

Kimmo Haaparanta

**Kilpa-auton iskunvaimentimen rakenne ja toiminta**

Opinnäytetyö

Kevät 2013

Tekniikan yksikkö

Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma

Auto- ja työkonetekniikka



SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU

## Opinnäytetyön tiivistelmä

Koulutusyksikkö: Tekniikan yksikkö

Koulutusohjelma: Kone- ja tuotantotekniikka

Suuntautumisvaihtoehto: Auto- ja työkonetekniikka

Tekijä: Kimmo Haaparanta

Työn nimi: Kilpa-auton iskunvaimentimen rakenne ja toiminta

Ohjaaja: Ari Saunamäki

Vuosi: 2013

Sivumäärä: 37

Liitteiden lukumäärä: 0

---

Työn tarkoituksena on selvittää kilpa-autokäyttöön tarkoitettujen iskunvaimentimien rakenne, toimintaperiaate ja säätäminen. Työssä asiaa tarkastellaan harrastetason kilpa-autoilijan näkökulmasta, jolloin käytössä ei yleensä ole tiedonkeruujärjestelmiä, ajodynamiikkasimulointeja, iskunvaimennindynamometrejä, rengasdataa tai muita edistyneitä tekniikoita.

Ajatus työn aiheesta syntyi kirjoittajan huomattua monella kilpa-autoilun harrastajalla olevan kilpa-autossaan monisäätöiset iskunvaimentimet, mutta tieto niiden toiminnasta ja säätöjen vaikutuksista on usein puutteellista. Myös suomenkielistä materiaalia aiheesta on saatavilla huonosti. Työssä käsitellään pyöräntuennan geometriaa, tehonsiirtolaitteita ja renkaan toimintaa ainoastaan välttämättömin osin, sillä näistä on hyvin saatavissa suomenkielistäkin materiaalia.

Lopputuloksena syntyi tiivis yhteenveto, jonka sisältö auttaa kilpailijaa ymmärtämään kilpa-auton iskunvaimentimien toimintaa, jotta luodaan paremmat edellytykset kilpa-auton alustan kehittämiseen.

Avainsanat: ajoneuvot, kilpa-autot, jousitus, vaimennus, dynamiikka

SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

## **Thesis abstract**

Faculty: Seinäjoki University of Applied Sciences

Degree programme: Mechanical and Production Engineering

Specialisation: Automotive and Work Machine Engineering

Author: Kimmo Haaparanta

Title of thesis: Design and operation of the race car shock absorber

Supervisor: Ari Saunamäki

Year: 2013

Number of pages: 37

Number of appendices: 0

---

This thesis is made to clarify the design, operation and adjustment of shock absorbers made for the race cars. The theme is studied from an amateur race car driver's point of view, in which case datalogging, vehicle dynamics simulations, shock absorber dynamometers, tire data and other advanced techniques usually are not available.

The idea for the topic rose for the author when he noticed that many amateur race car drivers had the shock absorbers equipped with multiple adjusters, but at the same time the knowledge regarding the shock absorber operation and effects of the adjustments is often lacking. The amount of the material covering the subject in Finnish is also minor. The thesis handles the suspension geometry, powertrain and tire operation to the minimum necessary extent, since the material concerning these is readily available in Finnish.

The final result was a concise summary which will help the competitor to understand the race car shock absorber operation, in order to create better capabilities to improve the race car suspension.

Keywords: vehicles, race cars, suspension, damping, dynamics

## SISÄLTÖ

Opinnäytetyön tiivistelmä.....	2
Thesis abstract.....	3
SISÄLTÖ.....	4
Käytetyt termit ja lyhenteet .....	5
1 JOHDANTO .....	6
2 KILPA-AUTON ALUSTA .....	7
2.1 Jousitus kilpa-autoissa .....	7
2.2 Iskunvaimentimen toiminta kilpa-autoissa.....	12
3 ISKUNVAIMENTIMEN RAKENNE .....	15
3.1 Kaksiputkinen iskunvaimennin .....	15
3.1.1 Toiminta .....	15
3.1.2 Ulkoisen säädön mekanismit .....	18
3.2 Yksiputkinen iskunvaimennin .....	18
3.2.1 Toiminta .....	18
3.2.2 Yksiputkinen iskunvaimennin venttiilittömällä lisäsäiliöllä .....	21
3.2.3 Ulkoisen säädön mekanismit .....	22
3.3 Yksiputkinen iskunvaimennin lisäsäiliöllä .....	23
3.3.1 Toiminta .....	23
3.3.2 Ulkoisen säädön mekanismit .....	25
4 SÄÄTÄMINEN VAIMENTIMEN OSIA MUUTTAMALLA .....	26
5 SÄÄTÖJEN VAIKUTUS AJO-OMINAISUUKSIIN .....	27
6 POHDINTA .....	32
6.1 Säättöjen vaikutusten analysointi .....	32
6.2 Lähteiden soveltuvuus harrastetasolle .....	34
6.3 Loppupäätelmä .....	36
LÄHTEET .....	37

## Käytetyt termit ja lyhenteet

<b><math>A_m</math></b>	Männän poikkipinta-ala
<b><math>A_{mv}</math></b>	Männänvarren poikkipinta-ala
<b>Bleed</b>	Virtauskanava, jossa ei ole venttiileitä ja virtauksen määrä on riippuvainen kanavan halkaisijasta
<b>Compression</b>	Jousituksen liike puristumisen suuntaan
<b>Download</b>	Auton aerodynamiikan tuottama autoa alaspäin painava voima
<b>High-speed</b>	Iskunvaimentimen männän nopea liike
<b>Iskunvaimennin</b>	Ajoneuvon heilahduksenvaimennin
<b>Low-speed</b>	Iskunvaimentimen männän hidas liike
<b>p</b>	Kaasunpaine
<b>Rebound</b>	Jousituksen liike ulosjouston suuntaan
<b>Shimmipakka</b>	Ohuista jousiteräksestä valmistetuista levyistä koostuva levyjousipakka
<b>T</b>	Männän liikematka

# 1 JOHDANTO

Iskunvaimennus on yksi tärkeimmistä yksittäisistä osa-alueista kilpa-auton nopean etenemisen kannalta. Kilpa-auton kyky selvittää mutkat mahdollisimman suurella nopeudella on riippuvainen renkaan ja tien välisestä kitkasta. Renkaan ominaisuudet yhdessä tien pinnan kanssa määrittelee niiden välisen kitkakertoimen ja sitä myötä suurimman mahdollisen nopeuden, millä tietty mutka voidaan ajaa. Pitävästäkään renkaasta ei kuitenkaan saada täyttä hyötyä, mikäli renkaalla ei ole maksimaalista tiekosketusta. Tiekosketuksen säilyttäminen kaikissa tilanteissa on iskunvaimennuksen tehtävä.

Mikäli iskunvaimennusta haluaa muuttaa purkamatta vaimenninta, on hankittava vaimentimet, jotka on varustettu ulkopuolisella säätömekanismilla. Kilpailuluokasta riippumatta käytännössä kaikissa kärkitason autoissa on säädettävät vaimentimet harrastetasollakin. Joskus kuitenkin tieto vaimentimen toiminnasta ja säätöjen vaikutuksista on puutteellista, jolloin alustan kehittäminen vaikeutuu huomattavasti eikä alustaan sijoitetulle rahalle saa toivottua vastinetta.

Tässä työssä tarkastellaan iskunvaimennuksen toimintaa harrastetason kilpa-autoilijan näkökulmasta, jolloin käytettävissä ei yleensä ole tiedonkeruujärjestelmiä, ajodynamiikkasimulointeja, iskunvaimennindynamometrejä, rengasdataa tai muita edistyneitä tekniikoita. Työssä oletetaan lukijan hallitsevan perustiedot fysiikasta ja autojen rakenteesta, koska niistä on erittäin hyvin saatavilla tietoa, joten ne on jätetty tämän työn ulkopuolelle.

## 2 KILPA-AUTON ALUSTA

Alustan tehtävänä on myötäillä tienpinnan epätasaisuuksia ja välttää ajoneuvon jousittamista renkaan avulla, mikä on jäykkä ja alivaimennettu. Alustan tehtävänä on sallia hyödylliset korin liikkeet renkaisiin nähden transienteissa ja/tai stabiileissa tilanteissa. Vastaavasti alusta kontrolloi korin liikkeitä renkaisiin nähden, mahdollistaa auton nopean reagoinnin kuljettajan komentoihin sekä säilyttää korin asennon aerodynamiikan, pyöräengeometriian tai painonsiirtojen hallitsemiseksi. (Fey 23.6.2009.)

### 2.1 Jousitus kilpa-autoissa

Lähes kaikissa kilpa-autoissa on jousitus, lukuun ottamatta muutamia poikkeuksia (esimerkiksi karting-autot). Auto on tarkalleen ottaen useista massoista toisiinsa jousilla yhdistetty kokonaisuus ja kaikilla näillä massa-jousi-yhdistelmillä on oma ominaisvärähtelytaajuutensa. Usein tämä systeemi kuitenkin yksinkertaistetaan koostumaan kahdesta massasta – jousitettu ja jousittamaton massa – ja niitä toisiinsa yhdistävästä jousesta. Tämä on etenkin kilpa-auton tapauksessa kohtuullista, koska ajomukavuus voidaan jättää huomiotta ja kaikki ylimääräinen jousto pyritään eliminoimaan osien kiinnityksessä, jolloin auton muut merkittävät massat kuten moottori ja istuin (sitä myötä myös kuljettaja), liikkuvat käytännössä auton korin liikkeiden mukana. (Mauno 2006, 50.)

Ainoa merkittävä jousto kilpa-autossa varsinaisten jousien lisäksi on renkaissa tapahtuva jousto. Renkaan jousto-ominaisuuksiin ei ole suuria vaikutusmahdollisuuksia. Ainoa käytännöllinen keino on rengaspaineen muuttaminen. Kilparenkaan tapauksessa rengasvalmistaja ilmoittaa painealueen, jolla valmistamansa rengas toimii parhaiten ja rengaspaineen hienosäätö toteutetaan testeissä saatujen tulosten perusteella. Kilpaa ajetaan joissakin tapauksissa myös tavallisilla tieliikennekäyttöön tarkoitetuilla renkailla. Tällöin rengasmerkki ja -malli on usein sääntöjen rajaama. Tieliikennekäyttöön tarkoitetuille renkailla ei yleensä ilmoiteta toimivinta rengaspainetta kilpa-ajoa silmällä pitäen, jolloin toimivin rengaspaine joudutaan etsimään testaamalla. Koska toimiva rengaspainealue on kohtalaisen kapea, ei

auton jousto- ja vaimennusominaisuuksia yleensä pyritä muuttamaan rengaspaineen avulla, vaan tyydytään renkaan ominaisuuksiin ja säädetään auton käyttäytymistä jousen ja iskuvaimentimen ominaisuuksia muuttamalla.

Renkaan pidon määrä suhteessa pystysuuntaiseen voimaan ei seuraa klassisen kitkateorian mallia, vaan renkaan pito kasvaa pintapaineen laskiessa (Weitzenhof 19.4.2005). Lisäksi renkaan kitkakerroin voi olla  $> 1$ . Mahdollisimman pieni pintapaine renkaalle saavutetaan kun auton kulmapainot ovat identtiset, mikäli renkaat ovat samanlaiset joka nurkassa. Ajotilanteissa painopisteeseen kohdistuvien kiihtyvyyksien vuoksi syntyy painonsiirtoa, mikä heikentää renkaan hyötysuhdetta. Painonsiirto lasketaan kaavasta

$$\Delta N = \frac{m \times h \times a}{l} \quad (1)$$

Jossa  $\Delta N$  on kokonaispainonsiirto

$m$  on auton massa

$h$  on painopisteen korkeus

$a$  on sivuttaiskiihtyvyyks/pitkittäiskiihtyvyyks

$l$  on raideleveys/akseliväli

(Mauno 2006, 40.)

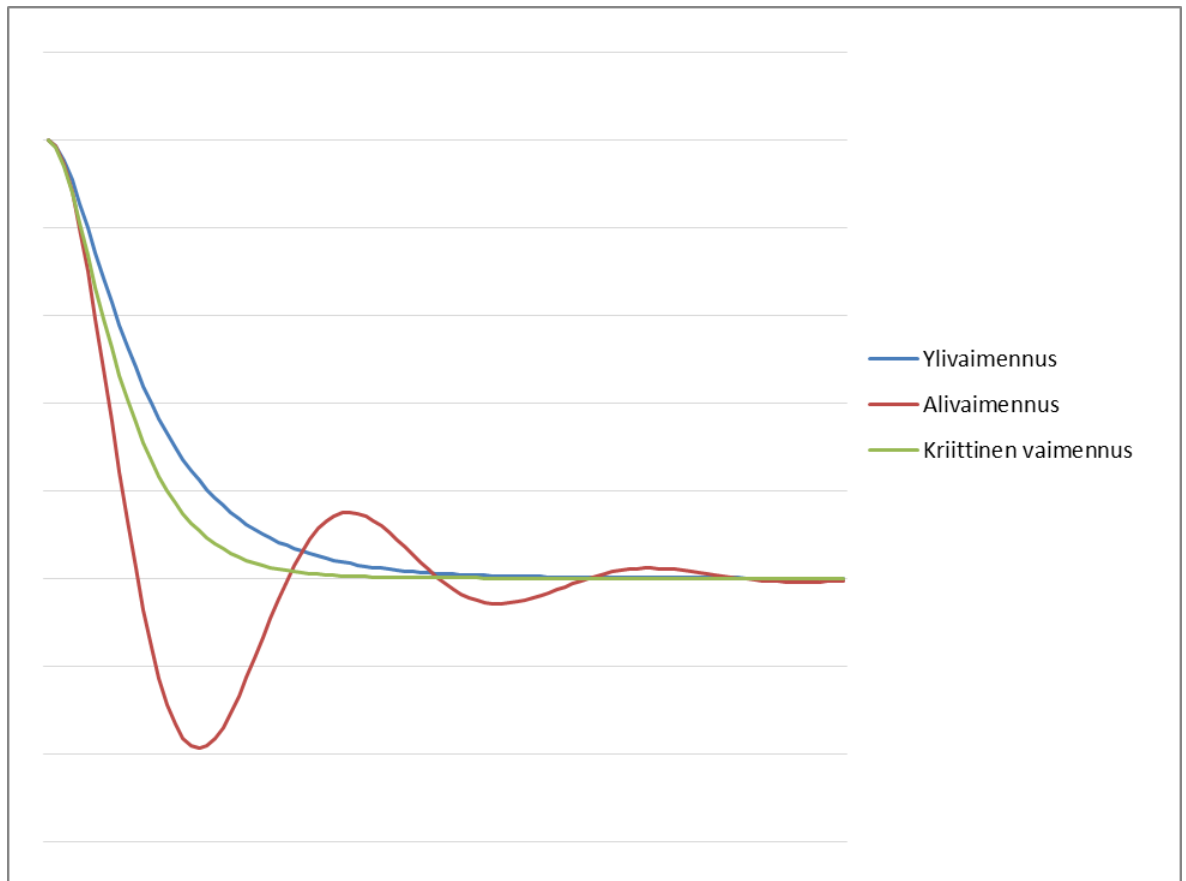
Takavetoisessa autossa painonsiirto kiihdytettäessä on toivottavaa silloin kun renkaiden pito rajoittaa tehonsiirtoa tiehen. Edestä taakse siirtyvä paino lisää takarenkaiden pitoa, jolloin vetävien renkaiden luisto vähenee kiihdytyksessä.

Jousitus on pääsääntöisesti toteutettu kierre- tai vääntösauvajousien avulla. Jousilla on sisäisen kitkan avulla luonnostaan vaimennusta, mutta vaimennuksen määrä on hyvin pieni. Mikäli jousen yhteydessä ei olisi muuta vaimennusta, se aiheuttaisi hallitsematonta liikettä niin jousitetussa kuin jousittamattomassa massassa ja auton hallittu eteneminen olisi mahdotonta. (Smith 1996, 7–13, 7–14.)

Yleisesti ottaen jäykempi jousitus vaatii enemmän vaimennusta (Milliken & Milliken 1995, 824). Teoreettisesti ajatellen tulisi pyrkiä kriittiseen vaimennukseen. Kriittinen vaimennus on tilanne, jossa värähtelijä palaa lepotilaansa lyhimmässä mahdollisessa ajassa jäämättä värähtelemään. Kuviosta 1 selviää, että alivaimennettu värähtelijä palaa nollassa lyhimmässä ajassa, mutta värähtelijässä on vielä lii-



ke-energiaa sitoutuneena, jolloin se jatkaa liikettään. Ylivaimennetussa tapauksessa värähtelyä ei tapahdu, mutta nollassolle palautuminen tapahtuu hitaammin kuin kriittisessä tapauksessa.



Kuvio 1. Esitettyinä ylivaimennus, alivaimennus ja kriittinen vaimennus.

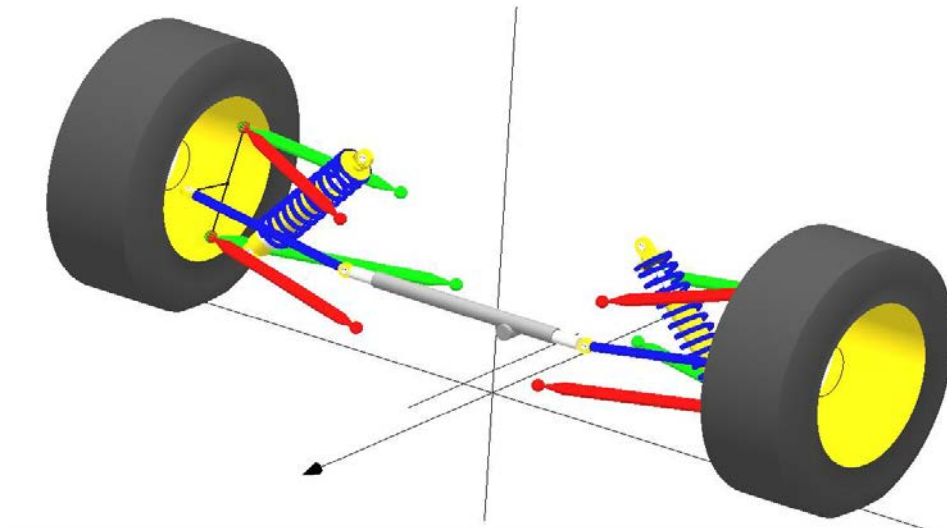
Käytännössä vaimennus on kuitenkin kompromissi eikä kriittistä vaimennusta pystytä kaikissa tilanteissa saavuttamaan. Vaimennuksen määrän selvittäminen ilman tiedonkeruujärjestelmää on erittäin hankalaa – ellei mahdotonta –, joten kirjoittajan mielestä tarkoituksenmukaisinta on etsiä toimivinta vaimennusta testaamalla, ajanottoa ja kuljettajan havaintoja apuna käyttäen. On kuitenkin hyvä ymmärtää, mitä alivaimennus, ylivaimennus ja kriittinen vaimennus käsitteinä tarkoittavat.

Tärkeitä suureita kilpa-auton alustassa on joustojäykkyys ja jousitetun massan ominaisvärähtelytaajuus. Joustojäykkyys pyörältä lasketaan kaavasta

$$P = \frac{J}{\left(\frac{A}{B}\right)^2} \quad (2)$$

jossa  $P$  on jousijäykkyys pyörältä  
 $J$  on jousen jousivakio  
 $A/B$  on jousen asennuksen liikesuhde.  
 (Mauno 2006, 61.)

Liikesuhde on Maunon mukaan tukivarren tehollinen pituus jaettuna jousen kiinnityskohdan etäisyydellä tukivarren sisäpään nivelöintiin. Todellisuudessa asia on näin ainoastaan, mikäli jousi on kohtisuorassa tukivarteen nähden. Liikesuhde riippuu siis myös iskunvaimentimen asennosta ja muuttuu joustoliikkeen aikana. Tarkka liikesuhde on iskunvaimentimen liikematka jaettuna pyörän liikematkalla, esimerkkinä taulukossa 1 on esitetty kuvion 2 mukaisen pyöränripustuksen liikesuhteet eri pyörän joustomatkalla.



Kuvio 2. Susprog3D:llä tehty mallinnus pyöränripustuksesta

Taulukko 1. Kuvion 2 mukaisen pyöränripustuksen liikesuhde eri joustomatkoilla laskettuna Susprog3D ohjelmalla.

Pyörän joustomatka (mm)	Liikesuhde
compression 100	0.586
compression 80	0.582
compression 60	0.578
compression 40	0.574
compression 20	0.570
0	0.567
rebound 20	0.563
rebound 40	0.560
rebound 60	0.556
rebound 80	0.554
rebound 100	0.551

Jousitetun massan ominaisvärähtelytaajuus lasketaan kaavasta

$$f = \frac{1}{2 \times \pi} \times \sqrt{\frac{P}{m}} \quad (3)$$

jossa f on ominaisvärähtelytaajuus

m on jousitettu massa.

Kaava toimii ainoastaan lineaarijousella.

(Mauno 2006, 62.)

Buddy Fey (23.6.2003) antaa blogissaan seuraavat nyrkkisäännöt rata-autojen ominaisvärähtelytaajuuksille:

Alempi kuin 2.0 Hz soveltuu

- tavallisiin siviiliautoihin, kenties myös autocross-autoihin.

2.0 - 3.0 Hz soveltuu

- autoihin, joissa mekaaninen pito on ensisijainen

- kun download on pientä ja radan kallistuksesta johtuvat kuormat vähäisiä

- autoihin, joissa korin liikkeet eivät haittaa aerodynamiikkaa

- kun renkaiden pito on huono tai kohtalainen.

3.0 - 4.5 Hz soveltuu

- kun pidon tuotto on kompromissi rengaskitkan ja aerodynamiikan avulla tuotetun pidon välillä

- kun esiintyy kohtuullisia pystysuuntaisia kuormia downloadin tai radan kallistuman vuoksi
- kun aerodynamiikka on kohtuullisen herkkä korin liikkeille
- kun epäoptimaalinen pyörängemetria aiheuttaa huonoa ajettavuutta
- kun renkaiden pito on hyvä.

4.5 - 8.0 Hz soveltuu

- autoihin, joiden pito saavutetaan lähinnä aerodynamiikan avulla.
- kun autoon kohdistuu suuri download
- kun aerodynamiikka on erittäin herkkä korin liikkeille.

Nämä on luonnollisesti hyvin karkeita arvioita, mutta niiden avulla on helpompi päästä oikealle alueelle joustojäykkyydessä ja lisäksi ominaisvärähtelytaajuus mahdollistaa joustojäykkyyksien vertailun erilaisten autojen kesken. Sopivan joustojäykkyyden arvioinnissa on otettava huomioon muun muassa pyörängemetria, painopisteen sijainti auton korkeus- ja pituussuunnassa, kallistuksenvakaajien jäykkyydet, renkaan pito, tien pinta ja epätasaisuus, sää kilpailupaikalla ja sääntöjen mahdollisesti asettama vähimmäismaavara. Mitä pienempi ominaisvärähtelytaajuus, sitä parempi mekaaninen pito olettaen, että rengas pysyy kohtisuorassa tien pintaa vasten (Puhn 1976, 135–136).

## 2.2 Iskunvaimentimen toiminta kilpa-autoissa

Kaikkien kilpakäytössä yleisesti olevien vaimentimien toiminta perustuu vaimentimessa olevan öljyn virtauksen rajoittamiseen erilaisten venttiilien avulla. Virtauksen rajoittamisen avulla jousituksessa olevaa liike-energiaa muutetaan lämmöksi, joka vaimentimen pinnasta johdetaan ulkoilmaan. (Mauno 2006, 70.) Käytettävällä öljyllä tulee olla mahdollisimman suuri viskositeetti-indeksi, jotta vaimennusominaisuudet eivät muuttuisi vaimentimen lämpötilan noustessa ajon aikana (Zuijdijk 2009, 10).

Vaimentimen suunnittelua rajoittaa pääsääntöisesti käytössä oleva tila, jolloin vaimentimen pituus ja paksuus ovat rajattuja. Usein kilpa-autoissa myös halutaan asentaa vaimennin kierrejousen sisälle (niin sanottu coil over -asennus), jolloin jousen sisähalkaisija määrittelee vaimentimen rungon halkaisijan. Mikäli kyseessä

on kaasuskunvaimennin, kaasutila tulisi saada mahdollisimman suureksi, jotta kaasujousena toimivan kaasun paine ei vaihtelisi männän liikematkan mukaan. Kaasujousen jousivakio on sitä suurempi ja epälinearisempi, mitä pienempi kaasutila on. Suuri kaasun jousivakio ei yleensä itsessään aiheuta haittaa, mutta jousivakion epälinearisuus ei normaalisti ole toivottavaa. Kun kaasutilan tilavuus on riittävä, kaasujousen jousivakion merkitys on niin pieni, että se voidaan jättää huomiotta alustan toimintaa ajatellessa. Kaasutilan tilavuus tulisi olla vähintään kolminkertainen männänvarren koko iskunvaimentimen liikematkan aikana syrjäyttämään tilavuuteen nähden. Kaasuna käytetään pääsääntöisesti typpeä, koska se on passiivinen kaasu ja sen ominaisuudet ei juuri muutu lämpötilan muuttuessa. (Zuijdijk 2009, 97.) Lisäksi sen saatavuus on hyvä, jolloin kenen tahansa on mahdollista hankkia typpeä kaasunpaineen säätämistä varten. Korkeamman kaasunpaineen tarkoituksena on ehkäistä vaimenninöljyn kavitaatiota ja vaahtoutumista sekä tuottaa nostavaa voimaa, joka lasketaan kaavasta

$$p \times A_{mv} \quad (4)$$

(Zuijdijk 2009, 40.)

Valtaosa kilpaskunvaimentimien venttiileistä on toteutettu bleed-kanavien, shimipakkojen ja mahdollisten yksisuuntaventtiilien avulla. Shimmipakan sijasta voi olla myös jousikuormitteinen lautasventtiili, mutta saavutettu lopputulos on molemmissa tapauksissa sama (Zuijdijk 2009, 22). Yksisuuntaventtiili on kuormitettu löysällä jousella, jolloin se estää virtauksen toiseen suuntaan, mutta ei rajoita virtausta vastakkaiseen suuntaan, jolloin se ei vaikuta vaimennuksen määrään. Yleisesti ottaen vaimennus on sitä helpompia toteuttaa mitä enemmän öljyä virtaa venttiilien läpi. (Zuijdijk 2009, 11.) Tämän vuoksi tulisi pyrkiä mahdollisimman suureen männän halkaisijaan ja joissain iskunvaimennintyypeissä myös mahdollisimman suureen männänvarren halkaisijaan. Myös mahdollisimman suuri iskunvaimentimen asennuksen liikesuhde kasvattaa virtaavan öljyn määrää iskunvaimentimen liikematkan kasvaessa.

Koska liikesuhde vaikuttaa vaimennusominaisuuksiin paljon, viisas autonrakentaja suunnittelee autoonsa alustan, jossa liikesuhteet ovat edessä ja takana samat.

Tällöin edessä ja takana on säädöllä yhtä suuri vaikutus ja optimitapauksessa voidaan käyttää samanlaista iskunvaimenninta joka pyörällä. (Smith 1996, 7–17)

Sora- tai lumipinnalla (esimerkiksi ralli, rallisprint) joudutaan käyttämään tien epätasaisuuksien vuoksi alustaa, jossa on pitkät liikeradat ja pieni joustojäykkyys. Tällöin männän ja mahdollisesti männänvarren halkaisija ei ole niin kriittinen kuin lyhytjoustoisissa rata-autoissa, koska pitkät joustomatkat takaavat riittävän öljyn virtauksen venttiilien läpi.

Yleisesti kilpakäytössä olevat iskunvaimentimet voidaan toimintaperiaatteensa mukaan jakaa kolmeen luokkaan:

- kaksiputkisiin iskunvaimentimiin
- yksiputkisiin iskunvaimentimiin ja yksiputkisiin iskunvaimentimiin venttiilitömällä lisäsäiliöllä
- yksiputkisiin iskunvaimentimiin lisäsäiliöllä.

### 3 ISKUNVAIMENTIMEN RAKENNE

Autoissa iskunvaimentimia on alettu käyttää 1900-luvun alusta lähtien. Aluksi vaimentimet olivat mekaaniseen kitkaan perustuvia, mutta vuodesta 1925 lähtien hydraulinen vaimennin on ollut suosituin iskunvaimennintyyppi. Nykypäivän hydrauliset vaimentimet ovat rakenteeltaan teleskooppisia. (Dixon 2007, 2–3.)

#### 3.1 Kaksiputkinen iskunvaimennin

Nykyaikana yleisesti käytössä olevista iskunvaimennintyypeistä kaksiputkinen painestamaton iskunvaimennin (niin sanottu öljyiskunvaimennin) on vanhin, mutta edelleen erittäin yleinen. Kaksiputkisesta painestamattomasta iskunvaimentimesta on kehitetty nykyaikaisempi kaksiputkinen kaasuisiskunvaimennin, mutta molemmat ovat toiminnaltaan samanlaisia. (Mauno 2006, 72.) Kaksiputkisen vaimentimen periaatekuva on esitetty kuviossa 3.

##### 3.1.1 Toiminta

Vaimennus perustuu compression-vaiheessa männänvarren syrjäyttämän nesteen virtauksen rajoittamiseen pohjaventtiilissä (footvalve). Toiminnallisesti pohjaventtiili koostuu bleed-kanavista (ei välttämättä ollenkaan), compression-vaimennuksen shimmipakasta ja yksisuuntaventtiilistä, joka sallii nesteen virtaamisen compression-venttiilin ohi rebound-vaiheessa. Compression-vaiheessa pohjaventtiilin läpi virtaavan nesteen määrä lasketaan kaavasta

$$A_{mv} \times T \quad (5)$$

(Zuijdijk 2009, 55.)

Compression-vaiheessa männässä oleva yksisuuntaventtiili on avoinna ja sallii nesteen virtauksen männän alapuolelta sen yläpuolelle. Koska compression-vaimennuksen määrä on riippuvainen männänvarren pinta-alasta, kaksiputkisessa

vaimentimessa on pyrittävä mahdollisimman suureen männänvarren halkaisijaan. (Zuijdijk 2009, 55–56.)

Männässä sijaitseva rebound-venttiili koostuu bleed-kanavista (ei välttämättä olenkaan), rebound-vaimennuksen shimmipakasta ja yksisuuntaventtiilistä, joka sallii nesteen virtaamisen rebound-venttiilin ohi compression-vaiheessa. Vaimennus rebound-vaiheessa perustuu männän yläpuolelta sen alapuolelle virtaavan öljyn kulkua rajoittamalla. Tällöin pohjaventtiilin yksisuuntaventtiili on auki ja sallii ulommasta putkesta nesteen virtauksen vaimennininputkeen kompensoimaan männänvarren liikkeestä johtuvaa tilavuuden muutosta. Rebound-vaiheessa syrjäytetyn nesteen määrä lasketaan kaavasta

$$(A_m - A_{mv}) \times T \quad (6)$$

(Zuijdijk 2009, 55.)

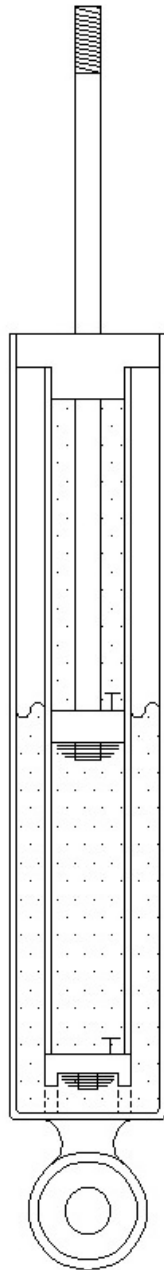
Koska pohjaventtiilin on toimiakseen oltava koko ajan vaimenninöljyn peitossa, ei kaksiputkista vaimenninta voi asentaa muutoin kuin pohjaventtiili alaspäin (Zuijdijk 2009, 54).

Ulompi putki toimii öljyvarastona ja kaasutilana. Ulommassa putkessa oleva öljy siirtää vaimenninputkessa kehittyneen lämmön ulompaan putkeen ja siitä edelleen ulkoilmaan. Kaasutilassa on ilmakehän paineessa oleva kaasu, jonka puristuminen kompensoi männänvarren liikkeen aiheuttaman tilavuuden muutoksen. (Zuijdijk 2009, 54–56.)

Kaksiputkinen kaasuiskunvaimennin on rakenteeltaan ja toiminnaltaan samanlainen kuin kaksiputkinen paineistamaton iskunvaimennin, mutta säiliössä oleva kaasu on tavallisen ilmanpaineen sijasta 6 barin paineeseen paineistettua tyypeä (Zuijdijk 2009, 102). Koska kaksiputkisessa vaimentimessa pitää olla sekä ulompi putki, sen sisällä oleva öljy/kaasutila sekä itse vaimennininputki, männän ja männänvarren halkaisija on usein rajallinen. Tällöin nostava voima on usein hyvin pieni, esimerkiksi 12 mm:n männänvarrella ja 6 barin paineella noin 120 N eli noin 12 kg.



Koska kaksiputkisessa vaimentimessa öljy ja ilma/typpi eivät ole fyysisesti erotettuina toisistaan, öljyn sekaan saattaa liueta kaasua, joka erottuu vaimenninputkessa auton ollessa pysäköitynä. Tämän vuoksi kaksiputkisessa vaimentimessa on vaimenninputken yläosassa yksisuuntaventtiilillä varustettu kanava, joka päästää erottuneen kaasun takaisin kaasutilaan heti kun vaimennin taas liikkuu. (Zuijdijk 2009, 79.)



Kuvio 3. Kaksiputkisen iskunvaimentimen periaatekuva

### 3.1.2 Ulkoisen säädön mekanismit

Koska compression-vaimennus tapahtuu pohjaventtiilissä, myös mahdolliset compression-vaimennuksen säätöosat ovat siellä. Hitaan vaimennuksen määrää muutetaan joko sulkemalla ja avaamalla erikokoisia bleed-kanavia tai bleed-kanavan virtausta rajoittavan neulaventtiilin asentoa muuttamalla. Nopean vaimennuksen määrää muutetaan shimmipakkaa esijännittämällä. Compression-vaimennuksen säätimet sijaitsevat joko vaimentimen pohjassa tai vaimentimen alareunassa. Rebound-vaimennuksen säätö tapahtuu samalla tavalla, mutta säätömekanismit sijaitsevat männässä. Rebound-vaimennuksen säätönupit sijaitsevat männänvarren päässä, ja ne käyttävät säätömekanismeja onton männänvarren läpi kulkevan tangon avulla. (Zuijdijk 2009, 59–61.)

## 3.2 Yksiputkinen iskunvaimennin

Yksiputkinen iskunvaimennin on nykyaikaisissa henkilöautoissa tavallinen ja urheilulliset autot on varustettu yksiputkisilla iskunvaimentimilla lähes poikkeuksetta. Yksiputkinen iskunvaimennin on aina niin sanottu kaasuiskenvaimennin. Yksiputkisen vaimentimen periaatekuva on esitetty kuviossa 4.

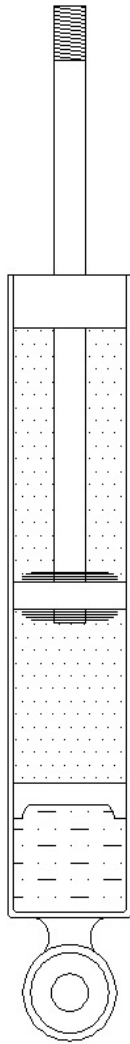
### 3.2.1 Toiminta

Vaimennusmekanismi sijaitsee männässä ja se koostuu bleed-kanavista, compression-vaimennuksen shimmipakasta ja rebound-vaimennukseen shimmipakasta (Mauno 2006, 72).

Vaimennus compression-vaiheessa tapahtuu rajoittamalla männän yläpuolelle virtaavan öljyn virtausta. Compression-vaiheessa männän yläpuolelle virtaavan öljyn määrä lasketaan kaavasta 6. Männänvarren liikkeestä aiheutuva tilavuuden muutos kompensoidaan välimännän ja sen takana olevassa kaasutilassa puristuvan kaasun avulla. (Dixon 2007, 39–41.)

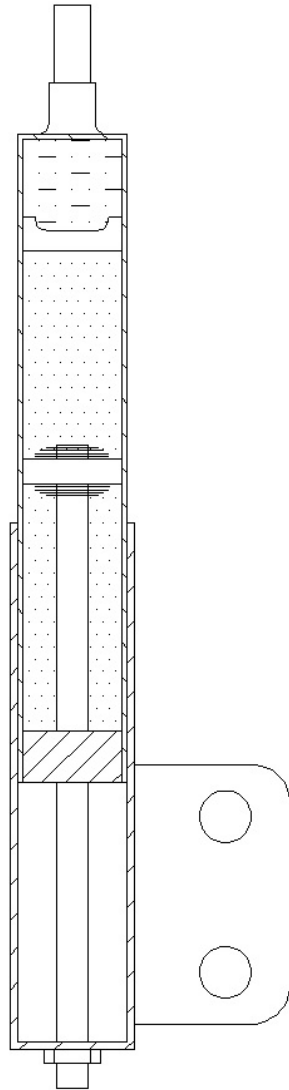
Rebound-vaiheessa vaimennus toteutetaan männän yläpuolelta sen alapuolelle liikkuvan öljyn virtausta rajoittamalla. Männänvarren liikkeestä johtuva tilavuuden muutos kompensoidaan välimännän takana olevan kaasun laajentumisella. Rebound-vaiheessa vastaavasti männän läpi virtaavan öljyn määrä lasketaan myös kaavasta 6. (Dixon 2007, 39–41)

Välimännän takana on kaasutila, jossa on 25 barin paineeseen paineistettu kaasu. Suuri kaasunpaine on välttämätön yksiputkisen vaimentimen toiminnalle. (Zuijdijk 2009, 90) Koska männänvarren pinta-ala ei vaikuta syrjäytetyn öljyn määrää lisäävästi, yksiputkisen vaimentimen tapauksessa voidaan pyrkiä mahdollisimman pienen männänvarren halkaisijaan, jotta kaasutilan tilavuuden muutokset pysyisivät joustoliikkeissä mahdollisimman pieninä ja männän läpi virtaavan öljyn määrä olisi mahdollisimman suuri. Vaimennintyyppin etuna kaksiputkiseen verrattuna on se, että vaimentimen voi asentaa mihin asentoon tahansa, ilman että sillä on vaikutusta vaimentimen toimintaan. Kaasunpaine tuottaa nostavan voiman, jonka suuruus lasketaan kaavasta 4. (Zuijdijk 2009, 94.)



Kuvio 4. Yksiputkisen iskunvaimentimen periaatekuva.

Mikäli kyseessä on MacPherson-joustintuki, männänvarren paksuus tuottaa ongelmia, koska vaimentimeen kohdistuu jarrutuksen, kiihdytyksen ja sivuttaisvoimien vuoksi taivuttavaa momenttia. Mikäli männänvarsi on ohut, se ei kestä näitä voimia ja mikäli taas kovin paksu, se aiheuttaa suuremmat kaasunpaineen muutokset. (Zuijdijk 2009, 97.) Tämän vuoksi on kehitetty kuviossa 5 esitetty niin sanottu upside-down-iskunvaimennin, jossa vaimenninpatruuna on asennettu ylösalaisin ja taivuttavan momentin ottaa männänvarren sijasta vastaan iskunvaimentimen runko. Upside-down-asennus kuitenkin rajoittaa männän halkaisijaa iskunvaimenninrungon pienentäessä käytettävissä olevaa tilaa. Lisäksi varsinaisen iskunvaimentimen liikkeessä rungon sisällä se toimii ilmapumpun tavoin keräten likaa rungon sisälle, mikä voi kuluttaa vaimentimen osia. (Zuijdijk 2009, 78.)

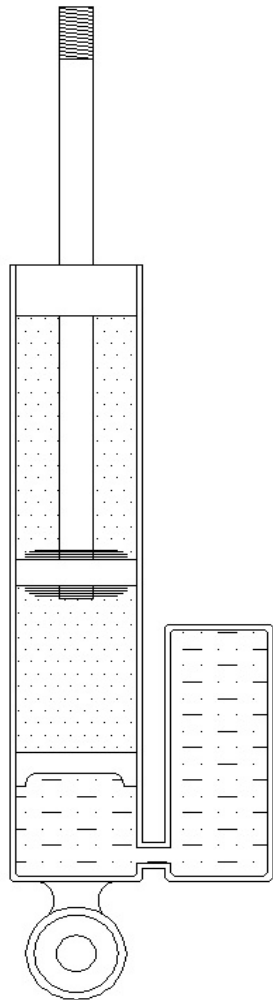


Kuvio 5. Upside-down-iskunvaimentimen periaatekuva.

### 3.2.2 Yksiputkinen iskunvaimennin venttiilittömällä lisäsäiliöllä

Vaimentimeen voi olla lisätty kaasutilavuutta kasvattava ulkoinen lisäsäiliö. Toiminnaltaan vaimennin on täysin samanlainen kuin yksiputkinen vaimennin ilman lisäsäiliötä. Välimäntä voi sijaita joko varsinaisen vaimentimen rungossa tai lisäsäiliössä. Lisäsäiliö liitetään vaimentimeen joko letkun avulla tai kiinteästi vaimentimen runkoon. Tällainen rakenne on esitetty kuviossa 6. Suuremman kaasutilan tarkoituksena on vähentää kaasujousen progressiivisuutta sekä parantaa vaimentimen jäähdytystä kasvaneen ulkokuoren pinta-alan avulla. Suurentunut kaasutila mahdollistaa männänvarren halkaisijan kasvattamisen, mikä on toivottavaa, mikäli halutaan kasvattaa kaasunpaineen aiheuttamaa nostavaa voimaa tai halutaan tu-

kevampi rakenne MacPherson-joustintuessa käyttämättä upside-down-asennusta. (Zuijdijk 2009, 95–98.)



Kuvio 6. Periaatekuva yksiputkisesta iskunvaimentimesta venttiilittömällä lisäsäiliöllä.

### 3.2.3 Ulkoisen säädön mekanismit

Low-speed-vaimennusta säädetään sulkemalla ja avaamalla erikokoisia bleed-kanavia tai muuttamalla bleed-kanavan virtausta rajoittavan neulaventtiilin asentoa. Low-speed-alue säätyy lähes aina samanaikaisesti sekä rebound- että compression-vaimennuksissa. On mahdollista myös erottaa low-speed compression- ja rebound-säädöt tekemällä mäntään molemmille omat bleed-kanavat ja varustaa toiset tai molemmat niistä yksisuuntaventtiileillä. Tämä kuitenkin monimutkaistaa rakennetta. (Zuijdijk 2009, 183.)

High-speed compression säätty compression-vaiheen shimmipakkaa esijännittämällä ja high-speed rebound rebound-vaiheen shimmipakkaa esijännittämällä. Yksiputkisen vaimentimen säätönupit sijaitsevat aina männänvarren päässä, ja ne käyttävät onton männänvarren läpi kulkevan tangon avulla säätömekanismeja. Vaimennin voi teoriassa sisältää kaikki neljä säätöä, mutta koska kaikkien säätömekanismien pitäisi toimia männänvarren kautta, toteutus olisi käytännössä hyvin monimutkainen ja tilavaatimusten vuoksi osiltaan heiveröinen (erityisesti kun pyritään ohueen männänvarteen). Useimmat yksiputkiset vaimentimet eivät ole säädettäviä, mutta joillakin valmistajilla sellaisia on tarjolla (Zuijdijk 2009, 94).

### 3.3 Yksiputkisen iskunvaimennin lisäsäiliöllä

Autoihin tarkoitetut yksiputkiset iskunvaimentimet lisäsäiliöllä on suunniteltu yksinomaan kilpakäyttöön. Rakenne mahdollistaa vaimentimen kaasunpaineen muuttamisen, mikä tuo yhden uuden säätökohteen auton käyttäytymisen muuttamiseksi (Zuijdijk 2009, 184).

#### 3.3.1 Toiminta

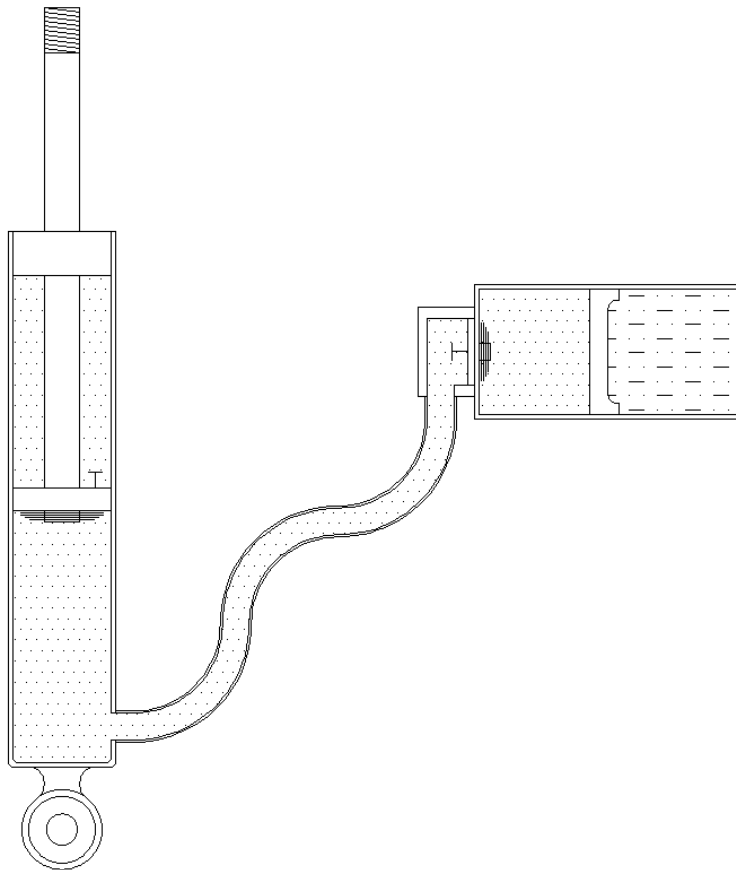
Toiminta on samankaltainen kuin kaksiputkisessa iskunvaimentimessa. Tässä tapauksessa pohjaventtiili sijaitsee lisäsäiliössä. Lisäsäiliössä sijaitseva compression-vaimennuksen venttiili koostuu bleed-kanavista (ei välttämättä ollenkaan), shimmipakasta ja rebound-vaiheen yksisuuntaventtiilistä. Compression-vaiheessa pohjaventtiilin läpi virtaavan öljyn määrä lasketaan kaavasta 5. Rebound-vaimennus toteutetaan männässä sijaitsevilla venttiileillä pohjaventtiilissä sijaitsevan yksisuuntaventtiilin ollessa auki. Männän venttiilistö koostuu bleed-kanavista (ei välttämättä ollenkaan), shimmipakasta ja compression-vaiheen yksisuuntaventtiilistä. Rebound-vaiheessa männän läpi virtaavan öljyn määrä lasketaan kaavasta 6. (Zuijdijk 2009, 108–109.)

Lisäsäiliö yhdistetään vaimentimeen joko letkun avulla tai kiinteästi vaimentimen runkoon. Lisäsäiliössä on yksiputkisen iskunvaimentimen tapaan välimäntä, jonka takana on kaasutila. Myös yksiputkisen vaimennin lisäsäiliöllä voidaan asentaa

mihin asentoon vain toiminnan kärsimättä. Koska compression-vaimennuksen määrä on riippuvainen männänvarren pinta-alasta ja rebound-vaimennuksen määrä männän pinta-alasta, tulisi pyrkiä mahdollisimman suureen männänvarren ja männän halkaisijaan. (Zuijdijk 2009, 98.) Yksiputkinen iskunvaimennin lisäsäiliöllä on esitetty kuviossa 7.

Lisäsäiliöllä varustettu yksiputkinen vaimennin yhdistää yksi- ja kaksiputkisen vaimentimen parhaat puolet. Koska vaimentimessa on vain yksi putki, siinä on kaksiputkista vaimenninta enemmän tilaa suurempihalkaisijaiselle männälle ja männänvarrelle. Toisin kuin yksiputkisessa vaimentimessa, vaimentimen toiminta ei ole riippuvainen kaasunpaineesta, jolloin sitä voidaan säätää välillä 5–30 baria. (Zuijdijk 2009, 110.) Koska compression- ja rebound-venttiilit ovat erotettu, saadaan aikaiseksi toisistaan riippumattomat compression- ja rebound-säädöt, mikä ei ole helppoa toteuttaa yksiputkisessa vaimentimessa. Kun pystytään käyttämään pakua männänvartta, ei MacPherson-joustintuessa tarvitse käyttää männän halkaisijaa rajoittavaa upside-down-asennusta riittävän tukevuuden aikaansaamiseksi. (Zuijdijk 2009, 107–109.) Lisäksi lisäsäiliön avulla saadaan parannettua vaimentimen jäähdytystä lisääntyneen ulkokuoren pinta-alan vuoksi (Zuijdijk 2009, 98).





Kuvio 7. Periaatekuva lisäsäiliöllä varustetusta yksiputkisesta iskunvaimentimesta.

### 3.3.2 Ulkoisen säädön mekanismit

Low-speed compression -vaimennusta säädetään sulkemalla ja avaamalla pohjaventtiilissä sijaitsevia erikokoisia bleed-kanavia tai muuttamalla bleed-kanavan virtausta rajoittavan neulaventtiilin asentoa. High-speed compression säätyy compression-vaimennuksen shimmipakkaa esijännittämällä. Compression-vaiheen säädöt sijaitsevat lisäsäiliön yhteydessä. (Zuijdijk 2009, 157–158.)

Low-speed rebound säätyy sulkemalla ja avaamalla männässä erikokoisia bleed-kanavia tai muuttamalla bleed-kanavan virtausta rajoittavan neulaventtiilin asentoa. High-speed rebound säätyy rebound-vaimennuksen shimmipakkaa esijännittämällä. (Zuijdijk 2009, 163.) Rebound-säätömekanismeja käytetään ontton männänvarren läpi menevillä säätötangoilla (Zuijdijk 2009, 179). Yksiputkinen iskunvaimennin lisäsäiliöllä voi sisältää kaikki neljä säätöä (Zuijdijk 2009, 192).

## 4 SÄÄTÄMINEN VAIMENTIMEN OSIA MUUTTAMALLA

Mikäli vaimentimessa ei ole ulkoisia säätöjä, vaimennin on purettava säätöä varten. Tämä edellyttää että vaimennin on tehty purettavaksi. Mikäli kyseessä on kaasuiskevaimennin, vaimentimen saa avata vain siihen koulutettu henkilö, sillä paineistetun iskunvaimentimen avaaminen saattaa aiheuttaa suurta vahinkoa ihmisille ja omaisuudelle. Joskus vaimentimissa on Schrader-venttiili, jonka kautta kaasunpaineen voi päästää pois. Mikäli venttiiliä ei ole, paine poistetaan vaimentimeen tarkoitettulla erikoistyökalulla. (Zuijdijk 2009, 57.) Myös paineistamattoman vaimentimen purkamisessa on oltava tarkkana, sillä epäasianmukaisen käsittelyn seurauksena voi saada vaimentimen käyttökelvottomaksi (Zuijdijk 2009, 55). Kirjoittaja suosittelee jättämään vaimentimen purkamisen ja kokoamisen vaativat toimet ammattilaisille, joilla on mahdollisuus varmistaa iskunvaimentimen kokoamisen jälkeinen oikea toiminta ja säätöjen vaikutus iskunvaimennindynamometrissä.

Low-speed-aluetta säädetään pienentämällä tai suurentamalla männässä tai pohjaventtiilissä sijaitsevia bleed-kanavien halkaisijaa tai lukumäärää. Tämä tapahtuu vaihtamalla mäntä tai pohjaventtiili toisenlaiseen. High-speed-aluetta säädetään muuttamalla shimmiä paksuutta tai lukumäärää. Kasvattamalla shimmiä paksuutta tai lukumäärää high-speed vaimennusta saadaan lisättyä, kun taas pienentämällä vähennettyä. Käyttämällä eri halkaisijalla olevia shimmejä shimmiä paksuudessa saadaan high-speed-alueelle progressiivisuutta, kun taas saman halkaisijan shimmejä käyttämällä high-speed-alue on degressiivinen (Zuijdijk 2009, 94). Shimmiä paksuus on 0.2–0.5 mm. Shimmiä paksuuteen saadaan esijännitystä käyttämällä hieman kartionmuotoista vastinpintaa. Esijännitys voi auttaa, mikäli ilmenee, ettei shimmiä paksuus ole täysin tiivis. (Dixon 2007, 223.)

## 5 SÄÄTÖJEN VAIKUTUS AJO-OMINAISUUKSIIN

Karkeat voidaan yleistää, että säätöjen vaikutukset ajo-ominaisuuksiin ovat seuraavat:

- Compression-vaimennus kontrolloi jousittamatonta massaa.
- Rebound-vaimennus kontrolloi jousitettua massaa.
- Low-speed-alue reagoi korin liikkeisiin.
- High-speed-alue reagoi tien epätasaisuuksiin. (Smith 1996, 7–14, 7–18.)

Low-speed-vaimennuksen muuttaminen vaikuttaa kuitenkin myös high-speed-alueeseen, koska shimmpakan lisäksi öljyä virtaa myös bleed-kanavista. Kun bleed-kanavien kokoa muutetaan, virtaavan öljyn määrä muuttuu myös high-speed alueella. Lisäksi vaikka tien epätasaisuus aiheuttaa nopean iskunvaimentimen liikkeen, liikkeen alku- ja loppuvaiheessa vaimentimen liikenopeus on aina low-speed-alueella ennen kuin nopeus on ehtinyt kiihtymään high-speed-alueelle ja takaisin lepotilaan.

Koska vaimennin ei ole pakotetussa liikkeessä vaan kytkettynä auton koriin, compression-vaimennuksen kasvattaminen aiheuttaa vaimentimen liikematkan lyhentymisen, jolloin myös rebound-vaimennuksen tarve muuttuu jouseen sitoutuneen energiamäärän muuttuessa. Tästä johtuen todellisuudessa myös compression-vaimennuksen määrä vaikuttaa jousitetun massan kontrollointiin.

Neil Roberts (2013) on eritellyt useimmat esiintyvät mutkan vaiheet ja luonut niiden pohjalta taulukon säätöjen vaikutuksista:

### Vaihe 1: Lisääntyvä jarrutus ja lisääntyvä kääntäminen

Tämä on ensimmäinen vaihe nopeassa kiristyvässä mutkassa. Tätä vaihetta ei esiinny lainkaan, mikäli maksimaalinen jarrutus on saavutettu ennen sisäänkäyntöä. Koska paino siirtyy sekä eteen että ulkokaarteeseen puolelle, on ulkokaarteeseen puoleinen etuvaimennin compression-vaiheessa. Samalla sisäkaarteeseen puoleinen takavaimennin on rebound-vaiheessa. Kaksi muuta vaimenninta liikkuvat vähemmän tai hitaammin, jolloin niiden vaikutukset ovat minimaalisia. Voimme ajatella sisäkaarteeseen puoleisen etuvaimentimen ja ulkokaarteeseen puoleisen takavaimentimen olevan liikkumattomia.

#### Vaihe 2: Vähentävä jarrutus ja lisääntyvä kääntäminen

Tämä on hitaan mutkan sisäänkäntövaihe. Tämän vaiheen esiintyminen riippuu mutkasta ja ajotavasta. Paino siirtyy ulkokaarteeseen puolelle ja taakse, joten ulkokaarteeseen puoleinen takavaimennin on compression-vaiheessa ja sisäkaarteeseen puoleinen vaimennin rebound-vaiheessa. Kahta muuta vaimenninta ajatellaan liikkumattomana.

#### Vaihe 3A: Lisääntyvä kääntäminen tasakaasulla

Tämä vaihe esiintyy ajolinjan korjausliikkeessä, shikaanin sisäänkäntövaiheessa tai kun sisäänkäntövaihe ajetaan kaasu pohjassa. Paino siirtyy ulkokaarteeseen puolelle, joten molemmat ulkokaarteeseen puoleiset vaimentimet ovat compression-vaiheessa ja molemmat sisäkaarteeseen puoleiset vaimentimet rebound-vaiheessa.

#### Vaihe 3B: Vähentävä kääntäminen tasakaasulla

Vaiheen 3A vastakohta. Tämä mutkan ulostulovaihe esiintyy shikaanissa kun ollaan vaihtamassa käännöksen suuntaa. Kun sivuttaiskiihtyvyyden määrä ohittaa nollatason, auto siirtyy vaiheeseen 3A. Paino siirtyy sisäkaarteeseen puolelle, joten molemmat sisäkaarteeseen puoleiset vaimentimet ovat compression-vaiheessa ja molemmat ulkokaarteeseen puoleiset vaimentimet rebound-vaiheessa.

#### Vaihe 4: Vähentävä kääntäminen ja lisääntyvä kaasunkäyttö

Tämä on mutkan ulostulovaihe. Paino siirtyy sisäkaarteeseen puolelle ja taakse, jolloin ulkokaarteeseen puoleinen etuvaimennin on rebound-vaiheessa ja sisäkaarteeseen puoleinen takavaimennin on compression-vaiheessa. Kaksi muuta vaimenninta ajatellaan liikkumattomiksi.

Balanssi on aina riippuvainen kahden pyörän välisestä paino- ja kaumasta. Koska renkaan hyötysuhde heikkenee kuorman kasvaessa, iso ero kuormassa eturenkaiden välillä aiheuttaa aliohjautuvuutta ja pieni ero kuormassa vähentää sitä. Sama periaate pätee takarenkaiden pitoon. Sisäänkäntövaiheessa sekä rebound- että compression-vaimennuksen kasvattaminen lisää painonsiirtoa. Ulostulovaiheessa sekä rebound- että compression-vaimennuksen kasvattaminen vähentää painonsiirtoa.

Taulukko 2. Iskunvaimentimen säätöjen vaikutus ajo-ominaisuuksiin (Roberts, [Viitattu 13.5.2013]).

Vaihe	Vaimentimien liikkeet	Aliohjautuvammaksi	Yliohjautuvammaksi
Vaihe 1 sisäänkäyntö	UE compression, ST rebound	E compression +	E compression -
		T rebound -	T rebound +
Vaihe 2 sisäänkäyntö	SE rebound, UT compression	E rebound +	E rebound -
		T compression -	T compression +
Vaihe 3A sisäänkäyntö	UE & UT compression, SE & ST rebound	E compression +	E compression -
		E rebound +	E rebound -
		T compression -	T compression +
		T rebound -	T rebound +
Vaihe 3B ulostulo	UE & UT rebound, SE & ST compression	E compression -	E compression +
		E rebound -	E rebound +
		T compression +	T compression -
		T rebound +	T rebound -
Vaihe 4 ulostulo	UE rebound, ST compression	E rebound -	E rebound +
		T compression +	T compression -

Jossa U on ulkokaarten puoli

S on sisäkaarten puoli

E on etupää

T on takapää

+ tarkoittaa suurempaa vaimennusta

- tarkoittaa pienempää vaimennusta

Smith (1996, 7–8, 7–9, 7–10) on listannut seuraavat ohjeet säätöjen vaikutuksista:

Liikaa iskunvaimennusta kokonaisvaltaisesti:  
Hyvin herkkä auto ja kova ajotuntuma, rengas luistaa helposti  
Auto ei seuraa tien epätasaisuuksia

Liikaa rebound-vaimennusta:  
Renkaat eivät palaa tiehen nopeasti poikkeutuksen jälkeen, sisäkaarten rengas nousee irti tiestä  
Auton kori laskeutuu alaspäin epätasaisuuksissa ja pitkissä mutkissa

Liikaa compression-vaimennusta:  
Auto tuntuu kovalta epätasaisuuksissa

Liikaa low-speed compression-vaimennusta:  
Auto reagoi pituus- ja sivuttaissuuntaisiin painonsiirtoihin liian äkkinäisesti

Liikaa high-speed compression-vaimennusta:  
Auto reagoi tien epätasaisuuksiin liian rankasti, renkaat eivät seuraa tien epätasaisuuksia  
Auto saattaa olla arvaamaton suurissa epätasaisuuksissa

Liian vähän iskunvaimennusta kokonaisvaltaisesti:

Auto tuntuu leijuvalta ja jää oskilloimaan epätasaisuuksien jälkeen

Auto nyökkää ja niiaa paljon

Auto kallistelee nopeasti ja paljon

Auto tuntuu vetelältä ja reagoi hitaasti

Liian vähän rebound-vaimennusta:

Auto tuntuu leijuvalta ja jää oskilloimaan epätasaisuuksien jälkeen

Liian vähän compression-vaimennusta:

Reagointi sisäänkäyntöön pehmeä ja hidas

Auto kallistelee, nyökkää ja niiaa nopeasti ja paljon

Liian vähän high-speed compression-vaimennusta:

Jousitus saattaa pohjata suurissa epätasaisuuksissa

Liian vähän low-speed compression-vaimennusta:

Auto on epätarkka ja huonosti reagoiva pituus- ja sivuttaissuuntaisiin painonsiirtoihin sekä kuljettajan käskyihin

Epäkuntoinen vaimennin yhdessä nurkassa:

Yllättävän vaikea kuljettajan tunnistaa

Mikäli takana, yliohtautumista vain toiseen suuntaan mutkan ulostulossa kaasutettaessa (Takavetoinen auto)

Mikäli edessä, aliohtautumista sisäänkäynnössä ainoastaan toiseen suuntaan

Liiallinen rebound-vaimennus edessä aiheuttaa epästabiliutta jarrutuksessa ja etupään vaeltamista.

Liiallinen takapään rebound-vaimennus aiheuttaa epästabiliutta jarrutuksessa ja auto pyrkii pyörähtämään

Mikäli auto aliohjaa sisäänkäynnössä ja tilanne pahenee mutkan edessä tai auto kääntyy hyvin mutkaan sisään, mutta sisäänkäynnön jälkeen aliohtautuu, voi etupään compression-vaimennus olla liian pieni.

Liian suuri etupään rebound-vaimennus aiheuttaa aliohtautumista mutkan ulostulovaiheessa.

Yliohtautuminen mutkan ulostulovaiheessa, joka pahenee kaasua lisätessä, voi johtua liian pienestä takapään low-speed compression-vaimennuksesta. (Syynä takapään pyöräangeometrian muutoksista johtuva pidon menetys, ainoastaan erillisjousitetulla taka-akselilla varustetut takavetoiset autot)

Huono tehonsiirto tiehen tasaisten mutkien ulostulossa voi johtua liian suuresta low-speed compression-vaimennuksesta takana. (Takavetoinen auto)

Huono tehonsiirto tiehen epätasaisten mutkien ulostulossa voi johtua liian suuresta low-speed compression-vaimennuksesta takana tai liian suuresta rebound-vaimennuksesta takana. (Takavetoinen auto)

Aliohjautuminen sisäänkäännössä ja yht'äkkinen yliohtautuminen kaa-sulle siirryttäessä voi johtua liian pienestä etupään jäykkyydestä. Compression-vaimennuksen lisääminen edessä voi auttaa. (Syynä etupään pyöräengeometrian muutoksista johtuva pidon menetys yhdis-tettyinä jäykän takapään yliohtavaan vaikutukseen)

**Kaasunpaine.** Zuijdijk (2009, 188–189) kertoo kaasunpaineen aiheuttavan nosta-vaa voimaa, joka helpottaa kannattelemaan jousitettua massaa. Kaasunpainetta suurentamalla voidaan käyttää pienemmän jousijäykkyyden omaavaa jousta, millä saavutetaan matalampi ominaisvärähtelytaajuus. Mitä matalampi ominaisvärähte-lytaajuus autolla on, sitä parempi mekaaninen pito saavutetaan. Korkeampi kaa-sunpaine tuottaa paremman pidon ja renkaat lämpenevät nopeammin (Zuijdijk 2009, 175). Mikäli kaasutilan tilavuus on liian pieni, syntyy compression-vaiheessa jyrkkä nousu kaasunpaineessa, mikä aiheuttaa ajotuntumaan kovuutta ja tunnetta siitä että auto kävisi pohjaanlyöntikumien varassa. Tämä voi huonontaa ajettavuut-ta ja auto on vaikea säätää. (Zuijdijk 2009, 95.)

Smith (1996, 7–17) kirjoittaa, että kaasunpaineen vaikutus on samankaltainen kuin jousen esijännityksellä eikä sillä ole vaikutusta jousijäykkyyteen. Kaasunpaineen aiheuttama voima on kuitenkin lepokitkan tapainen voima, joka on ylitettävä ennen kuin jousitus tekee liikettä. Tästä syystä kaasunpaineen kasvattaminen heikentää jousituksen herkkyyttä ja on siksi huono tapa säätää autoa. Kaasunpaineen tulisi olla pienin mahdollinen, jolla kavitaatiota ei esiinny.

## 6 POHDINTA

Pohdinnassa kirjoittaja vertailee lähteitä ja analysoi niiden oikeellisuutta. Lisäksi kirjoittaja arvioi lähteissä esitettyjen ohjeiden soveltuvuutta kansalliselle harrastetasolle.

### 6.1 Säättöjen vaikutusten analysointi

Neil Robertsin malli on suhteellisen looginen ja yksinkertainen perusmalli. Se ei kuitenkaan ota huomioon tien pinnan epätasaisuuksien eikä pyöränkulmien muutosten vaikutuksia säätötarpeeseen. Lisäksi hän unohtaa pitkittäisen painonsiirron hyödyntämisen vaiheessa 1, jolloin takarenkaat eivät vielä ole saavuttaneet täyttä sivuttaisvoimaa. Samanaikaisesti eturenkaat tuottavat sekä sivuttaisvoimaa että jarrutusvoimaa. Koska eturenkaat tuottavat sivuttaisvoimaa, sitä ei ole käytettävissä maksimaaliseen jarrutukseen, joten jarrupaine on maksimaalista pienempi. Tämän vuoksi takarenkaiden pitoa ei pystytä täysin hyödyntämään, jolloin on eduksi lisätä pitkittäistä painonsiirtoa, jotta eturenkaille saadaan suurempi paino ja tällöin sisäänkäntö nopeutuu ja takarenkaat saavuttavat maksimaalisen sivuttaisvoimansa mahdollisimman nopeasti. Pitkittäistä painonsiirtoa sisäänkäntövaiheessa lisää hänen malliaan mukaillen compression-vaimennuksen kasvattaminen edessä ja rebound-vaimennuksen kasvattaminen takana. Tällöin vastoin hänen tekemäänsä taulukkoa etupään compression-vaimennuksen lisääminen muuttaa autoa yliohjaavammaksi ja vähentäminen aliohjaavammaksi vaihe 1:ssä. Smithin kirjaamat ohjeet tukevat tätä näkemystä. Rebound-säädön vaikutus on valmiiksi oikein hänen taulukossaan.

Myös Smithin mutkan ulostulovaiheen ja Robertsin vaiheen 4 säätöehdotukset poikkeavat toisistaan. Smith ehdottaa, että liian suuri rebound-vaimennus voi aiheuttaa aliohjautumista mutkan ulostulossa, kun taas Roberts on päinvastaista mieltä. Robertsin logiikka perustuu maalaisjärjellä ajateltuihin iskuvaimentimien liikkeisiin. Usein kuitenkin mutkat ajetaan Slow In – Fast Out -menetelmällä, jolloin sisäänkäntö on terävä ja myöhäiseksi jätetty, jotta ulostulo voidaan ajaa loivalla kaarresäteellä ja aikaisin kiihdyttäen. Tällaisella ajotyylillä ulostulossa iskun-



vaimentimien liikkeet voivat olla niin hitaita, ettei vaimennuksella ole juuri merkitystä painonsiirron kannalta. Smithin näkemys voi taas perustua siihen että Slow In - Fast Out -tekniikalla ajetun mutkan ulostulossa tehokkaalla autolla kiihdyttäminen pyrkii nostamaan auton keulaa ja suuri rebound-vaimennus pyrkii nostamaan renkaita irti tiestä, mikä aiheuttaa aliohjautumista. Molemmat voivat kuitenkin olla yhtä oikeassa, oikea säätö riippuu siitä, minkälaisia mutka, ajotapa ja auto ovat.

Smith on luonut ohjeet selkeästi kokemuksen perusteella ja ne vaikuttavat päteville. Hän on listauksessaan koonnut myös muita ajo-ominaisuuksiin vaikuttavia tekijöitä, kuten pyörien asentokulmat, pyörän geometria, renkaat, tasauspyörästöt ja jarrut, mutta ne on jätetty tämän työn ulkopuolelle.

Kaasunpaineesta Smith on virheellisessä käsityksessä. On totta että kaasunpaineen aiheuttama nostava voima on ylitettävä ennen kuin jousitus alkaa puristua, mutta auton massa on suurempi kuin nostava voima, joten nostava voima on kompensoitu kun auto lasketaan pyöriensä varaan, jolloin jousitus toimii auton massan alaisena normaalisti ilman herkkyyden heikkenemistä. Poikkeuksena on ääritapaus, jossa kaasunpaineen aiheuttaman nostava voima ja jousen yhteenlaskettu esijännitys ylittävät ajoneuvon painon. Tällöin jousitus ei puristu lainkaan kun auto lasketaan pyöriensä varaan ja näin ollen jousituksella ei ole lainkaan ulosjoustoja. Tällainen ratkaisu voi tulla kyseeseen autossa, jossa aerodynamiikka on erittäin herkkä korin liikkeille ja halutaan tehdä mekaanisessa pidossa uhrauksia aerodynamiikan hyväksi. Kyseinen ratkaisu on kuitenkin tietoinen valinta ja kaasunpaineen aiheuttama esijännitys on kompensoitavissa pienentämällä jousen esijännitystä. Smith on saattanut tulla virheelliseen käsitykseensä, mikäli hän on kokeillut suurta kaasunpainetta ainoastaan sellaisissa vaimentimissa, joissa on pieni kaasutila. Joustoliikkeessä kaasunpaineen progressiivisen kasvun myötä ilmennyt alustan kovuus on sitten saatettu tulkita johtuvan kaasunpaineen aiheuttamasta kitkavoimasta, joka olisi pitänyt ylittää kaikissa joustoliikkeissä ennen kuin jousitus alkaisi toimia.

Zuijdijk puoltaa kirjassaan korkean kaasunpaineen tuomia hyötyjä, joita ovat mahdollisuus käyttää löysempää joustoa, mikä mahdollistaa paremman mekaanisen pidon sekä helppo esijännityksen säätö. Hän ei kuitenkaan kerro, miksi kaasun-

paineen käyttäminen jousituksen esijännittämiseen olisi parempi tapa kuin varsinaisen jousen esijännittäminen. Syy voi olla hänen halunsa tuoda esiin hänen oman iskunvaimenninmerkkinsä etuja muihin verrattuna, joita ei ole suunniteltu hyödyntämään kaasunpainetta jousituksen esijännittämisessä. Kirjoittaja ei näe mitään toiminnallista eroa jousen esijännittämisellä ja kaasunpaineen aiheuttamalla nostavalla voimalla. Kaasunpaineen käyttäminen jousituksen esijännittämiseen voi olla kuitenkin eduksi, sillä kaasunpaineen säätäminen on nopeaa, kun taas jousen esijännityksen muuttaminen vaatii työkaluja ja tilanahtauden vuoksi mahdollisesti vaimentimen irrottamisen. Suuri kaasunpaine tulee tosin kysymykseen vain, mikäli kaasutilan tilavuus on riittävän suuri, jotta vältetään kaasunpaineen nousulta.

Kaikki esitetyt säätöohjeet ovat kuitenkin yleistyksiä ja tärkeintä onkin analysoida syy, mistä epätoivottu auton käyttäytyminen johtuu. Huomioon tulee ottaa muun muassa renkaiden kunto, etu- ja takapään jousijäykkyyksien ja vaimennuksien keskinäiset suhteet ja jousituksen jäykkyys ja vaimennuksen määrä yleisesti, kuljettajan ajotyylit, pyöränkulmat ja pyörän geometria ja niin edelleen. Virhettä auton käyttäytymisessä ei myöskään voida korjata vaimentimen ominaisuuksia muuttamalla, jos vika on muualla. Iskunvaimentimen säätöjen hakeminen on aina kokeilemistä ja mikäli säätö ei tuo parannusta on syytä miettiä pitäisikö palata aiempaan säätöön. Kilpa-autoon on hyvä testata sellaiset vaimentimien perussäädöt, joilla auto toimii kohtuullisesti millä tahansa radalla. Mikäli ratakohtaisia säätöjä etsiessä säätäminen aiheuttaa huonosti tai epäloogisesti käyttäytyvän auton tai auto reagoi säätöihin epäloogisesti, voidaan palata tuttuun ja turvalliseen perussäätöön, josta on helppo lähteä tekemään uusia säätöjä ja jolla voi hätätapauksessa myös kilpaila säilyttäen jonkinasteisen kilpailukyvyn.

## **6.2 Lähteiden soveltuvuus harrastetasolle**

Työssä on käytetty kilpa-autoilun huipulla työskennelleiden ihmisten näkemyksiä. Zuijdijk mainitsee toimineensa muun muassa F1:n, Indyn, Nascarin ja Trans Am:n parissa. Smith kertoo omaavansa kokemusta muun muassa Le Mansista, Formula 5000:sta, Formula Atlanticista, Australian Touring Carista ja Mexican Formula

Two:sta. Neil Roberts on Think Fast -kirjan kirjoittaja ja tarjoaa kilpa-autoiluun liittyviä insinööripalveluita. Hän on työskennellyt muun muassa Formula Atlantic ja Swift Champ -luokkien parissa. Kaikissa näissä luokissa käytetään slicksirengasta ja monissa luokissa autot tuottavat suuren tai kohtuullisen downloadin.

Harrastetasolla asfaltilla käytetään sekä slicksirengasta, muun muassa rallisprint-, rallicross- ja super saloon -luokissa, että tieliikennehyväksytyä rengasta muun muassa roadsportissa, locostissa, v1600:ssa, endurance:ssa ja jokamiesluokassa. Pelkästään soralla ajettaessa käytetään sorarallirengasta ja talvella käytetään niin sanottua piikkirengasta.

Pidon määrä on kansallisen tason renkaissa erona luokkiin, joista lähteiden kirjoittajat kertovat. Tieliikennehyväksytyyn renkaaseen pitoero on luonnollisesti suuri, mutta usein niin on myös, vaikka käytettäisiinkin slicksirengasta. Siinä missä kansallisissa kilpailuissa käytettävät slicksirengaat ovat suhteellisen kulutuskestäviä, useissa huipputason kilpailuissa on käytössä renkaanvaihdot, mikä sallii pitävämman rengasseoksen käyttämisen. Kansallisen tason heikompi-pitoisen renkaan vuoksi mutkanopeudet ovat huipputasoa alempia ja kääntymisherkyys, kiihtyvyys ja hidastuvuus heikompia.

Download on kansallisella tasolla usein pientä tai jopa negatiivista. Rallisprintissä, roadsportissa, rallicrossissa ja rallissa siivekkeiden koko on rajattu pieneksi. Locost- ja v1600-autoissa aerodynaamiset avut ovat lähes täysin kiellettyjä ja jokamiesluokassa nopeudet ovat niin matalia, ettei aerodynamiikasta juuri saa hyötyä. Super Saloon -luokan säännöt mahdollistavat kohtuullisen aerodynamiikan hyödyntämisen. Download on kansallisella tasolla useimmissa tapauksissa kansainvälisiä luokkia alempi, mikä alentaa mutkanopeuksia. Voimakas auton aerodynamiikka on herkkä korin asennon muutoksille, joten huipputasolla korin asennon kontrollointi on harrastetasoa tärkeämpää. Download ei itsessään vaikuta tarvittavan vaimennuksen määrään, mutta sillä on suuri vaikutus vaadittavaan joustojäykkyyteen, mikä muuttaa vaimennuksen määrän tarvetta.

Koska harrastetasolla sekä pito on heikompi että download on pienempi, voidaan harrastetasolla käyttää pienempää joustojäykkyyttä pidon optimoimiseksi. Pie-

nempi joustojäykkyys vaatii myös vähemmän vaimennusta. Pienempi vaimennuksen määrä ei kuitenkaan muuta vaimentimelta vaadittuja ominaisuuksia, koska myös pienen jousijäykkyyden autoissa vaimentimen tulisi reagoida mahdollisimman nopeasti.

### **6.3 Loppupäätelmä**

Kilpa-auton alustan rakentaminen ja säätäminen on hyvin monesta asiasta koostuva kokonaisuus, jossa iskunvaimennus on vain yhtenä osana. Tämä työ ei ole kaiken kattava säätöopas, josta löytyy vastaus kaikkiin mahdollisiin ongelmiin, joita iskunvaimennuksessa voi ilmetä, mutta se toivottavasti antaa ymmärrystä iskunvaimentimen toiminnasta ja edellytykset analysoida ongelmaa jotta ratkaisu siihen on mahdollista löytää. Tämä työ ei myöskään ole oikotie optimaaliseen säätöön, sillä vaimennuksen muuttamisella ei saavuteta mitään hyötyä, ellei kuljettaja osaa auton mahdollistamaa pitotasoa hyödyntää ja toistaa ajosuoritusta samanlaisena kerta toisensa jälkeen.

Oli kuljettaja ja auto millä tasolla hyvänsä, tulisi itseään tai autoaan kehittävän kuljettajan aina pitää huoli siitä, että hän viettää mahdollisimman paljon tehokasta harjoittelu- tai testiaikaa kilpa-autonsa ohjaimissa.

## LÄHTEET

- Dixon, J. C. 2007. The Shock Absorber Handbook. 2. p. West Sussex: John Wiley & Sons Ltd.
- Fey, B. 23.6.2009. Springs, Part 1. [Blogimerkintä]. [Viitattu 13.5.2013]. Saatavana: <http://buddyfey.blogspot.fi/2009/06/springs-vol-1.html>
- Mauno, E. 2006. Virittäjän käsikirja 2, alusta. 3. p. Helsinki: Alfamer Oy.
- Milliken, W. F. & Milliken, D. L. 1995. Race Car Vehicle Dynamics. Warrendale, PA: Society of Automotive Engineers, Inc.
- Puhn, F. 1976. How to Make Your Car Handle. Tucson: H. P. Books.
- Roberts, N. Ei päiväystä. Shock Tuning. [Verkkosivu]. Smithees Race Car Technologies. [Viitattu 13.5.2013]. Saatavana: <http://www.ozebiz.com.au/racetech/theory/shocktune1.html>
- Smith, C. 1996. Drive to Win. Rolling Hills Estates, CA: Carroll Smith Consulting, Inc.
- Weitzenhof, D. 19.4.2005. Suspension and Handling: Basic Suspension and Setup Principles. [Verkojulkaisu]. [Viitattu 13.5.2013]. Saatavana: <http://www.formulafordbc.com/wp-content/uploads/2011/11/Weitzenhof-Basic-Suspension-and-Setup-Principles-2005.pdf>
- Zuijdijk, J. 2009. Vehicle Dynamics and Damping. Central Milton Keynes: Author-House.