

Opinnäytetyö (AMK)

Ajoneuvo- ja kuljetustekniikka

2022

Rayan Eftekharshenas

# Kilpa-auton jousitusjärjestelmän heilahtelunvaimennus

Opinnäytetyö (AMK) | Tiivistelmä

Turun ammattikorkeakoulu

Ajoneuvo- ja kuljetustekniikka

Joulukuu 2022 | 33 sivua

Rayan Eftekharshenas

## Kilpa-auton jousitusjärjestelmän heilahtelunvaimennus

Opinnäytetyössä perehdytään auton jousituksessa oleviin heilahtelunvaimentimiin sekä niiden toimintaperiaatteisiin ja tämän pohjalta esitellään, miten vaimennintekniikkaa toteutetaan kilpa-autoissa. Työn keskeinen tavoite on luoda helposti luettava perehdytyspaketti sellaiselle, joka tutustuu vaimennintekniikkaan ensimmäistä kertaa.

Opinnäytetyön aikana sopivimmat kirjallisuuslähteet on kartoitettu, ja niiden pohjalta kirjoitetaan vaimentimien yleisestä teoriasta ja niiden rakenteesta. Työn loppuvaiheessa suoritetaan myös asiantuntijahaastattelu, jossa haastateltavana on toimeksiantaja. Asiantuntijahaastattelu toimii samalla pääasiallisena lähteenä kilpa-autojen vaimennustekniikan esittelyssä.

Asiasanat:

Kilpa-auto, jousitus, vaimennus

Bachelor's Thesis | Abstract

Turku University of Applied Sciences

Automotive and Transportation Engineering

December 2022 | 33 pages

Rayan Eftekharshenas

## Vibration Damping in a Suspension System of a Racing Car

In the thesis, we learn about the vibration dampers in the car suspension and their operating principles, and based on this, it is presented in more detail how the damper technology is implemented in racing cars. The main goal of the work is an easy-to-read introductory package for someone who is getting to know damper technology for the first time.

The most suitable literature sources are mapped, on the basis of which the general theory of dampers and their structure are written. At the end of the work an expert interview is also conducted, where the interviewee is the client. The expert interview also serves as the main source for the presentation of racing car damping technology

Keywords:

Racing car, suspension system, damping

# Sisältö

<b>1 Johdanto</b>	<b>6</b>
<b>2 Jousi-massa-systeemi, heilahtelu ja sen vaimentaminen</b>	<b>7</b>
2.1 Jousituksen mekanismi	7
2.2 Määrittelyitä	8
2.3 Jousituksen ajoturvallisuusvaatimukset	10
2.4 Ominaistaajuudet	11
2.5 Auton heilahteludynamiikka	12
<b>3 Heilahtelun vaimentaminen</b>	<b>13</b>
3.1 Teleskooppivaimentimen rakenne	14
3.1.1 Kaksiputkivaimennin ( <i>Twintube</i> )	15
3.1.2 Yksiputkivaimennin ( <i>Monotube</i> )	16
3.2 Venttiilityyppejä	18
3.2.1 Levyventtiili	18
3.2.2 Rajaventtiili	19
3.2.3 Liukumäntäventtiili	20
3.2.4 Shimmipakkaventtiili	20
3.3 Muita teknisiä oivalluksia	21
3.3.1 Adaptiiviset vaimentimet	22
<b>4 Vaimennintekniikka kilpa-autossa</b>	<b>24</b>
4.1 Tieliikennekäyttöön tarkoitetut vaimentimet ja kilpavaimentimet	25
4.2 Suunnittelu	26
4.3 Säädettyvyys	27
4.4 Eri toteutustavat	28
4.5 Ratakilpa-auton vaimentimet	29
4.6 Rallikilpa-auton vaimentimet	30
<b>5 Lopuksi</b>	<b>31</b>
<b>Lähteet</b>	<b>32</b>

## **Kaavat**

Kaava 1. Ajoturvallisuusehdon perusmuoto (Laine 1981, 100).	10
Kaava 2. Ajoturvallisuusehto pyöränkuormituksilla (Laine 1981, 101).	11
Kaava 3. Ajoturvallisuusehdon yhtälön molemmat puolet jaetaan pyöränkuormituksilla (Laine 1981, 101).	11
Kaava 4. Ajoturvallisuusehdon lopullinen muoto (Laine 1981, 101).	11
Kaava 5. Alempi ominaistajuus (Laine 1981, 103).	11
Kaava 6. Ylempi ominaistajuus (Laine 1981, 103).	12

## **Kuvat**

Kuva 1. 2-massasysteemi (Vesterinen 2010).	7
Kuva 2. Auton pääakselit (The Cartech 2022).	9
Kuva 3. Vipuvaimentimen rakenne (Singercars 2022).	13
Kuva 4. Teleskooppivaimentimen rakennekuva (Learn Mechanical Engineering 2022).	14
Kuva 5. Kaksiputkivaimentimen rakennekuva (KYB Americas Corporation 2022).	15
Kuva 6. Yksiputkivaimentimen rakennekuva (KYB Americas Corporation 2022).	17
Kuva 7. Levyventtiili (Formula1-dictionary 2022).	18
Kuva 8. Kartiomainen kierrejousi levyventtiilitoteutuksessa (Tech Briefs 2016).	19
Kuva 9. Neulaventtiilin rakenne (Model A Garage 2021).	19
Kuva 10. Liukumäntäventtiili (Multimatic 2022).	20
Kuva 11. Shimmipakkaventtiilin toiminta (Extremesox 2022).	21
Kuva 12. Yksiputkivaimennin bypass-teknologialla (Reimpell 1996, 382).	22
Kuva 13. Korkeussäätöinen vaimennin (JMTuonti 2020).	28
Kuva 14. Nestevaimennin lisäsäiliöllä (Offroadextreme 2015).	29

# 1 Johdanto

Auton alustarakenteessa olevilla iskunvaimentimilla, eli oikeammalta nimeltään heilahteluvaimentimilla, on merkittävä tehtävä sekä ajomukavuuden että ajoturvallisuuden takaamisessa. Ajoturvallisuuteen vaikuttaa pyörien pidon määrä tienpintaa vasten. Renkaan ja maan välinen kitkavoima on verrannollinen pyörään kohdistuvaan pystysuuntaiseen voimaan. Mikäli pystysuuntainen voima on vaihtelevaa, on myös renkaasta saatava vaakasuuntainen voima, eli kitkavoima, vaihtelevaa.

Auton ajo-ominaisuudet määräytyvät useista eri tekijöistä, joista merkittävimpiä ovat auton massa, massan jakautumisen suhde auto ulkomittoihin ja pyöräntuennan geometrinen toiminta ja jousitusjärjestelmässä käytetyt ratkaisut. Kilpa-auton suorituskyvyn kannalta yksi tärkeistä osa-alueista on jousituksen suunnittelu. Kilpa-autoissa tämä on korostunutta, koska autolta odotetaan ajettavuuden ja suorituskyvyn osalta parasta mahdollista. Tämän vuoksi kilpa-auton jousitusjärjestelmässä kiinnostavaa on niissä käytettyjen heilahteluvaimentimien toiminta.

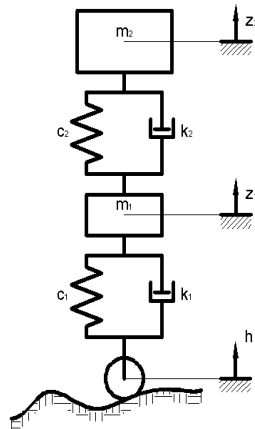
Tässä opinnäytetyössä perehdytään heilahteluvaimentimien toimintaperiaatteisiin ja siihen, mitä erilaisia vaimennintekniikoita käytetään kilpa-autoilussa. Työn keskeisimpänä tavoitteena on luoda helposti luettava perehdytyspaketti henkilölle, joka tutustuu vaimennintekniikkaan ensimmäistä kertaa. Tämän opinnäytetyön kirjoittamista varten tietoa on haettu pääsääntöisesti erilaisista alan kirjallisuuslähteistä. Opinnäytetyöhön sisältyy myös asiantuntijahaastattelu. Haastattelu toteutetaan Lebigem Oy:n toimitusjohtajan Marko Rämäsen kanssa ja häneltä kysytään tarkemmin, millaisia eri toteutustapoja kilpatarkoituksessa käytetään.

## 2 Jousi-massa-systeemi, heilahtelu ja sen vaimentaminen

Ajoneuvon jousituksen vaatimukset riippuvat auton ajonopeudesta ja siitä, kuinka tasainen tienpinta on. Hitaassa ajossa rengas riittää toimimaan ajoneuvon jousena, mutta ajonopeuden kasvaessa pienetkin tienpinnalla olevat epätasaisuudet tuntuvat matkustamossa. Tällöin autoon tarvitaan jousitusjärjestelmä, jolla pystytään heikentämään koriin kohdistuvat iskut. Jouset ja auton eri massat muodostavat yhdessä heilahtelukykyisiä systeemejä. Suunnitteluvaiheessa heilahteluominaisuudet ovat auton ajomukavuuden sekä matkustajien turvallisuuden vuoksi otettava huolellisesti huomioon. (Laine 1981, 95.)

### 2.1 Jousituksen mekanismi

Auton joustoheilahteluissa jokaisen neljän pyörän kohdalle voidaan muodostaa kuvassa 1 esitetty 2-massasysteemi.



Kuva 1. 2-massasysteemi (Vesterinen 2010).

2-massasysteemin avulla jousitusjärjestelmän suunnittelija saa kuvan auton komponenttien pystysuuntaisista liikkeistä ja samalla näkee, miten ne vaikuttavat auton ajettavuuteen ja käsittelyyn. (Vesterinen 2010, 12.)

Auton massa-jousi-systeemin voi katsoa muodostuvan kahdesta jousesta ja kahdesta vaimentimesta. Ylempi massa  $m_1$  edustaa jousitettuja auton osia, jotka ovat kori ja siihen kaikki kiinnitetyt osat. Alempi massa  $m_2$  edustaa jousittamatonta osaa, johon kuuluvat pyörä sekä pyöränripustuksen osat. Moottorin ja voimalinjan kiinnitykset runkoon ovat elastisia, tosin kilpa-autoissa kiinnitykset ovat lähes täysin tai täysin jäykistettyjä.

2-massasysteemissä ei välttämättä tarvitse huomioida ajoneuvon matkustajia eikä istuimia, jotka itsessään muodostavat oman jousi-massa-vaimennin systeeminsä. Kilpa-autotarkastelussa kuljettajien massat voi laskea lisänä auton jousitettuun massaan.

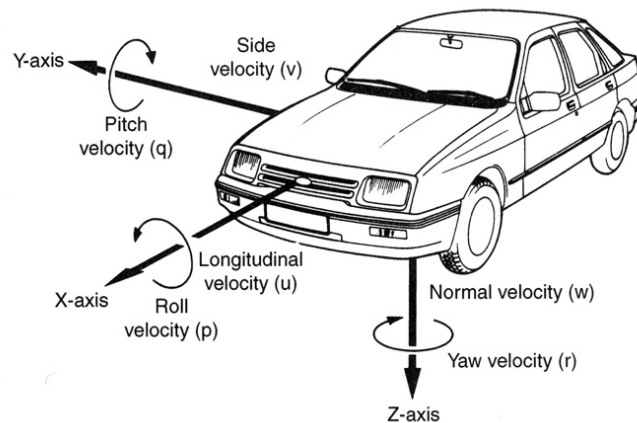
Jousituksen (ja heilahtelunvaimennuksen) suunnittelussa on ristiriitaisia vaatimuksia. Matkustusmukavuuden takaamiseksi jousituksessa tulisi keskittyä saamaan jousitettu massa eli korin liikkeet miellyttäväksi. Kun näin tehdään, jousittamattoman massan liikkeet väistämättä jäävät silloin toissijaiseksi, jonka seurauksena pyöränkuormitus on vaihtelevaa. Tämä ei ole ajettavuuden tai turvallisuuden kannalta hyväksi. Jos taas jousituksen suunnittelu tehdään ajettavuus etusijalla, silloin jousittamattoman massan liikkeet on minimoitava ja samalla ajomukavuuden asettaminen etusijalle on unohdettava. Matkustamisesta tulee epämiellyttävää, mutta liikkumisesta tulee turvallista ja auton hallinta säilyy.

## 2.2 Määrittelyitä

Auton ympärille voi määrittää koordinaatiston, jossa on kolme pääakselia X, Y ja Z. Näiden akseleiden pituussuuntaan sekä akseleiden ympäri voi syntyä erilaisia edestakaisia heilahdusliikkeitä auton liikuessa epätasaisella tiellä. Näitä heilahdusliikkeitä pyritään kaikin keinoin muuttamaan kohtuullisemmaksi.

Standardi määrittää sen, miten koordinaatisto auton ajosuunnan suhteen määritetään. X-akseli on auton pituussuuntainen koordinaattiakseli, Y-akseli on kulkusuuntaan nähden poikittainen ja Z-akseli on auton korkeussuunnassa (Kuva 2).





Kuva 2. Auton pääakselit (The Cartech 2022).

Ensimmäisen pyörän ylittäessä epätasaisen tienpinnan ennen muita pyöriä, jousituksen ja akseliston kautta koriin kohdistuu voimia, jotka synnyttävät joustoheilahtelun. Joustoheilahtelut ovat tässä tapauksessa edellisen koordinaatistomäärittelyn mukaisesti Z-akselin suuntaisia. Tämän lisäksi autossa voi esiintyä myös *nyökkäily*- sekä *kallisteluilmiötä*. Nyökkäilyä tapahtuu auton poikittaisakselin ympäri (Y-akseli) ja kallistelua pituusakselin ympäri (X-akseli). Näiden kolmen eri heilahtelumuodon vuoksi jousitusjärjestelmä tulisi suunnitella niin pehmeäksi kuin mahdollista. (Laine 1981, 96.)

Toistuvasti ilmenevät nyökkäily- ja kallisteluilmiöt johtuvat yleensä epätasaisesta tiestä ja ne on erotettava *yksisuuntaisista* nyökkäys- ja kallistumisilmiöistä. Yksisuuntaiset nyökkäys- ja kallistumisilmiöt johtuvat siitä, että renkaan kehällä esiintyy pitovoimia. Jousitus tulisi suunnitella mahdollisimman jäykäksi, jotta nyökkäämis- ja kallistumisilmiöt voitaisiin estää tapahtumasta. Joustoheilahtelujen sekä nyökkäys- ja kallisteluilmiön lieventämiseksi puolestaan jousitus tulisi suunnitella mahdollisimman pehmeäksi ja tämän ristiriitaisuuden vuoksi autoissa käytetään useimmiten kallistuksenvakaajia. Kallistuksenvakaajat alkavat toimia jousien kanssa vasta siinä vaiheessa, kun kallistusmomentti pyrkii kiertämään auton koria pituusakselinsa ympäri. (Laine 1981, 97.)

### 2.3 Jousituksen ajoturvallisuusvaatimukset

Auton ajoturvallisuutta voidaan pitää hyvänä silloin, kun autoa pystytään hallitsemaan ja kuljettaja voi ohjata autoa haluamaansa rataa pitkin. Auton ajoturvallisuuden määrittää myös toivotunlainen ajon nopeutus tai hidastus. Renkaan sekä tienpinnan välillä olevat kitkavoimat ovat pääsääntöisesti hallitsevia voimia, mutta ne voivat ilmetä myös häiriövoimana. (Laine 1981, 100.)

Suoralla tiellä kalteva kohta saattaa synnyttää ajettaessa autoon sivuvoiman, joka pyrkii kaikin tavoin kääntämään autoa pois ajoradaltaan. Tällöin puhutaan häiriövoimasta. Sopivalla tavalla kaltevoitu tie kaarteessa voi myös yhtä lailla aiheuttaa tietynlaisen sivuvoiman, joka pyrkii kontrolloimaan autoa ajettavan kaarteeseen mukaisesti jopa niin, että tietyn nopeuden saavuttaessa ohjausliikkeille ei ole enää tarvetta. Kaltevan tien synnyttämää sivuvoimaa voidaan tällöin pitää hallintavoimana, koska se antaa ajoneuvolle suunnan, joka kulkee kaarteeseen mukaisesti. (Laine 1981, 100.)

Hallintavoimien käyttö on hyvin pitkälti riippuvaista auton kuljettajasta, sillä väärinkäytettynä hallintavoimatkin voivat johtaa pahimmillaan jopa vakavaan onnettomuuteen. Tahattomatkin ohjausvirheet voivat aiheuttaa renkaiden sivuttaisvoimien kautta isoja muutoksia ajorataan, minkä seurauksena saatetaan päätyä pois ajoradalta. Kuljettaja voi hallintavoimia käyttäessäänkin valita tietyn ajoradan ja mikäli ajorata poikkeaa huomattavan paljon tien ja liikenteen määräämästä ajoradasta, ei syy ole tällöin auton vaan kuljettajan. Tyypillisin häiriövoima, joka saattaa esiintyä ajon aikana, on sivutuulen autoon kohdistama voima. (Laine 1981, 100.)

Ajoturvallisuusehto voidaan esittää alla olevan kaavan mukaisesti:

$$F_h \leq \mu N$$

Kaava 1. Ajoturvallisuusehdon perusmuoto (Laine 1981, 100).

Kun otetaan huomioon pyöränkuormitus sekä ja ajoradan epätasaisuus, saadaan seuraavanlainen kaava:

$$F_h \leq \mu (N_o \pm \Delta N)$$

Kaava 2. Ajoturvallisuusehto pyöränkuormituksilla (Laine 1981, 101).

Lopuksi jaetaan yhtälön molemmat puolet pyöränkuormituksella:

$$\frac{F_h}{N_o} \leq \mu \left( 1 \pm \frac{\Delta N}{N_o} \right) = \mu n \quad n = 1 \pm \frac{\Delta N}{N_o}$$

Kaava 3. Ajoturvallisuusehdon yhtälön molemmat puolet jaetaan pyöränkuormituksilla (Laine 1981, 101).

$$F_h \leq \mu n N_o$$

Kaava 4. Ajoturvallisuusehdon lopullinen muoto (Laine 1981, 101).

## 2.4 Ominaistaajuudet

Jousituksen jäykkyyttä voidaan kuvata massa-jousi-systeemin niin sanotulla ominaistaajuudella. Kappaleessa 2.1 esitetyllä 2-massasysteemillä on kaksi ominaistaajuutta. Nämä ominaistaajuudet resonoivat herätinheilahdusten kanssa. Alempi ominaistaajuus on jousitetun osan ominaistaajuus ja ylempi ominaistaajuus jousittamattoman massan ominaistaajuus. Alempi ominaistaajuus ja ylempi ominaistaajuus voidaan laskea seuraavasti:

$$f_{01} \approx \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{c_1 c_2}{c_2 m_1 + c_1 (m_1 + m_2)}}$$

Kaava 5. Alempi ominaistaajuus (Laine 1981, 103).

$$f_{02} \approx \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{c_1 + c_2}{m_2}}$$

Kaava 6. Ylempi ominaistaajuus (Laine 1981, 103).

Jousitus tulisi yrittää mitoittaa mahdollisimman pehmeäksi siten, että jousitetun auton osan ominaistaajuus olisi välillä 1...1,5 Hz. Tällä mitoituksella matkustusmukavuus on siedettävää tasoa, ja samalla ajoturvallisuuden perusvaatimukset saadaan täytettyä. (Laine 1981, 98).

## 2.5 Auton heilahteludynamiikka

Ajonopeuden kasvaessa on tärkeää ymmärtää mikä on syynä auton korin ja pyörän heilahtelemiselle. Tasaisella tiellä ja alhaisella nopeudella kulkeva auto saattaa yhtäkkiä käyttäytyä omituisesti, mikä tarkoittaa sitä, että heilahtelutekninen suunnittelu on toteutettu heikosti. Tien epätasaisuuksia tulee aina olemaan, koska autot ja vaihtelevat säät kuluttavat pikkuhiljaa tienpintaa. Vaikka tienpinta olisikin kuinka tasainen, ajonopeuden kasvaessa kaikkein tasainenkin tie muuttuu epätasaiseksi, mikä alkaa tuntumaan nopeasti auton käytöksessä. (Laine 1981, 176.)

Heilahteluliikkeet voidaan jakaa kahteen ryhmään: vapaat ominaisheilahtelut ja pakkoheilahtelut. Vapaat ominaisheilahtelut tapahtuvat ominaistaajuudella ja pakkoheilahtelut tapahtuvat herätintaajuudella.

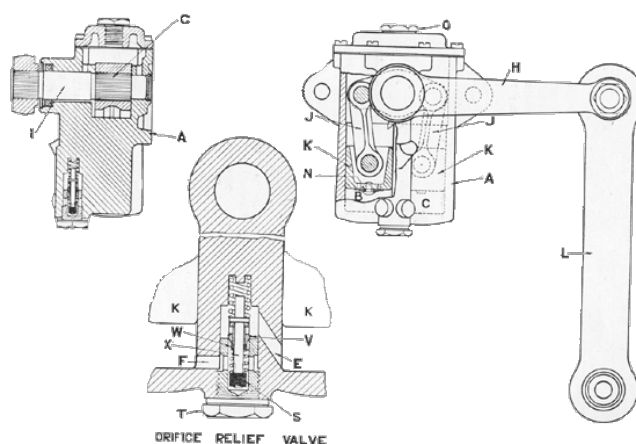
Tämän lisäksi heilahtelut voivat olla joko vaimentamattomia tai vaimennettuja. Kitkavoiman tai muun vaimennusvoiman suuruudesta riippuen, systeemiä voidaan tarkastella vaimentamattomana tai vaimennettuna. (Laine 1981, 176.)

### 3 Heilahtelun vaimentaminen

Jousi-massa-systeemillä on taipumus jatkaa värähtelyä ennen kuin liike pysähtyy. Heilahtelunvaimentimen tehtävänä on hillitä syntyviä heilahdusliikkeitä niin, että korin kiihtyvyydet pysyvät kohtuullisina ja pyöränkuormien vaihtelut pysyvät siedettävissä rajoissa. Pysty akselin suuntaisten liikkeiden kohdistuessa autoon heilahtelunvaimentimet poistavat syntyvän liike-energian muuntamalla liike-energian lämmöksi.

Nykyisin käytössä olevien auton heilahtelunvaimentimien toiminta perustuu nesteen viskoosikitkaan. Ensimmäiset vaimentimet otettiin käyttöön jo 20- ja 30-luvulla, jolloin kaikkien vaimentimien toiminta vielä perustui mekaaniseen kitkaan. (Vesterinen 2010, 54.) Heilahtelunvaimentimista kuulee usein käytettävän sanaa ”iskunvaimennin”. Nimitys on kuitenkin harhaanjohtava, sillä vaimennin ei niinkään vaimenna pyörään kohdistuvaa iskua, vaan se vaimentaa auton korin ja muiden osien heilahtelutaipumusta.

Ensimmäiset käytössä olleet nestevaimentimet olivat niin sanottuja vipuvaimentimia. Nimensä mukaisesti niissä oli eräänlainen vipu, joka liikutti levyä tai mäntää pienessä kammiossa, joka oli täytetty nesteellä. Nesteen virratessa männän aukkojen läpi, syntyy viskoosipaine, joka vastustaa männän liikettä. Viskoosipaine ja sen voima ovat täysin riippuvaisia männän nopeudesta. Kuvassa 3 on esitetty vipuvaimentimen rakenne.



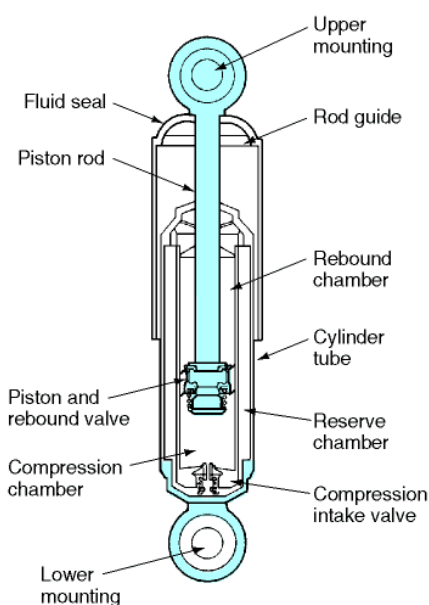
Kuva 3. Vipuvaimentimen rakenne (Singercars 2022).

Nykyisin vallalla olevan vaimentimen rakenne on teleskooppityyppinen nestevaimennin, jonka toiminta perustuu edellä mainitun vipuvaimentimen tapaan viskoosin nesteen kitkaan.

### 3.1 Teleskooppivaimentimen rakenne

Teleskooppivaimentimet ovat lähes kokonaan syrjäyttäneet vipuvaimentimet yksinkertaisen rakenteensa vuoksi. Teleskooppivaimentimen vaimennusvoima ja työkyky niiden massaan nähden on myös suurempi kuin vipuvaimentimella. Hyvin usein teleskooppivaimentimet voidaan yhdistää muun jousitusrakenteen kuten esimerkiksi kierrejousen sisälle tai vaimennin voi olla osa pyöräntuenta (McPherson).

Teleskooppivaimentimia on kahta tyyppiä: yksiputkivaimennin eli *Monotube* ja kaksiputkivaimennin eli *Twintube*. Vaimennin asennetaan autoon tyypillisesti niin, että ylempi silmukka kiinnitetään auton koriin ja alempi silmukka pyöräntuentaan eli auton jousittamattomaan osaan.



Kuva 4. Teleskooppivaimentimen rakennekuva (Learn Mechanical Engineering 2022).

Teleskooppivaimentimissa on liikkuva mäntä putken sisällä. Kun mäntä liikkuu joustoliikkeen aikana, mäntään rakennettujen nestevirtauskanavien läpi puristetaan kammioissa olevaa nestettä, vaimenninöljyä. Virtaus vastustaa männän liikettä. Virtauksessa syntyy virtaushäviöitä, joka muuttuu lämmöksi, joka puolestaan nostaa öljyn lämpötilaa. Syntynyt lämpöenergia siirtyy vaimentimen ulkopinnan kautta ympäristöön. (Turun ammattikorkeakoulu 2019, 11.)

### 3.1.1 Kaksiputkivaimennin (*Twintube*)

Kaksiputkivaimentimessa on sisäkkäin kaksi putkea, joista sisempi on täynnä nestettä. Kahden putken väliin jää oma nestekammionsa, niin sanottu ulkoputki, jonka tilavuudesta 2/3 on täytetty nesteellä ja loppuosan (1/3) täyttää kaasu. Kaasu pitää öljykammioissa olevan öljyn paineistettuna (Kuva 5).



Kuva 5. Kaksiputkivaimentimen rakennekuva (KYB Americas Corporation 2022).

Vaimentimen sisäänjoustovaiheessa männänvarren tilavuuden verran nestettä on päästävä virtaamaan sisäputkesta ulkoputkeen. Ulosjoustovaiheessa sama nestemäärä virtaa puolestaan toiseen suuntaan eli ulkoputkesta sisäputkeen. Sisäänjoustoliikkeessä vaimennusvoima syntyy vaimentimen pohjaventtiileissä ja ulosjoustoliikkeessä puolestaan työmännän venttiileissä. (Turun ammattikorkeakoulu 2019, 20.)

Ulosjoustossa virtausliikettä ei voida jarruttaa pohjaventtiileillä, koska niin sanotun kavitoinnin vaara on olemassa tai se on jopa todennäköistä.

Kavitaatiolla tarkoitetaan ilmiötä, jossa vaimentimessa oleva neste alkaa paineen laskiessa "kiehumaan". Tämän myötä syntyy ilmakuplia, mikä näkyy vaimennuskyvyn heikkenemisenä. (Turun ammattikorkeakoulu 2019, 20.)

Kaksiputkivaimentimet ovat yleensä ilmattavia, koska muutoin työkammioon voi muodostua vaimentimen toimintaa haittaavia ilmakuplia. Vaimentimeen voi kertyä ilmaa, jos vaimennin esimerkiksi varastoidaan tai kuljetetaan vaakatasossa ennen sen asennusta tai mikäli vaimennin jäähtyy ajon lopussa, jonka seurauksena neste työkammiossa supistuu. Ilman tarvittavia toimenpiteitä, erityisesti kylmenevällä säällä, voi tällöin esiintyä epämiellyttävää koputusilmiötä eli niin sanottua "aamupahoinvointia". (Reimpell 2001, 353.)

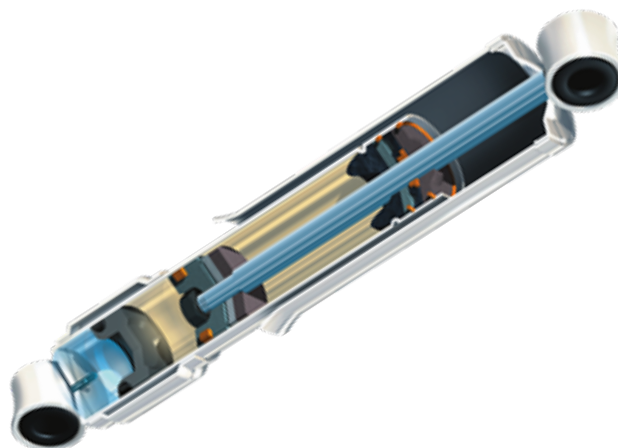
Kaksiputkivaimenninta ei juurikaan käytetä kilpa-autoissa, vaikka sen kestoikä onkin huomattavasti pidempi verrattuna seuraavassa esiteltyyn yksiputkivaimentimeen.

### 3.1.2 Yksiputkivaimennin (*Monotube*)

Yksiputkivaimentimissa männänvarren aiheuttama nestetilan tilavuusmuutos tasataan nestetilan välittömänä jatkeena olevalla erillisellä kaasutäytteisellä kammiolla. Kaasu erotetaan nesteestä tavallisesti kumikalvolla, vaikka kaasu voi myös yhtä lailla esiintyä nesteen joukossa emulsiona. Virtausta kuristetaan venttiileillä, jotka sijaitsevat vaimentimen männässä. (Turun ammattikorkeakoulu 2019, 21.)

Kaasun paine vaimentimessa on noin 20...30 bar ja se tulisi valita niin, että sen aiheuttama voima mäntään olisi suurempi kuin vaimentimen suurin synnyttämä vaimennusvoima. Muutoin äkillinen paineenlasku aiheuttaa nesteen kavitaatiota. Jo kaasun paine on korkea, se kohdistaa männänvarren kautta vaimentimen runkoon ulosjouston suuntaan voiman, joka suunnittelijan on otettava huomioon jousituksen toimintaa suunniteltaessa. (Turun ammattikorkeakoulu 2019, 21.)





Kuva 6. Yksiputkivaimentimen rakennekuva (KYB Americas Corporation 2022).

Koska tasauskammio sijaitsee yksiputkivaimentimessa työkammion alapuolella, yksiputkivaimentimet ovat rakenteeltaan usein pidempiä kuin kaksiputkivaimentimet. Liiallisen pituuden aiheuttaman haittojen vähentämiseksi yksiputkivaimentimien männät ovat rakenteeltaan onttoja ja mäntien rungot on tehty matalammaksi. Venttiilien rakenne on myös matalampi. (Reimpell 2001, 360–361.)

Yksiputkivaimentimella on kuitenkin monia hyviä ominaisuuksia verrattuna kaksiputkivaimentimiin. Sylinteriputken ansiosta jäähdytys on huomattavasti tehokkaampaa. Männän halkaisija suurempi, vaikka runkoputken halkaisija on sama kuin kaksiputkivaimentimessa. Yksi parhaimmista ominaisuuksista onkin juuri se, että paineistettu öljy ei kavitoi, mikä takaa hyvät vaimennusominaisuudet. (Reimpell 2001, 363.)

Haittojakin toisaalta on. Valmistus on äärimmäisen tarkkaa, mikä johtaa hyvin usein korkeisiin kustannuksiin. Korkeampien valmistuskustannusten vuoksi yksiputkivaimenninta käytetään harvemmin tieliikennekäyttöön tarkoitetuissa henkilöautoissa, mutta se on yleinen kilpa-autoissa. Sen kestoikää tieliikennekäytössä rajoittaa männänvarren tiivistys.

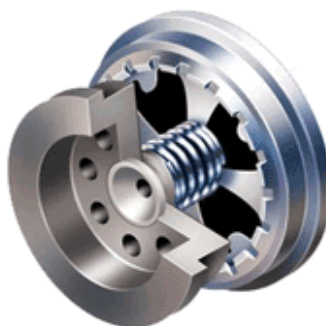
## 3.2 Venttiilityyppejä

Vaimennin voidaan suunnitella venttiilöinnin osalta reagoimaan moniin eri tekijöihin. Selkeimmät tekijät ovat männän asema, männän nopeus ja/tai kiihtyvyys. Vaimennus tapahtuu lähtökohtaisesti männän liikenopeuden funktiona. (Dixon 2007, 219.)

Nestevaimentimilla on erilaisia venttiilitoteutuksia. Yleisimmät niistä ovat: levyventtiili, rajaventtiili, liukumäntäventtiili sekä shimmipakkaventtiili.

### 3.2.1 Levyventtiili

Levyventtiili muodostuu yksinkertaisesta levystä, jonka taakse on asennettu kierrejousi. Toiminnan aikana jousi pitää venttiilin suljettuna siihen asti, kunnes haluttu paine-ero männän eri puolilla on saavutettu. Avautuminen riippuu siitä, kuinka suuri paine-ero männän eri puolilla kulloinkin on. Mikäli kierrejousen jäykkyys on pieni, suuret virtausnopeudet ovat mahdollisia pienellä paine-eron lisäyksellä ja vastaavasti jäykkä jousi pienellä esijännityksellä kasvattaa paine-eron vaatimusta. (Dixon 2007, 220.)



Kuva 7. Levyventtiili (Formula1-dictionary 2022).

Levyventtiileistä on olemassa monia eri variaatioita. Kierrejousena voidaan käyttää myös esimerkiksi kartiomaista kierrejousta (Kuva 8). Tässä venttiilityypissä voi olla useita virtausreikiä, joiden asennus tapahtuu

kehämäisesti. Tämä kierrejousitoteutus on kätevä varsinkin silloin, kun kuormitus on pientä.



Kuva 8. Kartiomainen kierrejousi levyventtiilitoteutuksessa (Tech Briefs 2016).

### 3.2.2 Rajaventtiili

Levytyyppinen venttiili tarvitsee pienen ympäröimän saavuttaakseen progressiivisen paineen nousun. Progressiivisuus on toteutettavissa myös niin sanottuna rajaventtiilinä. Rajaventtiilissä nesteen virtausta voidaan rajoittaa tangolla, joka on asennettu virtausreikään. Reikä voidaan tehdä niin pieneksi kuin koneistettavissa on. (Dixon 2007, 221.)

Tietyllä virtausalueella voidaan myös käyttää tiettyä kartion muotoista tankoa, jolloin venttiiliä voi kutsua nimellä neulaventtiili. Neulaventtiili on kaikkein käytännöllisin tapa valmistaa rajaventtiili, mutta siitä voidaan toteuttaa monimutkaisempiakin muotoja. (Dixon 2007, 221.)

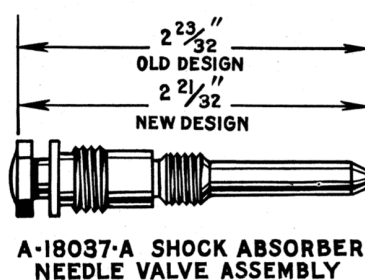


Fig. 1169

Kuva 9. Neulaventtiilin rakenne (Model A Garage 2021).

### 3.2.3 Liukumäntäventtiili

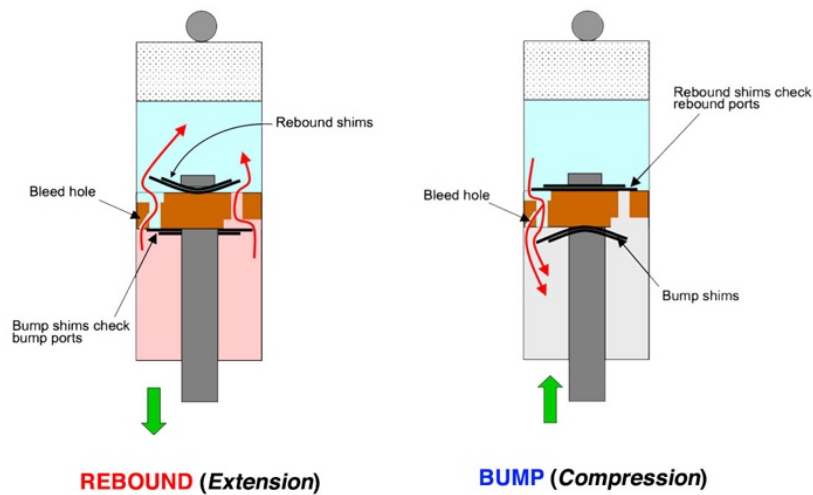
Liukumäntäventtiili avautuu yleensä kierrejouston vasten. Liukumäntäventtiili on ristiin porattu neljällä pyöreällä ulostuloreiällä ja se on kaikkein yleisin venttiilitoteutus. Liukumännän ulostulorei'ille voidaan antaa sopiva profiili, jotta saadaan aikaan virtausalue, joka riippuu liukumännän asennosta. Tämä tekee liukumännästä erittäin mukautuvan. Lineaarinen ominaisuus voidaan aikaansaada virtausraolla, jonka leveys pienenee virtauspisteessä venttiilin avautuessa siten, että kokonaisvirtaus kasvaa aukon pituuden neliöjuurena. Kaikki nämä ominaisuudet ovat muutettavissa, mutta poistumisreiän profiilin tarkkuus sekä valmistuskustannukset rajoittavat suunnittelun mahdollisuuksia. (Dixon 2007, 222.)



Kuva 10. Liukumäntäventtiili (Multimatic 2022).

### 3.2.4 Shimmipakkaventtiili

Neljäs tyypillinen venttiilitoteutus vaimentimissa on shimmipakkaventtiili. Käytännössä tämä malli perustuu levyventtiiliin, jossa jousena toimii venttiililevyn takana olevat useat levymäiset halkaisijamitoiltaan toisistaan poikkeavat jousimaiset levyt. Shimmipakka saattaa sisältää esimerkiksi kuusi halkaisijaltaan eri kokoista levyä. Tämä venttiilityyppi on erityisen yleinen kilpakäytössä, osittain myös siksi, että sitä on helppo säätää.

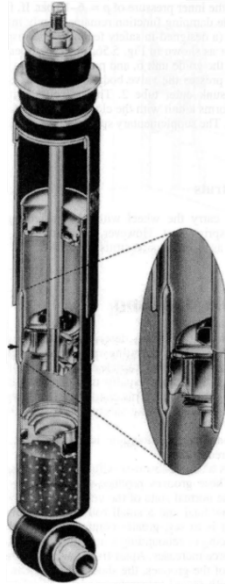


Kuva 11. Shimmipakkaventtiilin toiminta (Extremesox 2022).

Shimmilevyjen paksuus vaihtelee noin 0,2...0,5 mm välillä ja männän pinta on kartiomainen. Tämä antaa tietynlaisen säädettävän jäykkyyden ja suuremman lujuuden, kun taivutusmomentti on suurta. Jos shimmilevyjen välinen kitka on suurta, se estää venttiiliä värähtelemästä. (Dixon 2007, 223.)

### 3.3 Muita teknisiä oivalluksia

Ajoneuvovalmistajat ovat määritelleet edellä mainitut kaksiputkiset ja yksiputkiset vaimennintyyppit tietyille ajoneuvotyypeille sekä kuormitustilanteille. Tyypillisellä kuormitustilanteella tarkoitetaan henkilöautoissa kahden ihmisen sekä 75 kg:n matkatavaran verran painoa. Erilaiset kuormitus- sekä ajotilanteet kuitenkin vaihtelevat ja vaativat kokonaan erilaiset niihin kohdistetut vaimennusominaisuudet. Tämän vuoksi on suunniteltu vaimentimia, joiden toimintaperiaate poikkeaa huomattavasti perinteisestä teleskooppivaimentimesta. Kuvassa 12 on esitetty yksiputkirakenteinen vaimennin, joka toimii niin sanotulla bypass-tekniikalla.



Kuva 12. Yksiputkivaimennin bypass-tekniologialla (Reimpell 1996, 382).

Tässä kyseissä vaimentimessa sylinteriputkeen on painettu pitkittäisiä uria. Normaalisessa ajotilanteessa urat synnyttävät vaimentimen männän ympärille ohivirtauksen, jolloin ajo-olosuhde vastaa tilannetta, jossa kuormitus on pientä ja tarvittavat vaimennusvoimat ovat pieniä. Tämä huomataan usein ajomukavuuden paranemisessa. Suurilla joustoliikkeillä ohivirtausurat eivät ole käytössä, mikä näkyy vaimennusvoimien kasvuna. (Reimpell 2001, 381.)

### 3.3.1 Adaptiiviset vaimentimet

Elektrorheologisia (ER) vaimentimia on kehitetty useiden vuosien ajan. Vuodesta 2000 lähtien niin sanotut magnetorheologiset (MR) vaimentimet ovat alkaneet näkymään enemmän myös kaupallisessa käytössä, yleensä autovalmistajan automalliston yläpään autoissa. (Dixon 2007, 303.)

Reologia on tietyn tyyppinen tieteen osa-alue, jossa tutkitaan kiinteiden aineiden muodonmuutoksia sekä tutkitaan, että miten nesteet virtaavat jännityksen alaisena. ER- ja MR-nesteet omaavat sähkö- tai magneettikentästä riippuvia ominaisuuksia, joilla saadaan nesteen viskositeettia muutettua.

Sähkö- tai magneettikentän voimakkuudella voidaan muuttaa vaimentimen nesteen viskositeettia, jotta vaimennusvoimaa saadaan säädettyä ajon aikana. ER- sekä MR-vaimentimien rakenne eroaa huomattavasti perinteisestä rakenteesta, sillä siinä ei ole säädettäviä venttiilejä, jonka vuoksi vaimennusvoima onkin säädettävissä jatkuvasti, kunhan vain sähköä on autossa käytettävissä. (Dixon 2007, 303.)

## 4 Vaimennintekniikka kilpa-autossa

Modernien kilpa-autojen jousitustekniikka on yksi keskeisimmistä kilpatekniikan osa-alueista. Toki esimerkiksi moottori- ja voimansiirtotekniikka tai korin aerodynamiikka ovat myös tärkeitä, mutta jos autossa ei ole toimivaa jousitusta, ei näidenkään osa-alueiden kehittämisestä ole toivottua hyötyä. Ratakilpa-autoilussa, kuten vaikka Formula 1 -sarjassa, on pitkään keskitytty enimmäkseen aerodynamiikan suunnitteluun. Tämä on johtanut siihen, että ratkaisuja tehdään muiden teknisten osa-alueiden kuten vaikkapa juuri jousituksen kustannuksella. Aerodynamiikkaan käytetään hyvin usein eniten aikaa ja jousitus saattaa jäädä jopa toissijaiseen asemaan. Modernin ralliauton jousitus toimii parhaimmillaan erittäin hienosti, mutta uudet auton aerodynamiikkaan liittyvät suunnitteluvapaudet pakottavat muuttamaan alun perin pehmeäksi suunniteltua jousitusta huomattavan paljon jäykempään suuntaan. Suunnittelussa on otettava enemmän huomioon aerodynamiikan avulla aikaansaatua autoa alaspäin painavaa voimaa (*downforce*).

Tämän päivän kilpa-autoissa kärkipään autojen vauhti määräytyy sillä, kuinka hyväksi auto on saatu säädettyä testien aikana. Mikäli säädöt ovat pielessä, mahdollisuus toivotunlaiselle kilpailumenestykselle jää pieneksi. Säättämisen merkitys on kasvanut vuosien varrella, koska erilaisia säätötoimia voidaan tehdä enemmän ja tämän myötä saavuttaa parempia tuloksia. (Marko Rämänen, haastattelu 6.9.2022)

Kilpa-autoilussa on eri osa-alueita, jolla pyritään saamaan auton suorituskykyä paremmaksi. Vaimentimet ovat hankalasti hallittavia kokonaisuuksia, koska ei ole niin yksinkertaista ymmärtää mitä säätötoimenpiteitä tarvitaan, jotta suorituskykyä saataisiin lisää. Monessa kilpa-autoluokassa tekniset säännöt rajoittavat auton kehittämistä esimerkiksi moottorirakenteensa osalta, ja moottorista ei ole saatavissa enää juurikaan enempää suorituskykyä irti. Tällöin auton ajettavuusominaisuuksien ja jousituksen suunnittelun merkitys tulee isoon rooliin, koska se voi olla teknisten sääntöjen sallima osa-alue, jolla pystytään eroa muihin kilpailijoihin kasvattamaan.



#### 4.1 Tieliikennekäyttöön tarkoitetut vaimentimet ja kilpavaimentimet

Tieliikennekäyttöisten vaimentimen ja kilpavaimentimien merkittävimmän eron voi huomata suunnittelussa tehdyissä kompromisseissa. Kilpavaimentimien suunnittelussa ei juuri huomioida mukavuustekijöitä tai tavoitella vaimentimen pitkää käyttöikää. Tieliikennekäyttöisen vaimentimen pitäisi kestää noin 150 000 km verran ajoa, mutta tätä ei tarvitse miettiä kilpa-autossa. Kilpakäytössä keskitytään siihen, että vaimennin kestää kilpa-ajon aiheuttaman rasituksen, ja auto on suorituskykyinen.

Vaimennin on rakennettava sellaiseksi, että se voidaan purkaa säätö- ja huoltotoimenpiteitä varten. Kilpavaimentimien huoltoväli on luokkaa 800 km (Marko Rämänen, haastattelu 6.9.2022). Tieliikennekäyttöön tarkoitetut vaimentimet ovat vain harvoin purettavissa huoltotyötä varten. Lisäksi käytetyt materiaalit ja valmistustarkkuudet ovat heikkoja. Kilpaa ajettaessa vaimentimien on oltava hyvin suunniteltuja ja rakenteeltaan kestäviä. Kilpa-ajossa männänliikkeet ovat nopeita ja toistuvia, voimat ovat suuria ja kavitaation riski on suuri.

Tieliikennekäyttöisiin vaimentimiin verrattuna kilpavaimentimien nesteenä käytetty öljy on erityyppinen. Oleellinen ero on niiden viskositeetti-indeksissä. Kun öljyn lämpötila nousee 40 °C, se ei enää ohene enempää. Viskositeetti-indeksin eroavaisuuden vuoksi kilpavaimentimissa käytetty öljy ei sovellu tieliikennekäyttöön tarkoitettuihin vaimentimiin. Tieliikennekäyttöisissä vaimentimissa öljy vähitellen haihtuu pois, jonka jälkeen vaimennin alkaa käymään kuivana. Ilmiön taustalla on se, että kilpavaimentimen männänvarren tiivisteiden liikkeessä tauotta autossa, tiiviste pyyhkii vain osan männänvarren tarttuneesta öljystä pois. Osa öljyn määrästä jää männänvarren huokosiin ja jos öljy haihtuu herkästi, vaimentimessa oleva öljy alkaa vähenemään merkittävästi ilman, että se varsinaisesti vuotaa. Kilpakäytössä ei niinkään murehdita öljyn haihtumista, kun taas tieliikennekäytössä pyritään siihen, että öljyä haihtuisi mahdollisimman vähän. (Marko Rämänen, haastattelu 6.9.2022)

Öljymäärä on tieliikennekäyttöisissä vaimentimissa huomattavasti pienempi verrattaessa kilpavaimentimiin. Suurin syy on se, että tieliikennekäyttöinen vaimennin harvemmin joutuu kovaan rasitukseen, mikä mahdollistaa toiminnan pienelläkin öljymäärällä. Etenkin ralli- ja offroad-käytössä pyritään öljyn määrä maksimoimaan. Rata-autossa tämä ei ole niin merkitsevää, koska liikkeet ovat pieniä ja lämpöenergian syntyminen on vähäisempää. (Marko Rämänen, haastattelu 6.9.2022.)

#### 4.2 Suunnittelu

Jousen jäykkyyttä valittaessa tärkein huomioonotettava asia on massa-jousi-systeemin ominaistajuus sekä pyöräntuennan liikesuhde. Likesuhde tarkoittaa pyörän liikematkan suhdetta vaimentimen/jousen liikematkaan. Vain harvoissa pyöräntuentegeometrioissa liikesuhde on 1:1, toisin sanoen useimmiten pyörän liikematka on eri suuruinen kuin vaimentimen/jousen liikematka. Tämä vaikuttaa suoraan jousen jäykkyyden laskemiseen ja jousen valintaan.

Kilpa-autoihin suunniteltaessa alustaa ja heilahtelunvaimentimia ensimmäiseksi lasketaan kulmapainojen perusteella heilahdustaajuus auton jokaiselle auton neljännekselle. Ralliautoissa aikaisemmin ominaisuustajuus oli 1,5 Hz. Aerodynamiikan korostuminen vaatii yleensä jousijäykkyyden kasvattamista, mutta siitä huolimatta moderneissa ralliautoissa heilahdustaajuus on vakiintunut jopa pienemmäksi ja saatetaan puhua 1,4 Hz taajuudesta. (Marko Rämänen, haastattelu 6.9.2022.)

Joissain tapauksissa auton malli pakottaa suunnittelijan valitsemaan laskennalliseen jousijäykkyyteen verrattuna jäykemmän jousen. Raidелеveyden suhteella auton massakeskipisteen korkeuteen on tähän myös iso merkitys. Jos auto on kooltaan pieni, painopiste korkeus maasta suhteessa auton raidелеveyteen on ylhäällä, mikä aiheuttaa voimakkaampaa kallistelua. Tilanne on kokonaan erilainen silloin, kun autolla suurempi on raideväli, vaikka kulmapainot olisivatkin samat.

Useissa kotimaisissa kilpa-autoluokissa pyöräntuennan geometriaan ei saa tehdä joko ollenkaan muutoksia tai niitä saa tehdä vain vähäisessä määrin. Usein pyöräntuennan geometrian heikkouksia joudutaan korjaamaan vaimentimiin rakennetuilla räätälöidyillä ratkaisuilla, jolloin voidaan päätyä monimutkaisiin teknisiin ratkaisuihin. Pyöräntuenta saattaa olla esimerkiksi sellainen, että vaimennuksen tulee olla epälineaarinen, toisin sanoen auton pyörän joustoliikkeen eri kohdissa joudutaan liikettä vaimentamaan eri tavalla. Räätälöidyt ja erikoiset venttiilöinnit ovat kuitenkin valmistuskustannuksiltaan kalliita. Teknisissä säännöissä asetetuilla rajoitteilla on tehtävänä alentaa auton rakentamis- ja ylläpitokustannuksia, mutta tässä mielessä lopullinen vaikutus saattaaakin olla päinvastainen. (Marko Rämänen, haastattelu 6.9.2022.)

Kaksivetoisessa kilpa-autossa vetävän akselin jousitus suunnitellaan vähän laskennallista ominaistaajuutta pehmeämmäksi, kun taas ei-vetävä akseli tehdään jonkun verran jäykemmäksi. Pehmeämmällä vetävällä akselilla parannetaan renkaan pitoa. Nelivetoautossa suunnittelu on tapauskohtaista koska molemmat akselit autossa ovat vetäviä. Tässä on siis tehtävä automallikohtaisia ratkaisuja.

#### 4.3 Säädettyvyys

Vielä 80-luvulla muun muassa rallikilpa-autoilussa vaimentimissa ei tavanomaisesti ollut minkäänlaisia ulkoisia säätöjä. 90-luvulta alkaen säädettyvät vaimentimet alkoivat yleistyä ja säätämisen merkitys lisääntyi.

Kenttäolosuhteissa ja kilpailuiden aikana on tärkeää, että vaimentimia pystytään säätämään tarpeiden mukaisesti. Korkeuden säätö on vakio-ominaisuus, joka kilpavaimentimissa olisi hyvä olla. Tällöin vaimentimen runkoputki on kierteistetty ja jousilautasta pystytään siirtämään kierteessä ylös- tai alaspäin, jolloin auton ajokorkeus muuttuu (Kuva 13). Auton ajokorkeuden säätäminen saattaa vaikuttaa jousen esijännitykseen, mutta yleisemmin sitä käytetään auton korkeuden säätämiseen. Ajokorkeuden säädöllä mahdollistetaan auton painopisteen laskeminen alaspäin, jolla saavutetaan sopivan maavara. Kaikkia

vaatimuksia ei aina saada täytettyä samanaikaisesti, mutta säädettävyys ainakin mahdollistaa alustarakenteen optimoinnin. Tällä on suuri merkitys auton toimintaan.



Kuva 13. Korkeussäätöinen vaimennin (JMTuonti 2020).

Vaimentimen vaimennusvoiman säädössä on eroja. Joissain tapauksissa vaimennin on säädettävissä vain purkamalla se osiin ja vaihtamalla esimerkiksi shimmipakan levyjä. Joissain vaimennintyypeissä taas on ulkoisia säätöjä, joita voi kenttäolosuhteissa säätää.

#### 4.4 Eri toteutustavat

Kilpa-autoissa käytetään paljon erilaisia vaimennintyypppejä ja rakenteita, joita ei niinkään käytetä tieliikennekäytössä tai ne ovat äärimmäisen harvassa.

Toimintaperiaatteessa on jo iso ero. Suurin osa sarjatuotantoautojen vaimentimista ovat kaksiputkivaimentimia ja vastaavasti kilpakäytössä suurin osa vaimentimista ovat yksiputkivaimentimia. Yksiputkivaimentimella saavutetaan parempaa suorituskykyä, mutta tieliikenneautoissa kyseinen rakennemalli luo enemmänkin haasteita, kun vaimentimen sisällä on suurempi kaasunpaine.

Kilpavaimentimia varustetaan toisinaan erillisellä lisäsäiliöllä (Kuva 14). Kuten todettua, vaimentimissa liike-energia muutetaan lämpöenergiaksi ja lisäsäiliön avulla jäähdytyspintaa sekä öljymäärää saadaan lisää. Säiliö sisältää osan vaimenninöljystä ja siinä on paineistettu, männällä erotettu erillinen kaasutila.

Vaimentimen männänvarren yhteydessä on säädettävä venttiili, joka säätää ulosjouston jäykkyyttä. Jossain lisäsäiliöllisissä vaimentimissa on erillinen säätö myös sisäänjouston jäykkyydelle. Vaikka vaimenninrakenne onkin yksiputkinen, lisäsäiliön venttiilistö saa vaimentimen toiminnan vastaamaan kaksiputkivaimenninta.



Kuva 14. Nestevaimennin lisäsäiliöllä (Offroadextreme 2015).

Moottoriturheilussa täytyy kuitenkin muistaa, että tekniset luokka- tai ryhmäsäännöt yleensä rajaavat vaimenninratkaisujen käyttöä. Lisäsäiliön toteutus on yleinen kilpakäytössä, vaikka sen kysyntä ja näkyvyys on alkanut näkymään enemmän myös suorituskykyisissä tieliikenneautoissa.

#### 4.5 Ratakilpa-auton vaimentimet

Radalla vaimentimilta ei tarvita niinkään paljon lujuutta, koska ajaminen tapahtuu pelkästään asfaltilla ja voimakkaimmat heilahdusliikkeet syntyvät esimerkiksi satunnaisessa kanttikivetyksen ylityksessä. Käytännössä ratakilpa-auton vaimentimet ovat pienempiä, sirompia sekä samalla myös kevyempiä. Niillä hallitaan pääsääntöisesti pelkästään auton kallistelu- sekä nyökkäilyilmiöitä, vaikka liikkeet olisivat kuinka pieniä. Pääsääntöisesti vaimenninta käytetään tähän tarkoitukseen.

Täytyy toki muistaa, että vaimennusvoimien täytyy olla sopivat, jotta ne hallitsevat jouta. Vaimennusvoimat ovat enemmän degressiivisiä eli ne pienenevät kuormituksen kasvaessa

#### 4.6 Rallikilpa-auton vaimentimet

Rallikilpa-autoissa vaimennusvoimat ovat enemmän lineaarisia eli ne pysyvät vakiona kuormituksen kasvaessakin ja iskut ovat erittäin rajuja. Sisäänjouston vaimennusvoiman täytyy kasvaa tasaisessa linjassa ylöspäin, eli toisin sanoen mitä rajumpi isku, sitä parempi liikenopeuden hallinta. Suunnittelukriteerit ovat täysin erilaiset verrattuna muihin kilpaluokkiin.

Rallikilpavaimentimissa voidaan tinkiä keveyden suhteen ja panostetaan kestävyteen enemmän.

## 5 Lopuksi

Auton jousitus voi päällisin puolin vaikuttaa yksinkertaiselta kokonaisuudelta, jos ei ole aiheeseen tarkemmin perehtynyt. Aihealueeseen tutustuttaessa voi kuitenkin huomata, että asian teoriaosuus on hyvin paljon laajempi ja vaikeatajuisempi kuin miltä se ensisilmäyksellä saattaa vaikuttaa.

Kilpa-auton alustarakenne koostuu monesta eri osakokonaisuudesta, mutta heilahtelunvaimennus on osoittautunut tämän työn aikana olevan kenties se kaikkein tärkein ja oleellisin osa-alue. Pienillä asioilla on suuri vaikutus lopputulokseen, niin negatiivisessa kuin positiivisessa mielessä.

Tämä työ ei välttämättä kerro läheskään kaikkea mahdollista, mitä jousitukseen ja heilahtelunvaimennukseen liittyen tarvitsee tietää. Tarkoituksena on ollut kuitenkin antaa perusymmärrystä heilahtelunvaimentimen aihealueeseen liittyen ja tarjota riittävät edellytykset aiheen ymmärtämiseksi. Haasteena oli kirjoituksen aikana aihealueen esittely mahdollisimman yksinkertaisesti.

Jousituksen ja heilahtelunvaimennuksen monimutkaisuudesta kertoo paljon myös se, että erilaisten teknisten toteutusten onnistuminen aiheuttaa päänsäivää useamman vuosikymmenen kokemuksen omaaville alan ammattilaisillekin. Kilpakäyttöön soveltuvien vaimentimien rakentaminen ja säätötyö ei ole helppoa tai yksiselitteistä. Valmistamisen taustalla on oltava paljon kokemukseräistä tietoa ja osaamista.

## Lähteet

Dixon, J. C. 2007. The Shock Absorber Handbook, Second Edition. West Sussex: John Wiley & Sons Ltd

Extremesox 2022. Tech lab – episode 2: origin of damping forces and their graphs. Viitattu 27.11.2022.

<https://www.extremesox.com/blog-post/tech-lab-episode-2-origin-damping-forces/>

Formula1-dictionary 2022. Shock absorbers. Viitattu 28.12.2022.

[https://www.formula1-dictionary.net/damper\\_shock\\_absorber.html](https://www.formula1-dictionary.net/damper_shock_absorber.html)

JMTuonti 2020. Bc Racing ostajan opas osa 1. Viitattu 28.11.2022.

<https://www.jmtuonti.fi/Blogi/uutinen/16-bc-racing-ostajan-opas-osa-1.html>

KYB Americas Corporation 2022. Monotube- and twintube. Viitattu 22.3.2022.

<https://www.kyb.com/resources/technical-information/monotube-and-twin-tube/>

Laine, O. 1981. Autotekniikka 2. osa. Tampere: Sonator

Learn Mechanical engineering. Nitro Shock Absorbers-Working Principle.

Viitattu 17.4.2022.

<https://learnmech.com/seminar-on-nitro-shock-absorbers-free/>

Model a garage 2021. Shock absorber needle shortened. Viitattu 25.11.2022.

[https://modelagarage.com/service\\_bulletin/shock-absorber-needle-valve-shortened/](https://modelagarage.com/service_bulletin/shock-absorber-needle-valve-shortened/)

Multimatic 2022. Damping beyond the shim. Viitattu 24.11.2022.

<https://www.multimatic.com/case-studies/multimatic-dssv-in-the-beginning/>

Offroadextreme 2015. Inside shock tuning: How it works. Viitattu 28.11.2022.

<https://www.offroadxtreme.com/tech/brakes-suspension/inside-shock-tuning-how-it-works/>

Reimpell, J.; Stoll, H.; Betzler, J.W. 2001. The Automotive Chassis. Butterworth-Heinemann.

Singercars 2022. Armstrong lever action shock absorber. Viitattu 28.12.2022.

<https://www.singercars.com/armstrong-lever-action-shock-absorber/>



Tech Briefs 2016. Multiphysics CAE of shock absorber. Viitattu 27.11.2022.  
<https://www.techbriefs.com/component/content/article/tb/supplements/mcat/features/applications/25418>

The Cartech 2022. Handling Characteristics of road vehicles. Viitattu 21.12.2022.  
[http://www.thecartech.com/subjects/auto\\_eng2/handling\\_characteristics\\_of\\_road\\_vehicles.htm](http://www.thecartech.com/subjects/auto_eng2/handling_characteristics_of_road_vehicles.htm)

Turun ammattikorkeakoulu 2019. Auton alustarakenteet -opintjakso vuonna 2019, Vaimentimet-oppimateriaali, lehtori Jyri Jänne, Turku: Turun ammattikorkeakoulu.

Vesterinen, K. 2010. Carecology Module 2, Suspension.