihtoehdot ovat käytettävissä kaikissa Shock Absorber Dyno-sovelluksen kuvaajissa.



3.2 Scheduled Damper Test



Etupaneeli mukautetun testin suorittamiseksi on hyvin samanlainen kuin "Single Run" -toiminnossa. Tässä tärkeimmät erot "Single Run" -toimintoon nähden:

- Ennen testin aloittamista käyttäjän on valittava "Schedule Table" kuten test setup -kohdassa kerrottiin. Mukautetun testin nimi ilmestyy "Schedule Name" -kenttään.
- Uusi kuvaaja nimeltään "Overall Test" on nyt saatavilla ja se löytyy näkymän keskiosasta muiden kuvaajien tapaan.
- Testin keskimääräinen vaimennuskerroin on nyt saatavilla.
- Paneelin oikealla puolella jokaisesta testistä ilmoitetaan numeerinen yhteenvedo alla olevan kuvan osoittamalla tavalla:

| #Test | Vmax | Vmin | Fmax | Fmin | C + | C - | Ener. |
|-------|-------------|--------------|-------------|------------|-------------------|-------------------|-----------------|
| 1.1 | 0,25 m/s | -0,25 m/s | -81,2 Kg | 53,6 Kg | -327,45 Kg/m/s | -217,99 Kg/m/s | 27,6 J/ciclo |
| 1.2 | 0,22 m/s | -0,22 m/s | -74,7 Kg | 49 Kg | -333,92 Kg/m/s | -218,95 Kg/m/s | 22,6 J/ciclo |
| 1.3 | 0,2 m/s | -0,2 m/s | -67,4 Kg | 45,7 Kg | -337,9 Kg/m/s | -229,42 Kg/m/s | 28,4 J/ciclo |
| 1.4 | 0,17 m/s | -0,17 m/s | -61 Kg | 41,8 Kg | -350,28 Kg/m/s | -240,36 Kg/m/s | 18,4 J/ciclo |
| 1.5 | 0,15 m/s | -0,15 m/s | -54 Kg | 38,3 Kg | -361,19 Kg/m/s | -257,55 Kg/m/s | 18 J/ciclo |

- "Up" ja "Down" -painikkeilla käyttäjä voi selata jokaisen testin osan tietoluetteloa.
- "Data Save" -painiketta painamalla voit tallentaa kaikki tiedot. Kun tallentaminen on suoritettu onnistuneesti, painikkeen led merkkivalo syttyy.

4. Test Files Database

4.1 Find Test Files

The screenshot shows the DBView application interface. At the top, there is a menu bar with options: Bench & Run SetUp, Spring, Dampier, Test Data Archive, Reserved Area. The main window has a green background and contains the following elements:

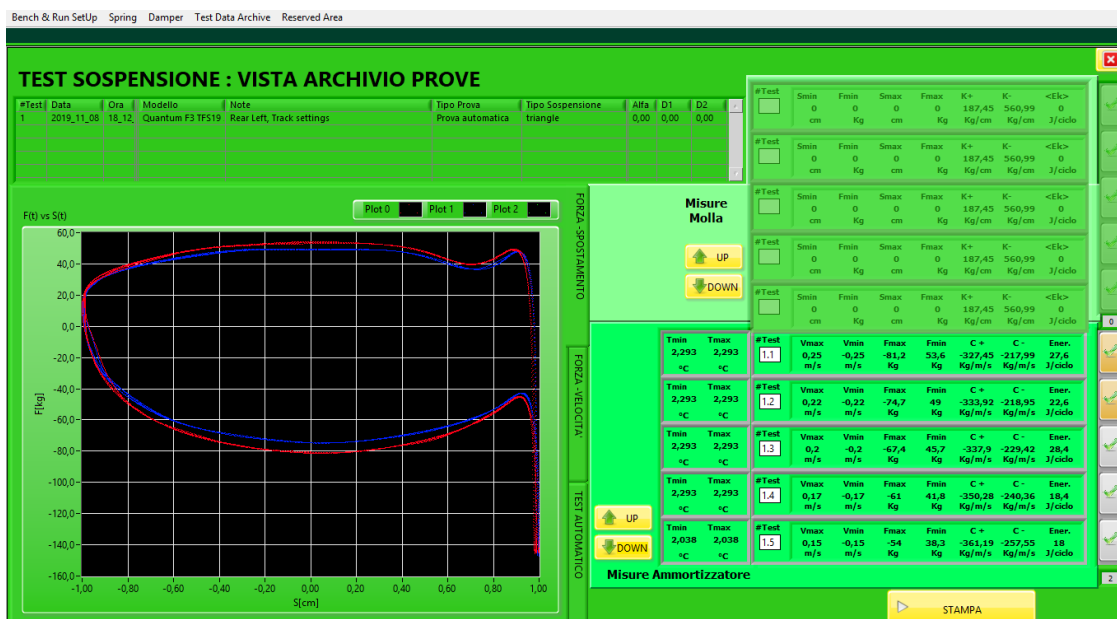
- Elimina** button (with a red X icon).
- GO TO FILE VIEW** button (with a green checkmark icon).
- Search filters: **Tipo Sospensione**, **Modello**, **Cognome**, and **Tipo Prova**.
- File Selezionati** table with columns: data, ora, cognome, nome, modello, tipo, massa sosp., tipo prova, note.
- FILE DISPONIBILI PER IL VEICOLO SELEZIONATO** table with columns: data, ora, cognome, nome, modello, tipo, massa sosp., tipo prova, note.

| data | ora | cognome | nome | modello | tipo | massa sosp. | tipo prova | note |
|------------|----------|-----------|----------|------------------------------------|----------|-------------|------------------|----------------------------|
| 2019_11_08 | 18_12_21 | Rihimäki | Juha | F3 TFS19 38n | triangle | 500,00 | Prova automatica | Rear Left, Track settings |
| 2019_11_08 | 17_59_38 | Rihimäki | Juha | F3 TFS19 38n | triangle | 500,00 | Prova automatica | Rear Right, Track settings |
| 2019_11_07 | 11_39_51 | Metsämäki | Valtteri | mty käyt. toim ersson - 1:1 - mono | | 500,00 | Prova singola | Iman jousta |
| 2019_10_31 | 10_53_22 | Rihimäki | Juha | pring 100x45,1 | triangle | 500,00 | Prova automatica | Spring label "4" |
| 2019_10_31 | 10_49_50 | Rihimäki | Juha | pring 100x45,1 | triangle | 500,00 | Prova automatica | Spring label "4" |
| 2019_10_31 | 10_49_49 | Rihimäki | Juha | pring 100x45,1 | triangle | 500,00 | Prova automatica | Spring label "4" |
| 2019_10_31 | 10_49_43 | Rihimäki | Juha | pring 100x45,1 | triangle | 500,00 | Prova automatica | Spring label "4" |
| 2019_10_31 | 10_49_43 | Rihimäki | Juha | pring 100x45,1 | triangle | 500,00 | Prova automatica | Spring label "4" |
| 2019_10_31 | 10_47_43 | Rihimäki | Juha | pring 100x45,1 | triangle | 500,00 | Prova automatica | Spring label "4" |
| 2019_10_31 | 10_47_40 | Rihimäki | Juha | pring 100x45,1 | triangle | 500,00 | Prova automatica | Spring label "4" |
| 2019_10_31 | 10_45_29 | Rihimäki | Juha | pring 100x45,1 | triangle | 500,00 | Prova singola | Spring label "4" |
| 2019_10_31 | 10_45_29 | Rihimäki | Juha | pring 100x45,1 | triangle | 500,00 | Prova singola | Spring label "4" |
| 2019_10_31 | 10_45_28 | Rihimäki | Juha | pring 100x45,1 | triangle | 500,00 | Prova singola | Spring label "4" |
| 2019_10_31 | 10_45_27 | Rihimäki | Juha | pring 100x45,1 | triangle | 500,00 | Prova singola | Spring label "4" |
| 2019_10_31 | 10_45_01 | Rihimäki | Juha | pring 100x45,1 | triangle | 500,00 | Prova singola | Spring label "4" |

Tallennetut testitiedostot voidaan hakea "Find Test Files" valikosta. Testitiedostoja voidaan hakea jousitustyyppin, mallin, sukunimen tai testityypin mukaan.

Yksi tai useampi tiedosto voidaan valita. Valitut kohteet näkyvät etupaneelin keskellä olevassa osoittimessa. Kun olet valinnut analysoitavat testit, paina "GO TO FILE VIEW", jolloin pääset tarkastelemaan valittuja testituloksia.

4.2 View Test Files



Valitut kohteet näkyvät tämän etupaneelin oikeassa alareunassa. Napsauttamalla S1, S2, S3, S4... painikkeita, jokainen testin osa voidaan valita näkymään vasemmalla puolella olevaan kuvaajaan.

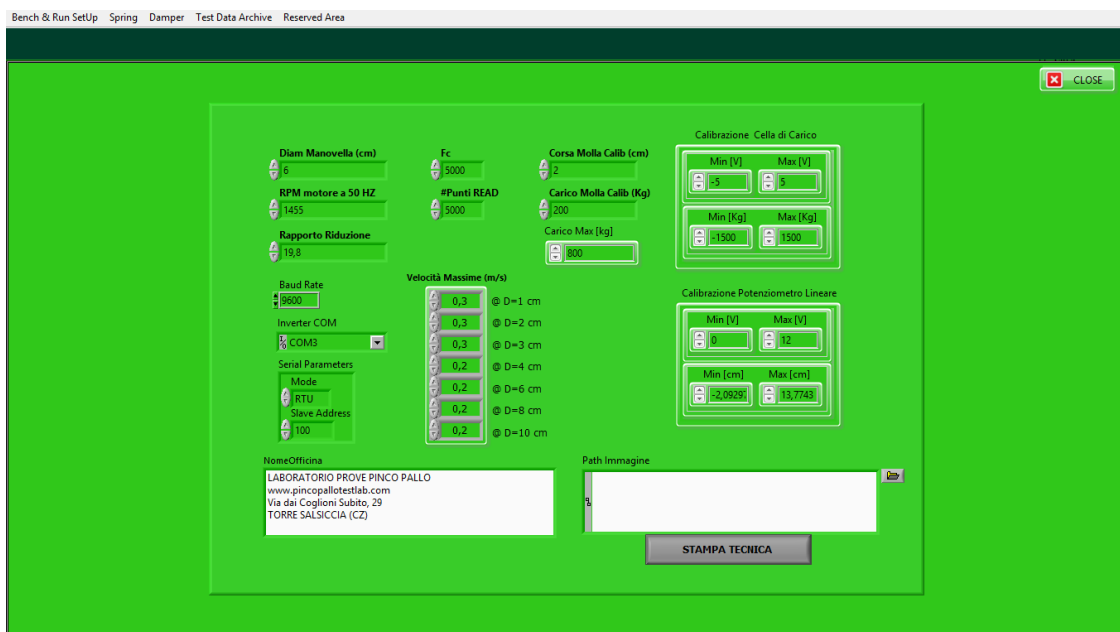
”UP” ja ”DOWN” -painikkeilla käyttäjä voi liikkua luettelossa. Kuten aikaisemmin on todettu, kaikki kuvaajat kuvaavat vaimentimen käyttäytymistä suhteessa nopeuteen ja liikematkaan. Lopuksi jokainen kuvaaja voidaan helposti viedä Excel-muotoon tai lähettää suoraan tulostimelle.

5. Reserved Area

5.1 Insert Password

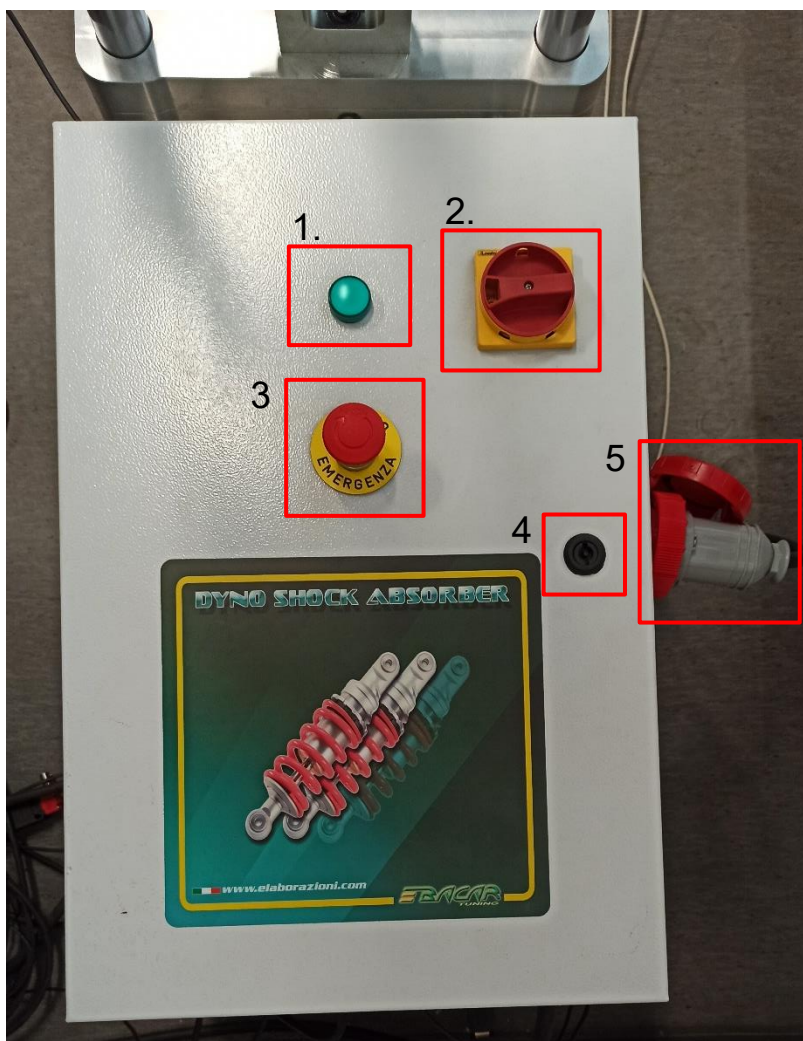
Reserved Area -toimintoa ei tarvitse käyttää koneen normaaliin toimintaan. Tällä alueella käyttäjä näkee laitteen kaikki kokoonpanoparametrit. Reserved Area toiminnossa on käytettävä oikeaa "Inverter COM" -porttia USB-RS485 tiedonsiirtoa varten.

Viitejousen siirtymä "Corsa Molla Calibrata" ja jousen esikuormitus "Carico Molla Calibrata" -parametrit on päivitettävä käytetyn kalibrointijousen mukaan. Nämä parametrit ovat erittäin tärkeitä penkin oikealle kalibroinnille! Lopuksi kammen halkaisija tulee päivittää joka kerta kun käyttäjä muuttaa koneen iskunpituutta, jotta kone laskee testitulokset oikein.

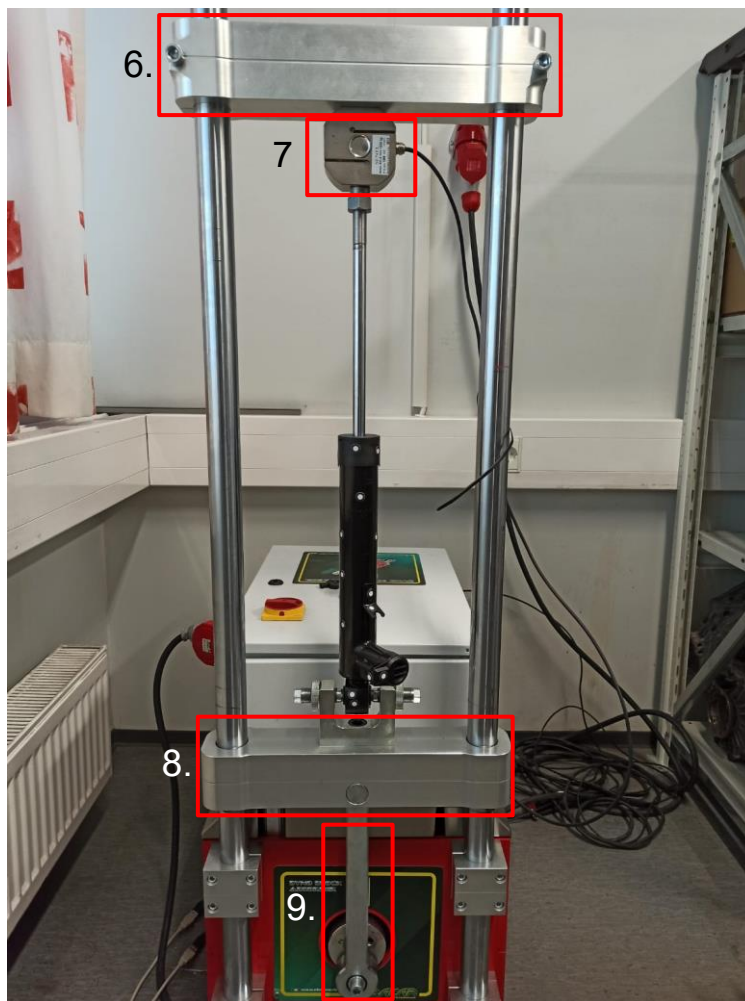


VAIMENNINTESTILAITTEEN KÄYTTÖOHJEET

Vaimennintestipenkistä löytyvät osat ja käyttökytkimet on esitetty alla olevissa kuvissa.



1. Virran merkkivalo
2. Laitteen virtakytkin
3. HÄTÄ-SEIS-painike
4. Huoltoluukun avainreikä
5. Voimavirtapistoke



- 6. Yläkiinnityssilta
- 7. Voima-anturi
- 8. Alakiinnityssilta
- 9. Kampijärjestelmä



Vaimenninpenkin käyttöön tarvittavat työkalut:

- Räikkäväännin
- 8mm kuusiokolohylsy
- 10mm kuusiokolohylsy
- 14mm kuusiokolohylsy
- 13mm kiintolenkkiavain
- 27mm kiintolenkkiavain

JOUSEN KIINNITTÄMINEN TESTILAITTEESEEN

Kalibrointijousi kiinnitetään vaimenninpenkkiin jousilautasten avulla.

- 1) Kiinnitä ensin jousilautaset laitteen ylä- ja alakiinnityssiltoihin.
- 2) Aseta jousi alalautasen päälle ja käännä kampi alakuolokohtaan.
- 3) Löysää yläkiinnityssillan korkeudensäätöä ja tuo yläpään jousilautanen hallitusti jousen päälle. Lopuksi kiristä yläkiinnityssillan korkeudensäätö.



VAIMENTIMEN KIINNITTÄMINEN TESTILAITTEESEEN

Vaimennin kiinnitetään testipenkkiin joko vaimentimen silmukkakiinnityksiä hyödyntämällä tai käyttämällä vaimentimelle rakennettuja kiinnityspalikoita. Vaimentimen kiinnitys itse rakennetuilla kiinnitysosilla voi poiketa näistä ohjeista. Alla olevat ohjeet on tarkoitettu silmukkakiinnitteisen vaimentimen asennukseen.

1. Asenna kiinnityspalikat vaimennintesterin ylä- ja alakiinnityssiltoihin.
2. Kiinnitä vaimentimen alapää silmukkakiinnityspalikkaan ja varmista, että kiinnikkeiden kartioiden päät eivät osu toisiinsa → Käytä sopivia aluslevyjä! Kiristä molemmilta puolilta tasaisesti, jotta vaimennin tulee suoraan.
3. Käännä kampi alakuolokohtaan ja kiinnitä vaimentimen yläpää yläkiinnityssillan kiinnityspalikkaan samanlailla kuin alapää.
4. Paina vaimenninta hieman sisäänpäin ja kiristä yläkiinnityssillan korkeudensäätö sekä tarkista vaimentimen ylä- ja alapään kiinnitysten kireys.

Varmista kampea liikuttamalla, että vaimennin pääsee liikkumaan vapaasti myös ääriasennoissa ennen laitteen käynnistämistä. Tarkasta että antureiden kaapelit liikkuvat takertelematta kammien liikkeen mukana.





VAIMENNINPENKIN OHJAUksen KÄYNNISTÄMINEN

1. Tarkasta ettei jousen tai vaimentimen kiinnittämisen jäljiltä ole jäänyt työkaluja kiinni laitteeseen.
2. Jousen tai vaimentimen oikeaoppisen kiinnittämisen jälkeen testipenkkiin voidaan kytkeä virta kääntämällä virtakytkin asentoon I.
3. Nyt voidaan käynnistää tietokoneella sovellus, jolla ohjataan testipenkkiä.



ONGELMATAPAUKSET

- Laitteen sovellus kaatuu → tarkasta usb-johdot ja käynnistä sovellus uudelleen.
- Laite ei käynnisty → tarkasta turvakytkimen asento → tarkasta vikavirtasuoja.
- Sovellus lopettaa testin ylikuormituksen takia, vaikka ei olla lähelläkään ylikuormitusta → kalibroi voima-anturi uudestaan.
- Ihmeelliset anturitiedot → tarkasta anturien kaapeleiden kunto koko pituudelta.

Sähkösäätöisen heilahduksenvaimentimen tutkiminen

1. Tehtävä

Työssä tutkitaan sähkösäätöisen heilahduksenvaimentimen toimintaa eri ajotila-
valinnoilla

Oppimistavoitteet:

- Opiskelija ymmärtää heilahduksenvaimentimien toimintaperiaatteen ja vaimentimen säätöjen toiminnan
- Opiskelija tietää aktiivisen jousitusjärjestelmän komponentit
- Opiskelija osaa tehdä vaimentimen mittauksen vaimenninpenkissä

2. Työssä tarvittavat välineet

- VW Golf VI vm. 2009, 1,4TSI
- Bacar Tuning -vaimennintesteri
- Kannettava tietokone
- VW Golf VI etu- ja takaheilahduksenvaimentimet
- Välikaapeli
- 27mm kiintolenkkiavain
- 13mm kiintolenkkiavain
- Räikkäväännin
- 8mm kuusiokolohylsy
- 10mm kuusiokolohylsy
- 14mm kuusiokolohylsy

3. Työn suorittaminen

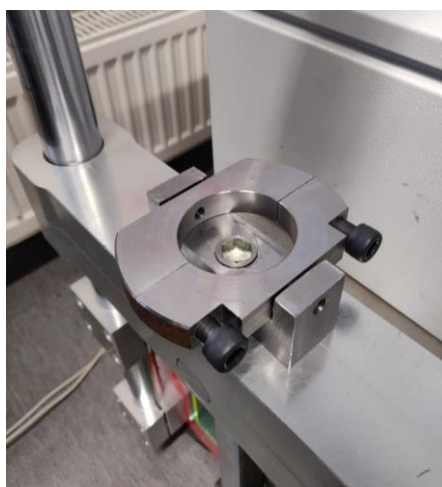
Kalibroi vaimenninpenkin voima-anturi käyttöohjeiden mukaan ennen mittauksia (käytä kalibrointiin punaista 100 kg kalibrointijousta). Voima-anturin kalibroinnin jälkeen kytke testipenkin virta pois vaimentimen asennuksen ajaksi.

Suorita etuvaimennin-jousi-yhdistelmän mittaus testipenkissä seuraavien ohjeiden mukaisesti:

1. Nosta yläpään kiinnityssiltaa riittävän ylös, jotta vaimentimen kiinnittäminen voima-anturin kierteelle on mahdollista. Muista holkki kiinnityksen yhteydessä.



2. Asenna kiinnitysrauta ja puristusrauta alapään kiinnityssiltaan. Tämän jälkeen löysää yläpään kiinnityssiltaa, laske vaimennin varovasti puristusraudan sisään ja kiristä alapään kiinnitykset.



3. Liikuta kampi alakuolokohtaan ja kiristä yläpään kiinnityssilta. Tämä on ensiarvoisen tärkeää, jotta vaimennin pysyy ehjänä mittauksen aikana. Laitteeseen piirretyt viivat helpottavat alakuolokohdan löytämistä. Yläkiinnityssillan kiristämisen jälkeen kokeile pyörittää kampea räikkävääntimen avulla alakuolokohdan ohi molemmille puolille. Kammen tulee liikkua alakuolokohdan yli ilman ylimääräistä takertelua.



4. Aja VW Golf VI vm. 2009, 1,4TSI vaimenninpenkin lähellä olevaan tilaan. Irrota vasen etupyörä ja vaimentimessa kiinni oleva ruskea liitin. Yhdistä välikaapelin toinen pää autoon ja toinen vaimenninpenkissä olevaan vaimentimeen.



5. Määritä vaimentimen esijännitys vaimenninpenkin käyttöohjeiden mukaan eli Load Cell Offset -toimintoa käyttäen. Suorita vaimentimen mittaus ensin auton ollessa sammutettuna ja sen jälkeen auton käydessä eri ajotiloja ja mittausnopeuksia käyttäen. Ajotilan vaihto tapahtuu punaisella ympyröidystä napista auton käydessä.



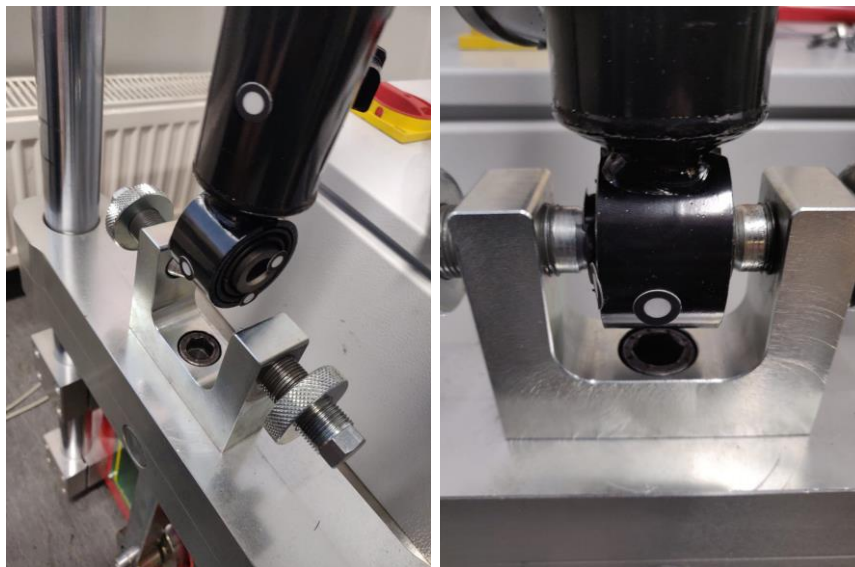
6. Etuvaimentimen testauksen jälkeen sammuta virta testipenkistä. Poista välikaapeli, kiinnitä liitin takaisin auton vaimentimeen ja kiinnitä etupyörä takaisin. Pura vaimennin testipenkistä.

Suorita takavaimentimen mittaus testipenkissä seuraavien ohjeiden mukaisesti:

1. Kiinnitä vaimentimen yläpää testipenkkiin samoin kuten etuvaimennin ja muista holkki.



2. Kiinnitä alakiinnityssiltaan silmukkakiinnitteisen vaimentimen kiinnitysrauta, löysää yläkiinnityssiltaa ja laske vaimennin hallitusti silmukkakiinnityspalikan kohdalle. Kiristä molemmilta puolilta tasaisesti ja käytä tarvittaessa aluslevyjä, jotta kiinnikkeen päät eivät osu toisiinsa.



3. Alapään kiinnityksen jälkeen liikuta kampi alakuolokohtaan, paina vaimenninta noin 5-10 mm kasaan ja kiristä yläpään kiinnityssilta. Tällä toimenpiteellä varmistetaan, ettei vaimennin hajoa testin aikana.
4. Irrota auton takapyörä sekä vaimentimelle menevä liitin ja kytke välikaapeli auton ja testipenkissä olevan vaimentimen välille.



5. Määritä vaimentimen esijännitys vaimenninpenkin käyttöohjeiden mukaan eli Load Cell Offset -toimintoa käyttäen. Suorita vaimentimen mittaaminen ensin auton ollessa sammutettuna ja sen jälkeen auton käydessä eri ajotiloja ja mittausnopeuksia käyttäen.
6. Takavaimentimen testauksen jälkeen sammuta virta testipenkistä. Poista välikaapeli, kiinnitä liitin takaisin auton vaimentimeen ja kiinnitä takapyörä takaisin. Pura vaimennin testipenkistä.

4. Raportointi

Raporttiin yleisen ohjeistuksen lisäksi ainakin seuraavat asiat:

- Eri vaimennusasetusten testitulokset kuvaajineen sekä tulosten analysointi
- Vaimentimen testitulokset kuvaajineen auton ollessa sammutettuna
- Aktiivisen jousitusjärjestelmän toimintaperiaate ja tarvittavat komponentit
- Selvitä raportissa myös seuraavat asiat:
 - Vaimennintestilaitteen antureiden toimintaperiaate?
 - Miten anturit muodostavat saatuja arvoja?
 - Miten sähkösäätöinen heilahduksenvaimennin säätyy?
 - Mitä eri säätöjä heilahduksenvaimentimessa voi olla?
 - Mikä ero on kaasupainevaimentimella ja öljyvaimentimella?
 - Vaikuttaako käytetty jousi heilahduksenvaimentimen vaimennuskertoimeen?
 - Mikä on jousen tehtävä paketissa?
 - Laske kalibrointijousen jousivakio?
 - Miksi valmistaja ilmoittaa jousen 100kg jouseksi?
 - Mistä tulee jousen kalibroinnissa syntyvä virhe?
 - Shock compression high speed, shock compression low speed, shock rebound high speed, shock rebound low speed?
 - Miten edellä mainittuja termejä voidaan säätää ja miten ne vaikuttavat?