

Markus Räsänen

MAASTOPYÖRÄN JOUSTOKEULAN ISKUNVAIMENNUS

Tekniikan ja luonnontieteiden tiedekunta
Kandidaatintyö
Toukokuu 2019

TIIVISTELMÄ

Markus Räsänen: Maastopyörän joustokeulan iskunvaimennus
Kandidaatintyö
Tampereen yliopisto
Teknisten tieteiden kandidaatin tutkinto-ohjelma
Toukokuu 2019
Tarkastaja: Seppo Tikkanen

Maastopyörän iskunvaimennus vaimentaa maaston aiheuttamia nopeita iskuja ja vähentää poljinvoimasta aiheutuvaa matalataajuisia värähtelyä. Sen tarkoituksena on parantaa pyörän ajomukavuutta ja ohjattavuutta. Se sisältää puristus- ja paluupuolenvaimennuksen, joiden vaimennustasoa säädetään öljyn virtauksen kuristamisella.

Tämä työ on kirjallisuusselvitys, jossa käsitellään joustokeulan iskunvaimennuksen toteutusta ja rakennetta säätömekanismien avulla. Teoriataustatarkastelun jälkeen selvitetään iskunvaimennuksen yleiset toimintaperiaatteet puristus- ja paluuvaimennuksissa. Joustokeulan rakenteen ja toiminnan selvityksen jälkeen perehdytään automaattisesti toimivaan ja elektronisesti ohjattavaan järjestelmään, joka on kehittyneintä iskunvaimennusteknologiaa.

Avainsanat: iskunvaimennus, joustokeula, puristusvaimennus, paluuvaimennus

SISÄLLYSLUETTELO

1.	JOHDANTO	1
2.	MAASTOPYÖRÄN ISKUNVAIMENNUS	3
2.1	Vaimennuksen teoriaa	3
2.2	Puristusvaimennus	6
2.2.1	High-speed-puristusvaimennus	8
2.2.2	Low-speed-puristusvaimennus	8
2.3	Paluuvaimennus	9
2.3.1	High-speed-paluuvaimennus	10
2.3.2	Low-speed-paluuvaimennus	10
3.	ISKUNVAIMENTIMEN RAKENNE JA TOIMINTA	12
3.1	Säätömekanismit: puristusvaimennus	13
3.1.1	Open mode	13
3.1.2	Medium mode	14
3.1.3	Firm mode	15
3.2	Säätömekanismit: paluuvaimennus	16
3.3	Riskien ja haavoittuvuuksien hallinta	17
3.3.1	Ilman sekoittuminen vaimennuskiertoon	17
3.3.2	Lämpeneminen	18
4.	AUTOMATISOITU ELEKTRONINEN ISKUNVAIMENNUSJÄRJESTELMÄ	19
4.1	Toimintaperiaate	19
4.2	Järjestelmän toiminta käytännössä	22
5.	YHTEENVETO	23
	LÄHTEET	24

LYHENTEET JA MERKINNÄT

Firm mode	Fox FIT4 -iskunvaimentimen säätöasetus, jolla sekä high-että low-speed-kierto ovat suljettu
Fox	Fox Factory Holding Corp -yritys
Fox FIT4	Fox Isolated Technology 4 -iskunvaimennin
High-speed-vaimennus	Nopeat puristus- ja paluuvaimennuksen toiminnot
Live Valve	Fox -yrityksen kehittämä automaattisesti toimiva ja elektronisesti ohjattava iskunvaimennusjärjestelmä
Low-speed-vaimennus	Hitaat puristus- ja paluuvaimennuksen toiminnot
Medium mode	Fox FIT4 -iskunvaimentimen säätöasetus, jolla low-speed-kierto on suljettu ja high-speed-kierto on avoinna
Open mode	Fox FIT4 -iskunvaimentimen säätöasetus, jolla sekä high-että low-speed-kierto on avoinna
RockShox Charger	RockShox-yrityksen valmistama iskunvaimennin
A_s	männän poikkipinta-ala
A_v	kuristuksen poikkipinta-ala
b	vaimennusnopeudesta riippuva vakio
C_q	virtauskerroin
F	voima
F_j	jousivoima
F_v	vaimennusvoima
k	jousivakio
p	paine
Δp	paine-ero
q_v	tilavuusvirta
s	matka
v	nopeus
W	työ
x	jousen puristusmatka

1. JOHDANTO

Iskunvaimennus on tärkeä osa maastopyörän jousitusta, koska se parantaa pyörän ajomukavuutta ja ohjattavuutta. Vaimennusta käytetään sekä etu- että takajousituksessa sen mukaan, onko pyörä jäykkäperäinen vai täysijousitettu. Jäykkäperäisessä pyörässä ainoastaan joustokeula on jousitettu, kun taas täysijousitetussa maastopyörässä jousitusta käytetään myös takana. Täysijousitettu maastopyörä soveltuu paremmin teknispään ajoon, koska pyörä liikkuu sujuvammin maaston esteiden yli säilyttäen takarenkaan pidon maahan.

Maastopyöräilyn suosio urheilulajina on kehittynyt nopeasti viimeisten vuosikymmenten aikana ja vuonna 1996 siitä tuli olympialaji [15]. Redfield [17] mainitsee, että maastopyörät kehittyvät koko ajan yhä vahvempien ja kevyempien osien, kestävämmän jousituksen sekä voimakkaampien ja paremmin lämpöä kestävien jarrujen johdosta. Tämä mahdollistaa kuljettajalle yhä kovemmat nopeudet myös vaativissa maastoissa. Ilmajousitekniologiaa hyödyntävä iskunvaimennus on olennainen osa vähentämään maastopyörän painoa ja lisäämään jousituksen säädettävyyttä. [17]

Iskunvaimennus käsittää jousituksen puristuspuolen eli puristusvaimennuksen ja veto- puolen, jota taas kutsutaan paluuvaimennukseksi. Puristusvaimennuksen tehtävä on ottaa vastaan renkaisiin kohdistuvat iskut, kuten kivet tai juurakot, ja estää jousituksen pohjaaminen. Paluuvaimennuksen tarkoituksena on jouseen varastoituneen liike-energian vähentäminen, minkä ansiosta jousen paluuliikkeestä saadaan hitaampi ja pyörän hallittavuus säilyy parempana. [13]

Yleensä joustokeulassa toisella puolella on jousi ja toisella iskunvaimennin. Joustokeulojen joustovarot vaihtelevat sen mukaan, millaiseen tarkoitukseen pyörä on tarkoitettu ajettavaksi. Lyhyimmän joustovaran eli 80 – 115 mm joustokeulat löytyvät tyypillisesti kevyistä kilpa-ajoon tarkoitetuista maastopyöristä. Kun pyörältä vaaditaan enemmän kestävyyttä ja puhutaan All mountain -maastopyöristä, joustokeulojen joustovaroissa suositetaan 100 – 150 mm joustomatkoja. Eniten kestävyyttä ja jousto- sekä vaimennusominaisuuksia tarvitaan alamäkipyörissä, jolloin hyödynnetään 160 mm tai pidempiä joustomatkoja. [1]

Tämän kandidaatintyön tarkoituksena on tehdä selvitys maastopyörän joustokeulan iskunvaimennuksen toiminnasta ja sen toteutuksesta. Tavoitteena on saada selville vaimennuksen toimintaperiaate, tutkia vaimentimen rakennetta sen toiminnan näkökulmasta ja siihen liittyviä säätöjä ilman jousitusgeometrian tarkastelua.

Toisessa luvussa tutustutaan maastopyörän iskunvaimennuksen teoriaan ja iskunvaimennuksen keskeisiin ominaisuuksiin ja hyötyihin. Lisäksi käydään läpi sekä puristus-

että paluuvaimennuksen toimintaperiaatteet ja eroavuudet niiden high- ja low-speed-vaimennuksissa.

Kolmannessa luvussa selvitetään joustokeulan iskunvaimentimen rakenteeseen liittyviä ominaisuuksia sen toiminnan näkökulmasta. Se tehdään luomalla katsaus Fox FIT4 -vaimentimen säätömekanismeihin ja niiden toteutuksiin puristus- ja paluuvaimennuksessa. Lopuksi tehdään selvitys vaimennukseen liittyvistä riskeistä ja haavoittuvuuksista.

Neljännessä luvussa käsitellään iskunvaimennuskehityksen uusinta teknologiaa, automatisoitua elektronista iskunvaimennusjärjestelmää, ja sen tuomia muutoksia ja hyötyjä perinteiseen iskunvaimennukseen. Järjestelmän toimintaperiaatetta tarkastellaan Fox-yrityksen kehittämän Live Valve -järjestelmän avulla.

2. MAASTOPYÖRÄN ISKUNVAIMENNUS

Maastopyörän iskunvaimennuksen tehtävä on vaimentaa maaston aiheuttamia nopeita iskuja ja vähentää polkemisen aiheuttamaa matalataajuista heilahtelua. Sen avulla ohjataan tai pysäytetään jousen heilahtelu, mikä parantaa ajomukavuutta ja pyörän ohjattavuutta. Puristusvaimennus absorboi renkaisiin kohdistuvat iskut ennen niiden välittymistä kuljettajalle. Toisaalta iskun jälkeen paluuvaimennus ohjaa puristuneen jousen paluuliikkeen nopeutta ja värähtelyä. [7]

Iskunvaimennus on nykyaikaisten jousitusjärjestelmien keskeinen osa. Ilman iskunvaimennusta jousitus puristuu ja palautuu takaisin liian nopeasti, jolloin maastopyörä on vaikeasti hallittavissa. Vaimennus estää jousituksen heilahtelun iskujen välillä ja pitää ajamisen vakaana pyörän kohtaamista iskuista huolimatta. Tyypillisesti iskunvaimennin sisältää hydraulisen sylinterin, vaimennusnesteen ja säädettävän venttiilin. [7] Kuvassa 1 on täysijousitettu maastopyörä sisältäen iskunvaimentimet sekä joustokeulassa että takajousituksessa.



Kuva 1. Trek Remedy 8 -täysijousitetussa maastopyörässä on iskunvaimennus sekä joustokeulassa että takajousituksessa [21].

2.1 Vaimennuksen teoriaa

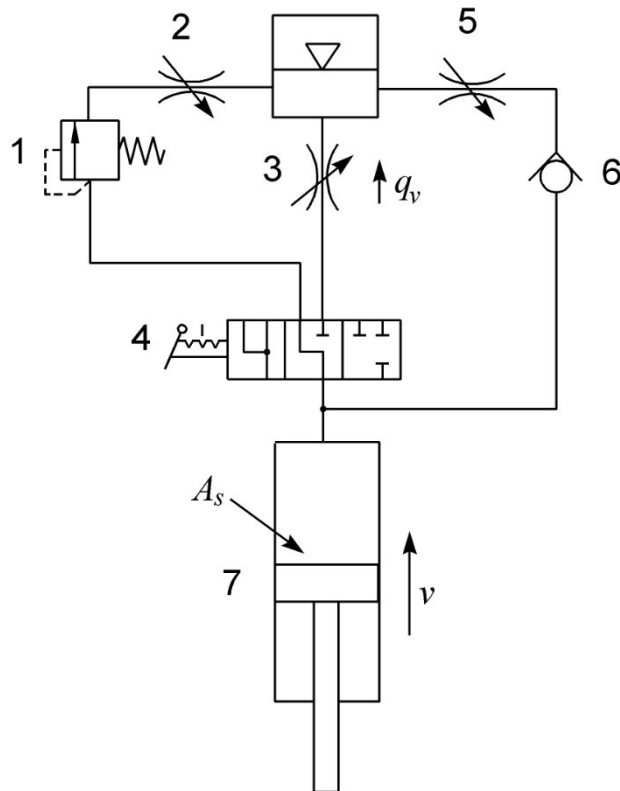
Useimmat nykyaikaiset iskunvaimentimet perustuvat hydraulikkaan, joka on toteutettu öljynvirtauksen rajoittamisena männässä olevien reikien kautta [7]. Vaimennus on sitä suurempi, mitä enemmän öljyvirtausta kuristetaan reikien läpi [13]. Pienemmät reiät aiheuttavat hitaampaa öljyvirtausta eli enemmän vaimennusta, kun taas suuremmat reiät johtavat pienempään vaimennukseen eli nopeampaan iskunvaimentimen liikkeeseen [6]. Sekä puristus- että paluuvaimennuksen nopeutta rajoitetaan kuristamalla öljyn virtausta erikokoisten ja -muotoisten reikien ja levyjousien läpi [7].

Vaimennussysteemiin liittyvä analysointi sekä säätöjen tekeminen on haastavaa, ja se koostuu monien asioiden vaikutuksesta toisiinsa. Iskunvaimennin altistuu paljon erilaisiin ajotilanteisiin, joihin vaikuttavat esimerkiksi voima ja nopeus. [18] On syytä tiedostaa, että löytääkseen juuri oikean asetussäädön on otettava huomioon useita eri vaimennukseen vaikuttavia tekijöitä. Redfield [16] toteaa, että vaimennukseen liittyvää voimaa ja taajuutta ohjataan, jotta voidaan vähentää poljinvoimasta johtuvaa jousituksen liikettä. Ideaalinen tilanne olisikin, että vaimennussysteemi tulisi aktiiviseksi kohdatessaan iskuja ja olisi reagoimatta pieniin voimiin kuten poljinvoimaan [16].

Vaimennusta voidaan säätää ulkoisesti kiertämällä nuppia joustokeulan oikeanpuoleisen varren ylä- tai alapäästä, jolloin puhutaan pikasäädöstä. Yläpäästä säädetään puristusvaimennusta ja alapäästä paluuvaimennusta. Helminen [13] mainitsee, että pikasäätö perustuu öljynvirtauksen ohjaamiseen jousikuormitteisella kuula- tai neulaventtiilillä. Pikasäädön lisäksi säätöön vaikutetaan levyjousien rakenteella tai määrällä, männän porauksilla ja öljyn viskositeetilla [13]. Voidaan kuitenkin olettaa, että pikasäädön tekeminen on riittävää useimmille maastopyöräilijöille, koska sen pystyy tekemään helposti ilman tarvittavia työkaluja joustokeulan purkamista varten.

Koska maastopyöräilyssä syntyvät iskut ovat hyvin erilaisia ja riippuvat sekä maastosta että kulloinkin ajettavasta nopeudesta, toteutetaan iskunvaimentimet kahdella erilaisella öljykiehrolla: high-speed ja low-speed. High-speed-vaimennuksella tarkoitetaan nopeita puristus- ja paluuvaimennuksen toimintoja, kun taas low-speed-vaimennuksella viitataan hitaisiin puristus- ja paluuvaimennuksen toimintoihin. Manticore Bike -jousitusliikkeen pääteknikko Ace Draper määrittelee, että öljytilavuuden virtaus joko high- tai low-speed-kierron kautta riippuu päämännän nopeudesta työntää öljyä eli iskun nopeudesta. [3] Voidaan myös ajatella, että high-speed ja low-speed-vaimennus erotetaan toisistaan paineen avulla, koska nopea liike aiheuttaa korkeamman paineen kuin hidas liike.

Kuvassa 2 on iskunvaimentimen hydraulikaavio, josta nähdään puristus- ja paluuvaimennuksen öljykiehrot. Puristusvaimennuksen high-speed-öljykiehto menee paineenrajoitusventtiiliin (1) ja säädettävän vastusventtiiliin (2) kautta. Puristusvaimennuksen low-speed-öljykiehto kulkee säädettävän vastusventtiiliin (3) läpi. Kolmiasentoinen suuntaventtiili (4) toimii puristusvaimennuksen pikasäätönä. Paluuvaimennus kulkee säädettävän vastusventtiiliin (5) ja vastaventtiiliin (6) kautta takaisin uudelle öljykiehrolle. Iskunvaimentimen mäntä (7) aiheuttaa öljyn tilavuusvirran. Hydraulikaavio perustuu Fox FIT4 -iskunvaimentimeen, jota käsitellään tarkemmin kolmannessa luvussa.



Kuva 2. Iskunvaimentimen hydraulikaavio.

Polkupyörän liike-energiaa varastoituu ja toisaalta kuluu puristusvaimennukseen, kun rengas tietyllä nopeudella törmää esteeseen ja vauhti hidastuu. Kun liike-energia alkaa purkautua esteen jälkeen, osa energiasta menee paluuvaimennukseen. Tämän jousitusliikkeen aikana iskunvaimentimen varsi liikkuu pakottaen öljyn virtaamaan männän reikien läpi. Tehdään siis työtä

$$W = F \cdot s, \quad (1)$$

jossa W on työ, F on voima ja s on matka. Yhtälön (1) mukaan energiaa kulutetaan työtä vastaava määrä ja tämä saa sekä öljyn että iskunvaimentimen rakenteet lämpenemään, mutta energiaa ei häviä minnekään. [13]

Jousitusliikkeen voima F saadaan yhtälöstä

$$F = F_j + F_v = k \cdot x - b \cdot v, \quad (2)$$

jossa F_j on jousivoima, F_v on vaimennusvoima, k on jousivakio, x on jousen puristusmatka, b on vaimennusnopeudesta riippuva vakio ja v on virtausnopeus.

Jousitusliikkeen nopeus aiheuttaa kuristimen läpi öljyn tilavuusvirran. Tällöin tilavuusvirratyhtälö saa muodon

$$q_v = C_q \cdot A_v \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta p}{\rho}}, \quad (3)$$

jossa q_v on tilavuusvirta, C_q on virtauskerroin, A_v on kuristuksen poikkipinta-ala, ρ on nesteen tiheys ja Δp on paine-ero kuristimen yli. Virtauskerroin C_q riippuu virtausaukon muodon ja reunojen terävyyden vaikutuksesta virtaukseen. Sitä käytetään yleensä vakiona, jonka arvo on 0,611. Todellisuudessa sen arvot kuitenkin vaihtelevat välillä 0,5–1,0. [14] Merkitään $k_q = C_q \cdot A_v \cdot \sqrt{\frac{2}{\rho}}$, jolloin yhtälö (3) saadaan sievennettyyn muotoon

$$q_v = k_q \cdot \sqrt{\Delta p}. \quad (4)$$

Kuristuksen aiheuttama vastus aiheuttaa iskunvaimentimessa paineen, kun öljy virtaa sen läpi. Paine on riippuvainen virtausnopeudesta. Oletetaan, että paine kuristuksen takana on sama kuin ilmanpaine. Yhdistetään yhtälö (4), jolloin saadaan

$$q_v = v \cdot A_s = k_q \cdot \sqrt{\Delta p}, \quad (5)$$

jossa v on virtausnopeus ja A_s on männän poikkipinta-ala. Paine-ero Δp toteuttaa yhtälön $\Delta p = p_1 - p_0$. Kun paine p_0 saa arvon $p_0 = 0$, voidaan yhtälöstä (5) ratkaista paine p , jolloin yhtälö saa muodon

$$p = \left(\frac{A_s}{k_q} \right)^2 \cdot v^2. \quad (6)$$

Vaimennusvoima F_v muodostaa yhtälön muotoa

$$F_v = p \cdot A_s, \quad (7)$$

jolloin jousitusliikkeen voima voidaan ratkaista yhdistämällä yhtälö (7) yhtälöön (2) ja saadaan

$$F = k \cdot x - \frac{A_s^3}{k_q^2} \cdot v^2, \quad (8)$$

jossa k on jousivakio ja x on jousen puristusmatka.

2.2 Puristusvaimennus

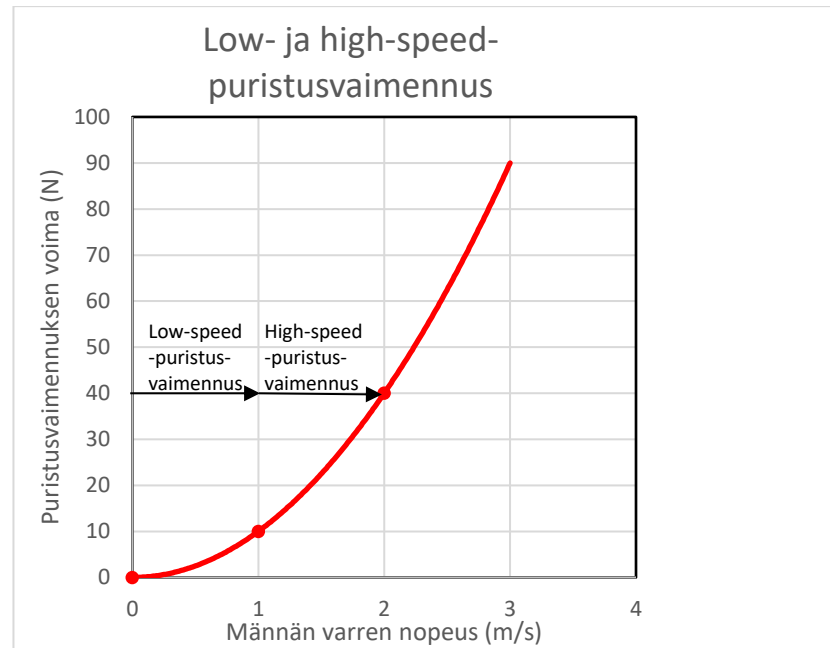
Puristusvaimennus ohjaa jousituksen puristusliikkeen nopeutta öljykiehroilla, joka kulkee vaimentimessa venttiileiden, porttien ja levyjousien kautta. Kun puristusvaimennuksen herkkyyks on säädetty tarkoituksenmukaiseksi ottamaan vastaan iskujen voima, se ei reagoi maastopyöräilijän polkemisvoimaan. [7] Öljyvirtauksen rajoittamisella venttiilien läpi puristusliike saadaan tuntumaan vakaammalta jousitusliikkeen aikana [3]. Puristusvaimennuksen pikasäätö tehdään säätönupista joustokeulan oikeanpuoleisen varren yläpäästä (kuva 3).



Kuva 3. Joustokeulan oikeanpuoleisen varren yläpäässä on puristusvaimennuksen pikasäätö [7].

Öljyvirtauksen määrään ja liikkeeseen vaimentimessa vaikuttavat yliajettavan esteen koko ja pyörän nopeus. Esimerkiksi suuri nopeus ja iso kivi aiheuttavat ison virtausnopeuden. Sitä vastoin loivan notkelman seurauksena öljyn virtausnopeus on pieni. Tästä syystä iskunvaimentimen säätämisessä vaaditaankin aina kompromissien tekemistä, koska jousituksen pitäisi olla tarpeeksi herkkä ajettaessa pienistä kuopista ja toisaalta sen olisi syytä toimia suuremmissa kuopissa ja kovassa vauhdissa. [13] Benedict [5] painottaakin, että puristusliikkeen nopeus on aina riippuvainen iskun nopeudesta.

Vaimennuksen yhteydessä puhutaan iskunvaimentimen männän varren nopeudesta. Puristusvaimennuksen voiman ja männän varren nopeuden suhdetta esittävä kuvaaja ei noudata lineaarista suoraa, mikä on esitetty kuvan 4 kuvaajalla. Kun kaksinkertaistetaan nopeus, puristusvaimennuksen voima voi nelinkertaistua. Ero low- ja high-speed-puristusvaimennuksien nopeudessa on suhteellista, eikä niiden rajaa ole tarkasti määrätty nopeuden suhteen. [20]



Kuva 4. Tyypillinen puristusvaimennuksen voiman ja nopeuden kuvaaja ei ole lineaarinen, kuva perustuu lähteeseen [20].

2.2.1 High-speed-puristusvaimennus

High-speed-puristusvaimennuksella tarkoitetaan toimintoa, jolloin iskunvaimentimen täytyy nopeasti puristua ja absorboida äkkinäinen isku. Iskuja voivat olla esimerkiksi juurakot, kivet tai pudotukset kovassa vauhdissa. [3]

Puristuksen aikana öljyn virtausliike on nopeaa, jolloin se ei virtaa low-speed-öljykierron kautta. High-speed-puristusvaimennuksen tarkoituksena on myös estää jousituksen pohjaaminen, joka tapahtuisi muuten melkein jokaisen iskun jälkeen. Kun nopeiden iskujen voima ei kohdistu suoraan kuljettajalle, ja jousen liikkeen nopeus on hallitavissa, säilytetään maastopyörän ohjattavuus. [3]

2.2.2 Low-speed-puristusvaimennus

Kun absorboidaan kuljettajan painoa gravitaatiota vastaan kontrolloidusti ja hitaasti eli ajetaan esimerkiksi loiviin muotoihin, painaumiin, pudotuksiin tai seistään vain polkimilla, puhutaan low-speed-puristusvaimennuksesta. Sen tasoa säätämällä vaikutetaan pienten törmäysten ja voimien herkkyyteen. Se voidaan ajatella iskunvaimentimen ensimmäisenä puolustuksena ei-haluttua puristusta vastaan. Ace Draper toteaa, että tahaton heilahtelu johtuen liiallisesta herkkyydestä ei ole toivottua. Silloin ajoa pystytään vakauttamaan lisäämällä hieman low-speed-tasoa, mitä hyödynnetään myös ylämäkeen ajassa. [3]

2.3 Paluuvaimennus

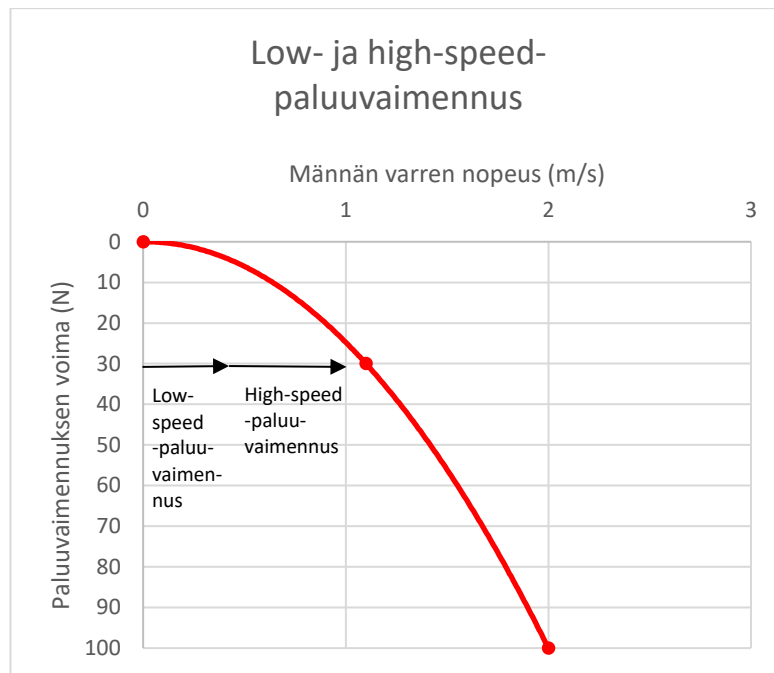
Paluuvaimennus on päinvastainen toiminto puristusvaimennukselle eli sen avulla ohjataan jousen palautumista takaisin paineettomaan ja luonnolliseen tilaan. Kun jousi on puristunut, paluuvaimennus estää sen välittömän ponnahtamisen takaisin ylös. Vaimennustasoa säätämällä ohjataan iskunvaimentimen paluunopeutta ja tehdään jousitus valmiiksi kohti seuraavaa iskuja maastossa. [7] Myös paluuvaimennuksessa säädöt ovat kompromissien summa, koska maastopyörällä ajetaan hyvin vaihtelevissa maastoissa [13].

Toisin kuin puristusvaimennuksessa, paluupuolella vaimennusnopeuden määrittelevä tekijä on joustotaso. Nopeampi paluuvaimennus saadaan vahvemalla jousella, riippumatta onko kyseessä ilma- vai jousikäyttöinen jousitusjärjestelmä. Itse vaimennustasoa paluupuolella säädetään kuitenkin puristusvaimennuksen tavoin öljykierrolla (kuva 5). Sen avulla jousitus ei palaudu liian nopeasti tai se ei ole liian hidas ottamaan vastaan seuraavia iskuja jättämällä ala-asentoon. [5]



Kuva 5. *Paluuvaimennuksen tasoa säädetään joustokeulan oikeanpuoleisen varren alapäästä säätönuppia kääntämällä [5].*

Paluuvaimennus sisältää vähemmän nopeuksia verrattuna puristusvaimennukseen, koska paluuliike tapahtuu jousivoimalla. Normaalisti paluuvaimennus käsittääkin vain kolmasosan puristuspuolen nopeudesta. Muutos high-speed-paluuvaimennukseen low-speed-puolelta voi ollakin hyvin matala ja esimerkiksi puristusnopeuden ollessa 6 m/s, paluunopeus voi olla vain 2 m/s. [20]



Kuva 6. *Paluuvoimennuksen nopeuden vaihtelevuus samoilla voimilla on pienempi kuin puristusvoimennuksen, kuva perustuu lähteeseen [20].*

Paluuvoimennuksen voiman ja nopeuden suhdetta havainnollistetaan kuvaajan avulla kuvassa 6. Voiman arvoasteikko on käännetty, koska paluuvoimennuksessa puhutaan vetopuolen voimista. [20] Kuvaajasta nähdään, että paluuvoimennuksen voiman ja jousen männän varren nopeuden suhde ei ole lineaarinen. Havaitaan myös, että low-speed-paluuvoimennuksen alue on hyvin matala ja vain alhaisilla nopeuksilla (alle 0,5 m/s).

2.3.1 High-speed-paluuvoimennus

Paluuvoimennuksen high-speed-puolella vaikuttava tekijä on yliajettavan esteen eli vastaanotettavan iskun pituus, ei sen nopeus. High-speed-vaimennus aktivoituu, kun isku on ollut riittävän suuri puristamaan iskunvaimentimen lähes tai koko joustomatkan verran. [5]

Koska ilmajousen paine on korkeampi iskunvaimentimen ollessa täysin puristunut, se pyrkii palautumaan nopeammin ja tehokkaammin. Ison iskun vastaanottamisen jälkeen iskunvaimennin aloittaa paluuliikkeen ja työntää öljyä high-speed-paluuvoimennuskierrolle. Tämä öljykierro ohjaa vaimennusta paluuliikkeen alkuosassa. High-speed-vaimennusta ei säädetä yleensä kuljettajan toimesta, vaan se asetetaan tehtaalla. [5]

2.3.2 Low-speed-paluuvoimennus

Iskunvaimentimen paluuliike muuttuu hitaammaksi mitä pidemmälle se etenee kohti sen täyttämäänsä, koska ilmajousen paine laskee. Samalla öljyn virtaus muuttaa reittiänsä high-speed-kierrolta low-speed-kierrolle. [5]

Pääosa maastopyörien joustokeuloista sisältää säätömahdollisuudet paluuvaimennuksessa ainoastaan low-speed-puolella, koska sillä on eniten vaikutusta säätöön. Suurin osa normaalista ajoajasta käytetään low-speed-puolen vaikutusalueella, mikä tarkoittaa noin 2/3 iskunvaimentimen sallimasta joustomatkastaa. [5]

3. ISKUNVAIMENTIMEN RAKENNE JA TOIMINTA

Maastopyörien joustokeuloissa hydraulinen iskunvaimennin sijaitsee yleensä joustohäärän toisessa varressa (kuva 7) ja toinen varsi sisältää jousen. Takajousituksessa iskunvaimennus on toteutettu yhtenä teleskooppisena jousena, joka on öljykäyttöisen iskunvaimentimen ja ilmajousen yhdistelmä. Esimerkiksi Fox Float tai RockShox Deluxe -takajousissa hydraulinen iskunvaimennin on sisemmässä osassa ja ulkorunko sisältää ilmajousen. [7]



Kuva 7. Fox 32 Step-Cast -joustokeulassa iskunvaimennin sijaitsee joustokeulan oikeanpuoleisessa varressa, kuva perustuu videoon lähteessä [10].

Tässä työssä käsitellään ainoastaan joustokeulan iskunvaimennusta ja rakennetta sen toiminnan näkökulmasta. Sääätömekanismeja tarkastellaan Fox FIT4 eli Fox Isolated Technology 4 -iskunvaimentimessa. Se edustaa maastopyörän jousituskomponentteja valmistavan Fox-yrityksen neljännen sukupolven iskunvaimennusteknologiaa, jossa vaimennin on erillään muusta jousituksesta [9].

Fox-yrityksen teknikkona toimiva Ariel Lindsey [22] kertoo, että vuonna 2017 päivitettyssä FIT4-iskunvaimentimessa käytetään ohuempia levyjousia. Ne on järjestetty siten, että männän puristuspuolen suuremmat levyjouset avautuvat helpommin kuin vuoden 2016 mallissa. Tämän tarkoituksena on saada iskunvaimennus tuntumaan joustavammalle jousitusliikkeen alussa. Samalla iskunvaimennin kuitenkin vaimentaa jousitusliikettä myös pyörän kohdatessa enemmän joustovaraa vaativia iskuja. [22]

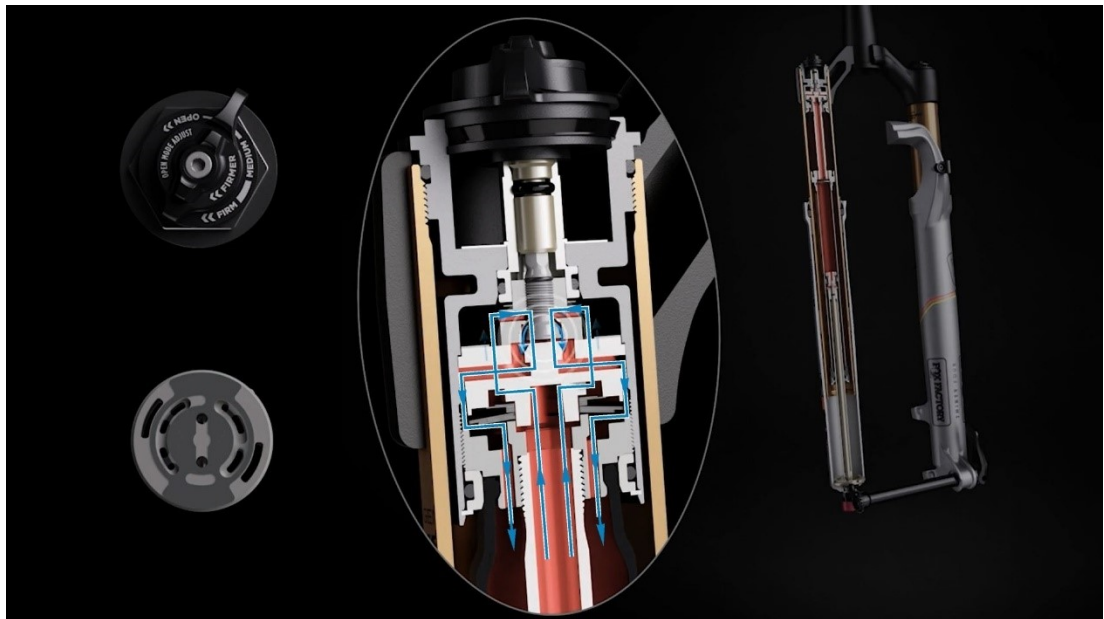
3.1 Säättömekanismit: puristusvaimennus

Puristusvaimennuksen puolella Fox FIT4 -iskunvaimennin sisältää kolme erillistä ulkoista säätöasetusta: open, medium ja firm mode. Säättöjen tekeminen tapahtuu joustokeulan oikeanpuoleisen varren yläpäästä säätönuppia kääntämällä. [9]

3.1.1 Open mode

Open mode -asetuksella iskunvaimentimessa oleva öljy pääsee vapaasti kiertämään venttiiliin low-speed-puristuskierron ja high-speed-puristusvaimennuksen levyjousien kautta. Tällä asetuksella iskunvaimennin on herkimmillään ottamaan vastaan iskuja ja absorboimaan iskujen voimaa kuljettajalle. [9]

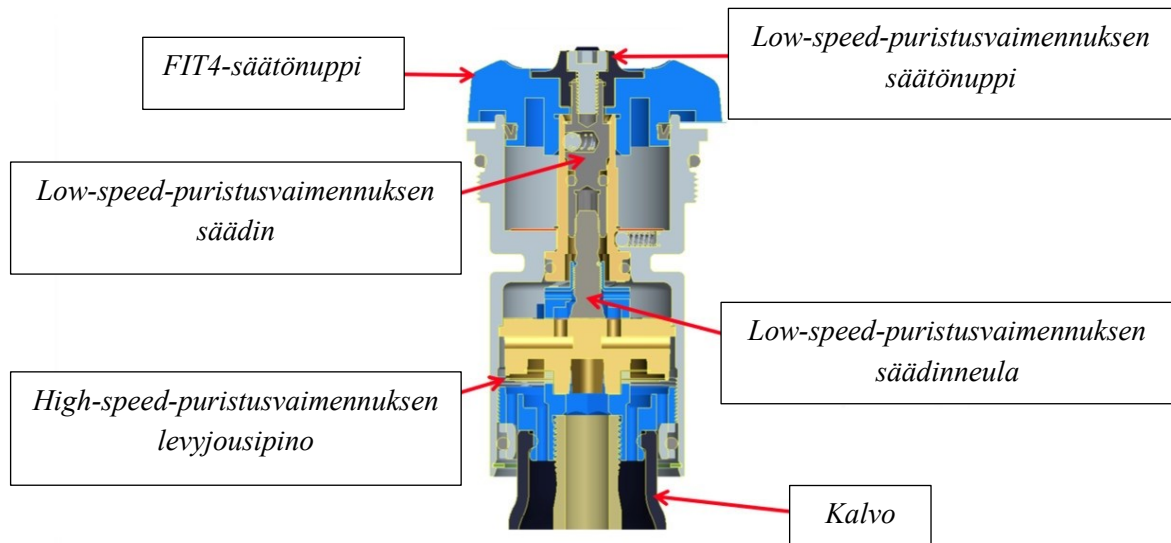
Öljykiertoa havainnollistetaan sinisellä nuolella leikkauskuvassa vaimentimesta kuvassa 8. Öljy virtaa ensin low-speed-kiertoon ylimmäiseen silmukkaan ja palaa sen jälkeen high-speed-kierron levyjousien kautta takaisin patruunatilaan. [9] Levyjousien tarkoituksena on ohjata nopeampia männänvarren liikkeitä, mikä saa joustokeulan tuntumaan joustavammalta joustoliikkeen alussa [22]. Kuvan vasemmassa reunassa on vaimentimen säätönuppi kuvattuna ylhäältä päin, mistä nähdään sekä high- että low-speed-kierrojen reitti reikien läpi.



Kuva 8. Open mode -asetuksella öljy pääsee virtaamaan vapaasti sekä low- että high-speed-kierrojen kautta, öljyvirtaus on kuvattu sinisellä nuolella. Kuva perustuu videoon lähteessä [9].

Lisäksi Fox Factory Series -joustokeulat sisältävät 22-portaisen säädön low-speed-puristusvaimennukselle, minkä avulla mahdollistetaan entistä tarkemmat säädöt puristusvaimennuksen low-speed-puolelle. Sitä säädetään sisemmästä säätönupista joustokeu-

lan oikeanpuoleisen varren yläpäästä, mikä on havainnollistettu leikkauskuvassa 9. Nupin kääntäminen joko avaa tai sulkee venttiiliä low-speed-kierrossa sääten öljyvirtaa. [9]

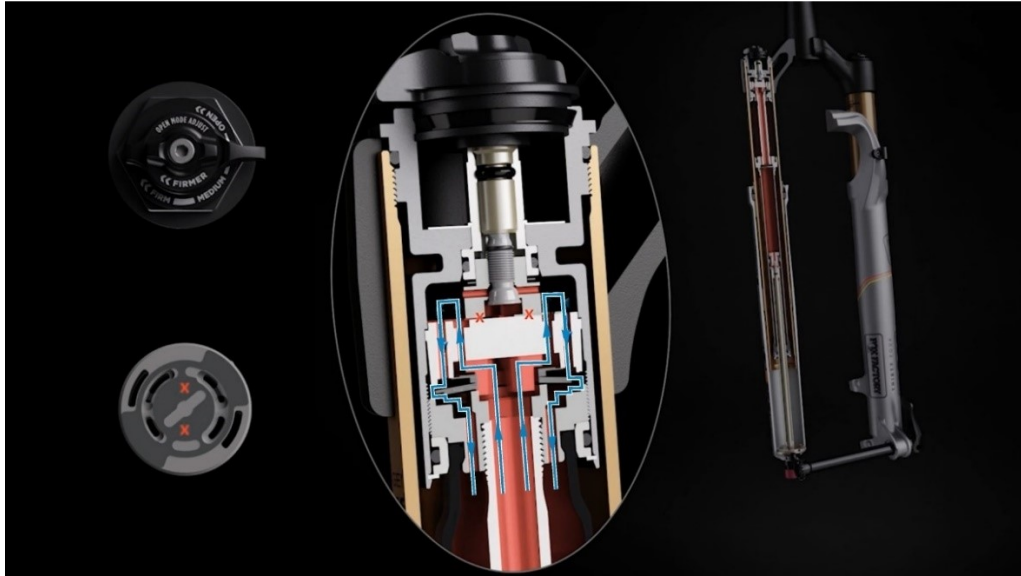


Kuva 9. Fox Factory Series -joustokeuloissa FIT4-vaimennin sisältää erillisen 22-portaisen low-speed-puristusvaimennuksen säätönupin, kuva perustuu lähteeseen [23].

3.1.2 Medium mode

Medium mode -asetuksella öljy virtaa ainoastaan high-speed-kierron kautta ja low-speed-kierto on suljettu. Näin mahdollistetaan vakaampaa ja tehokkaampaa maastopyörän ajettavuutta. [9]

Kuvassa 10 öljyn kiertokulku esitetään sinisellä nuolella, mistä nähdään, että low-speed-kierto on suljettu ja öljy virtaa suoraan high-speed kiertoon. Säätönuppi on kierretty oikeanpuoleiseen asentoon. Suljettua low-speed-kiertoa esitetään punaisella raksilla. [9]



Kuva 10. *Medium mode -asetuksella low-speed-kierto on suljettu, öljyvirtaus on kuvattu sinisellä nuolella. Kuva perustuu videoon lähteessä [9].*

Koska medium mode -asetus tarjoaa vakaampaa joustokeulan liikettä, mutta toisaalta high-speed-vaimennus ottaa vastaan nopeita iskuja, voidaan todeta tällä asetuksella olevan suotuisaa ajaa esimerkiksi hiekkatietä. Iskunvaimennin ottaa vastaan yksittäisiä iskuja kovassa vauhdissa, kuten satunnaisia kuoppia tiessä, mutta mahdollistaa kuitenkin vakaan ajon. Jousitus ei ole liian herkkä, ja poljinvoima saadaan kohdistettua eteenpäin menemiseen.

3.1.3 Firm mode

Firm mode -asetuksella sekä low- että high-speed-kierto on suljettu. Joustokeulasta saadaan asetuksen avulla lähes täysin lukittu tehokkaan ja vakaan vaimennuksen tarpeen vaatiessa. Jos pyörällä kuitenkin ajetaan suureen iskuun firm mode -asetuksen ollessa päällä, varoventtiili tarjoaa helpotusta ja öljy pääsee virtaamaan sen kautta. [9]

Lukittu joustokeula tekee tunteen kuljettajalle kuin ajaisi lähes jäykällä keulalla. Siitä on erityisesti hyötyä maantiellä ajaessa, koska jousto- ja vaimennusominaisuudet ovat tarpeettomia tasaisella pinnalla ajettaessa. On syytä tiedostaa, että säätöä pystyy tekemään myös kesken ajamisen. Silloin firm mode -asetus on kätevää laittaa päälle, kun saavutaan tieosuudelle ja ottaa se pois mentäessä takaisin maaston puolelle.

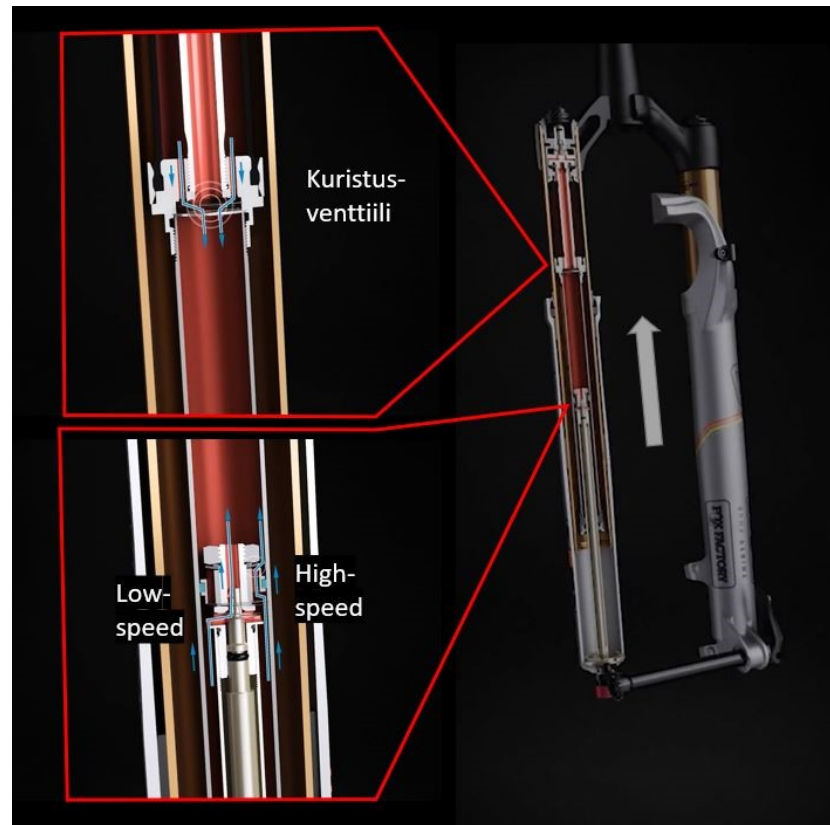


Kuva 11. Firm mode -asetus mahdollistaa joustokeulan lukitsemisen, öljyvirtaus on havainnollistettu sinisellä nuolella. Kuva perustuu videoon lähteessä [9].

Kuvasta 11 nähdään, että säätönuppi on käännetty viimeiseen asentoonsa kierrettäessä oikealle ja punaiset raksit esittävät high- että low-speed-kiertojen sulkemisen. Lisäksi kuvasta nähdään sinisellä nuolella havainnollistettu öljykierto.

3.2 Säätömekanismit: paluuvaimennus

Paluuvaimennusta ohjataan puristusvaimennuksen tavalla low-speed- ja high-speed-öljykierron avulla, mikä tapahtuu kuvan 12 osoittamalla tavalla iskunvaimentimen alaosassa. High-speed puolella on levyjouset ja low-speed puolella on säätönupilla ohjattava venttiili. Öljy virtaa takaisin patruunatilaan ja uudelle öljykierrolle kuristusventtiilin kautta iskunvaimentimen yläosassa. Paluuvaimennuksen tarkoitus on olla riittävän nopea, mutta hallittavissa oleva jousen palautuminen. [9]



Kuva 12. Paluuvaimennus sisältää low- ja high-speed-öljykiekroja, öljyvirtaus on kuvattu sinisellä nuolella. Kuva perustuu videoon lähteessä [9].

3.3 Riskien ja haavoittuvuuksien hallinta

Vaimennussysteemin toiminnan kannalta on olennaista tiedostaa siihen liittyvät riskit ja haavoittuvuudet, jotta iskunvaimentimen toiminnallisuus ei heikentyisi. Riskejä ja haavoittuvuuksia liittyy sekä ilman sekoittumiseen öljykiekroon että iskunvaimentimen lämpenemiseen.

3.3.1 Ilman sekoittuminen vaimennuskiekroon

Ilman sekoittuminen vaimennuskiekroon on iskunvaimentimen toiminnallisuutta heikentävä tekijä, koska öljykiekro on säädetty toimimaan tietyllä öljyviskositeetilla. Ilman sekoittuessa öljyyn vaimennus ei ole enää hallittavissa, koska ilman tiheys on pienempi kuin öljyn. Kun öljyä joutuu puristuskiekron jälkeen avoimeen tilaan, se roiskuu ympäriinsä, muodostuu vaahtoa ja pieniä kuplia, jotka paluuvaimennuksen aikana pääsevät imeytymään kiekkoon. [4] Öljystä ja ilmakuplista muodostunut vaahto heikentää iskunvaimentimen toimintaa [13]. Syntyneen vaahton voi tunnistaa usein iskunvaimentimen ”kurlaavasta” äänestä [13].

Öljy ja ilma erotetaan toisistaan kehittyneimmissä joustokeuloissa ja vaimentimissa paineakun avulla. Vaimenninpatruuna on sijoitettu kalvomaisen rakenteen sisälle. Kalvo laajenee, kun öljyä työnnetään puristuskiekron läpi. Paluukiekkon aikana öljy vedetään

takaisin, ja kalvomainen rakenne vaimenninpatruunan ympärillä tyhjenee. Kalvon tarkoitus on muodostaa tiiviste estämään öljyn ja ulkopuolisen ilman sekoittuminen. Esimerkiksi RockShox Charger ja Fox FIT -vaimentimissa käytetään kalvoon perustuvaa paineakua estämään vaahdon syntymistä ja säilyttämään iskunvaimentimen toiminnallisuus (kuva 13). [4]



Kuva 13. Öljyn ja ilman sekoittumista estetään paineistetun kalvon avulla esimerkiksi RockShox SID's Charger -iskunvaimentimissa [4].

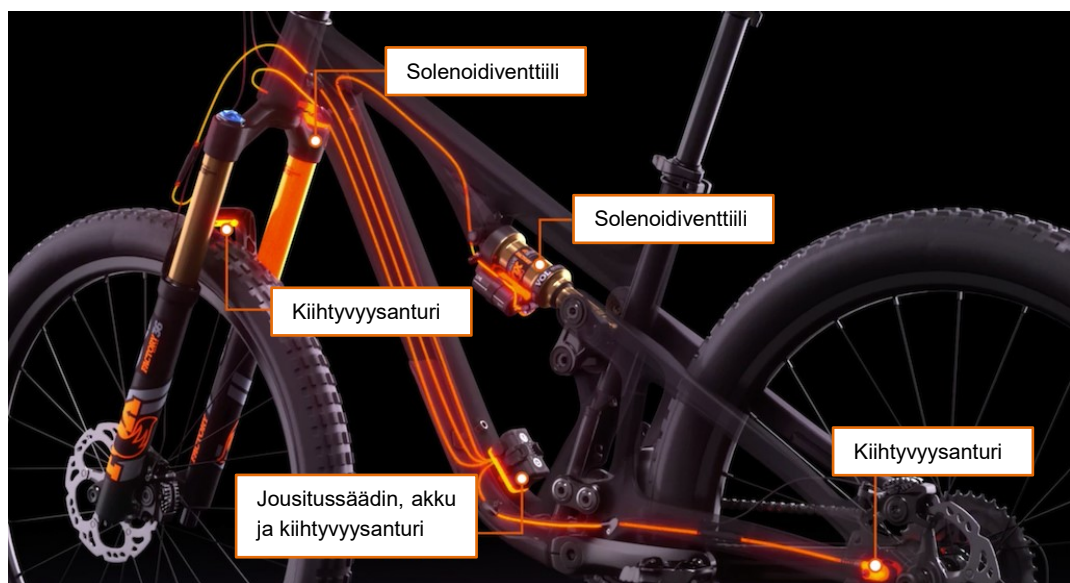
3.3.2 Lämpeneminen

Nyky aikaisten ilmajousitekniologiaa hyödyntävien iskunvaimentimien etuja ovat niiden keveys ja säätömahdollisuudet verrattuna kierrejousitettuihin iskunvaimentimiin. Useiden puristus- ja paluuvaimennuksen säätöasetuksien lisäksi ilmajousitetut iskunvaimentimet mahdollistavat myös jousituksen säätämisen erikokoisten kuljettajien ja heidän mieltymyksiensä mukaiseksi. Ne ovat kuitenkin rakenteeltaan monimutkaisia, jolloin lämmön vaikutus, tiivistäminen vuodoilta sekä lisääntynyt lämpeneminen lisäävät teknologian kannalta haavoittuvuuksien riskiä. [17]

Lämpeneminen on suurempi riskitekijä takaiskunvaimentimissa verrattuna joustokeulan iskunvaimentimiin ja jousitukseen, koska takaiskunvaimentimet ovat paljon pienempiä rakenteensa puolesta. Haavoittuvuuden riski koskee lisäksi enemmän ilmajousitettuja takaiskunvaimentimia. Kierrejousi-iskunvaimentimissa vaimennusliikkeen aikana kehittynyt lämpöenergia pystyy siirtymään suoraan ympäröivään ilmaan vaimennusnesteestä ja vaimentimen rakenteista. Ilmajousitetuissa takaiskunvaimentimissa taas lämmöllä on paljon vaikeampaa poistua, koska vaimentimen rakennetta eristää sitä ympäröivä ilmajousi. Vaimennusliikkeen mekaanisesta energiasta syntynyt termodynaaminen energia varastoituu rakenteisiin, minkä jälkeen se vasta siirtyy vaimentimen osien välillä lopulta ympäröivään ilmaan. [17]

4. AUTOMATISOITU ELEKTRONINEN ISKUN- VAIMENNUSJÄRJESTELMÄ

Automatisoitu elektroninen iskunvaimennusjärjestelmä on maastopyörille kehitetty elektronisesti ohjattava ja automaattisesti toimiva järjestelmä, joka sisältää jousitusäätimen, solenoidiventtiilit, akun ja kiihtyvyyssanturit (kuva 14). Live Valve on Fox-yrityksen kehittämä järjestelmä. Se säättää automaattisesti toisistaan riippumatta joustokeulan ja takaiskunvaimentimen vaimennustason, mikä lisää pyörän ohjattavuutta ja tehokkuutta kaiken tyyppisissä maastonosissa. [11]



Kuva 14. Live Valve -järjestelmä sisältää jousitusäätimen, solenoidiventtiilit, akun ja kiihtyvyyssanturit. Kuva perustuu lähteeseen [8].

4.1 Toimintaperiaate

Automatisoitu elektroninen iskunvaimennusjärjestelmä vaihtaa automaattisesti puristusvaimennuksen open mode -asetuksen ja firm mode -asetuksen välillä. Sen tarkoituksena on saada nopeasti maastopyörän iskunvaimennus sopeutumaan maastonmuotoihin. [12] Järjestelmällä vaikutetaan ainoastaan puristusvaimennuksen toimintaan, joten se ei säädi paluuvaimennusta [19]. Automaatiikan ansiosta kuljettajan ei tarvitse itse säätää puristusvaimennuksen tasoa, koska järjestelmä tunnistaa millaisella pinnalla pyörällä ajetaan. Järjestelmä pitää iskunvaimennuksen firm mode -asetuksella, kun ajetaan siileillä pinnoilla. Kun pyörällä ajetaan iskuun, open mode -asetus kytkeytyy päälle.

Järjestelmän ydin löytyy rungon keskelle kiinnitetystä jousitusäätimeä, joka seuraa maaston muotoa kiihtyvyyssantureiden avulla joustokeulassa, taka-akselissa ja pyörän rungossa. Kiihtyvyyssanturit lukevat sekä pyörän keinuntaa että renkaiisiin kohdistuvia is-

kuja ja lähettävät tietoa säätimelle jopa tuhat kertaa sekunnissa nopeudella. [11] Järjestelmän nopeus on tärkeätä sen toiminnallisuuden kannalta, koska pyörän kohtaamat iskut ovat pääosin nopeita. Jos open mode -asetus ei kytkeydy päälle tarpeeksi nopeasti kohdatessa iskuja, iskut välittyvät kuljettajalle.

Säätimen mikroprosessori ohjaa toimintaa kiihtyvyyssantureista saadun datan ja erityisesti tähän kehitetyn algoritmin laskeman ulostulotiedon mukaan. Älykäs säädin pystyy tunnistamaan eri ajotilat, kuten kaltevat tasot, hypyt ja vapaat pudotukset. Joustokeulan kiihtyvyyssanturi sijaitsee joustokeulan kaaressa kuvan 15 osoittamalla tavalla. Takarenkkaan kiihtyvyyssanturi on kiinni rungossa lähellä taka-akselia. Kaikki anturit toimivat yhteydessä toisiinsa, mutta kuitenkin itsenäisesti riippumatta toisten anturien toiminnoista. [2]

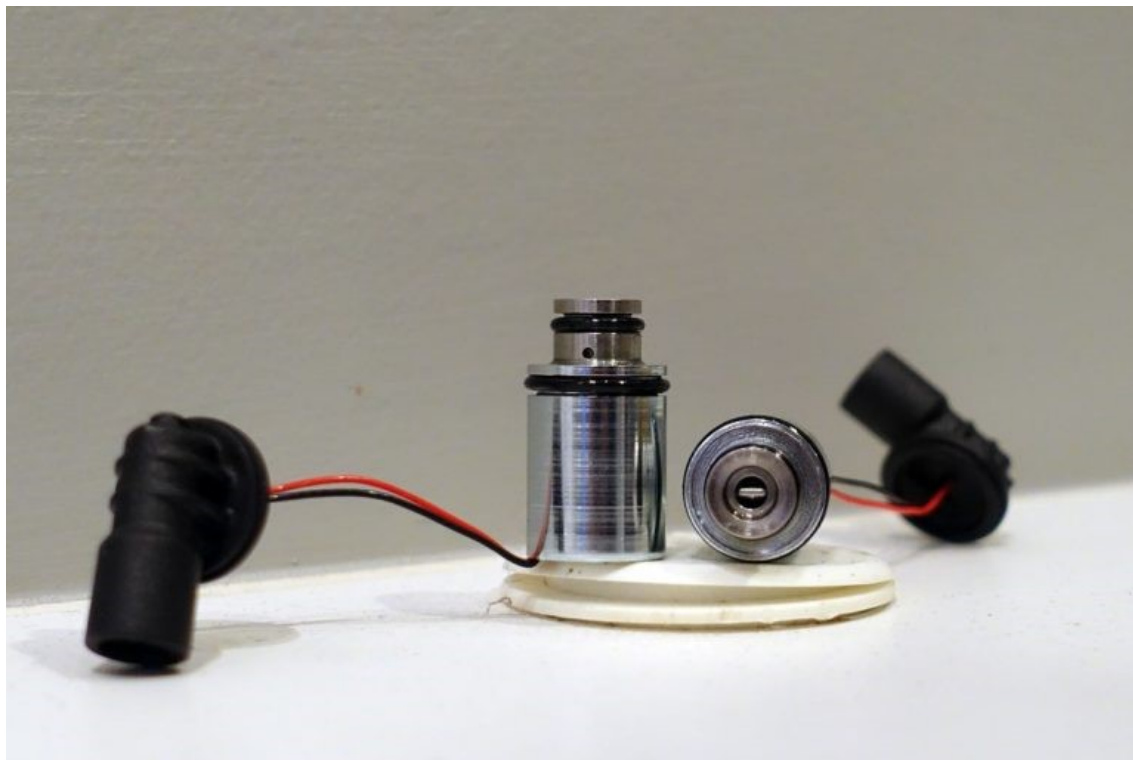


Kuva 15. Eturenkaan kiihtyvyyssanturi sijaitsee joustokeulan kaaren takaosassa [8].

Yksiaksiaaliset renkaiden kiihtyvyyssanturit mittaavat vain vertikaalisia renkaaseen kohdistuvia iskuja ja liikkeitä. Kun joustokeulassa sijaitseva anturi havaitsee etupyörään kohdistuvan iskun, puristusvaimennusventtiili avautuu ennen kuin isku välittyy kuljettajalle. Venttiili on magneetilla aktivoituva ja sitä ohjaa kiihtyvyyssantureita hyödyntävä säätimen mikroprosessori. Sen avautuminen muuttaa vaimennuksen firm mode -asetuksesta open mode -asetukseen. Kuljettaja pystyy itse säätämään asetuksia viiden eri tason välillä sen mukaan, kuinka suuri voima vaaditaan venttiilin avautumiseen. Ensimmäisen tason ollessa hyvin herkkä, järjestelmä reagoi melkein kaikkiin iskuihin. Viides taso taas vaatii paljon isompia iskuja venttiilin avautumiseen. [2]

Järjestelmän venttiilit ovat solenoidiventtiilejä (kuva 16), jotka kykenevät kytkemään puristusvaimennuksen open mode -asetuksesta firm mode -asetukseen jopa kolmessa tuhannesosasekunnissa [8]. Benedict [2] toteaa, että solenoidiventtiili on normaalisti kiinni

eli firm mode -asetus on päällä jousen avulla ja open mode -asetus on ohjattuna magneetin avulla. Koska keskitason asennot vaatisivat pysyvää voimaa pitämään ne asennoissaan, systeemi voi olla ainoastaan joko suljettuna tai avoinna. Toimintaperiaate on sama sekä joustokeulassa että takaiskunvaimentimessa. [2]



Kuva 16. Systeemin keskeisin toimilaite on sekä magneetin että jousen avulla toimiva solenoidiventtiili [2].

Koska venttiili avautuu vain kohdatessaan iskuja tai pyörän ollessa ilmassa, se on oletusarvoisesti firm mode -asennossa kaiken muun ajan. Edelleen jokaisen iskun jälkeen venttiili palautuu normaaliajossa firm mode -asentoon noin puolen sekunnin kuluttua. Jos pyörä on kuitenkin ilmalennossa tai vapaapudotuksessa, venttiili osaa pysyä auki pidemmän aikaa pehmeämpää alastuloa varten. Lisäksi ajaminen joko ylämäessä tai alamäessä vaikuttaa varsinaiseen venttiilin auki pysymisen aikaan. Alamäkeen ajettaessa open mode -asento pysyy pidempään auki, koska se vähentää energiankulutusta ja parantaa suorituskykyä. [2] Nopeampi vauhti alamäkeen ajettaessa lisää pyörään kohdistuvien iskujen määrää ja nopeutta.

Järjestelmä sisältää säätimeen sijoitetun litiumioniakun. Järjestelmää voidaan käyttää viidellä eri asetusarvolla. Akun virta kestää säädön mukaan vaihdellen 16 – 20 tunnin välillä. Akku ladataan Micro-USB -liitännän avulla, mutta virran loppuessa systeemi lopettaa toimintansa ja open mode -asetus kytkeytyy päälle. [11]

Fox ilmoittaa Live Valve -järjestelmän tuovan lisähintaa valmiiseen pyörään noin 1800 dollaria eli noin 1600 euroa. Olemassa olevaan pyörään asennettaessa järjestelmän hinta vaihtelee sen mukaan, minkä joustokeulan valitsee. Jos esimerkiksi valitaan Fox

32 SC -joustokeula, järjestelmän hinta on noin 3000 dollaria eli noin 2700 euroa. [2] Järjestelmän hintaa voidaankin pitää vielä kalliina, jos sitä verrataan sen kuljettajalle tuomiin hyötyihin.

4.2 Järjestelmän toiminta käytännössä

Automatisoitua elektronista iskunvaimennusjärjestelmää, Live Valve -järjestelmää, koeajettiin syksyllä 2018 kokeneen endurokuljettajan Dylan Stuckin toimesta. Järjestelmän toiminnallisuutta testattiin kaiken tyyppisissä maastoissa, jotka sisälsivät esimerkiksi liukkaita, hitaita, kosteita ja juurakkoisia polkuja. Lisäksi järjestelmän käyttäytymistä koeajettiin pitävillä teillä ja poluilla. [19]

Järjestelmän toiminta on vakaata ajettaessa sileillä pinnoilla, mutta epätasaisuudet ja esteet aktivoivat nopeasti solenoidiventtiilin. Teknisissä ja hitaasti ajettavissa polkuylämäissä järjestelmän aktivoituminen hyödyntää pyörän jousituksen ja vaimennuksen täysipainoisesti, mutta lähes välitön venttiilin sulkeutuminen esteiden jälkeen mahdollistaa tehokkaamman tehonsiirron kuljettajalta. [19] Järjestelmän tärkein hyöty on sen nopea sopeutuminen erilaisiin maastonosiin, koska se asettaa iskunvaimennuksen automaattisesti ajopinnan mukaisesti. Kun pyörällä ajetaan vaihtelevilla pinnoilla, järjestelmä tarjoaa vakaata ajotuntumaa, mutta samalla se vaimentaa maaston aiheuttamia iskuja.

Järjestelmän puute toiminnan kannalta on ylämäkeen ajettaessa venttiilin nopeampi sulkeutuminen verrattuna tasaisella ja alamäkeen ajettaessa. Jos iskut ovat hyvin lähekkäin, venttiili saattaa sulkeutua juuri osuttaessa seuraavaan iskuun edellisen jälkeen. Silloin isku välittyy kuljettajalle, koska järjestelmä ei ehdi vaimentamaan sitä. Lisäksi järjestelmän ollessa pois päältä, jousituksen vaimennus tuntuu liian voimakkaalle. Järjestelmä voi tuntua alussa myös epäjohdonmukaiselle ja vaikeasti ennustettavalle. Kuljettajan on vaikea varautua järjestelmän reagoimiseen erilaisilla pinnoilla ajettaessa. [19] Voidaan kuitenkin olettaa, että ajokokemus järjestelmän kanssa auttaa kuljettajaa tunnistamaan sen toiminnallisuutta eri tilanteissa.

5. YHTEENVETO

Tämän kandidaatintyön tärkeimpänä tavoitteena oli tuottaa selvitys maastopyörän iskunvaimentimen toiminnasta ja toteutuksesta joustokeulassa. Siinä onnistuttiin hyvin. Maastopyörän iskunvaimennus toteutetaan hydraulikan avulla ja sen tarkoituksena on vaimentaa maastosta johtuvaa jousituksen heilahtelua. Vaimennus jaetaan puristus- ja paluuvaimennukseen, joiden vaimennustasoa ohjataan öljyvirtauksen nopeutta ja painetta säätämällä. High- ja low-speed-vaimennukset määräytyvät iskun nopeuden mukaan.

Iskunvaimennuksen toimintaa joustokeulassa käsiteltiin Fox FIT4 -iskunvaimentimen säätömekanismien avulla. Työssä saatiin selville, kuinka öljy virtaa iskunvaimentimen sisällä, ja kuinka erilaiset kuljettajan toimesta tehtävät säätöasetukset vaikuttavat vaimentimen toimintaan. Open mode -asetuksella öljy virtaa sekä high- että low-speed-kierrojen kautta, jolloin iskunvaimennin on herkimmillään ottamaan vastaan iskuja. Medium mode -asetuksella low-speed-kierto on suljettu, mutta öljy virtaa edelleen high-speed-kierron kautta. Silloin joustokeula on vakaampi, mutta ottaa vastaan kuitenkin nopeita iskuja. Firm mode -asetuksella molemmat öljykierrot ovat suljettu, mikä tekee joustokeulasta lähes jäykän.

Työssä perehdyttiin lisäksi uusimpaan automaattisesti toimivaan ja elektronisesti ohjattavaan iskunvaimennusjärjestelmään, Live Valve -järjestelmään, joka on Fox-yrityksen kehittämä uusi iskunvaimennusteknologia. Se säätää automaattisesti joustokeulan ja takaiskunvaimentimen vaimennustason maaston mukaan ilman, että kuljettajan tarvitsee itse säätää vaimennuksen asetuksia ajon aikana. Järjestelmän hyviä puolia ovat sen nopea aktivoituminen ja sulkeutuminen hyödyntäen pyörän iskunvaimennuksen täysipainoisesti teknisessä maastossa. Järjestelmä tarjoaa myös vakaata ajokokemusta sileillä pinnoilla ajettaessa. Huonoja puolia ovat sen epäjohdonmukaisuus ja vaikeasti ennustettavuus. Kuljettaja ei välttämättä tiedä, kuinka järjestelmä reagoi erilaisiin tuleviin iskuihin. Sen lisäksi järjestelmän ollessa pois päältä vaimennus tuntuu liian voimakkaalle, mikä on epäsuotuisa tilanne esimerkiksi akun virran loppuessa pitkällä pyörälenkeillä, tai jos kuljettaja on sen unohtanut ladata ennen pyörälenkkiä. Järjestelmä on myös kallis, kun ajatellaan sen kuljettajalle tuomia hyötyjä.

Nähtäväksi jää, mihin suuntaan automaattisesti toimivien iskunvaimennusjärjestelmien kehitys etenee ja saavuttaako se suosiota maastopyöräilijöiden keskuudessa. Voidaan olettaa, että järjestelmän johdonmukaisuus ja ennustettavuus paranee kuljettajalle ajokokemuksen kautta. Jatkokehitysideana järjestelmän virran säilymiselle voisi toimia akun lataaminen pyörän liike-energiasta, jolloin virta ei pääse loppumaan kesken pyörälenkin. Tällä hetkellä järjestelmä on kallis, mutta tulevaisuutta ajatellen yhdistelmä automatiikkaa ja elektroniikkaa osana iskunvaimennusta voidaan nähdä vahvana ehdokkaana niiden kehityksessä.

LÄHTEET

- [1] J. Baltes, R. Redfield, C. Sutela, Development of a freeride mountain bike suspension fork, *Sports Technol.*, vol.1, no.2–3, 2008, pp. 152–165. Saatavissa (6.11.2018): <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1002/jst.16>
- [2] T. Benedict, First Look! Fox Live Valve suspension automatically tames any terrain, *Bikerumor*, 2018, päivitetty 28.8.2018. Saatavissa (21.1.2019): <https://bikerumor.com/2018/08/28/first-look-fox-live-valve-tracks-any-terrain-with-automatic-damping-control/>
- [3] T. Benedict, Suspension Tech: How does high speed compression damping differ from low speed?, *Bikerumor*, 2017, päivitetty 15.11.2017. Saatavissa (6.11.2018): <https://bikerumor.com/2017/11/15/suspension-tech-high-speed-compression-damping-differ-low-speed/>
- [4] T. Benedict, Suspension Tech: How do forks keep air out of their damping circuit?, *Bikerumor*, 2017, päivitetty 12.7.2017. Saatavissa (17.11.2018): <https://bikerumor.com/2017/07/12/suspension-tech-forks-keep-air-damping-circuit/>
- [5] T. Benedict, Suspension Tech: What's the difference between High & Low speed rebound?, *Bikerumor*, 2017, päivitetty 30.11.2017. Saatavissa (6.11.2018): <https://bikerumor.com/2017/11/30/suspension-tech-whats-the-difference-between-high-low-speed-rebound/>
- [6] T. Benedict, Suspension Setup Guide, *Bikerumor*, 2014. Saatavissa (6.11.2018): <https://bikerumor-wpengine.netdna-ssl.com/wp-content/uploads/2014/10/Bikerumor-Suspension-Setup-Guide.pdf>
- [7] C. Benson, Suspension Tech: Wait...What is suspension damping, again?, *Bikerumor*, 2018, päivitetty 14.3.2018. Saatavissa (6.11.2018): <https://bikerumor.com/2018/03/14/suspension-tech-wait-what-is-suspension-damping-again/>
- [8] R. Cunningham, Fox Live Valve suspension, *Pinkbike*, 2018, päivitetty 28.8.2018. Saatavissa (10.2.2019): <https://www.pinkbike.com/news/review-fox-live-valve-suspension.html>
- [9] Fox, FOX Factory Holding Corp, video. Saatavissa (viitattu 12.11.2018): <https://www.ridefox.com/family.php?m=bike&family=32s>
- [10] Fox, FOX Factory Holding Corp, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 27.12.2018): <https://www.ridefox.com/family.php?m=bike&family=32>
- [11] Fox, Live Valve, FOX Factory Holding Corp, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 21.1.2019): <https://www.ridefox.com/content.php?c=livevalve-bike>

- [12] Fox, Live Valve Tuning Guide, FOX Factory Holding Corp, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 15.3.2019): https://www.ridefox.com/inc/content/livevalve-bike/img/605-00-188_RevA%20LIVE%20Valve%20Tuning%20Guide.pdf
- [13] J. Helminen, Mistä on takaiskarit tehty?, Fillari-lehti, 2001, s. 80–82. Saatavissa (6.11.2018): http://www.fillari-lehti.fi/jutut/2001/takaiskarin_toiminta.pdf
- [14] J. Kajaste, H. Kauranne, M. Vilenius, Hydrauliteknikka, Sanoma Pro Oy, 2013, s. 39–40.
- [15] M. Levy, G. Smith, Effectiveness of vibration damping with bicycle suspension systems, Sports Engineering, 2005, pp. 99–106.
- [16] R. Redfield, Design Parameter Sensitivity for a Mountain Bike Rear Shock, Proceedings of the ASME International Mechanical Engineering Congress and Exposition, IMECE2006-14761, November 2006. Saatavissa (25.11.2018): https://www.researchgate.net/publication/267588786_Design_Parameter_Sensitivity_for_a_Mountain_Bike_Rear_Shock
- [17] R. Redfield, Thermal modeling in mountain bike air shocks, Procedia Engineering, vol.2, June 2010, pp. 2625–2630. Saatavissa (25.11.2018): <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877705810002961?via%3Dihub>
- [18] R. Redfield, C. Sutela, A Bond Graph Model of a Full-Suspension Mountain Bicycle Rear Shock, The Engineering of Sport 6, vol.1, 2006, pp. 109–110. Saatavissa (25.11.2018): https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-0-387-46050-5_20
- [19] D. Stucki, FOX Live Valve Suspension: Robots, MTB and the Rise of the Machines, Vital MTB, 2018, päivitetty 28.8.2018. Saatavissa (viitattu 25.3.2019): <https://www.vitalmtb.com/features/FOX-Live-Valve-Suspension-Robots-MTB-the-Rise-of-the-Machines,2508>
- [20] P. Thede, Technicalities: Suspension Damping, Sport Rider, 2010, päivitetty 30.6.2010. Saatavissa (18.12.2018): <https://www.sportrider.com/technicalities-suspension-damping>
- [21] Trek, Trek Bicycle Corporation 2018, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 18.11.2018): https://www.trebikes.com/fi/fi_FI/polkupy%C3%B6r%C3%A4t/-maastopy%C3%B6r%C3%A4t/maastopy%C3%B6r%C3%A4t-trail/remedy/remedy-8-27-5/p/21621/
- [22] B. Turman, First Ride: FOX's Updated 2017 FIT4 Damping Tune, Vital MTB, 2016, päivitetty 18.5.2016. Saatavissa (12.11.2018): <https://www.vitalmtb.com/features/First-Ride-FOXs-Updated-2017-FIT4-Damping-Tune,1383>

- [23] B. Turman, Goodbye CTD, Hello FOX FIT4, Vital MTB, 2015, päivitetty 23.4.2015. Saatavissa (28.12.2018): <https://www.vitalmtb.com/photos/features/2015-Sea-Otter-Classic-Pit-Bits,8821/Goodbye-CTD-Hello-FOX-FIT4,89708/bturman,109>