

Juha Saarikoski

Moottorikelkan iskunvaimentimen suunnittelu ja tuotekehitys

Metropolia Ammattikorkeakoulu
Insinööri (AMK)
Kone- ja tuotantotekniikka
Insinöörityö
7.11.2012

Tekijä Otsikko	Juha Saarikoski Moottorikelkan iskunvaimentimen suunnittelu ja tuotekehitys
Sivumäärä Aika	48 sivua 7.11.2012
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Kone- ja tuotantotekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	Tuotesuunnittelu
Ohjaajat	Lehtori Heikki Paavilainen Manager Mikko Heino
<p>Tämän insinöörityön tarkoituksena oli suunnitella iskunvaimennin moottorikelkan jousituskonstruktioon. Työn lähtökohtana olivat eri iskunvaimenninvalmistajien ilmoittamat tiedot. Työssä hyödynnettiin kilpa- ja normaalikäyttöön tarkoitettujen iskunvaimentimien kehitysversioista testaamalla saatuja tietoja ja kokemuksia.</p> <p>Työssä käsiteltiin iskunvaimentimen rakennetta, sekä perehdyttiin tarkemmin testaus- ja suunnittelumenetelmiin. Iskunvaimentimen valinta ja mitoitus on tärkeä osa jousituskonstruktiota. Valintaan vaikuttaa koko moottorikelkan alustageometria, joten lopulliset vaimennusarvot tullaan löytämään vasta huolellisella testaamisella ja säätämällä. Lisäksi työssä käsitellään moottorikelkan jousitusta, koska oikean jousivakion valinta on iskunvaimentimen toiminnan kannalta merkittävä.</p> <p>Suunnittelussa jouduttiin tekemään kompromissi käyttöolosuhteiden kannalta, joten työssä keskityttiin kilpakäyttöön tarkoitettujen iskunvaimentimien suunnitteluun. Lopputuloksena saatu iskunvaimennin ja sopivalla jousivakiolla valmistettu jousi vaikutti erittäin toimivalta ratkaisulta.</p> <p>Tämä työ on tarkoitettu teoriapohjaksi ja apuvälineeksi moottorikelkkojen jousitusjärjestelmää suunnitteleville ja iskunvaimentimien säätämisestä kiinnostuneille henkilöille. Kuitenkin suunnittelussa on muistettava kaikkien laskennallisten arvojen olevan vain ohjeellisia ja suuntaa antavia. Suunnittelutyössä joudutaan tekemään paljon oletuksia, joten lopulliset iskunvaimentimen kannalta tehtävät säädöt ja muutokset tehdään aina huolellisen testaamisen jälkeen. Eri kelkkamalleissa käytetään vaimennusarvoiltaan hyvinkin erilaisia iskunvaimentimia, joten ei voida olettaa niiden sopivan yhteen. Koko systeemin toimivuuden kannalta on siis tärkeää ottaa huomioon kelkan fysikaaliset arvot, sekä valmistajan ilmoittamat tekniset tiedot. Halutut ajo-ominaisuudet, sekä käyttöolosuhteet on selvitettävä ennen iskunvaimentimen suunnittelun aloittamista.</p>	
Avainsanat	Iskunvaimennin, moottorikelkka, jousitus

Author Title	Juha Saarikoski Design and R&D Process of Snow Mobile's Shock Absorber
Number of Pages Date	48 pages 7 November 2012
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Mechanical Engineering
Specialisation option	Product Design
Instructors	Heikki Paavilainen, Principal Lecturer Mikko Heino, Manager
<p>The aim of this Bachelor's thesis was to design a shock absorber for the suspension structure of a snowmobile. This thesis is based on the data provided by various shock absorber manufacturers. The thesis makes use of the experience and data achieved by means of testing the development versions of shock absorbers for both racetrack and regular use.</p> <p>This thesis deals with the structure of a shock absorber. More specifically, it focuses on relevant testing and design methods. Selection and dimensioning of a shock absorber are a crucial part of the suspension structure. The selection is dictated by the chassis geometry of a snowmobile. Therefore, the final attenuation values may only be found by means of careful testing and adjusting. As the selection of the right spring constant is important for the proper functioning of a shock absorber, this thesis must also deal with the suspension of a snowmobile.</p> <p>It was necessary to narrow down the intended use environment and to focus solely on a racetrack model. As a result, a shock absorber and a spring with a suitable spring constant, appeared to be, a very workable suspension solution.</p> <p>In conclusion, the purpose of this thesis is to act as a theoretical foundation and to assist those interested in the design and adjusting process of shock absorbers and suspension systems. However, it is mandatory to bear in mind that all values are of indicative nature. In the design process one has to do several assumptions. Therefore, the final adjusting is made only by virtue of careful and deliberate testing. Attenuation values of shock absorbers in different snowmobiles are crucially different. Accordingly, the compatibility between different models is challenging. In order to achieve the desired result, it is important to take into consideration, <i>inter alia</i>, the numerical values and the technical data provided by manufacturers. Preferred driving features and the operating environment must be known before the commencement of the design process.</p>	
Keywords	Shock absorber, snowmobile, suspension

Sisällys

1	JOHDANTO	1
2	KÄSITTEET	2
2.1	Iskunvaimentimen rakenne ja toiminta	2
2.2	Erytyypiset iskunvaimentimet	3
2.2.1	Twintube	3
2.2.2	Monotube	4
2.2.3	Monotube-rakenteen edut	4
3	SUUNNITTELUN LÄHTÖKOHDAT JA TAVOITTEET	5
3.1	Käyttökohde	5
3.2	Tavoitteet	6
3.3	Suunnittelun työkalut	6
3.4	Alustageometria	7
3.4.1	Jousitus	9
3.4.2	Iskunvaimennin	9
3.4.3	Vipusuhde	12
3.4.4	Telasto	13
4	SUUNNITTELUN TOTEUTUS	16
4.1	Alustavat testit	16
4.2	Polaris Rush 600 -etujousitus	17
4.3	Polaris Rush 600 -telasto	19
4.4	Jousitus	20
4.4.1	Ominaisvärähtelytaajuus	22
4.4.2	Liikesuhde	23
4.4.3	Jouset	23
4.5	Iskunvaimennus	26
4.5.1	Vaimennussuhde	26
4.5.2	Vaimennusarvot	27
4.6	Iskunvaimennin	29
4.6.1	Vaimentimen toiminta hitaassa liikkeessä	30
4.6.2	Vaimentimen toiminta nopeassa liikkeessä	31

4.7	Komponenttien valinta	32
4.7.1	Sylinteriputki	33
4.7.2	Männänvarsi	34
4.7.3	Mäntä	34
4.7.4	Jousi	36
4.8	Iskunvaimentimen kokoonpano	37
4.8.1	Lisäsäiliö	37
4.8.2	Sylinteriputken komponentit	40
5	TESTAUS JA SÄÄTÖ	43
6	YHTEENVETO JA PÄÄTELMIÄ	46
	LÄHTEET	47

1 JOHDANTO

Tämän insinööriyön tavoitteena on suunnitella moottorikelkkaan soveltuva iskunvaimennin. Työssä analysoidaan iskunvaimentimen rakennetta, sekä perehdytään tarkemmin kilpakäyttöön tarkoitetun iskunvaimennin-jousi-yhdistelmän toimintaan. Suunnittelussa hyödynnetään käytettävissä olevia teorian tietoja ja kokemusta moottorikelkan alustan suunnittelusta.

Iskunvaimentimen suunnitteluprojekti sai alkunsa AST Suomi -nimisen yrityksen toimesta. Idea syntyi, kun huomattiin, että moottorikelkan kilpailukäyttöjen kysyntä oli suurempi kuin tarjonta. Suomessa myytävien kilpailukäyttöön tarkoitettujen iskunvaimentimien huolto- ja säätöpalvelut rajoittuvat muutama alan yritykseen. AST Suspension on hollantilainen kilpailukäyttöön tarkoitettujen iskunvaimentimien valmistaja, jolla on laaja markkina-alue Yhdysvalloissa ja Kanadassa. Euroopassa AST:n iskunvaimentimia käytetään eri rata-autosarjoissa. Yrityksellä on vuosikymmenien kokemus iskunvaimentimien suunnittelusta ja valmistamisesta. Korkeasta laadusta ja kestävästä komponenteista tunnettu yritys työllistää kymmeniä henkilöitä kotimaassaan, ja heillä on laaja jakeluverkosto ympäri maailman. AST Suomi aloitti toimintansa Juha ja Mikko Heinon toimesta vuonna 2010. Heillä kummallakin on vuosien kokemus kilpailutoiminnasta eri autoluokissa, sekä Euroopassa että Suomessa. Kokemusta heille on kertynyt kilpailemisesta vuosien varrella mm. ralli-, Formula Ford- ja Rata SM -tasolla Suomessa, sekä Euroopassa Alfa Romeo- ja SEAT -tehtaanluokissa sekä FIA GT4 rata-autoluokassa. Lisäksi Mikko Heino on toiminut lukuisten eri autovalmistajien testikuljettajana. [7; 10.]

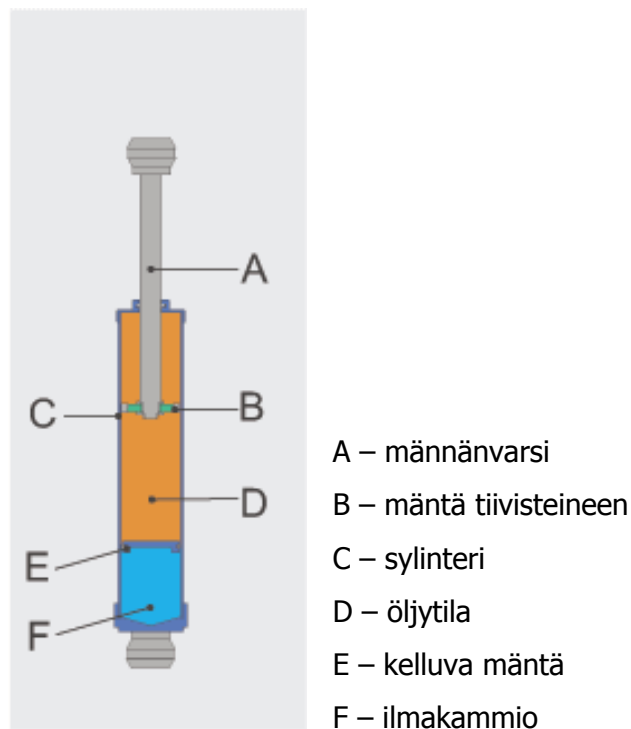
Kokemus kilpailutoiminnasta ja siihen liittyvistä suunnittelu-, huolto- ja säätötehtävistä ovat ensiarvoisen tärkeitä, kun halutaan toteuttaa kilpailukykyinen alusta. Lisäksi tämän iskunvaimenninkokoonpanon pääsuunnittelijana toimii Ronnie Kreeft (AST Suspension), joka omaa vuosien kokemuksen erilaisten jousituskonstruktioiden suunnittelusta. Lisäksi suunnittelua tukee käytännön tasolla RUSH 600 -moottorikelkan kilpailukuljettaja Perttu Muuronen, joka suorittaa testiajoja iskunvaimentimen prototyypeillä ja toimii kehitystyössä konkreettisenä palautteenantajana.

2 KÄSITTEET

2.1 Iskunvaimentimen rakenne ja toiminta

Iskunvaimentimen suunnittelun kannalta on tärkeää ymmärtää iskunvaimentimen toimintaperiaate. Seuraavassa käsitellään iskunvaimentimen perusrakennetta.

Tavallinen iskunvaimennin koostuu yleensä peltirungosta, männästä, männänvarresta ja sisällä olevasta öljystä. Kuvassa 1 on esitetty yksinkertaistettuna tavallisen iskunvaimentimen rakenne.

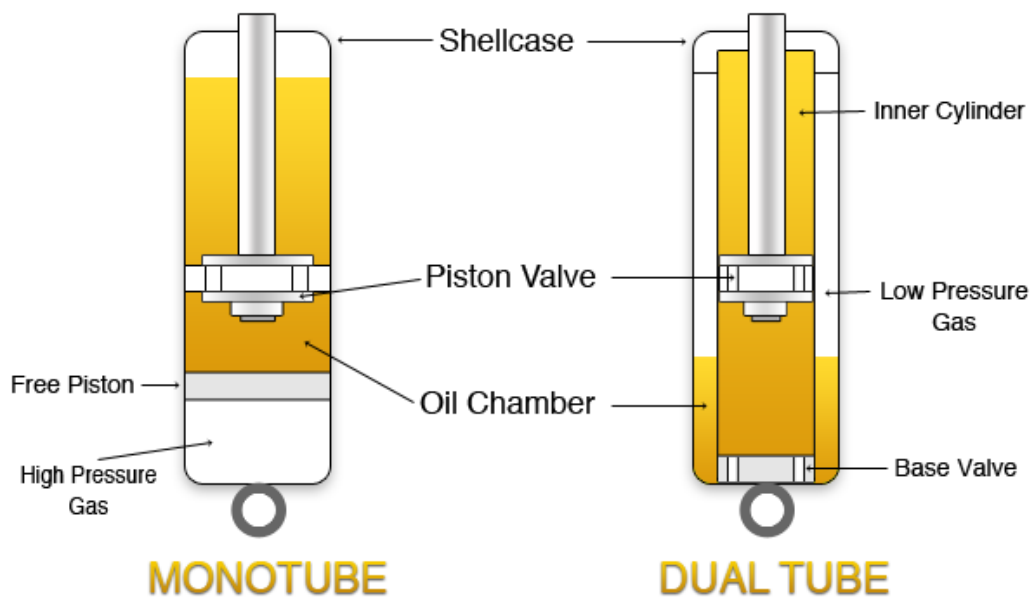


Kuva 1. Perinteisen iskunvaimentimen rakenne [13].

Iskunvaimennin on heilahdusliikettä vaimentava systeemi, jolla vaimennetaan jousien aiheuttamaa keinahtelua alustassa. Ilman iskunvaimennusta ajoneuvon hallinta olisi epävakaata ja aiheuttaisi renkaiden pidon menetyksen tienpinnan suhteen. Iskunvaimennin muuttaa ajoneuvon alustasta siihen kohdistuvan liike-energian lämmöksi, jolloin heilahdusliike vaimenee nopeasti.

2.2 Erityyppiset iskunvaimentimet

Autoteollisuudessa käytetään useita erilaisia variaatioita iskunvaimentimista. Kuitenkin öljytäytteiset vaimentimet voidaan jakaa kahteen pääryhmään; Twintube- sekä Monotube-rakenteisiin, joiden erot nähdään kuvasta 2. Twintube-rakenteesta käytetään myös nimeä Dualtube.



Kuva 2. Iskunvaimentimien rakenteelliset erot [14].

Rakenteellisista eroista huolimatta käytännössä kaikki tarjolla olevat iskunvaimentimet ovat öljytäytteisiä ja niiden pääasiallinen tarkoitus on sama. Suurimmat erot löytyvät vaimentimien sisäisistä rakenteista, jotka vaikuttavat vaimennuskykyyn ja reaktioaikaan.

2.2.1 Twintube

Tässä iskunvaimenninmallissa on kaksi sisäkkäistä putkea, joista sisemmässä osassa on mäntä. Tämä on ylivoimaisesti yleisimmin käytetty rakenne sarjavalmisteisissa henkilöautoissa. Twintube-vaimennin on rakenteensa ansiosta yleensä kustannustehokas valmistaa, sekä kohtuullisen luotettava toiminnaltaan. Tämän

tyyppinen iskunvaimennin soveltuu peruskäyttötarkoitukseen, jossa ajoturvallisuus ja mukavuustekijät säilyvät pitkällä aikavälillä ilmastosta riippumatta. Kilpailutasolla tavataan vain harvoin Twintube-rakenteella toteutettuja alustavariaatioita, minkä takia tässä työssä ei tarkemmin perehdytä kyseiseen malliin. [7.]

2.2.2 Monotube

Kilpailukäyttöön tarkoitetuissa autoissa käytetään lähes poikkeuksetta Monotube-rakennetta. Siinä mäntä liikkuu yhden pääsylinterin sisällä. Tässä rakenteessa männän halkaisija on suuri ja sen avulla saavutetaan parempi virtausten hallittavuus ja säädettävyys, sekä suurempi öljytilavuus.

Öljyn virtausta hallitaan pääasiassa niin sanotuilla shimmilevyillä, sekä männässä olevilla rei`illä. Männän molemmin puolin on pakka erikokoisia shimmilevyjä. Yläpuolella olevat vaikuttavat sisäänvaimennukseen ja alapuoliset ulosjouston vaimennukseen. Lisäksi vaimentimissa voi olla säädettäviä venttiileitä, joilla voidaan vaikuttaa vaimennustehoon ja -ominaisuuksiin.

Monotube-vaimentimissa on erillinen kaasusäiliö, joka on eristetty öljytilasta kelluvalla männällä. Yleisimmin vaimentimissa käytetty kaasu on typpi, jonka tarkoitus on paineistaa pääsylinterin öljytila. Tyypeä käytetään hapen sijaan, koska se ei sisällä kosteutta. Hapen sisältämä kosteus saattaa aiheuttaa ongelmia vaimentimen toiminnassa, sekä vaikuttaa sen kestävyteen.

2.2.3 Monotube-rakenteen edut

Monotube-vaimentimessa on suurempi mäntä ja tarkemmat säätömahdollisuudet kuin Twintube-tyyppisessä vaimentimessa. Suuremman öljymäärän ansiosta se luovuttaa lämpöenergiaa paremmin. Kevyemmän rakenteensa puolesta se sopii erittäin hyvin kilpailukäyttöön. Monotube-rakenne mahdollistaa myös vaimentimen asennuksen ylösalaisin, mikä vähentää tietyissä applikaatioissa jousittamatonta massaa. Tämän tyyppisen massan vähentäminen etenkin kilpakäytössä parantaa alustarakenteen kestävyttä. [7.]

3 SUUNNITTELUN LÄHTÖKOHDAT JA TAVOITTEET

3.1 Käyttökohde

Tässä työssä käsiteltävä moottorikelkka kantaa mallinimeä Polaris Rush 600 (kuva 3), joka on luokkansa tehokkain 600-kuutioinen moottorikelkka. Sen CFI-suoraruiskumoottori tuottaa 125 hv:n tehon. Rush 600 -mallin kokonaispituus on 274 cm ja kuivapaino 212 kg. Mallia markkinoidaan reittimoottorikelkkana, ja se onkin siihen tarkoitukseen sopiva. Rush 600 vaikuttaa varsin laadukkaalta kokonaisuudelta ja soveltuu hyvin vaativampaan käyttöön. [8.]



Kuva 3. Polaris Rush 600 moottorikelkka [8].

Rush 600 edustaa edistyksellistä tekniikkaa, joten kyseinen malli valittiin tarkempaan tarkasteluun alustan kohdalta. Polaris valmisti vuoden 2012 markkinoille Rush 600 -kelkan uudella Pro Ride -jousitusmenetelmällä. Pro Ride -joustoliike on progressiivinen ja sillä pyritään eliminoimaan alustan pohjaaminen. [8.]

3.2 Tavoitteet

Kilpakäytössä joudutaan kuitenkin usein tekemään suuria muutoksia ajoneuvojen alustan suhteen. Tässä työssä tarkasteltavan Rush 600 -moottorikelkan kuljettaja kilpailee enduroluokassa ja toimii samalla testikuljettajana. Tavoitteena on siis suunnitella iskunvaimennin-jousi-yhdistelmä endurokäyttöön sopivaksi. Endurotyylinen ajaminen vaatii alustalta paljon. Ajettavuuden pitää säilyä vaihtelevassa maastossa ja hallittavuus on tärkeää kovissa nopeuksissa.

Moottorikelkalle ominaiset käyttöolosuhteet vaikuttavat suunnitteluun ja komponenttien materiaalivalintoihin. Ajettaessa sää on yleensä pakkaslukemilla ja ilma kuivaa. Ajoväylillä kelkka ja sen komponentit ovat jatkuvassa kosketuksessa lumeen. Lumi muuttuu lämmenneiden komponenttien pinnalla kosteudeksi, joka voi olla haitallinen ilmiö, jos tätä ei ole otettu huomioon. Iskunvaimentimet lämpenevät hyvin nopeasti niille ominaiseen käyttölämpötilaan, joten pakkasen ei suoranaisesti vaikuta niiden toimintaan.

Ajo-ominaisuuksiin vaikuttaa koko kelkan rakenne ja alustageometria. Runko, vakaajat ja iskunvaimennin-jousi-yhdistelmät muodostavat yhdessä jousituksen. Polariksen markkinoille tuoma Pro Ride -tekniikka sisältää jousituksen lisäksi uudentyyppisen vahvemman runko- ja telastorakenteen. Näiden muutosten ansiosta iskunvaimennin-jousi-yhdistelmän merkitys kasvaa jousituksessa entisestään. Etupään jousitus ja telaston geometria ovat kilpailukäyttöön sopivia jo sellaisenaan, joten tässä työssä keskitytään jousituksen iskunvaimennin-jousi-yhdistelmän suunnitteluun. [7; 8.]

Suunnittelun ja testaamisen avulla pyritään rakentamaan täysin uusi iskunvaimennin moottorikelkkaan. Kaikki uuteen iskunvaimentimeen liittyvät komponentit tulevat olemaan AST:n valmistamia tai hyväksymiä. Kokoonpano suoritetaan AST Suomen tiloissa. [7.]

3.3 Suunnittelun työkalut

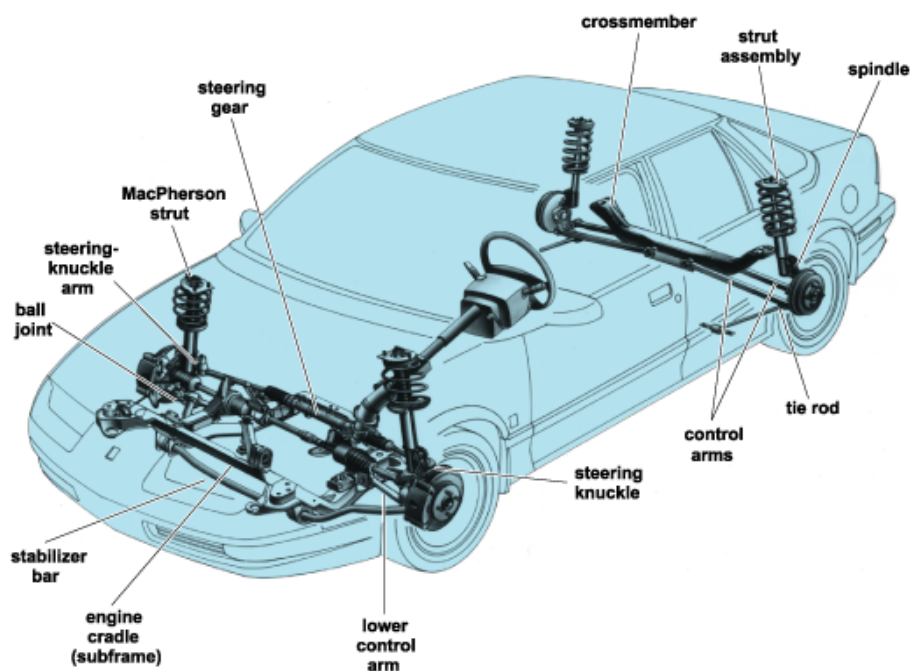
Tärkein suunnittelutyön havainnollistava apuväline oli Catia V5R17 -mallinnusohjelma. Ohjelman avulla tehtiin iskunvaimentimesta 3D-malli tietokoneelle. Kokoonpanon avulla

pystyttiin hahmottamaan iskunvaimentimen kokonaisuus, sekä tutkimaan jokaista komponenttia erikseen. Mitoituksen dokumentaatio oli helposti saatavilla tallennetuista tiedostoista, ja niitä voitiin muuttaa tarvittaessa.

Haluttujen jousivoimien varmistamiseen käytettiin siihen soveltuvaa digitaalista vaakaa. Iskunvaimentimien toimintaa analysoitiin Roehrig-testilaitteella. Laitteen avulla voitiin koeajaa iskunvaimennin halutulla tavalla ja analysoida laitteen tuottamaa dataa halutuista parametreista, sekä dokumentoida ne tietokoneelle myöhempää käyttöä varten.

3.4 Alustageometria

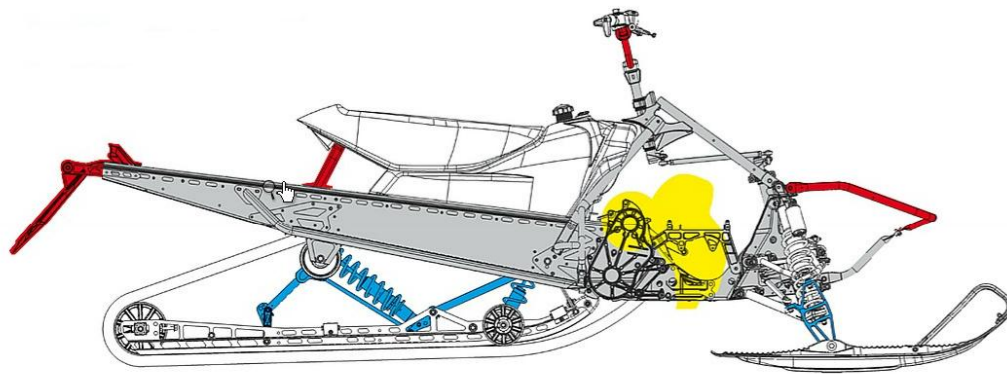
Moottorikelkan alustarakenne koostuu pääasiassa iskunvaimennin-jousi-kombinaatiosta, vakaajista, telastosta, sekä siihen liittyvästä apurungosta. Moottorikelkan alusta poikkeaa huomattavasti henkilöauton alustarakenteesta. Henkilöauton jousitus on sijoitettu lähelle alustan kulmapisteitä. (Kuva 4.)



Kuva 4. Auton alustarakenne [15].

Sarjavalmisteisissa henkilöautoissa jousitus on sijoitettu yleisesti ottaen lähes aina pystysuuntaan alustaan nähden. Alustarakenne jousituksen suhteen koostuu yksinkertaistettuna pysty- ja vaakasuuntaisista vakaajista ja alatukivarsista. Henkilöautoissa ajo-ominaisuuksia heikentävää jousittamatonta massaa lisäävät pyörännavat ja niihin kiinnitetyt jarrulevyt, sekä jarrusatulat komponentteineen. Vanteiden ja renkaiden painot vaikuttavat myös oleellisesti jousittamattomaan massaan, jonka kasvaessa renkaan pito tiehen nähden heikkenee.

Moottorikelkan jousitus on sijoitettu edessä suksien kohdalle ja takaosassa telaston suuntaisesti (kuva 5). Telastossa iskunvaimennin-jousi-yhdistelmän asennuskulmat ja sijoituspaikat vaihtelevat eri valmistajien välillä jo pelkästään rakenteellisista syistä. Moottorikelkan ominaispaino verrattuna henkilöauton painoon on huomattavan pieni.



Kuva 5. Moottorikelkan rakennekuva [8].

Jousittamaton massa jakautuu telaston alaosiin ja suksiin. Moottorikelkassa ei ole henkilöautosta tuttuja renkaita, joten renkaiden tuomaa joustavuutta ei ajettavaan pintaan nähden ole. Jousituksen on otettava vastaan kaikki pinnan epätasaisuuksista syntyvä liike-energia.

Näiden edellä mainittujen havainnollistavien esimerkkien tarkoituksena on antaa selkeämpi kuva moottorikelkan ja henkilöauton alustarakenteiden eroista yleisellä tasolla. Työn tavoitteena on ymmärtää ja perehtyä tarkemmin moottorikelkan alustarakenteeseen, joka on yleisesti vähemmän tunnettu osa-alue.

3.4.1 Jousitus

Moottorikelkan jousituksen kehittäminen on ollut voimakasta kelkkavalmistajien keskuudessa viime vuosina. Joustomatka on vuosikymmenessä lähes kaksinkertaistunut monissa kelkkamalleissa ja huollettavat sekä säädettävät kaasuisvaimentimet alkavat olla vakiovarusteena ainakin urheilu- ja kilpailutarkoituksiin suunnitelluissa kelkkamalleissa. [2.]

Jousituksen toiminnan ymmärtämisen kannalta on tärkeää tutustua niiden komponentteihin ja peruskäsitteisiin, joista jousituskokonaisuus rakentuu. Nykyään kelkoissa käytetään pääasiassa joko kierre- tai vääntöjousia. Kierrejouset ovat yleisimmin käytettyjä ja ne jakautuvat kolmeen pääryhmään: lineaarinen, progressiivinen ja degressiivinen. [2; 7.]

Jousen jäykkyys ilmoitetaan yksiköllä N/mm tai monelle tutumpi on vanha yksikkö kg/mm. Kun tarkastellaan esimerkiksi kolmen kilon lineaarista joustaa, sen puristamiseen 1 mm:n matkan tarvitaan 3 kg:n voima. Vastaavasti 10 mm vaatii 30 kg ja 100 mm 300 kg:n puristusvoimaa.

Jousen esijännityksellä tarkoitetaan sitä, kuinka paljon joustaa on jännitetty tilanteessa, jossa jousitus on täysin auki. Kyseinen tilanne syntyy esimerkiksi kelkan ollessa täysin ilmassa. Jousien esijännityksille löytyy yleensä runsaasti säätömahdollisuuksia.

3.4.2 Iskunvaimennin

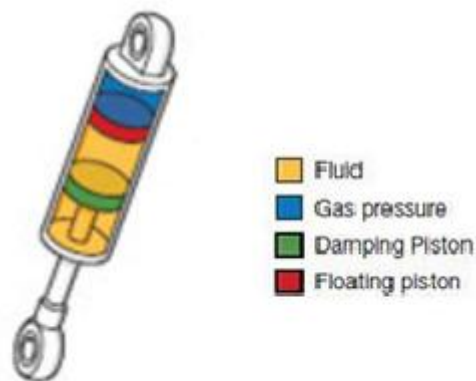
Iskunvaimentimen toiminta on kaksijakoinen; sen avulla pyritään estämään jousituksen pohjaaminen silloin, kun kelkka osuu maanpinnan epätasaisuuksiin eli ns. patteihin ja toisaalta vaimentamaan jousen aikaansaamaa jousituksen aukeamisliikettä patin jälkeen. Voidaan siis puhua puristuspuolen ja vetopuolen vaimennuksesta iskunvaimentimen liikesuunnasta riippuen. [2.]

Kun moottorikelkka liikkuu jollakin tietyllä nopeudella, sillä on ns. liike-energiaa, jonka suuruus riippuu kelkan painosta ja nopeudesta. Patin seurauksena kelkan vauhti hidastuu eli liike-energiaa kuluu jousitukseen. Patti aiheuttaa jousituksen liikkumisen

sisäänpäin, toisin sanoen liike-energiaa varastoituu jouseen joustoliikkeessä ja toisaalta energiaa kuluu iskunvaimentimen puristamiseen. Patin jälkeen jouseen varastoitunut liike-energia purkautuu. Jotta paluuliike ei olisi liian nopea, iskunvaimennin vaimentaa liikettä muuttaen osan syntyneestä liike-energiasta lämmöksi. Iskunvaimennin auttaa siis jouta sisäänpäinliikkeessä viemällä osan liike-energiasta ja hillitsee jousen paluuliikettä ottamalla vastaan osan jouseen varastoituneesta liike-energiasta. [2.]

Nykyisissä urheilu- ja matkakelkoissa on siirrytty purettavien kaasuiskunvaimentimien käyttöön. Vaimennusrakenteita on olemassa hyvin monta tyyppiä, joten keskitytään tarkastelemaan kolmea yleisintä rakennemallia, joita kaikkia löytyy nykypäivän moottorikelkkojen jousituksesta ja jotka liittyvät oleellisesti tämän työn suunnitteluosioon. Emulsiovaimennin, välimännällinen vaimennin ja erillisellä kaasusäiliöllä varustettu vaimennin ovat siis tyypillisiä vaimentimen rakenneratkaisuja. Näitä rakenneratkaisuja käyttäviä valmistajia ovat mm. Öhlins, White Power, HPG, Fox, Kayaba, Engans ja AST.

Välimännällisessä kaasuiskunvaimentimessa (kuva 6) välimäntä erottaa öljy- ja kaasutilan toisistaan. Tiivistimet estävät öljyn pääsemisen ulos iskunvaimentimen sylinteriputkesta. Kaasutilassa käytetään normaalisti 15–20 kg/cm² painetta ja kaasuna käytetään typpeä. Koska välimäntä on kelluva eli se liikkuu edestakaisin vaimentimen sylinteriputkessa, myös öljytilassa vallitsee sama paine. [6.]



Kuva 6. Välimännällinen iskunvaimennin [16].

Kun männänvarsi työntyy vaimentimen sisään, samalla se syrjäyttää oman tilavuutensa verran öljyä ja välimäntä joutuu liikkumaan kaasutilaan päin ja paine kaasutilassa nousee. Kun männänvarsi liikkuu ulospäin, kaasunpaine painaa välimännän seuraamaan männänvarren liikettä ja näin öljytila pysyy paineistettuna. [6.]

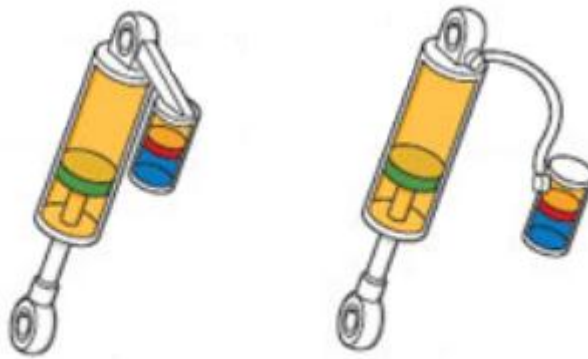
Välimännällisen vaimentimen lisäksi käytetään emulsiovaimenninta (kuva 7). Rakenne on sama kuin välimännällisessäkin, mutta välimäntä puuttuu ja kaasua asennetaan yleensä männänvarsi alaspäin. Tällä tavoin kaasua asettuu runkoputken yläosaan. Männän liikkuttaessa öljystä ja kaasusta muodostuu emulsio, joka toimii vaimentavana elementtinä. Emulsion vaimennusominaisuudet ovat hyvin lähellä öljyn vastaavia, joten vaimennin toimii lähes samoilla säädöillä kuin välimännällinen vaimennin. [6.]



Kuva 7. Emulsioiskunvaimennin [16].

Emulsiovaimenninta käytetään, kun vaimentimen pituus ei salli erillistä kaasutilaa ja kun säiliöpuoli voidaan asentaa ylöspäin. Vaimentimen toiminnan kannalta on tärkeää, että öljyn määrä on oikea. [6.]

Kolmas perustyyppi on erillisellä kaasusäiliöllä varustettu vaimennin (kuva 8). Osat ja toiminta ovat samat kuin välimännällisessä, kaasulle on vain olemassa oma säiliönsä. Lisäsäiliö on liitetty vaimenninrunkoon joko letkulla tai integroimalla suoraan vaimentimen runkoon. Voidaan puhua kiinteästä lisäsäiliöstä tai letkullisesta mallista. [6.]



Kuva 8. Erillisellä kaasusäiliöllä varustettu iskunvaimennin [16].

Erillisen lisäsäiliön etuna ovat suuremmat kaasu- ja öljytilat. Kaasutilan suurempi koko mahdollistaa paineen pysymisen tasaisempaa toiminnan aikana ja suurempi öljytila vähentää huollon tarvetta. [6; 7.]

3.4.3 Vipusuhde

Tärkein jousituksen ominaisuuksia kuvaava elementti on vipusuhde ja vipusuhteen muuttuminen joustoliikkeen aikana. Vipusuhde kuvaa jousitetun elementin, esimerkiksi suksen, liikkeen suhdetta iskunvaimentimen männänvarren liikkeeseen.

Joissakin tapauksissa iskunvaimennin ja jousi ovat erillisten vipumekanismien käyttämiä, joten myös vipusuhteet käyttäytyvät eri tavalla. Vipusuhteeseen liittyvät myös käsitteet progressiivinen, lineaarinen ja degressiivinen.

Linearisessa rakenteessa suksi on kiinnitetty suoraan jousi-iskunvaimennin elementtiin. Suksen liikuessa 1 cm:n pystysuunnassa myös jousi puristuu saman matkan. Kun tämä tapahtuu koko joustoliikkeen matkalla, on jousitus lineaarinen ja jousituksen vipusuhde 1:1. [9.]

Jousituksen toiminnan kannalta on oleellista kuinka suksi tai pyörä liikkuu vaimentimeen nähden. Jos suksi liikkuu ylöspäin joustovaran ensimmäisen sentin ja jousi-iskunvaimennin vastaavasti 0,5 cm, on vipusuhde 0,5. Mikäli suksen ja vaimentimen liikesuhde pysyy koko joustomatkan samana eli myös suksen viimeisen

sentin liikematalla vaimennin liikkuu 0,5 cm, on vipusuhde vakio ja antaa ns. lineaarisen joustokäyrän. [9.]

Jos vipusuhde ei pysy vakiona vaan esimerkiksi laskee siten, että joustomatkan lopussa suksen 1 cm:n liikettä vastaa vaimentimen 0,3 cm:n liike, laskee vipusuhde joustoliikkeen aikana arvosta 0,5 arvoon 0,3. Tästä seuraa degressiivinen joustokäyrä. Mikäli taas suksen viimeisen 1 cm:n liikettä vastaa jousielementin 0.7 cm:n liike, on vipusuhde nouseva ja joustokäyrä on progressiivinen. [9.]

Yleisesti käytetty on tukivarsityyppinen etujousitus, jossa suksi liikkuu y-suuntaan kahden poikittaistukivarren ja yhden pitkittäistukivarren varassa. Jousi-iskunvaimennin-yhdistelmä on kiinnitetty yläpäästään runkoon ja alapäästään pitkittäistukivarteeseen. Tämäntyyppisessä rakenteessa iskunvaimentimen liike ei ole samansuuntainen suksen liikesuunnan kanssa. Vaimentimen liikesuunnan muuttuessa joustoliikkeen mukaan syntyy rakenteelle haitallisia voimia, jotka täytyy ottaa huomioon suunnitteluvaiheessa.

Joustoliikkeen alussa vaimentimen liikesuunnan ja suksen liikesuunnan välinen kulma on noin 40°. Tässä tarkastelussa suksen on oletettu liikkuvan suoraviivaisesti ylä- ja alasuuntaan. Käytännössä suksen liike on tukivarsien muodostama ympyrän kaaren osa. Tämäntyyppinen liikerata on edullinen jousitusgeometriaan nähden.

Liikeratojen välinen 40° kulma aiheuttaa sen, että suksen liikkuessa 1 cm:n vaimennin liikkuu 0,75 cm:ä, näin vipusuhteeksi muodostuu 0.75:1 eli 0.75. Vipusuhteen arvo ei määrittele jousituksen hyvyttä tai huonoutta. Se, miten vipusuhde joustoliikkeen aikana muuttuu ja mihin suuntaan, on sen sijaan oleellinen asia. [9.]

3.4.4 Telasto

Telamatto muistuttaa rakenteeltaan auton rengasta. Molemmissa on selvä runkorakenne, jonka tehtävänä on antaa mekaaninen lujuus ja pintaosan kuvioitu kumiseos, jolla haetaan ajo-ominaisuuksiin liittyviä asioita. Valmistusprosessi muistuttaa jossain määrin renkaan valmistustapaa. Samalla tavalla kuin auton rengaskin telamatto kootaan kerroksittain rummun päälle. Tämän jälkeen mattoaiho

asetetaan ympyrän muotoiseen kaksipuoleiseen muottirumpuun, jossa se ”paistetaan” lopulliseen muotoonsa. Matolle tehdään lisäksi solkiaukkojen leikkaus ja soljitus. [2.]

Lähimpänä maton sisäpintaa on ns. vetokerros, joka muodostuu useimmiten kolmesta kuitukerroksesta. Kuidut ovat kumiin vulkanoituja suuren lujuuden omaavia lankoja, ja vetokerroksessa nämä langat kulkevat maton pitkäsuunnassa. Aikaisempina vuosina kuitujen materiaali oli polyesteriä, mutta nykyään ainakin yksi kerros on suurlujuusmateriaalia, kuten kevlaria. Vetokerroksen päällä on ristikkäiset kuitukerrokset, joiden tehtävänä on antaa telalle sivuttaislujuutta. [2.]

Telamaton valintaan vaikuttaa merkittävästi, minkä tyyppistä ajoa kelkalla pääosin harrastetaan. Kelkan teholla on suuri merkitys sille, kuinka pitävä matto kannattaa valita. Maton notkeudella on myös suuri merkitys polttoainetaloutta ja huippunopeutta ajatellen. [2.]

Liukkaisiin olosuhteisiin kannattaa valita kohtalaisen pehmeäseoksinen matto. Peilijäällä ei pitoa saavuteta kuin käyttämällä nastoja, mutta kun jään pinta on rosainen ja urainen, pehmeäpintainen matto puree siihen kohtuullisen hyvin. Jos taas halutaan optimoida kelkan polttoainetaloutta nopeuden suhteen, niin matalaharjaisella, kohtuullisen pehmeällä kumiseoksella ja mahdollisimman ohuella runkorakenteella varustettu tela antaa hyvän lopputuloksen. [2.]

Talven aikana ajokelit vaihtelevat useasti, joten optimaalisten ominaisuuksien hakeminen mattovalinnalla on vaikeaa. Telamaton vaihtotyö on vaikea ja aikaa vievä toimenpide, joten normaalikäytössä mattoja ei vaihdeta ajo-olosuhteiden mukaan. Kilpailutoiminnassa ollaan sen sijaan tilanteessa, jossa ainakin huippukuljettajat pyrkivät valitsemaan yksittäiseen kisatapahtumaan soveliaimman telan, ainakin kun on arvokilpailusta kysymys.

Telaston jousitus koostuu monimutkaisesta rakenteesta (kuva 9). Vivustot, jouset ja iskunvaimentimet on useimmiten sovitettu telamaton sisään. Vipumekanismien tulee, jousivoimien välityksen ohella, huolehtia siitä, että telamaton kiristys ei pääse löystymään joustoliikkeen aikana. Tilanahtauden vuoksi telaston jousituksen

suunnittelu on haastavaa ja usein joudutaan tekemään kompromisseja juuri iskuvaimentimen rakenteen suhteen.



Kuva 9. Telastorakenne [2].

Moottorikelkan telaston jousituksessa on kaksi iskunvaimennin-jousi-yhdistelmää. Etummaista likimain kuljettajan kohdalla olevaa yhdistelmää kutsutaan etupukiksi. Telaston takaosassa sijaitsevaa yhdistelmää kutsutaan takapukiksi. [2]

Etupukissa on kierrejousi-iskunvaimennin, joka on kiinnitetty etupukin poikittaisputkeen korvallisella kiinnityksellä ja liukurunkoihin välipalkilla. Takapukissa käytetään yleisesti ottaen hakaneulatyyppistä joustaa ja erillistä iskunvaimenninta. Etupukissa sekä jousi että iskunvaimennin toimivat laskevalla vipusuhteella eli degressiivisesti. [2; 9.]

Takapukissa iskunvaimennin toimii degressiivisesti, mutta hakaneulajousi sen sijaan lineaarisesti, jopa hivenen progressiivisesti, sillä jousi lyhenee joustoliikkeen aikana. Takapukin iskunvaimentimen liikerataa parantaa jonkin verran kiinnityskorvallinen, joka on sijoitettu siten, että takapukin kiertymisestä aiheutuva vipuliike on suurimmillaan jouston lopussa. [2; 8.]

Nykyään erittäin yleinen on takapukkirakenne, jossa jousina on hakaneulajouset ja iskunvaimentimen liikettä ohjailee vipusysteemi. Rakenteen hyvä puoli on, että jousivoima kohdistuu suoraan liukurunkoon ja takapukkiin ja ainoastaan

iskunvaimentimen voimaa joudutaan kierrättämään vipurakenteiden kautta. Myös etupukin joustoliikkeelle on rakennettu useita erityyppisiä systeemeitä, jotta tämä saataisiin toimimaan oikein. [2; 8; 9.]

4 SUUNNITTELUN TOTEUTUS

4.1 Alustavat testit

Koska suunnittelutiimillä on laaja kokemus erilaisista iskunvaimenninkonsepteista, päätettiin vaimentimen kehittäminen aloittaa jo olemassa olevan vaimentimen analysoimisella. Tämän kehitystyön kohteena olevan Polaris Rush 600 alusta purettiin ja iskunvaimentimet testattiin siihen sopivalla Roerigh-testilaitteella. Alkuperäisten iskuvaimentimien kohdalla todettiin, että ne eivät soveltuisi vaatimaan kilpakäyttöön. Tähän vaikuttavat ymmärrettävästi jo valmistuskustannukset, jotka nostaisivat mallin kokonaishinnan markkinoilla liian korkealle. Tästä syystä valmistajat joutuvat tekemään merkittäviä kompromisseja valmistusmateriaalien suhteen, sekä päätyään edullisempiin rakenneratkaisuihin. Alkuperäinen iskunvaimennin toimii normaalikäytössä erinomaisesti ja periaatteessa vastaa sille asetettuja odotuksia vaativammassakin käytössä. [10.]

Jälkimarkkinoille suunnitelluissa iskunvaimentimissa on myös suuria eroja, niin hinnan kuin laadunkin suhteen. Lähes kaikilla iskunvaimenninvalmistajilla on tarjota erilaisia rakenneratkaisuja eri käyttötarkoituksiin. Nykyään myös yhä useampi valmistaja tarjoaa mallistossaan korkealaatuisia ja kevyitä iskunvaimentimia, joiden hinnat ovat normaalia vaimenninta huomattavasti korkeammat. Tämäkään ei aina takaa täydellistä ajonautintoa ja kestävyyttä. Nyrkkisääntönä voidaan pitää, että halvalla ei saa hyvää. [10.]

Tämän suunnittelutyön iskunvaimenninkokoonpanolla pyritään vastaamaan juuri markkinoiden korkealaatuisten iskunvaimentimien kysyntään. Tavoitteena on käyttää mahdollisimman laadukkaita komponentteja, joiden avulla voidaan parantaa rakenteen kestävyyttä ja samalla lisätä luotettavuutta. Iskunvaimentimen keveys, säädettävyys ja huollettavuus ovat myös tärkeitä kokoonpanon suunnittelussa. [10.]

Ennen varsinaista komponenttien valintaa haluttiin kokeilla markkinoilla olevaa laadukasta iskunvaimennin-jousi-yhdistelmää. Testiajoja ajettiin eri säädöillä, ja pitkän kokemuksen kelkkailusta omaava kuljettajamme raportoi, että haluaisi muutoksia oikeastaan kaikilla osa-alueilla. Kävi myös ilmi, että iskunvaimentimen säätäminen ei oikein tuntunut vaikuttavan ajoon. Todellisuudessa kuljettajan on vaikea arvioida säätämisen vaikutusta vaihtuvissa olosuhteissa ja kaikkeen käytännön tuntumaan pitää suhtautua varauksella. Iskunvaimentimet testattiin vielä testilaitteella, jossa huomasimme etuiskunvaimentimien olevan epätasapainossa. Testauksessa todettiin, että testikuljettajamme oli ollut oikeassa säätöjen suhteen. Iskunvaimentimen säätöalueella konkreettiset muutokset tapahtuivat ainoastaan säätöjen ääripäissä, mikä on kohtuullisen tavallista monisäätöisissä rakenteissa. Säädöistä ja niiden ominaisuuksista kerrotaan myöhemmin yksityiskohtaisemmin iskunvaimentimen säätämistä koskevassa kappaleessa.

Huolellisen testauksen ja säätämisen jälkeen päätettiin kuitenkin vielä kokeilla iskunvaimentimia käytännössä. Koeajolla alusta vaikutti tasapainoisemmalta ja ajettavuus parani huomattavasti, mutta puutteita havaittiin alustan herkkyydessä ja pohjaamistilanteissa. Näiden kokemusten pohjalta saatiin arvokasta lisätietoa kehitysprojektiin.

4.2 Polaris Rush 600 -etujousitus

Rush -mallin iskunvaimennin-jousi-yhdistelmä on ns. Coilover-systeemi, jossa jousi on sijoitettu iskunvaimentimen ympärille. Iskunvaimentimen sylinteriputken ulkopinnassa on kierteet. Alempaa jousilautasta voidaan liikuttaa kierteitä pitkin, ja näin jousen alaosan paikkaa voidaan muuttaa iskunvaimentimen pituussuunnassa. Tällä tavoin mahdollistetaan moottorikelkan rungon korkeuden säätö. Kun jousipakkaa siirretään ylöspäin, niin samalla runko nousee säädettävästä kohdasta, joko ylöspäin tai alaspäin riippuen Coilover-systeemin asennosta. Korkeuden säädön vaikutus riippuu olennaisesti iskunvaimentimen sijoituskulmasta runkoon nähden.

Näitä Coilover-systeemejä eli iskunvaimennin-jousi-yhdistelmiä on Rush 600 -moottorikelkassa neljä kappaletta. Etupään haarukassa on kaksi samanlaista yhdistelmää. (Kuva 10.)



Kuva 10. Polaris-moottorikelkan rakenne edestä [8].

Yhdistelmät ovat sijoitettu tiettyyn kulmaan riippuen alustageometriasta, ja ne ovat asennuskulmaltaan peilikuvia toisiinsa nähden. Kuvassa näkyvät Polaris Rush 600:n ylösalaisin asennetut Coiloverit, tätä kutsutaan upside down -asennukseksi. Kyseisen asennuksen mahdollistaa Coiloverin Monotube-rakenne. Tällä tavoin asennettu iskunvaimennin kestää paremmin rasitusta. Rakenteeseen ja sen tuomiin etuihin perehdytään tarkemmin työn varsinaisessa suunnitteluosiossa. Moottorikelkkojen Coilover-ratkaisuissa käytetään usein myös lisäsäiliötä, joka näkyy kuvassa olevan Coiloverin yläosassa. Kyseinen ratkaisu mahdollistaa suuremman öljytilavuuden käytön asennuksissa, joissa joudutaan käyttämään lyhyitä Coilovereita rungon ja alustageometrian takia. Lisäsäiliön avulla voidaan siirtää öljy ja kaasutila pois Coiloverin sylinteriputkesta. Tällä tavoin voidaan siis kasvattaa öljytilavuutta, sekä pidentää iskun pituutta lyhyissä Coilover-ratkaisuissa. [8; 10.]

4.3 Polaris Rush 600 -telasto

Polaris patentoitua vuonna 2007 aivan uudenlaisen telaston rakennemallin. Tuotekehityksen tuloksena syntyi nykyään markkinoilla tunnettu Pro-Ride-jousitusjärjestelmä. Pro-Ride-rakenne erosi tunnetuista jousitusmalleista ja joutui laajan kritiikin kohteeksi. Joillakin tahoilla jopa epäiltiin jousituksen toimivuutta ja kestävyyttä pidemmällä aikavälillä. Käytännön testit ja kokemukset kuitenkin kumosivat epäilykset ja Pro-Ride rakenteesta on tullut lyhyessä ajassa arvostettu tavaramerkki. (Kuva 11.)



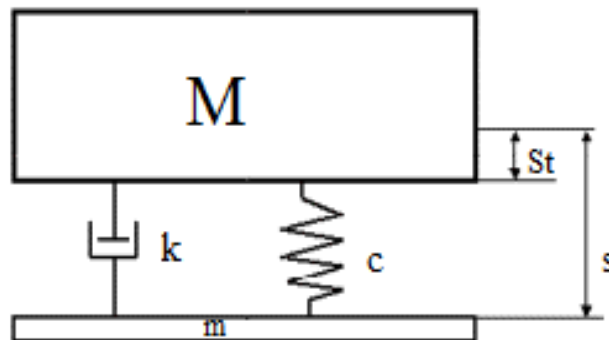
Kuva 11. Polaris moottorikelkan rakenne sivusta [8].

Pro-Ride-systeemin suurimmat muutokset koskevat jousi-iskunvaimennin-yhdistelmien sijoittelua telastorakenteessa. Takapukin Coilover on sijoitettu telaston ulkopuolelle rungon yläosaan lähes vaakatasoon. Pro-Ride-systeemin progressiivisella geometrialla pyritään lisäämään jousituksen pintaherkkyyttä, sekä koventamaan jousitusta joustoliikkeen loppuvaiheessa. Tämäntyyppisellä ratkaisulla pyritään myös vähentämään telaston läpilyöntejä eli tilanteita, joissa jousituksen vaimennuskapasiteetti on käytetty loppuun. Pohjaamistilanteista aiheutuvat värähtelyt ovat epäedullisia rungolle, sekä vaikuttavat heikentävästi moottorikelkan hallittavuuteen ajotilanteessa. Pro-Ride systeemin geometrian avulla voidaan myös vähentää moottorikelkan kallistelua, sekä uuden tyyppisellä laakeroinnilla pienentää kitkaa laakeripinnoilla. Systeemin rakenne mahdollistaa Coilover -tyyppisten iskunvaimentimien säätöominaisuuksien käytön ilman suurempia purkutöitä. [2; 8.]

4.4 Jousitus

Moottorikelkan jousitusta voidaan kuvata vahvasti yksinkertaistettuna yksimassasysteemin avulla. Henkilöautosovelluksissa kyseistä systeemiä ei voida käyttää, koska mallissa pitäisi näin ollen ottaa huomioon myös renkaan jousto. Moottorikelkan suksi ja telamatto eivät juuri jousta, joten nämä voidaan jättää huomioimatta.

Kuvassa 12 M kuvaa jousitettua massaa ja m jousittamatonta massaa. Massat on kytketty toisiinsa jousen C ja vaimentimen k välityksellä. Massojen välistä maksimiliikematkaa eli joustovaraa merkitään S-kirjaimella. Jousituksen oleellinen määrite vipusuhde, josta mainittiin aikaisemmin alustavassa suunnitteluosiossa kuvaa juuri näiden kahden massan keskinäisten liikkeiden välittymistä jousen ja iskunvaimentimen liikkeeksi. Staattinen painuma S_t kuvaa jousituksen painumaa normaalikuormalla mukaan lukien moottorikelkan omapaino sekä kuljettaja. [2.]



Kuva 12. Jousituksen yksimassasysteemi [2].

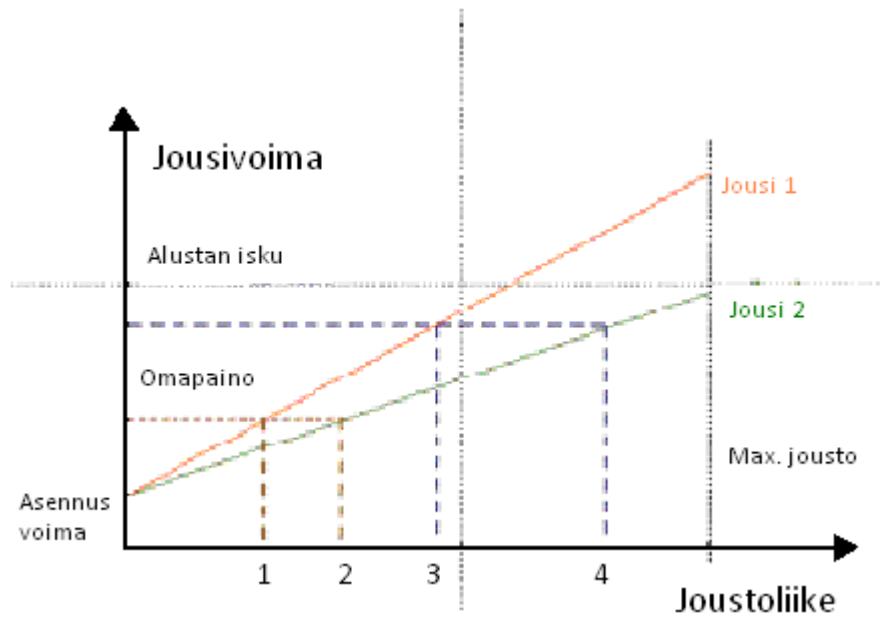
Jousitettu massa käsittää kaikki ne moottorikelkan rakenteet, joiden liike pyritään pitämään vakaana epätasaisella alustalla ajettaessa. Moottorikelkan runko, moottori, voimansiirto ja päällirakenteet kuuluvat jousitetun massan päärakenteisiin. Joissakin tilanteissa suuri jousitettu massa voi olla eduksi jousituksen toiminnan kannalta. Pitkällä joustovaralla ja kohtuullisen pehmeällä vaimennuksella päästään tilanteeseen, jossa itse runko ei juuri heilahtele normaalitilanteessa, mutta suurilla epätasaisuuksilla ajo-ominaisuudet heikkenevät merkittävästi. Edellä mainittua jousitusmallia käytetään pääosin raskasrakenteisissa reittikelkoissa. Pääasiassa moottorikelkkojen jousituksessa

pyritään keveyteen, ja myös jousituksen kannalta muutamia erikoistilanteita lukuun ottamatta keveydestä on etua.

Jousittamaton massa m koostuu etupään osalta suksista, olkatapista, sekä osasta tukivarsia. Telaston jousittamattomia osia ovat liukukiskot, telaston maan pintaa vasten oleva osa, sekä osa tukivarsista, jousista ja iskunvaimentimista jne. Jousittamaton massa muodostuu niistä rakenteista, jotka alustan epätasaisuudet pakottavat liikkeelle ajettaessa. Tämäntyyppinen massa pyritään minimoimaan, ja rakenteen tulisi olla mahdollisimman kevyt. Tällöin massan aiheuttamat hitausvoimat jäävät pienemmiksi ja jousituksen herkkyyys ja kyky vaimentaa ajoalustan epätasaisuuksia paranee. [2.]

Jousi C on asennettu massojen M ja m väliin niin, että jousi jännittyessään kykenee kantamaan jousitetun massan painon. Karkeana mitoitusohjeena jousen jäykkyydelle voidaan käyttää $1/3$ staattista painumaa. Tämä tarkoittaa, että normaalikuormalla kuljettaja mukaan lukien jousitus painuu $1/3$ joustomatkasta ja $2/3$ jää käytettäväksi ajotilanteessa tapahtuvaan joustoon. [2.]

Jousivoiman ja joustomatkan suhdetta havainnollistavassa kuvaajassa (kuva 13) on esitetty kahden eri jousivoiman omaavan jousen käyttäytymistä ajotilanteessa. Jousi 1 on jäykempi kuin jousi 2. Molemmilla jousilla on sama asennusvoima AV , mutta jo moottorikelkan oma paino saa aikaan huomattavan eron staattisessa painumassa, pisteet 1 ja 2. Jäykempi jousi 1 kantaa ajoalustasta tulevan iskun huomattavasti paremmin (pisteet 3 ja 4), mutta käyttää joustovarasta vain vajaa puolet. Jousen hyvä kantavuus on toivottu ominaisuus, mutta jos jousi ei ääritilanteissakaan käytä kuin osan joustomatkasta, niin ajettavuus on kova ja epämukava. [2.]



Kuva 13. Jousivoima / joustoliike [2].

4.4.1 Ominaisvärähtelytaajuus

Ominaisvärähtelytaajuus kuvaa jousituksen suhteellista jäykkyyttä. Mitä suurempi taajuus on, sen jäykempi jousitus. Pehmeämmällä jousituksella saadaan enemmän mekaanista pitoa, mutta jousitetun massan hallinta on heikompa eli moottorikelkka on hidas reagoimaan isoihin ja nopeasti tapahtuviin muutoksiin ajettavan maaston suhteen. Ominaisvärähtelytaajuus on ns. akselikohtainen eli etupää ja telasto käsitellään erikseen. [11.]

Jousituksella hallitaan pitkittäissuuntaista painonsiirtoa, joten jousituksen täytyy olla tarpeeksi jäykkä estämään moottorikelkan pohjakosketukset. Etupään ja telaston välillä on pelkästään jo rakenteellisista eroista johtuen erilaiset taajuudet. Esimerkiksi auton jousituksen suunnittelussa tulee ottaa huomioon taajuuserot akseleiden välillä, koska samalla taajuudella toimivat etu- ja taka-akseli häiritsevät toisiaan. [11.]

Jousitetun massan ominaistajuus voidaan laskea kaavasta 1 [11].

$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m}} \quad (1)$$

k = jousivakio

m = jousitettu massa

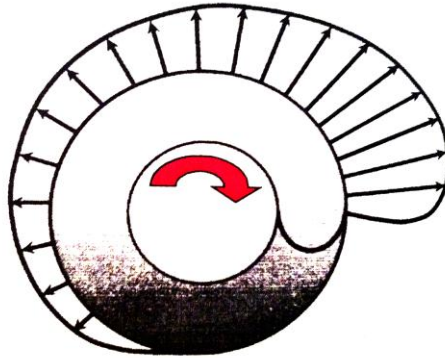
4.4.2 Liikesuhde

Jousituksen liikesuhde (Motion Ratio) eli moottorikelkan jousituksessa käytetty nimike vipusuhde kuvaa iskunvaimentimen ja suksen liikesuhdetta. Motion Ratio on kansainvälisesti käytetty nimitys jousituksen suunnittelussa. [2; 11.]

4.4.3 Jouset

Rush 600 -iskunvaimentimet on suunniteltu Coilover-tyyppisiksi vaimentajiksi ja niissä käytetään niin kutsuttuja kynäjousia. Tämän tyyppisten jousien valikoima markkinoilla on kattava. Jousia valittaessa lähtökohdaksi otettiin niiden soveltuvuus moottorikelkkakäyttöön.

Coilover-tyyppisissä vaimentajissa saattaa jäykkiä jousia käytettäessä esiintyä ongelmia jousen epätasaisen voimajakauman vuoksi. Kuvassa 14 nähdään kierrejousen voimajakauman muoto.



Kuva 14. Jousen voimajakauma ja kiertyminen [1].

Kierrejousi pyrkii siis taivuttamaan iskunvaimentimen vartta. Tämä ilmiö on huomioitava iskunvaimentimen rakenteen suunnittelussa systeemin kestävyys kannalta. Taipuminen ei yleisesti ottaen aiheuta suuria ongelmia kevyissä rakenteissa, kun joustomatkat ovat lyhyitä ja jousivakioiden arvot pysyvät alhaisina. Kierrejousi kiertyy akselinsa ympäri jousen jostaessa (punainen nuoli kuvassa 14). Tästä syystä jousen ja jousilautasen väliin asennetaan usein nylon-holkki laakeriksi. Laakeroinnin toteutuksista on olemassa useita erilaisia variaatioita, kuten monimutkaisempi hydraulinen laakerointi. Tämän tyyppinen laakerointi on hyvin toimiva, mutta vaatii usein huoltoa ja on huomattavasti kalliimpi ratkaisu kuin perinteinen nylon-holkki laakerointi. [1.]

Kun tiedetään liikesuhteet ja halutaan määrittää tarvittavat jousivakiot, josten jäykkyydet voidaan laskea kaavalla 2 [11].

$$K_s = 4\pi^2 f_r^2 m_{sm} MR^2 \quad (2)$$

K_s = jousivakio [N/m]

m_{sm} = jousitettu massa [kg]

f_r = ominaisvärähtelytaajuus [Hz]

MR = liikesuhde [vipusuhde]

Alkuperäisen progressiivisen jousen tilalle valittiin lineaarinen jousi, jonka jousivakio on 25 N/mm². Jousi ja iskunvaimennin toimivat kokonaisuutena, joten valinta on tehty iskunvaimennin huomioon ottaen. [7; 10.]

Telastoon ja suksiin vaikuttava jousivakio saadaan laskettua kaavalla 3 [11].

$$K_w = \frac{K_s}{MR^2} \quad (3)$$

Kaava ei luonnollisestikaan ota huomioon kitkaa, mikä aiheutuu liikkuvista mekanismeista. Esimerkiksi kaikki nivelet ja laakerit jousituksen mekanismeissa aiheuttavat kitkaa, mikä vaikuttaa telaston tai suksien redusoituun jousivakioon. Kitkan vaikutusta on usein vaikea ottaa huomioon, kun suunnitellaan täysin uutta jousituskonstruktiota. Tässä tapauksessa kitkan vaikutusta voidaan tutkia jo olemassa olevasta jousituksesta. [1.]

Suunnitteluvaiheessa voidaan vielä varmistaa, etteivät jousitetun ja jousittamattoman massan ominaistajuudet ole liian lähellä toisiaan. Moottorikelkassa se ei kuitenkaan ole ongelma, koska jousittamatonta massaa on vähän ja telamatto ja sukset ovat jäykkiä (suuri jousivakio). Kaavalla 4 saadaan laskettua jousittamattoman massan likimääräinen ominaistajuus. [12.]

$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{C_r}{m_r}} \quad (4)$$

C_r = rakenteen jousivakio [N/m]

m_r = jousittamaton massa [N/m]

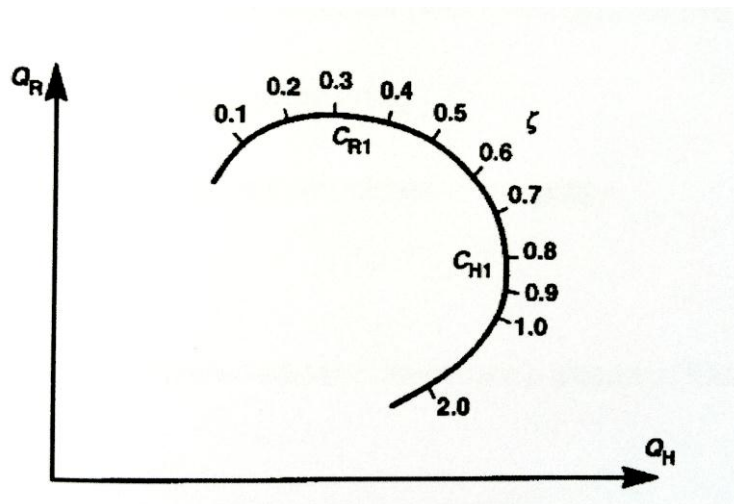
4.5 Iskunvaimennus

4.5.1 Vaimennussuhde

Samoin kuin ominaistajuuksia valittaessa on vaimennusta suunniteltaessa päätettävä, mitkä ominaisuudet ovat tärkeitä. Kun halutaan esimerkiksi pehmeä ja mukava jousitus ja välttävät hallintaominaisuudet, kuten henkilöautoissa useasti on, vaimennusta ei yleensä ole paljon. Kilpakäyttöön tarkoitetuissa ajoneuvoissa taas hallintaominaisuudet ovat avainasemassa, jolloin vaimennusta on paljon. Kuten ominaistajuuden ja jousien jäykkyyden kohdalla eri ajotilanteiden välillä joudutaan tekemään kompromisseja.

Vaimennussuhde (Damping Ratio) on hyvin havainnollistava vaimennuksen suhdeluku. Kun suhde on 1, tarkoitetaan tällä kriittistä vaimennusta, jolloin massan hallinta on teoriassa tehokkainta. Kriittisellä vaimennuksella jousitetun massan yliheilahdusta ei tapahdu, vaan massa palautuu heti vakiotilaan. Yliheilaiduksella tarkoitetaan tilannetta, jossa massa ohittaa lepotilansa pisteen ennen palautumista lepotilaan. Jos suhdeluku on yli 1:n, palautuminen tapahtuu hitaasti, mutta yliheilahdusta ei tapahdu toisin kuin alle yhden arvolla. [1.]

Kuvasta 15 nähdään mukavuus- ja hallintaominaisuuksien riippuvuus vaimennussuhteesta. Liian suurta vaimennusta käytettäessä on kuitenkin riski, että jousittamattoman massan eli jousituksen komponenttien kuormitus kasvaa, mikä ei ole suotavaa. [3.]



Kuva 15. Mukavuus (Q_R)- ja hallintaominaisuus (Q_H) [3].

4.5.2 Vaimennusarvot

Iskuvaimentimen vaimennusarvojen määrittäminen voidaan suorittaa laskemalla. Kriittinen vaimennus lasketaan kaavalla 5. [4.]

$$C_{crit} = 2\sqrt{k \cdot m} \quad (5)$$

k = jousivakion arvo

m = jousittamaton massa

Laskenta suoritetaan erikseen jousitetulle ja jousittamattomalle massalle, jotta saadaan vaimennusarvot, sekä sisään- että ulosjoustoon. Kaavalla 6 saadaan laskettua vaimennuskerroin valittua vaimennussuhdetta käyttäen. [3.]

$$C_k = \zeta 2\sqrt{k_r \cdot m_j} \quad (6)$$

C_k = vaimennuskerroin [Ns/m]

ζ = vaimennussuhde

m_j = jousitettu massa [kg]

k_r = redusoitu jousivakio [N/m]

Vaimennusvoima F_D saadaan kaavalla 7 [3].

$$F_D = C_k (R_D V_S)^n \quad (7)$$

R_D = vaimentimen liikesuhde [vipusuhde]

V_S = jousittamattoman massan liikenopeus [m/s]

n = 0 – 2, riippuu vaimennuksen luonteesta

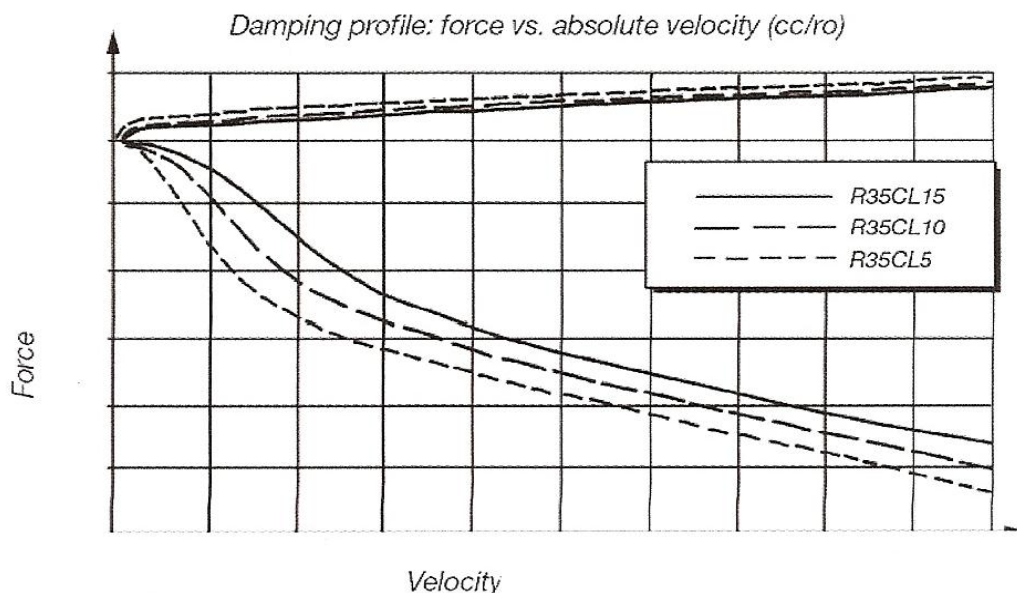
Jousittamattomalle massalle redusoitu vaimennusvoima F_w saadaan kaavalla 8 [3].

$$F_w = CR_D^{1+n}V_S^n \quad (8)$$

Kaavoista nähdään eksponentin n suuri merkitys vaimennusvoimaan. Matemaattisessa tarkastelussa se määrää vaimennuksen luonteen. Kun eksponentin arvo on 1, on kyseessä lineaarinen vaimennus ja nestevirtaus on tällöin laminaarista. Eksponentin arvolla 2 virtaus on yleensä turbulენტista. Tämän tyyppinen tilanne syntyy esimerkiksi, kun virtauksella on suuri nopeus. [1.]

Yleisesti ottaen voidaan todeta, että alle yhden eksponentin arvot johtavat degressiiviseen vaimennukseen ja yli yhden progressiiviseen. Lineaarinen tilanne syntyy luonnollisesti, kun eksponentin arvo on lähellä yhtä.

Kuvassa 16 on erään iskunvaimentimen vaimennusvoimakuvaaja, josta nähdään oikeaoppisen (vaimennusvoima) kuvaajan muoto. Laskennalliset arvot ovat suuntaa antavia. Lopulliset vaimennusarvot selviävät kuitenkin vasta pitkällä ja huolellisella testaamisella, mutta laskettuja arvoja voidaan pitää lähtökohtana testausta aloittaessa.



Kuva 16. Erään iskunvaimentimen vaimennusvoimakuvaaja [6].

4.6 Iskunvaimennin

Kilpakäyttöön suunniteltu nykyaikainen iskunvaimennin on rungoltaan huomattavasti tavallista vaimentajaa jämekämpi. Kilpavaimentimen rungon valmistusmateriaali on yleensä alumiini tai jokin alumiiniseos. Usein vaimentimen rungon ulko-osa on kierteitetty Coilover-rakenteen mahdollistamiseksi. Vaimentimen rungon päälle asennetaan kierteitetty jousilautanen, jonka ansiosta jousen esijännitystä voidaan säätää ja eripituisten jousien käyttö on mahdollista.

Kilpavaimentimet perustuvat yleensä Monotube-rakenteeseen, jossa vaimenninöljy paineistetaan kaasulla, joka on siis useimmiten tyypeä. Liukumäntä eli välimäntä erottaa öljyn tyydestä. Esipaineistuksen tehtävänä on vaimennustoimintojen lisäksi estää vaimenninöljyn kavitointi. Iskunvaimentimen hienomekaanisessa rakenteessa kavitointi aiheuttaa välittömästi vaurion, joka johtaa vaimennusarvojen muuttumiseen. [10.]

Monotube -rakenteen toimintaa täydentävät myös säätöventtiilit ja pyöreän muotoiset aluslevyn kaltaiset jousiteräslevyt, joita kutsutaan shimmeiksi. Shimmilevyt säätelevät männän virtausaukkojen pinta-alaa. [10.] (Kuva 17.)

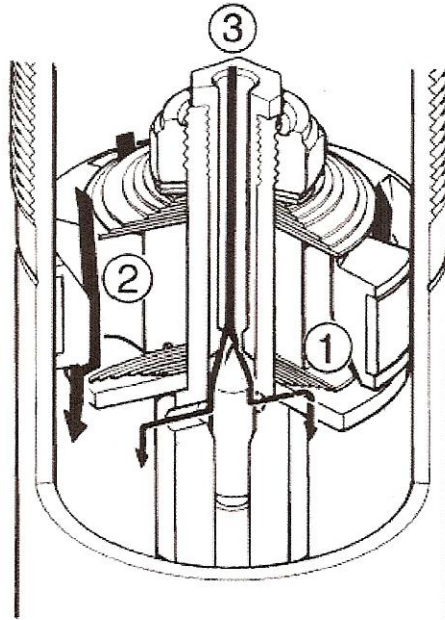


Kuva 17. Iskunvaimentimen mäntä ja shimmipakka levitettynä [5].

Iskunvaimentimen toiminta jakautuu nopeaan ja hitaaseen vaimennukseen, sekä sisään- ja ulosvaimennukseen. Männännopeus hitaassa liikkeessä on korkeintaan 0.13 m/s, kun taas nopeassa liikkeessä männännopeus ylittää 0.13 m/s. Hitaan liikkeen vaimennuksella kontrolloidaan painonsiirtoa ja transienttivaiheita. Nopealla vaimennuksella kontrolloidaan jousittamattoman massan pysymistä ajopinnassa, sekä ajopinnan epätasaisuuksien aiheuttamaa joustoliikettä. [1.]

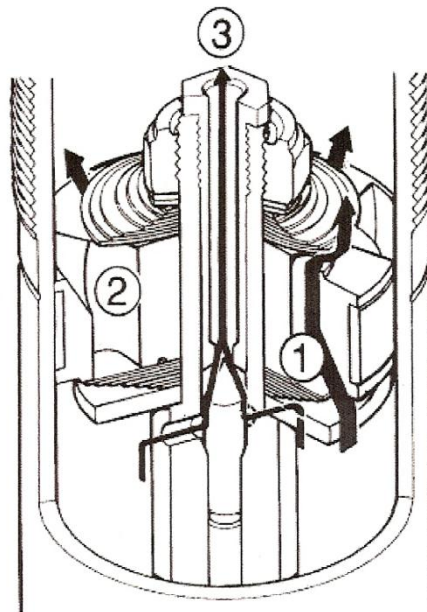
4.6.1 Vaimentimen toiminta hitaassa liikkeessä

Hitaassa sisäänjoustossa öljy virtaa männänvarren puolelle säädettävän neulaventtiilin lävitse. Männänvarren syrjäyttämä öljy virtaa lisäsäiliöön siihen sijoitetun säädettävän puristusventtiilin kautta. Puristusventtiilin läpi kulkeva öljy työntää lisäsäiliössä olevaa liukumäntää sisäänpäin. Liukumäntä erottaa öljyn ja kaasun toisistaan, joten liukumännän painuessa sisäänpäin se aiheuttaa kaasun paineen kasvun kaasukammiossa. (Kuva 18.)



Kuva 18. Öljynvirtaus männällä sisäänjoustossa [6].

Paluujoustossa paineistettu kaasu työntää liukumäntää ulospäin, jolloin mäntä työntää edellään olevaa öljyä paluuventtiileiden kautta takaisin vaimenninputkeen. Paluujoustossa öljy ohittaa puristusventtiilin. Vaimenninputkessa olevan männän alapuolelle jäävä öljy virtaa takaisin männänvarren ja säädettävän paluuventtiilin kautta. (Kuva 19.)



Kuva 19. Öljynvirtaus männällä ulosjoustossa [6].

4.6.2 Vaimentimen toiminta nopeassa liikkeessä

Iskunvaimentimen männässä on erilliset virtauskanavat sisään- ja ulosjoustolle, joista öljy pääsee virtaamaan männän liikuessa. Virtauskanavien lisäksi männän ylä- ja alapuolilla on esijännitetyt jousilevypakat eli shimmipakat. Männän liikuessa nopeasti sisäänjoustossa, osa öljystä ei ehdi virrata puristusvaimenninventtiilin kautta, jolloin kasvava paine vaimenninputkessa avaa shimmipakan. Shimmipakan auetessa öljy pääsee virtaamaan vaimenninputkessa olevan männän virtausaukkojen läpi männänvarren puolelle.

Männänvarren syrjäyttämä öljy virtaa lisäsäiliöön samoin kuten hitaassa joustossa, mutta paineen johdosta lisäsäiliön puristusventtiilin reunoilla olevia virtausaukkoja peittävä shimmipakka aukeaa sallien nopeamman virtauksen. Lisäsäiliöön virtaava öljy työntää liukumäntää taaksepäin kasvattaen painetta männän takana samalla tavalla kuin hitaassa liikkeessä.

Nopeassa ulosjoustossa liukumäntä työntää öljyä paluuventtiilin kautta takaisin vaimenninputkeen suurella virtausnopeudella, joka aiheuttaa vaimentimessa korkean paineen. Kyseisessä tilanteessa paluuvirtausventtiilin kapasiteetti ylitetään, jolloin paine avaa paluukanavia peittävää shimmipakkaa ja öljy pääsee virtaamaan nopeasti takaisin vaimenninputkeen.

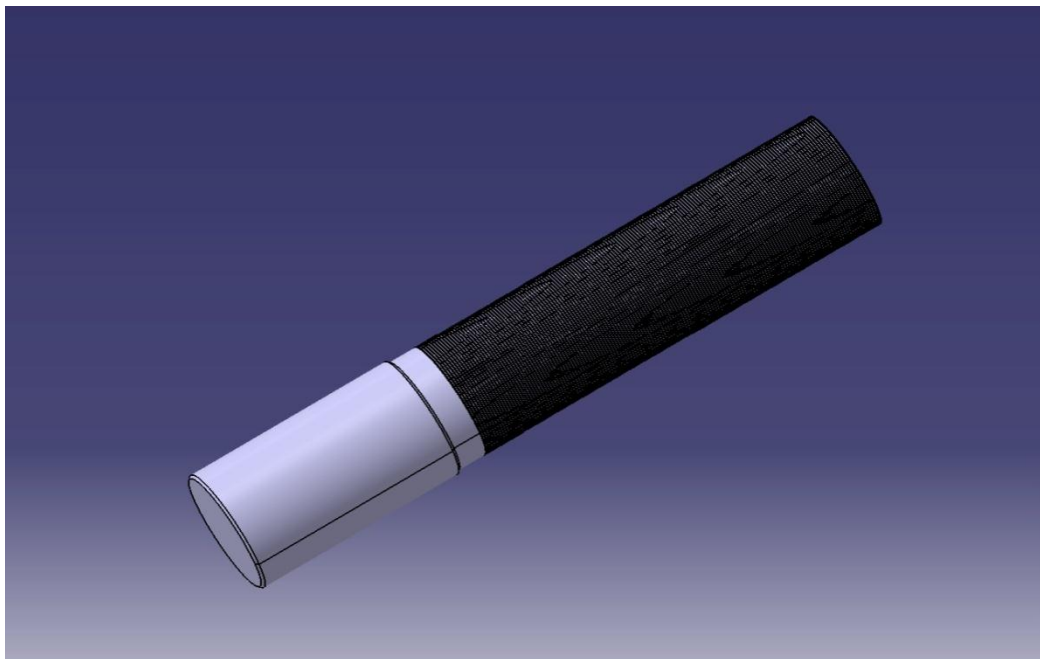
4.7 Komponenttien valinta

Iskunvaimentimen komponenttien valinnoissa ja suunnittelun apuna toimivat alkuperäiset iskunvaimentimet, joiden avulla voitiin määrittää ulkoiset mitat. Iskunpituutta ja muita tärkeitä seikkoja oli helpompi tarkastella jo olemassa olevasta iskunvaimentimesta, vaikka suunnitteilla oleva iskunvaimennin eroaa paljon alkuperäisestä. 3D-suunnitteluohjelman avulla voitiin hahmottaa tulevan iskunvaimentimen kokonaisuus, sekä tarkastella komponentteja yksitellen. AST valmistaa omassa tehtaassa lähes kaikki iskunvaimentimen komponentit, joten aloimme tutkia yrityksen tietokannasta sopivia komponentteja. Oletuksena, että löytäisimme joitakin valmiita komponentteja tulevaan kokoonpanoon ja näin ollen voisimme toimia kustannustehokkaammin. Valmiiden komponenttien sovittaminen säästää myös aikaa ja mahdollistaa erilaisten variaatioiden kokeilun konkreettisesti. Kokoonpanossa pyrimme käyttämään laadukkaita koneistettuja alumiiniosia. Näin ollen saavutetaan hyvä lämmönjohtavuus ja rakenteen keveys, jotka ovat perusta hyvälle ja laadukkaalle iskunvaimentimelle. Seuraavissa kappaleissa esitellään muutamia tärkeitä iskunvaimentimen pääkomponentteja. Kyseiset osat on mallinnettu mittatarkasti Catia 3D -ohjelman avulla.

4.7.1 Sylinteriputki

Muutaman kompromissin jälkeen päädyttiin valitsemaan sylinteriputkeksi AST:n jo olemassa oleva sylinteriputki, joka oli alun perin suunniteltu motocross-käyttöön. Pituus ja halkaisija olivat hyvin lähellä suunniteltua, joten pienellä muutoksella sylinteriputkesta saatiin aihio kokoonpanoon. Sylinteriputken ulkohalkaisija on 47 mm ja sisähalkaisija 40 mm, joten seinämävahvuudeksi jää 3.5 mm. Kiinnityslenkkien kanssa kokonaispituus tulee olemaan 450 mm.

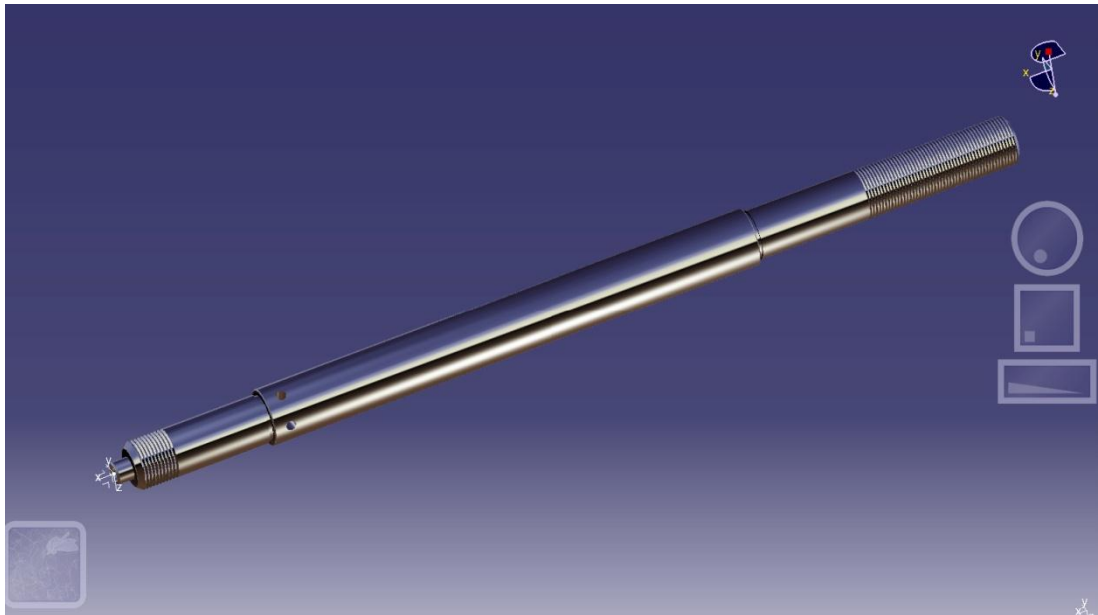
Sylinteriputki (kuva 20) on valmistettu alumiinista ja koneistettu yhdestä kappaleesta. Kuvasta voidaan nähdä kierteet, joihin jousilautanen asennetaan. Kierteiden ansiosta jousilautasen asemointia voidaan muuttaa vaimentimen rungon suhteen pituus suuntaisesti. Tämän tyyppinen säätö mahdollistaa ajoneuvon korkeuden säädön, koska jousilautasen siirtäminen vaimentimen rungon suuntaisesti nostaa tai laskee jousen lähtökohtaa alustan suhteen.



Kuva 20. Sylinteriputken periaatekuva.

4.7.2 Männänvarsi

Kokoonpanon yksi pääkomponentti on männänvarsi (Kuva 21). Varteen kohdistuu aina sivuttaisvoimia, vaikka alustan tukirakenteilla niitä voidaan pienentää. Näin päädyttiin valitsemaan halkaisijaltaan 14 mm karkaistu ja kovakromi pinnoitettu männänvarsi, jonka pituus on 240 mm.



Kuva 21. Männänvarsi.

Männänvarren sisällä on öljykanava ja kokoonpanovaiheessa sen sisälle asennetaan pitkittäissuunnassa neula. Varren kummassakin päässä on kierteet. Männänvarteen sekä siihen liittyviin säätöihin perehdytään tarkemmin työn varsinaisessa säätöosiossa.

4.7.3 Mäntä

Iskunvaimentimen toiminnan kannalta mäntä (kuva 22) on hyvin tärkeä komponentti. Männän painolla on suuri merkitys vaimennuksen herkkyydelle, joten tästä syystä iskunvaimentimen suunnittelussa haluttiin painottaa männän keveyttä. Useimmat valumännät painavat suhteellisen paljon. Vertailukohtana voidaan käyttää tunnetun valmistajan valumäntää, joka painaa 76 g. Päätettiin perinteisin valumännän sijaan käyttää alumiinista koneistamalla valmistettua mäntää, jonka paino on 26g. Kooltaan suhteellisen pieni iskunvaimennin, sekä moottorikelkan keveys vaikuttivat männän

valintaan. Tällä tavoin voitiin optimoida männän toiminta nopeissa liikkeissä, koska massaltaan kevyempi mäntä reagoi herkemmin ja näin ollen parantaa iskunvaimentimen toimintaa.



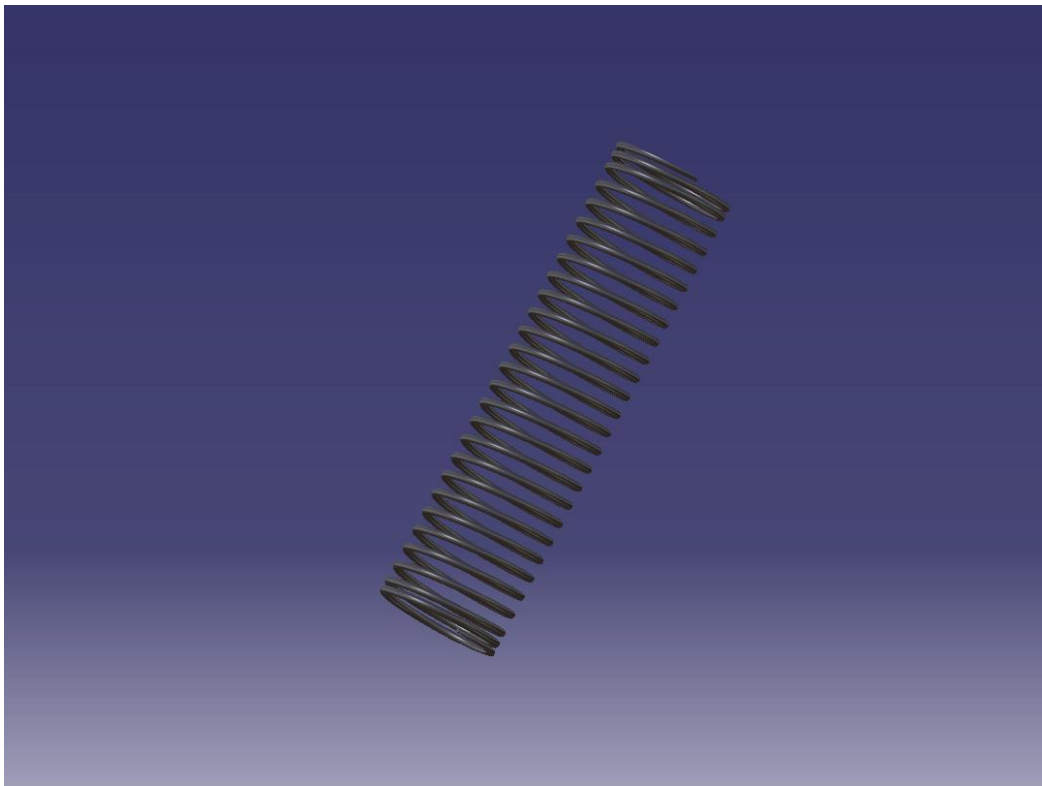
Kuva 22. Mäntä.

Männän halkaisija on 40 mm ja paksuus 12 mm. Männän lävitse on porattu ja koneistettu yhteensä kahdeksan öljykanavaa. Neljä 8 mm:n ja neljä 6 mm:n kanavaa, jotka kapenevat tasaisesti vastakkaisiin suuntiin. Männän pintaan lieriöiden kohdalle on koneistettu ympyrän muotoisia hahloja, joiden tarkoitus on mahdollistaa ja parantaa öljyn virtausta shimmipakkojen ollessa kiinni. Kokoonpanovaiheessa männän ympärille asennetaan tiivisteet ja lukkorengas. Männän öljykanavien halkaisijoiden koolla on suuri merkitys iskunvaimentimen toiminnan kannalta. Shimmilevyjen avulla tehtävät säätötoimenpiteet ovat oikeastaan hienosäätöä jo olemassa olevalle iskunvaimenninkokoonpanolle. Hyvän iskunvaimentimen suunnittelussa on tärkeää ottaa huomioon vaimentimen halutut ominaisuudet ja mitoittaa mäntä ja öljykanavat tarpeen mukaan sopiviksi. Iskunvaimentimen pituus ja öljytilavuus vaikuttavat männän suunnitteluun. Tässä kokoonpanossa männän fyysiset mitat perustuvat aikaisempiin kokemuksiin ja tietoihin.

4.7.4 Jousi

Oikean jousen valinnalla on suuri merkitys hyvin toimivan jousituksen kannalta. Jousen valinnassa on huomioitava iskunvaimennin-jousi-yhdistelmä kokonaisuutena. Liian pehmeä tai jäykkä jousi muuttaa hyvin suunnittelun iskunvaimentimen toimintaa ajotilanteessa radikaalisti. On siis hyvin tärkeää suunnitella jousi ja iskunvaimennin toimimaan yhdessä, sekä huomioida niiden käyttötarkoitus. Kuljettajan paino vaikuttaa jousen valintaan. Alkuperäisten josten, joiden yksittäinen jousivoima on 16 kg/cm, todettiin olevan liian pehmeät endurokäyttöön ja tulevaan kokoonpanoon.

Moottorikelkan kilpakuljettaja painaa 80 kg, joten päätimme kokeilla lineaarista jousivoimaltaan 25 kg/cm joustaa (kuva 23). Tämä oli osittain kokemukseen perustuvaa tietoa, joka voitiin vahvistaa laskennallisesti. Jousen halkaisija on 60 mm ja pituus 250 mm. Iskunvaimennin-jousi-yhdistelmään voidaan lisätä vielä apujousi, mutta päätettiin kokeilla yhdistelmän toimivuutta aluksi ilman apujousta, koska sen asentaminen myöhemmin on mahdollista. Apujousella voidaan säätää asetelman esijännitystä.



Kuva 23. Jousi 250 mm.

4.8 Iskunvaimentimen kokoonpano

4.8.1 Lisäsäiliö

Moottorikelkan iskunvaimentimet ovat suhteellisen lyhyitä, joten jo suunnittelun alkuvaiheessa päätettiin, että tuleva iskunvaimennin kokoonpano toteutettaisiin lisäsäiliöillä. Tällä tavoin saadaan lisää öljytilavuutta ja voidaan pidentää iskunpituutta iskunvaimentimen pituuteen nähden. Kaikki iskunvaimentimet toteutettiin kolmella säätömahdollisuudella. Lisäsäiliön säätö ruuvista voidaan säätää sisäänvaimennuksen (compression damping) nopeaa ja hidasta aluetta. Säätö tapahtuu kiertämällä kuvassa 24 alhaalla olevaa säätöruuvia. Lisäsäiliön toisessa päässä sijaitsee Schrader-venttiili, jonka kautta lisätään tarvittava määrä typpeä 10–12 baria riippuen halutusta vastapaineesta.



Kuva 24. Lisäsäiliö.

Männälle tulevan paineen pitäisi olla sama kummallakin puolella mäntää. Paineistuksen avulla voidaan vaikuttaa hystereesi-ilmiöön. Hystereesi on ilmiö, joka hidastaa muutoksiin reagoimista tai estää systeemiä palaamasta alkuperäiseen tilaansa. Ulosvaimennuksen (rebound=) säätäminen tapahtuu iskunvaimentimen männänvarren päästä. Säätö itsessään toteutetaan kiertämällä männänvarren päässä olevaa säätöruuvia. (Kuva 25.)



Kuva 25. Ulosvaimennusta säädetään kultaista säätöruuvista.

Ulosvaimennuksen säätö on tavanomaisin säätömahdollisuus säädettävissä iskunvaimentimissa. On olemassa myös iskunvaimentimia, joissa on neljä säätömahdollisuutta, mutta projektin edetessä päädyttiin kyseinen kokoonpano toteuttamaan kolmella säädöllä, koska näillä kolmella säätömahdollisuudella saadaan täysin riittävät säätöominaisuudet käyttötarkoitukseen nähden. Joissakin tapauksissa liiat säätömahdollisuudet saattavat jopa haitata säätöjen optimoimista.

Etuhaarukan iskunvaimentimien lisäsäiliöt on integroitu sylinteriputkeen. Monotube-iskunvaimennin voidaan asentaa myös ylösalaisin (upsidedown-asennus). Tämäntyyppistä asennusmallia voidaan käyttää mm. McPherson-jousitusryhmän omaavissa ajoneuvoissa. Asennuksen etuna on kestävämpi rakenne edellä mainitussa jousituskonstruktiossa. Moottorikelkoissa käytetään pääsääntöisesti kolmiotukivarsirakennetta ja jousittamattoman massan ollessa vähäinen voidaan iskunvaimennin asentaa perinteisesti sylinteriputki alaspäin.

Kuvassa 26 on etuhaarukan iskunvaimennin ilman joustaa. Vasemmalla näkyy sylinteriputkeen integroitu lisäsäiliö. Männän varren ympärillä Bump Stop eli pohjanlyöntikumi, joka estää pohjaamistilanteessa iskunvaimentimen vaurioitumisen.



Kuva 26. Iskuvaimenninkokoonpano.

Lisäsäilöissä on myös shimmipakka, jonka kokoonpanoa muuttamalla voidaan hienosäätää virtauksia. Säätöihin perehdytään tarkemmin työn varsinaisessa säätöosiossa. Shimmipakka ja venttiilirakenne on sijoitettu lisäsäiliön säätöruuvien puoleiseen päähän. (Kuva 27.)



Kuva 27. Lisäsäiliön rakenne [5].

Lisäsäiliössä typen ja öljyn erottaa välimäntä. Tässä kokoonpanossa välimäntä on koneistamalla valmistettu. Sen ympärillä on nitrilikumitiiviste, joka varmistaa, että kaasua ei pääse öljyn sekaan. Nitrilikumi kestää erittäin hyvin rasitusta ja hydraulikkaöljyä.

Telaston etupukin iskunvaimennin toteutettiin erillisellä lisäsäiliöllä tilan ahtauden vuoksi. Siirtämällä lisäsäiliö sylinteriputkesta erilliseksi säiliöksi, voidaan helpottaa asennustyötä ja myöhemmin tehtäviä säätötoimenpiteitä. Iskunvaimennin ja erillinen lisäsäiliö on yhdistetty lyhyellä teräspunosletkulla ja nipoilla. Rakenteellisesti lisäsäiliön on samanlainen kuin integroidussa versiossa.

4.8.2 Sylinteriputken komponentit

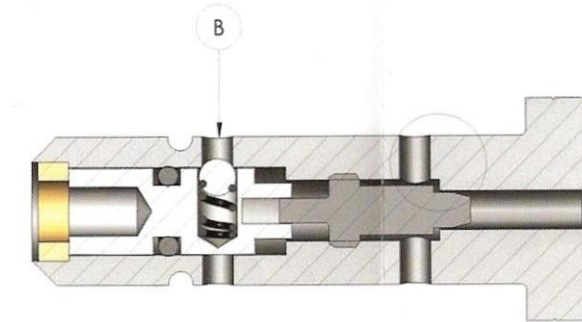
Iskunvaimentimen sylinteriputken komponenttien kokoonpano aloitettiin asentamalla mäntään teflon-männänrenkas ja o-rengas. (Kuva 28.)



Kuva 28. Mäntä AST [5].

O-rengas asennetaan männän koneistettuun uraan, minkä jälkeen männänrenkas voidaan asettaa sille tarkoitettuun uraan. O-renkaan avulla estetään mekaaninen kulumisen männän liikkuessa sylinterissä.

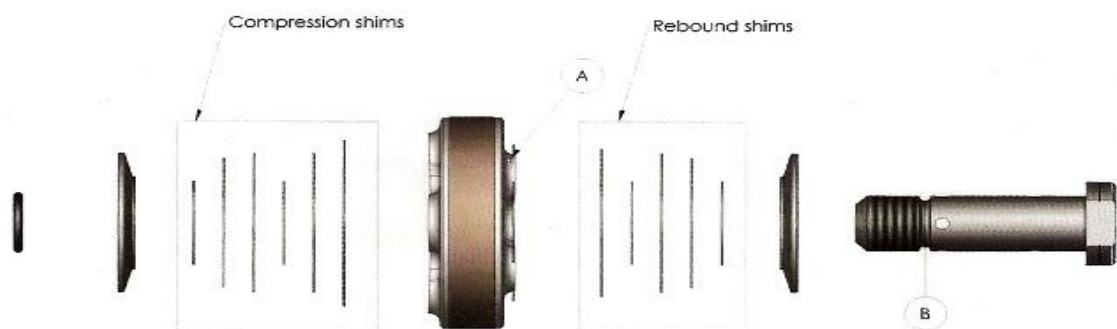
Ennen männän ja shimmipakkojen asennusta männänvarteen asennetaan neulaventtiili, joka sisältää palautinjousen ja kuulan. Neulaventtiilin (Bullet) asennuksessa on huomioitava, että osat tulee asentaa kuva 29 osoittamalla tavalla. Näin voidaan varmistaa neulaventtiilin toiminta.



Kuva 29. Neulaventtiili [5].

Neulaventtiilin asennuksen jälkeen männänvarteen asetetaan aluslevy, jonka tarkoituksena on pitää seuraavaksi asennettava rebound-shimmipakka paikallaan. Tämän jälkeen mäntä voidaan asettaa mäntä männänvarteen.

Mäntä tulee asettaa huolellisesti pienemmät virtauskanavat oikealle puolelle kuten kuvassa 30. Männän jälkeen asetetaan compression shimmipakka ja aluslevy, sekä o-rengas männänvarren uraan. Tämän jälkeen asennetaan männänvarren päähän mutteri, joka pitää systeemin paikoillaan. Shimmipakkojen esijännitys toteutetaan mutteria kiertämällä. Sopiva kiristysmomentti on 25 Nm.



Kuva 30. Männän ja shimmilevyjen kokoonpano [5].

Männänvarren sisään asennetaan säätöpuikko, joka työnnetään sisään männänvarren vapaasta päästä. Säätöpuikko painetaan varovasti paikoilleen. Säätöpuikon ylä- ja alaosassa on o-rengastiivisteet. Lopuksi asennetaan yläpään säätömutteri ja kiinnityslenkki. Männänvarren säätömutteria kiertämällä liikutetaan säätöpuikkoa, jolla voidaan vaikuttaa öljynvirtaukseen ulosvaimennuksessa. Säätöpuikko on yhteydessä männänvarren alaosan kuulaventtiin ja tästä syystä paineistetun iskunvaimentimen ulosvaimennusta säädettyä voidaan kuulla "naksateleva" ääni. Iskunvaimentimien säätötöiden parissa työskentelevät henkilöt puhuvat "naksuista". Naksahdusten määrällä voidaan kuvailla iskunvaimentimen säätötyötä ja määrittää säätöalueen laajuus.

Seuraavaksi voidaan aloittaa täydellisen männänvarsisysteemin (kuvassa 31) asennus sylinteriputkeen. Ensin lisätään sopiva määrä hydraulikkaöljyä. Tässä kokoonpanossa käytettiin Red Line -merkistä hyväksi havaittua öljyä, joka sopii erittäin hyvin vaativiin olosuhteisiin. Öljyä lisättiin 2 dl suoraan sylinteriputkeen. Öljyä kaadetaan rauhallisesti, jotta ilmataskuja syntyisi mahdollisimman vähän. Lopullinen ilmaus tehdään, kun asennetaan männänvarsisysteemi. On olemassa myös erilaisia ilmaustyökaluja, joita voidaan käyttää apuna ilmauksessa.



Kuva 31. Männänvarsisysteemi.

Lopuksi lisätään sopiva määrä tyypeä Schrader-venttiin kautta. Paine on syytä tarkistaa tarkkuusmittarilla ennen iskunvaimentimen testiä ja käyttöönottoa. Jousi asennetaan jousilautasten väliin ja samalla voidaan esisäätää jousen paikka iskunvaimentimen runkoon nähden. Lopullinen korkeuden säätö tehdään, kun Coilover on asennettu moottorikelkkaan.

5 TESTAUS JA SÄÄTÖ

Suunnittelun alkuvaiheessa testattiin laadukkaan valmistajan jo olemassa olevat iskunvaimentimet. Käytännössä se tapahtui niin, että testikuljettajamme säätöi iskunvaimentimet parhaiksi toteamilleen säädöille testiajojen perusteella, minkä jälkeen iskunvaimentimet testattiin dynamometrillä. Merkittävin huomio tehtiin sisäänvaimennuksen suhteen. Kuljettaja mainitsi, että moottorikelkan etupään jäykkyys rasittaa käsiä kohtuuttomasti etenkin patteihin ajaessa, vaikka sisäänvaimennus oli ”löysimmillään”. Säättöjen toimimattomuuteen voivat vaikuttaa myös huolimattomasti tehdyt huolto- ja säätötyöt.

Testien tulosten perusteella tultiin siihen tulokseen, että pienemmällä jousen jousivoimalla voitaisiin myös vaikuttaa keulan jäykkyyteen. Näiden testikokemuksien perusteella saatiin lähtökohdat kehitysprojektille ja tavoitteena oli suunnitella AST:n iskunvaimentimet säätökartoiltaan noin puoliväliin testattuihin iskunvaimentimiin nähden.

Varsinaiset testiajot uudella kokoonpanolla suoritettiin Rukalla. Ensimmäisen testiajon jälkeen kuljettajan antama palaute oli lähinnä positiivista. Kuljettaja mainitsi, että säättöjen muuttamisella oli konkreettinen vaikutus ajotuntumaan. Etusukset olivat kuitenkin edelleen liian jäykät säätämisestä huolimatta, etenkin sisäänvaimennuksen osalta. Iskunvaimentimet purettiin ja shimmilevyjä vaihdettiin, sekä niiden järjestystä muutettiin. Shimmilevyjen halkaisija ja paksuus vaikuttavat kokonaisvirtaukseen ja sen herkkyyteen. Asettamalla halkaisijaltaan pienempiä shimmilevyjä, isompien väliin voidaan vaikuttaa isompien shimmilevyjen taipumisherkkyyteen. Muutoksien vaikutus testattiin dynamometrissä ennen seuraavaa testiajoa. Samalla vaihdettiin öljyt kevyempiin vaimennusherkkyyden lisäämiseksi.

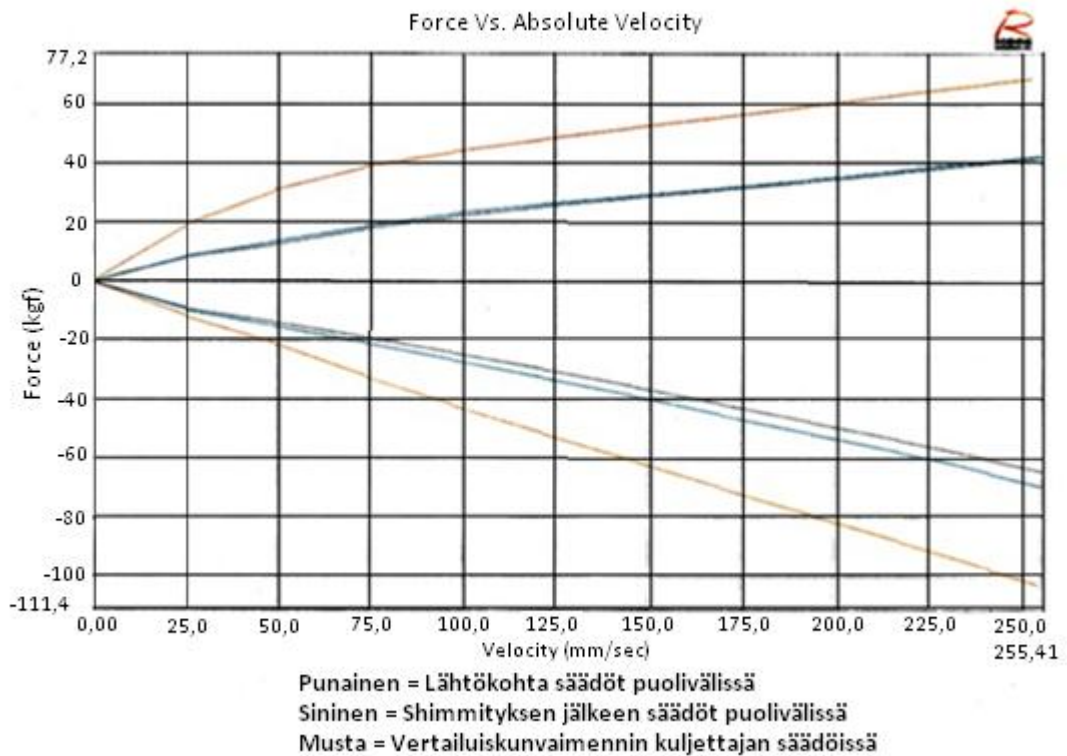
Toinen testiajo suoritettiin Rukan maisemissa keväällä 2012. Tehdyt muutokset menivät huomattavasti parempaan suuntaan. Kuljettajan palautteen perusteella moottorikelkka käyttäytyi halutulla tavalla patteihin ajaessa ja kädet eivät väsyneet ajossa niin nopeasti. Moottorikelkka oli myös nopeampi kuin vanhalla alustalla.

Dynamometritestit suoritettiin Roehrig-iskunvaimennindynamometrillä AST Suomen tiloissa Tuusulassa. Dynamometrin avulla voidaan todeta säätöjen vaikutus ennen varsinaista testiajtoa ja sen jälkeen, sekä tallentaa säätöjen tiedot myöhempää käyttöä varten. Testin avulla varmistetaan, että iskunvaimentimet ovat tasapainossa toisiinsa nähden ja toimivat halutulla tavalla.

Testin valmistelut olivat kohtuullisen yksinkertaiset, koska iskunvaimentimet oli rakenteeltaan toteutettu niin, että iskunvaimentimen kummassakin päässä on kiinnityslenkki. Lenkkien ansiosta iskunvaimentimet oli mahdollista kiinnittää dynamometriin suoraan sen omilla kiinnityssysteemeillä.

Ensin iskunvaimennin kiinnitetään yläpäähän kourusta, jossa sijaitsee myös voima-anturi. Tässä yhteydessä voima-anturi nollataan, jolloin iskunvaimentimen oma massa ei vaikuta mittaustuloksiin. Seuraavaksi iskunvaimennin kiinnitetään alapäästä ja samalla sitä painetaan sisäänpäin 50 mm. Moottorikelkan keskipukin iskunvaimentimen isku oli niin lyhyt, että jouduttiin käyttämään pienempää esijännitystä vahinkojen välttämiseksi. Kyseisellä menettelyllä ei ole juurikaan merkitystä mittaustuloksiin. Dynamometrissä säädettäessä tulee kuitenkin aina muistaa käyttää samaa esijännitystä.

Kuvan 32 säätökarttaan on liitetty eri säätövaiheiden tulokset tarkastelun helpottamiseksi. Graafisesta säätökartasta nähdään vaimennusvoima ja -nopeus, sekä sisään- että ulosjoustossa. Shimmilevyjen ja säätämisen vaikutusalue rajoittuu säätökartan arvoihin. Vertailuiskunvaimentimen käyrät näkyvät kartassa mustina. Punaisella näkyvät käyrät kuvaavat suunnitellun iskunvaimentimen mittaustulosta lähtötilanteessa, kun säädöt olivat puolivälissä. Siniset käyrät kuvaavat tilannetta viimeisimmän testiajon ja säätämisen jälkeen säätöjen ollessa puolivälissä. Viimeisimmän testiajon ja säätämisen jälkeen päästiin siis lähes samankaltaisiin vaimennuskäyriin vertailuiskunvaimentimen kanssa, joka oli säädetty parhaimmalle mahdolliselle alueelle kuljettajan toimesta. Kyseinen tilanne on erinomainen suunnitellun iskunvaimentimen kannalta, koska sen säätöalue on käytettävissä kumpaankin suuntaan. Näin voidaan päätellä, että kehitys ja säätäminen ovat tuottaneet haluttuja tuloksia ja tästä on hyvä jatkaa eteenpäin seuraavalla testikaudella 2013.



Kuva 32. Mittaustuloksia.

Tulevaisuuden suunnitelmissa jatkokehityksen suhteen on ainakin männänvarren suurentaminen keskipukin iskuvaimentimessa. Tällä tavoin saadaan suurempi virtaus lyhyellä iskunpituudella. Männän kehitystyö tulee olemaan myös keskeinen asia. Männän geometrialla voidaan vaikuttaa huomattavasti iskunvaimentimen ominaisuuksiin. Yhtenä vaihtoehtona pidetään männän muuttamista tupladegressiiviseksi (DDP). Ensimmäiseen prototyyppiin voidaan olla kuitenkin tyytyväisiä. Tämä kehitysprojekti on mahdollistanut teorian soveltamisen käytäntöön ja näin ollen antanut arvokkaan kokemuksen iskunvaimentimien tuotekehityksestä.

6 YHTEENVETO JA PÄÄTELMIÄ

Tämän insinööriyön tarkoituksena oli suunnitella sopiva iskunvaimenninratkaisu kilpakäyttöön tarkoitetun moottorikelkan jousituskonstruktioon. Työn lähtökohtana olivat eri iskunvaimenninvalmistajien ilmoittamat tiedot. Työssä hyödynnettiin kilpa- ja normaalikäyttöön suunniteltujen iskunvaimentimien kehitysversioista testaamalla saatuja tietoja ja kokemuksia.

Työn tavoitteena oli suunnitella hyvin toimiva iskunvaimennin-jousi-yhdistelmä, jota olisi helppo säätää eri kilpailutilanteisiin. Tavoitteeseen päästiinkin ainakin testiajojen perusteella, mutta todellinen toiminta selviää vasta tulevaisuudessa varsinaisissa kilpailutilanteissa ja pidemmällä rasituksella. Käytössä olleet testilaitteet ovat hyviä apuvälineitä jousitusjärjestelmän säätämisessä ja suunnittelussa. Niiden avulla voidaan simuloida iskunvaimentimen liikettä reaaliajassa erilaisilla kuormilla ja tallentaa saadut tiedot tietokoneelle myöhempää tarkastelua varten.

Haastavinta iskunvaimentimen suunnittelussa oli saada jousitusjärjestelmä toimimaan kokonaisuutena. On mahdotonta toteuttaa yhden tyyppistä iskunvaimenninta, jonka toiminta olisi haluttua eri moottorikelkkamalleissa, johtuen jo pelkästään fysikaalisista eroavaisuuksista niiden välillä. Työssä päädyttiinkin rajaamaan iskunvaimentimen suunnittelu yhteen tiettyyn moottorikelkkamalliin. Tämän tekijän pysyessä vakiona oli helpompi saada luotettavia tuloksia, jotta voitiin keskittyä iskunvaimentimien ja jousien kalibrointiin ja säätämiseen.

Yleisesti ottaen tätä työtä voidaan kuitenkin käyttää erilaisten moottorikelkkojen alustavariaatioiden suunnitteluun, sekä ohjenuorana iskunvaimentimien ja jousien säätämiseen. Työssä käsiteltiin perusteellisesti näiden systeemien toiminta ja rakenne, jonka ymmärtäminen on välttämätöntä oikeiden alustakomponenttien valintojen kannalta. Testilaitteiden tiedonkeruujärjestelmän ja kaavakäyrien havainnollistaminen oli myös tärkeä osa tätä työtä, koska tiedon oikea tulkinta on välttämätöntä, mikäli kilpailuissa halutaan menestyä.

Lähteet

- 1 Jauhiainen, Juha-Pekka. Formula Student – jousituskonstruktio. Insinööriyö. Metropolia Ammattikorkeakoulu. Auto- ja kuljetustekniikan koulutusohjelma. 2004.
- 2 Ahmasalo, Erik. Jousitus. Verkkodokumentti. Mk-lehti. <<http://www.mk-lehti.fi/Portals/0/artikkelit/jousitus.pdf>>. Luettu 15.3.2012.
- 3 Dixon, John. The Shock Absorber Handbook. USA: SAE. 1999.
- 4 Karhunen, Lassila, Pyy, Ranta, Räsänen, Saikkonen ja Suosara. Lujuusoppi 543. Helsinki Otatieto: 2002.
- 5 AST Suspension Assembly Manual. AST. 2011.
- 6 Owner's manual Öhlins Shock absorbers. Öhlins. 2004.
- 7 Heino, Juha. Manager AST Suomi. Haastattelut projektin aikana. 2012.
- 8 Polaris Rush 600 moottorikelkka. 2012. Verkkodokumentti. Polaris. <<http://www.polaris.fi/tietoa-tuotteista/esitteet/selaa-esitetta/%28brochure%29/14982>>. Luettu 24.3.2012.
- 9 Jousituksen vipusuhde. Verkkodokumentti. Mk-lehti. <<http://www.mk-lehti.fi/Jutut/Jousitusosa2.aspx>>. Luettu 20.4.2012.
- 10 Heino, Mikko. Manager AST Suomi. Haastattelut projektin aikana. 2012.
- 11 Giaraffa, Matt. Optimum G. 2012. Verkkodokumentti. Tech Tip: Springs & Dampers. <http://www.optimumg.com/docs/Springs%26Dampers_Tech_Tip_1.pdf>. Luettu 10.5.2012.
- 12 Milliken & Milliken. Race Car Vehicle Dynamics. USA: SAE. 1995.

- 13 Iskunvaimentimen rakenne. 2012. Verkkodokumentti. Autowiki.
<<http://www.autowiki.fi/index.php/Iskunvaimennin>>. Luettu 18.2.2012.
- 14 Iskunvaimentimien rakenteelliset erot. 2012. Gstatic. Verkkodokumentti.
<http://t2.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcRhhN0RG96cHzvys1WtDduu_iCsR7cmSBp0BwGGdaIuWnCwC8iPNg>. Luettu 18.2.2012.
- 15 Auton alustageometria. 2011. Motoristpassion. Verkkodokumentti.
<<http://www.motoristpassion.com/2011/10/car-suspension.html>>. Luettu 20.2.2012.
- 16 Shock Absorber Types. 2012. Öhlins. Verkkodokumentti.
<<http://www.24mx.fi/motocross/p/ohlins-ttx-iskunvaimennin/23803/>>. Luettu 20.4.2012.