

Veeti Rossi

# ISKUNVAIMENNUKSEN MERKITYS KILPA- AUTOSSA SORAPINTAISELLA ALUSTALLA

Kandidaatintyö  
Tekniikan ja luonnontieteiden tiedekunta  
Tarkastaja: Asko Ellman  
Huhtikuu 2024

# TIIVISTELMÄ

Veeti Rossi: Iskunvaimennuksen merkitys kilpa-autossa sorapintaisella alustalla  
Kandidaatintyö  
Tampereen yliopisto  
Konetekniikka  
Huhtikuu 2024

---

Auton hallittavuuden ja ajomukavuuden saavuttamiseksi ovat jousitus ja iskunvaimennus välttämättömiä komponentteja. Jousituksen tehtävänä on mahdollistaa auton korin värähtely suhteessa renkasiin ja iskunvaimennuksen tehtävä on pitää tämä värähtely hallittuna. Kilpa-autoilussa auto viedään ajo-ominaisuuksiensa äärirajalle, jolloin jousituksen ja iskunvaimennuksen merkitykset korostuvat. Tämän kirjallisuuskatsauksen tavoitteena on muodostaa lukijalle kuva, millaisia ominaisuuksia kilpauskunvaimentimilta vaaditaan, miten niitä voidaan säätää ja miten nämä säädöt tulisi optimoida sorapintaista alustaa varten.

Tutkielmassa käsitellään aihetta kolmessa osassa. Ensimmäisessä osassa tutustutaan iskunvaimentimien rakenteeseen, tehtävään ja toimintatapaan yleisellä tasolla. Toisessa osassa paneudutaan, miten kilpauskunvaimennus eroaa tavallisesta iskunvaimennuksesta. Lisäksi toisessa osassa kerrotaan, mitä erilaisia säätömahdollisuuksia kilpauskunvaimentimista tyypillisesti löytyy ja miten ne ovat teknisesti toteutettu. Kolmannessa osassa syvennytään iskunvaimentimien käyttöön sorapintaisella alustalla ajettavissa kilpailuissa, eli ralleissa. Aluksi käydään läpi mitä erityisominaisuuksia sorapintainen alusta ja ralli vaativat, jonka jälkeen paneudutaan siihen, miten säädettävät iskunvaimentimet pitäisi säätää rallia varten.

Säädettävistä kilpauskunvaimentimista löytyy tyypillisesti yhdestä neljään säädettävää ominaisuutta. Nämä ovat iskunvaimentimen hitaan nopeusalueen sisään- ja ulosjouston vaimennuksen säädöt sekä nopean alueen sisään- ja ulosjouston vaimennuksen säädöt. Suurin osa nykyään käytössä olevista iskunvaimentimista perustuu nesteen tilavuusvirran rajoittamiseen. Kilpauskunvaimentimissa säädöt toteutetaan muuttamalla nesteen virtausta halutulla nopeusalueella ja haluttuun suuntaan.

Tutkielmassa päädyttiin tulokseen, että iskunvaimentimien säätöön ei ole yhtä oikeaa ratkaisua. Lisäksi jousien tyypillä on suuri merkitys kilpa-auton alustakokonaisuuden toimintaan. Yleisesti rallissa kannattaa kuitenkin käyttää mahdollisimman pitkällä liikematkalla toimivia iskunvaimentimia sekä jousia. Lisäksi pääsääntönä voidaan pitää, että hitaan alueen sisään- ja ulosjouston vaimennus tulee olla pienempi ja nopean alueen sisään- ja ulosjouston vaimennus suurempi. Tällöin ralliauto pääsee kallistumaan enemmän, jolloin saavutetaan painonsiirron myötä parempi pito niille renkaille, jossa pidosta on sillä hetkellä eniten hyötyä. Nopean alueen vaimennus puolestaan varmistaa auton hallittavuuden ylitettäessä tien epätasaisuuksia.

Avainsanat: iskunvaimennus, kilpa-autoilu, säädettävät iskunvaimentimet, ralli

Tämän julkaisun alkuperäisyys on tarkastettu Turnitin Originality Check -ohjelmalla.

# SISÄLLYSLUETTELO

1. JOHDANTO .....	1
2. ISKUNVAIMENNUKSEN TEHTÄVÄ JA RAKENNE .....	2
2.1 Iskunvaimennuksen merkitys .....	2
2.2 Kaksiputkinen iskunvaimennin .....	4
2.3 Yksiputkinen iskunvaimennin .....	5
3. ISKUNVAIMENNUS KILPA-AUTOSSA .....	7
3.1 Kilpaskunvaimennuksen erityispiirteet .....	7
3.2 Kilpaskunvaimentimien säätömahdollisuudet .....	8
4. ISKUNVAIMENNUS RALLIAUTOSSA .....	11
4.1 Ralliauton iskunvaimennuksen ominaisuudet .....	11
4.2 Iskunvaimentimien säätäminen rallikäyttöön .....	12
5. YHTEENVETO .....	15
LÄHTEET .....	17

## LYHENTEET JA MERKINNÄT

$C$	iskunvaimentimen vaimennuskerroin
$K$	jousivakio
$m$	auton jousitetun osan massa
$\zeta$	vaimennussuhde

# 1. JOHDANTO

Ajoradan pinnan epätasaisuudet sekä auton liikkeestä aiheutuvat kiihtyvyydet saavat auton korin heilahtelemaan. Matkustusmukavuutta ja ajoturvallisuutta parannetaan asentamalla autoon jousitus. Jousitus tarvitsee kuitenkin rinnalleen heilahduksen- eli iskunvaimentimet, jotta auton kori ei jäisi värähtelemään hallitsemattomasti. (Dixon 2007, s. 63)

Kilpa-autossa iskunvaimennus on yhtä tärkeä kuin normaaliin tieliikenteeseen tarkoitettussa autossa. Kilpa-auton iskunvaimennuksessa kuitenkin painotetaan eri ominaisuuksia kuin tieliikenteessä. Kilpa-autoilussa on yleisesti tavoitteena ajaa autolla mahdollisimman kovaa säilyttäen kuitenkin auton hallinta. Tämä on mahdollista, kun auton renkaat säilyttävät hyvän tiekosketuksen. Hyvä tiekosketus saadaan aikaan tarkkaan suunnitellulla alustageometrian, jousituksen sekä iskunvaimennuksen muodostamalla kokonaisuudella. (Costin & Phipps 1965, s. 56)

Tässä työssä paneudutaan kilpaiskunvaimentimiin, jotka eroavat käyttötarkoitukseltaan ja ominaisuuksiltaan jonkin verran tavallisen henkilöauton iskunvaimentimista. Tarkastelussa on erityisesti kilpaiskunvaimentimet, jotka on tarkoitettu sorapintaisella alustalla ajettaviin kilpailuihin eli ralleihin. Tavoitteena on selvittää aihetta seuraavien tutkimuskysymysten kautta: millaisia ominaisuuksia ralliauton iskunvaimentimilta vaaditaan ja miten nämä erikoisiskunvaimentimet kannattaa säätää, jotta saavutetaan parhaat mahdolliset ajo-ominaisuudet. Aiheesta löytyy varsin vähän tietoa suomeksi, joten tavoitteena on luoda samalla perustiedot sisältävä ja käyttökelpoinen kooste rallin harrastajille.

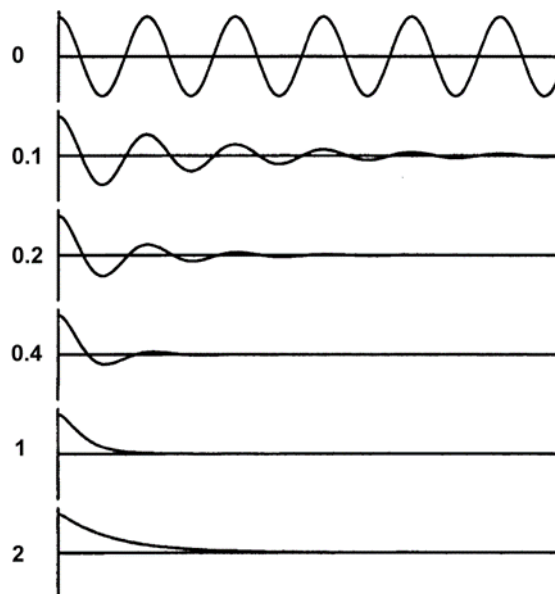
Tutkielman luvussa 2 esitellään karkealla tasolla iskunvaimentimien tyypilliset rakenteet sekä merkitys auton alustakokonaisuudessa. Luvussa 3 paneudutaan siihen, miten kilpaiskunvaimennus eroaa tieliikenteeseen tarkoitettusta iskunvaimennuksesta sekä mitä erityisominaisuuksia kilpaiskunvaimennukselta vaaditaan. Kolmannessa luvussa käsitellään myös kilpaiskunvaimentimien yleisiä säätömahdollisuuksia. Luvussa 4 käsitellään, millaisia ominaisuuksia ralliauton iskunvaimennukselta vaaditaan ja miten eri säädöt vaikuttavat ralliauton ajettavuuteen.

## 2. ISKUNVAIMENNUKSEN TEHTÄVÄ JA RAKENNE

### 2.1 Iskunvaimennuksen merkitys

Auton jousitus koostuu jousista ja heilahduksen- eli iskunvaimentimista. Jousituksen tärkein tehtävä on lievittää ajoradan epätasaisuuksien aiheuttamia auton korin värähtelyitä. Vaimentamalla värähtelyä voidaan parantaa matkustajien matkustusmukavuutta, auton ajettavuutta sekä vähentää auton koriin kohdistuvia rasituksia (Juurikkala 1981, s. 445). Matkustusmukavuuden ja ajettavuuden optimoiminen samanaikaisesti on hankalaa, joten yleensä molempien osalta tehdään jonkinlainen kompromissi. Lisäksi vaikka auton korin liikkeet voidaanakin mitata tarkasti, on ajomukavuus ja ajettavuus aina yksilökohtainen kokemus ja mieltymys. (Dixon 2007, s. 67)

Jousen painuessa kokoon ajoradan epätasaisuuksien takia varastoituu jouseen energiaa. Tämä energia pääsee purkautumaan, kun jouseen vaikuttava voima loppuu. Purkautuva energia saa jousen värähtelemään jaksoittain, mikä aiheuttaa myös auton korin värähtelyä. Vaimentamattomana tämä värähtely jatkuu niin pitkään kuin jousen sisäinen kitka ja ulkopuoliset värähtelyä vastustavat voimat sen sallivat. (Juurikkala 1981, s. 454) Tämän takia jousen rinnalle asennetaan iskunvaimennin, jonka tehtävänä on rajoittaa jousen värähtelyä.



**Kuva 1.** Lineaarisesti vaimennettu vapaa värähtely eri vaimennussuhteilla (Dixon 2007, s. 64).

Kuvassa 1 on esitetty systeemin, eli tässä tapauksessa auton jousituksen, vapaata värähtelyä, jota on vaimennettu lineaarisella vaimentimella. Eri kuvaajat kuvaavat eri vaimennussuhdetta. Vaimennussuhde  $\zeta$  on laskettu kaavalla

$$\zeta = \frac{C}{2\sqrt{Km}}, \quad (1)$$

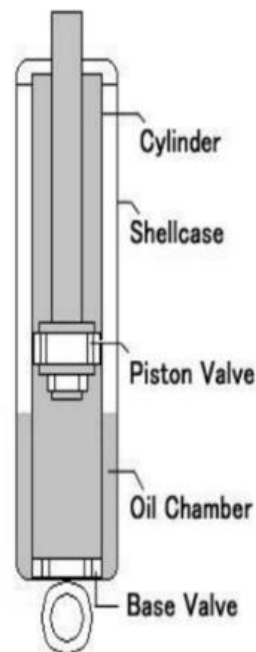
jossa muuttuja  $C$  on vaimentimen vaimennuskerroin. Vaimentimen rinnalla olevan jousen jousivakio on  $K$  ja  $m$  on jousitetun osuuden massa. Vaimennussuhteen ollessa 0, värähtelee systeemi jaksoittain, eli siihen ei kohdistu värähtelyä vaimentavaa voimaa. Kun vaimennussuhde on 1, on värähtely kriittisesti vaimennettu. (Dixon 2007, s. 67) Käytännössä kriittinen vaimennus auton jousituksessa tarkoittaa, että pyörä palautuu liikkeestään suoraan alkuperäiselle paikalleen eikä tee ylimääräisiä jaksottaisia liikkeitä.

Guiggianin (2014, s. 247) mukaan matkustajakäytössä iskunvaimennuksen tavoitteena on yleensä minimoida auton jousitetun osan, eli auton korin, värähtelyn amplitudi. Käytännössä tämä tarkoittaa, että matkustajien kokema liike pyritään minimoimaan, jolloin autossa on mukava matkustaa. Kilpa-autossa puolestaan minimoidaan värähtelevän osan, eli renkaan ja pyöräntuennan amplitudi, jotta renkaalla saavutetaan paras mahdollinen tiekosketus ja siten paras pito (Guiggiani 2014, s. 247). Tyypillinen vaimennussuhde henkilöautolle on noin 0,3. Tällöin värähtely on alivaimennettua, jolloin autossa on mukavampi matkustaa. Kilpa-autoissa puolestaan vaimennussuhde on lähempänä arvoa 1. (Dixon 2007, s. 67) Täytyy kuitenkin muistaa, että yleisesti päteviä vaimennussuhteen arvoja ei voida määrittää, sillä vaimennuksen tarve vaihtelee aina auto- ja tarvekohtaisesti. Dixonin (2007, s. 67) mukaan teoreettisesti paras matkustusmukavuus saavutetaan suurin piirtein arvolla 0,2 ja parhaat ajo-ominaisuudet puolestaan arvolla 0,8.

Yleisin käytössä oleva vaimennintyyppi on nestevaimennin, jonka ominaisuudet perustuvat nesteeseen, eli yleensä öljyn, tilavuusvirran rajoittamiseen. Iskunvaimentimen puristuksessa vaimentimen sisällä oleva neste ohjataan pienten reikien läpi, jolloin virtausvastus rajoittaa vaimentimen liikettä. Iskunvaimentimessa pätee normaalit virtausdynamiikan lait eli hitaassa liikkeessä virtausvastus on pieni ja nopeassa liikkeessä suuri. Rakenteeltaan nestevaimennin on yleensä putkivaimennin, jossa vaimennin on kytketty suoraan auton korin ja tukivarren tai akselin väliin. Putkivaimentimen päätyypit ovat kaksiputkinen ja yksiputkinen vaimennin. (Juurikkala 1981, s. 456) Nämä vaimennintyyppit esitellään tarkemmin seuraavissa alaluvuissa.

## 2.2 Kaksiputkinen iskunvaimennin

Kaksiputkinen iskunvaimennin koostuu kahdesta sisäkkäisestä putkesta ja sisemmän putken sisällä liikkuvasta männästä. Sisempi putki on kokonaan täytetty vaimennusnesteellä ja se on suljettu pohjasta kaksisuuntaisella venttiilillä. Sisä- ja ulkoputken välinen tila on täytetty myös vaimennusnesteellä, mutta vain osittain. Kaksiputkisen iskunvaimentimen rakenne on esitetty kuvassa 2, jossa iskunvaimentimessa olevaa nestettä on kuvattu harmaalla värillä. Männän liikkuessa putkessa, siirtyy männässä olevien venttiilien ja reikien kautta nestettä männän alapuolelta yläpuolelle. Alaspäin painuessaan myös männänvarsi syrjäyttää tilavuutensa verran nestettä. Tämä neste ohjataan pohjaventtiiliin kautta paisuntatilaan, jotta nesteen paine ei kasvaisi. Vastaavasti männän noustessa takaisin ylöspäin, neste virtaa takaisin sisemmän putken alaosaan ja männän venttiilit päästävät nestettä männän yläpuolelta alapuolelle. (Juurikkala 1981, s.456)



**Kuva 2.** Tyypillisen kaksiputkisen iskunvaimentimen rakenne (Buczowski, D. & Nowak, G.).

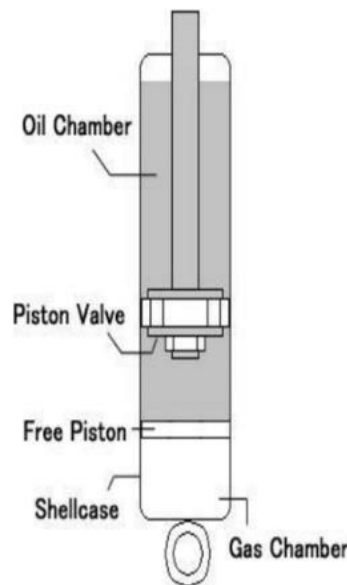
Kaksiputkisen vaimentimen ehdoton hyvä puoli on sen lyhyt pituus. Tämä mahdollistaa vaimentimen asentamisen matalaan tilaan. Lisäksi kaksiputkinen vaimennin on yksinkertainen valmistaa, jolloin sen hinta pysyy myös kohtuullisena. (Juurikkala 1981, s. 456) Kaksiputkisen vaimentimen huonoina puolina voidaan Juurikkalan (1981, s. 456) mukaan pitää vaimentimen tarkkaa asentovaatimusta, hankalasti purettavaa rakennetta sekä nesteen voimakasta lämpenemistä kovassa käytössä. Kaksiputkinen vaimennin vaatii asennuksen pystysuoraan, koska vaimentimen ollessa liian vinossa pääsee pohjaventtiiliin kautta ilmaa vaimentimen sisään, joka vaahtouttaa vaimentimessa olevaa



nestettä ja huonontaa siten vaimennusominaisuuksia. Nesteen vaahtoutuminen voi tapahtua kaksiputkisessa vaimentimessa myös, jos sitä ravistetaan voimakkaasti. Ulomassa putkessa nestettä ja kaasua ei ole yleensä erotettu toisistaan, joten voimakkaassa liikkeessä ne pääsevät sekoittumaan keskenään. (Juurikkala 1981, s. 456)

### 2.3 Yksiputkinen iskuvaimennin

Yksiputkinen iskuvaimennin, toiselta nimeltään kaasunpainevaimennin, perustuu myös nesteen virtaamisen rajoittamiseen. Kaksiputkisesta vaimentimesta eroten, yksiputkisessa vaimentimessa on nimensä mukaisesti vain yksi putki, jossa mäntä liikkuu ja joka on täytetty kokonaan nesteellä. Nesteen lisäksi yksiputkisen vaimentimen päässä on myös tila, jossa on paineistettua kaasua. Tämä tila on erotettu nesteestä putkessa vapaasti liikkuvalla jakomännällä. Yksiputkisen iskuvaimentimen rakenne on esitetty kuvassa 3. Kaasun tehtävä on tasoittaa männänvarren ja nesteen lämpenemisen aiheuttamia tilavuudenmuutoksia. (Juurikkala 1981, s. 457)



**Kuva 3.** Tyypillisen yksiputkisen iskuvaimentimen rakenne (Buczowski, D. & Nowak, G. 2019).

Kaasutiiveysvaatimuksen ja kaasun paineistuksen takia yksiputkinen vaimennin on kaksiputkista vaimenninta kalliimpi valmistaa, mutta kaasunpainevaimennin voidaan asentaa mihin tahansa asentoon (Juurikkala 1981, s. 457). Yksiputkisessa vaimentimessa kavitaation ja kiehumisen riski on huomattavasti kaksiputkista vaimenninta pienempi, koska yksiputkisessa vaimentimessa kaasu ja neste eivät ole kosketuksessa toisiinsa ja neste on aina paineen alaisena (Smith 1996, s. 132). Yksiputkinen vaimennin vaatii autossa kaksiputkista vaimenninta korkeamman tilan, sillä kaasu tarvitsee tilansa vaimen-

timessa. Pituutta voidaan kuitenkin pienentää käyttämällä iskunvaimentimen rinnalla lisäsäiliötä, jossa jakomäntä ja kaasun sijaitsevat. Lisäsäiliön etuna on myös kasvanut nesteen ja kaasun tilavuus. (Smith 1996, s. 133) Yksiputkisessa vaimentimessa tulee lisäksi muistaa, että paineistuksen takia mäntä pyrkii painumaan ulospäin, eli aiheuttaa iskunvaimentimeen esijännityksen (Juurikkala 1981, s. 457). Esijännitys vastaa käytännössä jousituksessa käytettävää apujousta ja tulee huomioida optimaalista jousituskokonaisuutta suunniteltaessa.

## 3. ISKUNVAIMENNUS KILPA-AUTOSSA

### 3.1 Kilpa-iskunvaimennuksen erityispiirteet

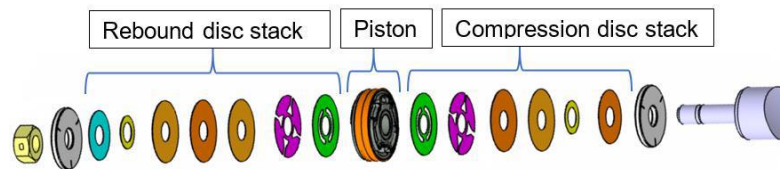
Kuten tavallisessa henkilöautossa, on myös kilpa-autossa erityisen tärkeää, että kaikki renkaat säilyttävät tiekosketuksen mahdollisimman hyvin. Kilpa-autossa olisi tärkeää, että varsinkin ulkokaarten puoleiset renkaat pysyisivät mahdollisimman kohtisuorassa tienpintaan nähden, jolloin renkaalla on suurin mahdollinen kosketuspinta-ala tiehen. (Costin & Phipps 1965, s. 56) Auton paino siirtyy kaartavan liikkeen kiihtyvyyden takia aina ulkokaarten puoleisille renkaille, jolloin niiden merkitys on paljon suurempi kuin sisäkaarten puoleisilla pyörillä. Yleisesti jäykempi alusta vähentää auton korin kallisteluja ja parantaa siten auton hallittavuutta tasaisella alustalla. Kuitenkin jäykkä alusta aiheuttaa tien epätasaisuuksien takia hetkellisiä tiekosketuksen menetyksiä. Täten myös kilpa-autossa on tehtävä tien pinnan luonteen mukaan kompromissi alustan jäykkyyden suhteen. Iskunvaimennuksella pystytään hallitsemaan korin kallisteluja säilyttäen samalla hieman pehmeämpi jousitus. (Costin & Phipps 1965, s. 67) Kilpa-autossa iskunvaimennukselta haetaan erityisesti hyviä ajo-ominaisuuksia, mutta ajomukavuutta ei voida täysin sivuuttaa. Dixonin (2007, s. 290) mukaan erityisesti pidemmissä kilpailuissa huono ajomukavuus kuormittaa turhaan kuljettajaa ja siten huonontaa kuljettajan suorituskykyä.

Kilpa-autossa iskunvaimentimet ovat huomattavasti kovemmassa käytössä kuin tavallisessa henkilöautossa. Suuremman nopeuden takia autoon kohdistuu suurempia kiihtyvyysoimia ja jousitus liikkuu enemmän. Myös tienpinnan epätasaisuudet kohdataan suuremmalla nopeudella, jolloin niiden vaikutus korostuu. Koska iskunvaimennin rajoittaa jousen liikkeen hallitukseksi, muuttuu jousen kineettinen energia iskunvaimentimessa lämmöksi. (Smith 1978, s. 74) Näin ollen kilpakäytössä tulee huomioida, etteivät iskunvaimentimet pääse kuumentamaan liikaa. Smith (1978, s. 76) kertoo kuumentamisen aiheuttavan iskunvaimentimen öljyn viskositeetin laskua sekä riskin öljyn kiehumiselle. Molemmat ilmiöt huonontavat iskunvaimentimen vaimennusominaisuuksia ja siten auton ajo-ominaisuuksia. Iskunvaimentimen kuumentamista voidaan ehkäistä lisäämällä öljyn tilavuutta, eli lisäämällä iskunvaimentimen rinnalle ulkoinen säiliö lisänestettä varten. Tällaisia iskunvaimentimia kutsutaan lisäsäiliöllisiksi iskunvaimentimiksi ja ne ovat nykyisin kilpa-autoissa yleisesti käytettyjä (Smith 1996, s. 133). Erityisesti yksiputkisen vaimentimen yhteydessä lisäsäiliö on käytetty ratkaisu, koska paremman jäähtyvyyden lisäksi yksiputkisen iskunvaimentimen liikematkaa saadaan pienennettyä ja kaasuntilavuutta lisättyä lisäsäiliön avulla. Yksiputkisen vaimentimen etuna kilpakäytössä on myös

samankokoiseen kaksiputkiseen vaimentimeen verrattuna suurempi männän pinta-ala, jolla saavutetaan herkemmin reagoiva vaimennin ja tarkemmat säätömahdollisuudet (Smith 1996, s. 134). Kaasun tilavuuden kasvattaminen parantaa iskunvaimentimen herkkyyttä ja vähentää pintakovuutta (Guiggiani 2014, s. 248). Käytännössä lisäsäiliön tilavuudesta noin puolet on öljyä ja puolet kaasua. Toinen vaihtoehto, jolla iskunvaimentimen kuumenemistä voidaan ehkäistä, on ohjata ilmavirta kulkemaan iskunvaimentimen tai sen lisäsäiliön ohi mahdollisimman tehokkaasti. Tällöin lämpö siirtyy iskunvaimentimesta ohi virtaavaan ilmaan. (Smith 1978, s. 76)

### 3.2 Kilpauskunvaimentimien säätömahdollisuudet

Säädettävissä iskunvaimentimissa öljyn virtaamista ohjataan säädettävillä venttiileillä, männän reikiä muuttamalla sekä männän molemmin puolin asetettavilla säätölevyillä eli shimmilevyillä. Shimmilevyjä on tyypillisesti useampia päällekkäin ja ne toimivat venttiilinä. Neste ei pääse kulkemaan shimmilevyjen ohi ilman paine-eroa. Iskunvaimentimen lähtiessä liikkumaan, paine-ero taivuttaa ohuita shimmilevyjä, jolloin neste pääsee kulkemaan niiden ohi rajoitetusti. Kuvassa 4 on havainnollistettu iskunvaimentimen shimmilevyjä sekä eroteltu ulosjouston (rebound) ja sisäänjouston (compression) shimmilevyypakat. Shimmilevyjen lisäksi öljyn virtaamista voidaan hallita kaksiputkisessa vaimentimessa pohjaventtiilillä tai lisäsäiliöllisessä yksiputkisessa vaimentimessa iskunvaimentimen ja lisäsäiliön välissä olevalla säätöventtiilillä. (Buckzkowski & Nowak 2019)



**Kuva 4.** Räjätyskuva iskunvaimentimen shimmilevyistä (Buczowski, D. & Nowak, G. 2019).

Tyypillisiä säätömahdollisuuksia iskunvaimentimessa on yhdestä neljään. Jos iskunvaimentimessa on vain yksi säätö, voidaan sillä säätää yleensä nopean alueen ulosjouston vaimennusta (eng. high speed rebound). (Maniowski 2014) Käytännössä tämä säätö määrittää kuinka paljon iskunvaimennin rajoittaa jousen palautumista nopean iskun jälkeen. Muita säädettäviä ominaisuuksia iskunvaimentimissa edellä mainitun lisäksi ovat yleisesti hitaan alueen ulosjouston vaimennus (eng. low speed rebound) sekä hitaan ja nopean alueen sisäänjouston vaimennus (eng. high/low speed compression). Teknisesti on mahdollista saavuttaa myös enemmän säätömahdollisuuksia, mutta tyypilliseen kil-

pakäyttöön nämä neljäkin luovat jo riittävät säätömahdollisuudet. (Maniowski 2014) Säädot voidaan toteuttaa purkamalla iskunvaimennin ja muuttamalla männän reiitystä sekä shimmilevyjä tai ulkoisilla säädöillä (Dixon 2007, s. 294). Varsinkin arvokkaammat kilpaskunvaimentimet ovat yleensä varustettuja ulkoisilla säädöillä, jolloin säätöjen muuttaminen on mahdollista huomattavasti nopeammin. Tulee kuitenkin huomioida, että kaikkia ominaisuuksia ei voida säätää ulkoisesti. Ulkoisesti säädettävissä iskunvaimentimissa pystytään tyypillisesti säätämään shimmilevypakan esijännitystä tai tehollista pinta-alaa (Smith 1996, s. 134).

Kun iskunvaimenninta lähdetään säätämään, täytyy ensin tietää mihin säätö vaikuttaa (Dixon 2007, s. 337). Öljyn virtaaminen ja siten vaimennuksen voimakkuus säädetään tyypillisesti männän reiillä sekä shimmilevyillä. Shimmilevyjä on useita erilaisia päällekkäin ja ne voivat olla erilaisia männän molemmin puolin (kuva 4). Tällöin saadaan tehtyä erilaiset ominaisuudet sisään- ja ulosjouston vaimennukselle. Vierekkäisiä reikiä tekemällä saadaan kasvatettua nesteen virtausnopeutta kaikilla paine-eroilla, eli sekä iskunvaimentimen nopeissa että hitaissa liikkeissä. Tämä menetelmä vaikuttaa kuitenkin suhteessa enemmän hitailla nopeuksilla, jolloin on mahdollisuus, että vaimennus hitailla nopeuksilla muuttuu jopa liian alhaiseksi. Toinen tapa muuttaa nesteen virtausta, on tehdä reikiä sarjaan eri shimmilevyihin ja mäntään. Tällä tavoin saadaan muutettua erityisesti iskunvaimentimen keskinopeita ja nopeita liikealueita. Nämä kaksi menetelmää ovat varsin helposti säädettävissä muuttamalla shimmilevyjen asentoja toisiinsa nähden ja siksi monesti reikien rinnakkain asettelu sekä sarjoitus yhdistetään säätömenetelmänä. Myös reikien kokonaispinta-alalla on merkitystä. Tämä merkitys korostuu erityisesti nopeimmissa liikkeissä. Lisäksi shimmilevyissä vaikuttava tekijä on niiden avautumispaine eli esijännitys ja avautumisen myötä muodostuva tehollinen pinta-ala, josta neste pääsee virtaamaan. (Dixon 2007, s. 294) Avautumispaineeseen vaikuttaa shimmilevyn paksuus sekä sen materiaali.

Kilpakäytössä olevat säädettävät iskunvaimentimet ovat pääosin yksiputkisia vaimentimia, jotka on varustettu lisäsäiliöllä. Tällöin luonnollisesti myös kaasun paineella on merkitystä iskunvaimentimen ominaisuuksiin. Kaasun paineen kasvattaminen pienentää kavitaation riskiä, mutta lisää iskunvaimentimen esijännitystä. Tämän takia yleensä käytetään alhaisinta painetta, jolla kavitaatio voidaan vielä välttää. Tällöin kaasun paine ei vastusta liikaa männän liikettä eikä vähennä iskunvaimentimen liikkeen herkkyyttä. Teoriassa iskunvaimentimen kaasun paineella voitaisiin vaikuttaa koko jousituksen esijännitykseen vaihtamatta jousia. Tämä on kuitenkin yleensä huonompi vaihtoehto kuin jousien vaihtaminen, koska iskunvaimentimen muut ominaisuudet huononevat painetta kasvattamalla. (Smith 1996, s. 135)

Iskunvaimentimien säädön tavoitteena on saavuttaa riittävä vaimennus, jotta renkaat palauttavat tiekosketuksen minimaalisella heilahtelulla ja auton jousitettumassa värähtelee mahdollisimman vähän. Vaimennusta ei saa kuitenkaan olla liikaa, koska silloin menetetään jousituksen herkkyys ja renkaiden pito heikkenee. Liian vähäinen vaimennus puolestaan mahdollistaa auton korin suuremmat kallistelut, joka tekee autosta levottoman tuntuisen ja hankalemmin hallittavan. (Smith 1978, s. 76)

## 4. ISKUNVAIMENNUS RALLIAUTOSSA

### 4.1 Ralliauton iskunvaimennuksen ominaisuudet

Ralli on autourheilumuoto, jossa tavoitteena on ajaa ennalta määrätty tyypillisesti sora-, lumi- tai asfalttipintainen tieosuus, eli erikoiskoe, mahdollisimman lyhyessä ajassa. Rallikilpailu koostuu myös erikoiskokeiden välissä ajettavista siirtymäosuuksista, joilla noudatetaan normaaleja tieliikennesääntöjä. Ralliauton tulee siis olla paitsi nopea erikoiskokeella myös turvallinen normaalissa liikenteessä. Asfaltilla ajettavilla erikoiskokeilla iskunvaimennukselta vaaditaan samantyyllisiä ominaisuuksia kuin rata-ajossa. Vastavasti soralla ja lumella vaadittavat ominaisuudet ovat varsin lähellä toisiaan. Tässä työssä keskitytään erityisesti sorapinnan vaatimiin ominaisuuksiin kirjoittajan oman harrastuneisuuden ja mielenkiinnon vuoksi.

Sorapintaisella alustalla pätevät samat lainalaisuudet kuin tasaisella kestopinnoitteella, mutta sorapinta luo omat erityispiirteensä iskunvaimennukselle. Rallissa tiessä on runsaasti suurella nopeudella kohdattavia epätasaisuuksia, jotka vähentävät tai jopa irrottavat renkaan tiekosketuksen. Tämän takia rallissa on ensiarvoisen tärkeää suunnitella iskunvaimennus niin, että tiekosketus säilyisi mahdollisimman hyvin epätasaisuuksista huolimatta (Guiggiani 2014, s. 248). Suurempien epätasaisuuksien ja tiehen muodostuvien ajourien takia ralliauton maavaran tulee olla suurempi kuin esimerkiksi rata-autossa. Suurempi maavara toteutetaan pidemmällä jousilla, jolloin iskunvaimentimenkin tulee olla pidempi ja toimia laajemmalla liikematkalla.

Kuten kilpa-autoilussa muutenkin, erityisesti epätasaisella pinnalla kovassa nopeudessa auton kaikki rakenteet kokevat suurempia voimia kuin normaalissa henkilöautossa. Iskunvaimentimen vaimennusominaisuuksien lisäksi olisi tärkeää mitoittaa vaimentimen rakenne kestäämään nämä suuremmat voimat. Lisäksi huoltamisen ja ylläpidon merkitys korostuu rallikäytössä. Esimerkiksi tehdasvalmisteisen Skoda Fabia R5 -ralliauton esitteessä suositeltu iskunvaimentimien huoltoväli on vain 750 erikoiskoekilometriä (Skoda Motorsport 2018). Hyvistä vaimennusominaisuuksista tai viimeisen päälle säädetyistä iskunvaimentimesta ei ole hyötyä, jollei se kestä ehjänä kilpailun ajan.

Rallissa oman lisähaasteensa auton alustalle tuo suurella nopeudella ylitettävät isommat tien epätasaisuudet, eli niin sanotut hyyt ja nyppylät. Näissä tilanteissa ralliauto nousee osittain tai kokonaan ilmaan, jolloin rengas menettää tiekosketuksen. Iskunvaimennuksella on suuri merkitys, jotta hyytyn ylittäminen voidaan tehdä nopeasti ja turvallisesti. Maniowski (2011) nimeää kolme hyytyssä maksiminopeutta rajoittavaa tekijää: auton

alustaan kohdistuvat voimat, kuljettajien kestävät voimat ja kiihtyvyydet sekä auton korin liian suuri kallistuminen.

## 4.2 Iskunvaimentimien säätäminen rallikäyttöön

Ralliauton iskunvaimentimien säätöön ei ole yhtä oikeaa ratkaisua ja monesti säätöprosessi sisältää paljon testikilometrejä kilpa-autolla (Maniowski 2014). Lisäksi säädöt ovat aina riippuvaisia auton muusta rakenteesta ja esimerkiksi massasta sekä kuljettajan mieltymyksistä. Maniowski (2014) huomauttaa myös, että iskunvaimennus ja jousitus ovat vahvasti liitoksissa toisiinsa, jolloin ralliauton säätämisessä tulisi kiinnittää iskunvaimennuksen lisäksi huomiota myös jousien tyyppiin.

Erilaisia iskunvaimentimien mittapenkkejä on ollut käytössä jo pitkän aikaa. Näissä laitteissa saadaan iskunvaimentimesta voima-nopeus-käyrä, joka helpottaa iskunvaimennuksen suunnittelua ennen ajettavia testejä. Näin voidaan säästää rahaa ja aikaa, kun tiedetään mitä kannattaa kokeilla ensimmäisenä. (Smith 1996, s. 133) Lisäksi nykyään edistyneen tietotekniikan ja ohjelmistojen ansiosta, voidaan tietokoneella mallintaa koko auto ja testata jousituksen ja iskunvaimennuksen toimintaa sen avulla. Tietokonemallinnuksen ja simuloinnin avulla saadaankin jo varsin tarkasti määritettyä optimaaliset jousituksen ja iskunvaimennuksen arvot eri tilanteisiin. (Maniowski 2011) Simulointi vaatii kuitenkin laadukkaat välineet ja teoreettista osaamista, joten tavallisella harrastajalla on harvoin resursseja sen toteuttamiseen. Tässä työssä ei sen takia keskitytä simulointiin, vaan perinteisimpiin keinoihin säätää kilpauskunvaimentimia.

Vastoin kuin rata-ajossa, rallissa auton korin kallistelu on tavoiteltu eikä vältetty asia. Korin kallistelun avulla saadaan siirrettyä auton painopistettä renkaille, joille halutaan eniten pitoa. Irtonaisella soralla ajettaessa painonsiirron merkitys korostuu, sillä rengas saadaan pureutumaan tienpintaan sitä paremmin mitä enemmän sille saadaan painoa. (Schofhauser 2021)

Perussääntönä iskunvaimentimien säätämisessä voidaan pitää, että ulosjouston vaimennuksen tulee olla suurempi kuin sisäänjouston vaimennuksen. Tämä johtuu siitä, että sisäänjouston vaimennus vaimentaa jousittamattoman massan, eli renkaan ja pyöräntuennan osien, liikettä. Ulosjouston vaimennus puolestaan vaimentaa jousitetun massan, eli auton koko muun korin, liikettä. Jousitettu massa on autossa huomattavasti suurempi, joten näin ollen myös vaimennuksen pitää olla tehokkaampi. (Smith 1978, s. 74)

Auton käyttäytymiseen ylitettäessä tien epätasaisuuksia vaikutetaan pääosin iskunvaimentimen nopean alueen säädöillä. Sisäänjouston vaimennus vaikuttaa jousen pu-



ristumisen ohella, siihen mitä auto ottaa vastaan epätasaisuuden. Ulosjouston vaimennus puolestaan vaikuttaa siihen, kuinka nopeasti jousin palautuu normaaliin asemaansa epätasaisuuden jälkeen. (Smith 1996, s. 136)

Auton kallisteluun ja painonsiirtoon vaikuttaa iskunvaimentimen sisään- ja ulosjouston säädöt hitaalla alueella (Smith 1996, s. 136). Näillä säädöillä saadaan toteutettua ralliauton hallittu painonsiirto. On kuitenkin muistettava, että painonsiirtoon ja auton kallisteluun vaikuttavat olennaisesti myös käytettävien jousien jäykkyys.

Auton etuakselilla on yleensä enemmän sisäänjouston vaimennusta, kuin taka-akselilla. Suurempi sisäänjouston vaimennus etuakselilla parantaa kuljettajan tuntumaa auton liikkeisiin, vähentää keulan painumista jarrutuksissa sekä helpottaa mutkaan kääntämistä. Taka-akselilla on yleensä puolestaan hieman etuakselia suurempi ulosjouston vaimennus, jolloin auton liikkeet ovat rauhallisempia ja helpommin hallittavissa. (Smith 1996, s. 136)

Epätasaisilla alustoilla, eli erityisesti rallissa, parhaat ominaisuudet saavutetaan tyypillisesti korottamalla ajokorkeutta, käyttämällä suurehkoa ulosjouston vaimennusta ja pienempää sisäänjouston vaimennusta (Smith 1996, s. 136). Rallissa epätasaisuuksia tulee jatkuvasti, joten jos käytetään liian jäykkää alustaa, menettäisivät renkaat tiekosketuksensa jatkuvasti. Siksi rallissa käytetään tyypillisesti hieman löysemppää jousitusta ja pienempää sisäänjouston hitaan alueen vaimennusta, jolloin ralliauto kulkee pehmeämmin epätasaisuuksien yli. Ulosjouston vaimennus pitää huolen, että epätasaisuuden jälkeen rengas saavuttaa tiekosketuksen mahdollisimman nopeasti ja hallitusti. Löysemmpi jousitus ja pienempi hitaan alueen sisäänjouston vaimennus mahdollistavat myös suuremman ralliauton painonsiirron. Sisäänjouston nopean alueen vaimennus vaikuttaa rallissa siihen, miten ralliauto laskeutuu hypyistä takaisin tien pintaa. Ulosjouston nopean alueen vaimennus vaikuttaa siihen, miten ralliauto lähtee hypystä. Jos ulosjouston vaimennus on liian pieni, pääsee jousen energia purkautumaan hallitsemattomasti, joka ponnistaa auton hyppyyn ja lisää turhaan hypyn korkeutta ja pituutta. Jos iskunvaimentimessa on riittävästi säätöjä, tulisi sisäänjouston nopean alueen vaimennus säätää selvästi suuremmaksi kuin sisäänjouston hitaan alueen vaimennus.

Iskunvaimentimia rallikäyttöön säädettäessä pääsääntönä voidaan pitää, että hitaan alueen sisään- ja ulosjouston vaimennus tulee olla pienempi ja nopean alueen sisään- ja ulosjouston vaimennus suurempi. Säätömahdollisuudet riippuvat suoraan siitä, montako säädettävää ominaisuutta käytettävässä iskunvaimentimessa on. Kuten jo useasti on todettu, on myös jousilla suuri merkitys ralliauton alustan toimintaan ja jousitus sekä iskunvaimennus pitäisikin suunnitella kokonaisuutena. Lisäksi on selvää, että yleisesti kaikille

autoille ja kuljettajille sopivia säätöjä ei ole olemassa. Optimaalisten säätöjen hakeminen vaatii aina testaamista ja uudelleen säätämistä, mutta testien kestoa voidaan lyhentää huomattavasti, jos tiedetään miten eri säädöt vaikuttavat auton käyttäytymiseen.

## 5. YHTEENVETO

Auton alustageometrian ohella ovat iskunvaimentimet ja jouset kriittisimmät komponentit, joilla saavutetaan autoon halutut ajo-ominaisuudet. Tavallisessa henkilöautossa painotetaan matkustusmukavuutta sekä turvallisuutta. Kilpa-autoilussa puolestaan tavoitteena on saavuttaa mahdollisimman hyvät ajo-ominaisuudet suurissa nopeuksissa. Näin ollen tavallisen henkilöauton ja kilpa-auton iskunvaimennukset eroavat jonkin verran toisistaan, vaikka perimmäinen toimintaperiaate molemmissa onkin sama.

Nykyään käytössä olevat iskunvaimentimet ovat pääosin nestevaimentimia, eli niiden toiminta perustuu iskunvaimentimessa olevan nesteen, yleensä öljyn, virtaamisen rajoittamiseen. Iskunvaimentimet pitävät jousien värähtelyn hallittuna, jolloin iskunvaimentimien pitää käsitellä myös jousista vapautuva liike-energia. Tämä energia siirtyy virtausta rajoitettaessa nesteen lämpöenergiaksi, joka puolestaan johtuu ohi virtaavaan ilmaan.

Kilpa-autossa iskunvaimentimiin kohdistuu huomattavasti enemmän voimia kuin tavallisessa henkilöautossa. Tämä pitää huomioida kilpaiskunvaimentimia suunniteltaessa, jotta ne kestäisivät koko kilpailun ajan. Iskunvaimentimet liikkuvat käytännössä koko ajan johonkin suuntaan, jolloin kilpa-autossa pitää erityisesti huolehtia, ettei iskunvaimentimen öljy pääse kuumenemaan liikaa. Kuumetessaan liikaa saattaa öljy alkaa kupliintumaan tai jopa kiehumään, jolloin öljyn sekaan muodostuu kaasukuplia, jotka huonontavat merkittävästi iskunvaimentimen vaimennusominaisuuksia.

Säädettävät kilpaiskunvaimentimet perustuvat nesteen virtausvastuksen muuttamiseen. Virtaukseen voidaan vaikuttaa muuttamalla iskunvaimentimen männän ja sen molemmin puolin olevien shimmilevyjen rakennetta ja asentoa toisiinsa nähden. Shimmilevyistä voidaan tehdä erilaiset männän eri puolille, jolloin saavutetaan erilaiset vaimennusominaisuudet sisään- ja ulosjoustolle. Suunnan lisäksi rakenteen ja asennon muutoksilla voidaan vaikuttaa siihen, onko muutoksen merkitys suurempi nopeissa vai hitaissa liikkeissä. Näin ollen säädettävässä iskunvaimentimessa on tyypillisesti yhdestä neljään säädettävää ominaisuutta. Edullisemmissä malleissa pystytään tyypillisesti säätämään vain nopean alueen paluuvaimennusta, kun taas arvokkaammissa malleissa voidaan säätää kaikkia neljää ominaisuutta erikseen.

Rallissa iskunvaimennukselta vaadittavat ominaisuudet poikkeavat tavallisesta henkilöautosta sekä rata-ajoon tarkoitettusta kilpa-autosta. Rallissa tien pinta on tyypillisesti liukasta irtosoraa eikä se ole läheskään niin tasainen kuin kestopinnoitettu tie. Jotta ralli-autolla voidaan edetä erikoiskoe mahdollisimman nopeasti, pitää renkailla saavuttaa

maksimaalinen pito. Rallissa tämä saavutetaan sallimalla auton kallistelu, jolloin auton paino siirtyy renkaalle, jossa sitä tarvitaan. Painonsiirto auttaa myös rengasta tunkeutumaan irtosoran läpi, jolloin tien pohjasta voidaan saavuttaa enemmän pitoa. Lisäksi iskunvaimentimien kestävyys merkitys korostuu rallissa, sillä tien epätasaisuudet kohdataan suurella nopeudella ja auto kokee jatkuvia voimia useisiin suuntiin.

Iskunvaimentimien säätäminen rallikäyttöön ei ole kovin yksinkertaista. Tässä tutkielmassa tultiin tulokseen, että yksiä kaikille autoille ja kuskeille soveltuvia säätöjä ei ole olemassa. Joitakin yhteneväisyyksiä kuitenkin löydettiin, jotka on hyvä pitää mielessä aloitettaessa iskunvaimennuksen säätäminen. Ralliautolta haluttu painonsiirtyminen saavutetaan käyttämällä hieman pienempää sisään- ja ulosjouston hitaan alueen vaimennusta. Tällöin iskunvaimennus ei rajoita auton kallistelua ja sitä voidaan hallita jousien valinnalla. Rallikäytössä nopean alueen vaimennus puolestaan pitäisi säätää hieman korkeammaksi, jotta tien epätasaisuudet voitaisiin ylittää hallitusti. Lisäksi nopean alueen vaimennus korostuu rallissa esiintyvien hyppyjen alastulossa.

Aiheen tutkimista voitaisiin jatkaa paneutumalla tiettyyn automalliin, jolloin tiedettäisiin tarkemmin esimerkiksi auton alustarakenne sekä massa. Tarkempien tietojen avulla voitaisiin iskunvaimentimien toimintaa mallintaa tietokoneen avulla. Mallinnuksen avulla voitaisiin määrittää varsin hyvin optimaaliset säädöt auton iskunvaimennukselle ja jousitukselle, jolloin ajettavia testejä tarvittaisiin vähemmän. Toisaalta aiheen tutkimista voitaisiin jatkaa myös paneutumalla tarkemmin säädettävien iskunvaimentimien rakenteeseen sekä säätöjen tekniseen toteutukseen.

# LÄHTEET

Buczowski, D. & Nowak, G. (2019). Increase in Tuning Ability of a Car Shock Absorber Valve using CFD. *Journal of Applied Fluid Mechanics*, Vol.12(6), pp.1847–1854. doi: 10.29252/jafm.12.06.29581

Costin, M. & Phipps, D. (1965). *Racing and sports car chassis design*. 2nd edition. Robert Bentley Inc. 147 p.

Dixon, J. (2007). *The Shock Absorber Handbook*. John Wiley & Sons Ltd, 2nd edition. 409 p.

Guiggiani, M. (2014). *The science of vehicle dynamics: Handling, braking, and ride of road and race cars* Springer Netherlands. (Vol. 9789401785334). 347 p. <https://doi.org/10.1007/978-94-017-8533-4>

Juurikkala, J. (1981). *Autotekniikan käsikirja. Autotekniikan perusteet*. Tammi, Helsinki. 672 s.

Maniowski, M. (2011). Optimization of spring-damper modules of rally car for fast passing over jump inducing bumps. *International Association of Vehicle System Dynamics*, Manchester.

Maniowski, M. (2014). Optimization of wheel suspension dampers in off-road rally car. *Proceedings of the Institute of Vehicles*, Vol.4(100).

Schofhauser, E. (2021). How to set up a rally car for gravel and asphalt. *Dirtfish*. Julkaistu 28.10.2021. Saatavissa (viitattu 5.3.2024): <https://dirtfish.com/learn/how-to/how-to-set-up-a-rally-car-for-gravel-and-asphalt/>

Skoda Motorsport (2018). *Skoda Fabia R5: Introduction to Specification and Pricing*. Julkaistu 1.6.2018. Saatavissa (viitattu 6.3.2024): [https://www.pietertsjoenracing.com/site/assets/files/1329/koda\\_fabia\\_r5.pdf](https://www.pietertsjoenracing.com/site/assets/files/1329/koda_fabia_r5.pdf)

Smith, C. (1978). *Tune to win*. Fallbrook: Aero Publishers. 169 p.

Smith, C. (1996). *Drive to win*. Carroll Smith Consulting, Inc. 208 p.