Metsätehon raportti 209
4.12.2009

ISSN 1459-773X (Painettu)
ISSN 1796-2374 (Verkkojulkaisu)

Hanke on toteutettu
Työsuojelurahaston tuella

Metsäteho

Rengaspaineiden vaikutus puutavara-auton tärinään

Marko Oksanen
Esko Rytkönen

METSÄTEHO OY
PL 101 (Snellmaninkatu 13)
00171 Helsinki
Puh. 020 765 8800
Faksi (09) 659 202
www.metsateho.fi

Rengaspaineiden vaikutus puutavara-auton tärinään

Marko Oksanen
Esko Rytkönen

Metsätehon raportti 209
4.12.2009

ISSN 1459-773X (Painettu)
ISSN 1796-2374 (Verkkojulkaisu)

Asiasanat: CTI, kehotärinä, altistuminen, rengaspaine, puutavarankuljetus

Valokuvat: Metsäteho Oy s. 11, a ja b
Työterveyslaitos muut kuvat

© Metsäteho Oy

Helsinki 2009

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ 5

1 JOHDANTO 6
1.1 Tärinän peruskäsitteitä 6
1.2 Lainsäädäntöä 7
1.3 Tärinän vaikutuksia 8
1.4 Aiempia tutkimustuloksia 8
1.5 Tutkimuksen tarkoitus 9

2 MENETELMÄT JA AINEISTO 10

3 TULOKSET 15
3.1 Kuljettajan tärinäaltistuksen vähentyminen 15
3.2 Kalustoon kohdistuvan tärinän pienentyminen 18

4 TULOSTEN POHDINTAA 20

LÄHTEET 21

LIITE

TIIVISTELMÄ

Alennettujen rengaspaineiden merkitystä puutavarakuorma-autoon ja sen kuljettajaan kohdistuvaan tärinään tutkittiin 2008 ja 2009. Tärinämittaukset ja niiden analysoinnit teki Marko Oksanen Työterveyslaitokselta. Esko Rytkönen Työterveyslaitokselta osallistui tutkimuksen suunnitteluun ja raportointiin. Tutkimuksen rahoittivat Työsuojelurahasto ja Metsäteho Oy.

Tärinämittauksissa mukana olleen rengaspaineiden säätöjärjestelmällä varustetun puutavarakuorma-auton omisti Kuljetusliike JVS Niinikoski Oy ja kuljettajana oli Veikko Niinikoski. Tutkimuskohteena olleet tiet sijaitsivat Keuruulla ja Petäjävedellä.

Alennetut rengaspaineet pienensivät tärinää huonoilla tieosuuksilla. Kuljettajan tärinäaltistus pieneni enimmillään 8 %. Lisäksi kuljettajan tärinäkokemus oli myönteinen. Kaluston tärinä pieneni kuljettajan tärinäaltistusta enemmän. Etuakselin tärinä pieneni enimmillään 76 % kun käytettiin alennettuja rengaspaineita.

Tuloksia on esitelty mm. kansainvälisessä melu- ja tärinäkonferensissa (ICSV 16, International Conference of Sound and Vibration 2009), joka pidettiin kesällä 2009 Krakovassa Puolassa. Esitys: Oksanen M., Rytkönen E. ja Vähänikkilä A. Reduction of Vibration in a Timber Truck by Lowering the Tyre Pressure.

1 JOHDANTO

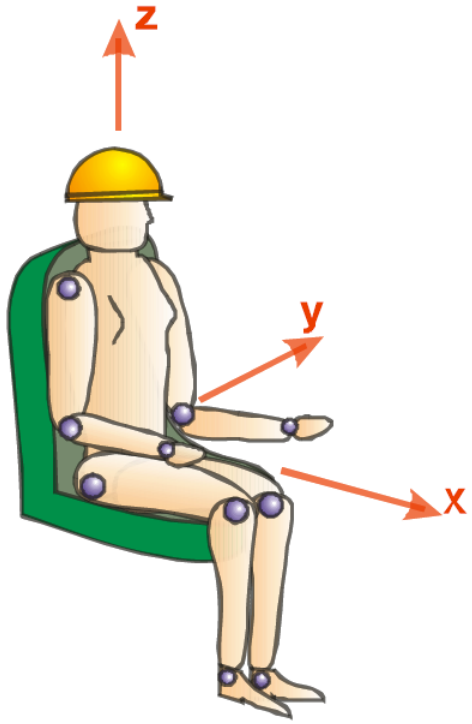
1.1 Tärinän peruskäsitteitä

Tärinä on kappaleen edestakaista värähtelyä. Tärinän voimakkuus ilmoitetaan tavallisimmin kiihtyvyytenä (m/s^2), josta mitataan niin sanottu RMS-arvo (root mean square), joka kuvaa tärinän neliöllistä keskiarvoa eli ajallisesti vaihtelevan tärinän keskimääräistä kiihtyvyyttä mittausjakson aikana ja se määritellään lausekkeella

$$a = \left\{ \frac{1}{T} \int_0^T [a(t)]^2 \, dt \right\}^{\frac{1}{2}}$$

missä a(t) on tärinän hetkellinen kiihtyvyys.

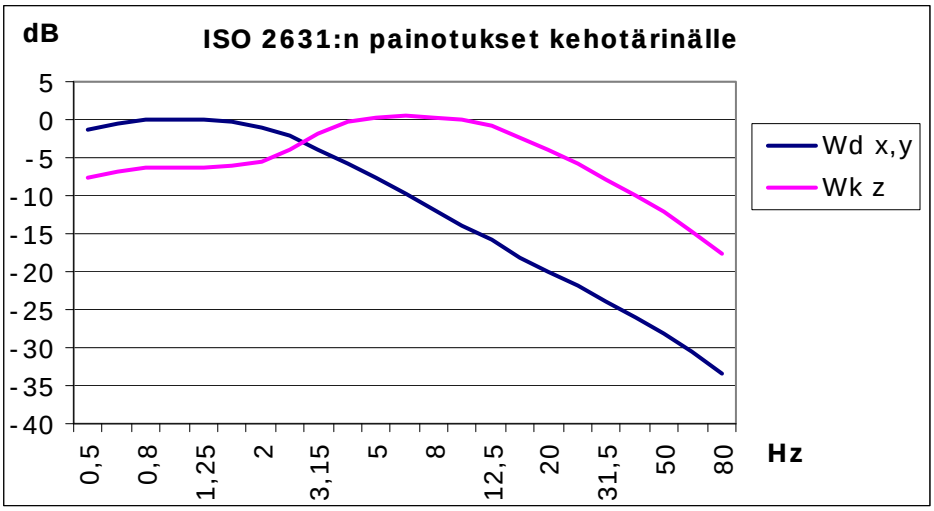
Tärinätaajuuden yksikkö on värähdysten lukumäärä sekunnissa eli hertsi (Hz). Tärinän haitallisuuteen vaikuttaa myös altistusaika siten, että mitä pitempi altistusaika on, niin sitä suurempi on tärinän aiheuttamien terveysvaikutusten riski. Ihmiseen kohdistuvasta tärinästä tarkastellaan erikseen koko kehoon kohdistuvaa tärinää (kehotärinä, taajuusalue 0,5–80 Hz) ja käsiin kohdistuvaa tärinää (taajuusalue 6–1250 Hz). Tärinää arvioidaan ja mitataan kolmessa toisiaan vastaan kohtisuorassa suunnassa eli pitkittäis-, poikittais- ja pystysuunnassa (x, y ja z), jotka on kehotärinän osalta esitetty kuvassa 1.



KUVA 1. Kehotärinän mittaussuunnat.

Tutkimusten perusteella tiedetään, että tärinän eri taajuusalueilla on erilainen vaikutus elimistöön. Siksi kehotärinälle on määritelty mittauksissa käytettävät taajuuspainotukset, jolloin tärinän voimakkuus voidaan ilmoittaa yhdellä haitallisuuteen verrannollisena lukuarvolla eli painotettuna kiihtyvyytenä. Suunnassa x mitattu painotettu kiihtyvyys merkitään lyhenteellä a_{wx}, suunnassa y a_{wy} ja suunnassa z vastaavasti a_{wz}.

Standardin ISO 2631-1 mukaiset taajuuspainotukset on esitetty kuvassa 2, jossa on erikseen sivusuuntien (x ja y) sekä pystysuunnan (z) taajuuspainotukset. Kuvasta nähdään, että sivusuuntainen tärinä on haitallisinta taajuusalueella 0,5–2 Hz ja pystysuuntainen vastaavasti taajuusalueella 3–12 Hz.



KUVA 2. Sivusuuntien x ja y painotuskäyrä W_d ja pystysuunnan z painotuskäyrä W_k.

Tärinäaltistus mitataan kaikissa kolmessa suunnassa ja tuloksena ilmoitetaan suurin arvo luvuista $1{,}4a_{wx}$, $1{,}4a_{wy}$ ja a_{wz}, joissa a_w on tärinän painotettu kiihtyvyys. Vaakasuuntaisen (x ja y) tärinän kiihtyvyydet on kerrottu 1,4 :llä standardin ISO 2631-1 mukaisesti.

1.2 Lainsäädäntöä

Euroopan Unionin tärinädirektiivin perusteella annettu Valtioneuvoston asetus työntekijöiden suojelemisesta tärinästä aiheutuvilta vaaroilta nro 48/2005 tuli voimaan 6.7.2005. Kehotärinän toiminta-arvo on kahdeksan tunnin vertailuaikaan suhteutettuna 0,5 m/s^2. Työnantajan on laadittava tärinäntorjuntaohjelma, jos työntekijän tärinäaltistuksen toiminta-arvo ylittyy. Altistuksen raja-arvo on 1,15 m/s^2. Jos se ylittyy, työnantajan on viipymättä ryhdyttävä toimiin tärinän alentamiseksi ja huolehdittava, ettei raja-arvojen ylittyminen toistu. (VNa 2005.)

Ennen 6.7.2007 hankittuihin työvälineisiin, joiden osalta ei voida noudattaa altistuksen raja-arvoa tekniikan viimeisimmästä kehityksestä eikä töiden järjestelystä huolimatta, sovelletaan asetusta 6.7.2010 alkaen ja maa- ja metsätaloudessa käytettävien työvälineiden osalta 6.7.2014 alkaen. Altistuksen toiminta-arvo on voimassa. Työntekijöiden altistus kehotärinälle on mitattava standardin ISO 2631-1 (1997) mukaisesti, jolloin tärinästä mitataan RMS-kiihtyvyys vaakasuunnissa x ja y sekä pystysuunnassa z. Tärinää painotetaan suunnissa x ja y suodattimella W_d ja z-suunnassa suodattimella W_k. Altistus ilmoitetaan suurimpana arvona luvuista 1,4 a_{wx}, 1,4 a_{wy} ja a_{wz}, missä a viittaa kiihtyvyyteen ja w tärinän painotukseen. (VNa 2005.)

Työnantajan on selvitettävä työntekijöiden mahdollinen altistuminen tärinälle ja tunnistettava tärinän aiheuttaja. Tarvittaessa altistumisen taso on mitattava ja arvioitava, kuinka suuren riskin työntekijän terveydelle ja turvallisuudelle se aiheuttaa. Selvitysten ja mittausten perusteella työnantajan on arvioitava tärinän haitta- ja vaaratekijöiden merkitys työntekijöiden turvallisuudelle ja terveydelle (riskin arviointi). Ensisijaisesti vaarat on pyrittävä poistamaan, toissijaisesti vähentämään niin paljon kuin tekniikan kehitys ja vaaran tai haitan ehkäisemiseksi tai vähentämiseksi käytössä olevat keinot sallivat. Työnantajan on säilytettävä riskinarvioinnin tulos ja työntekijällä on oltava mahdollisuus saada siitä tieto. Riskin arviointi on pidettävä ajan tasalla ja tarkistettava, jos työmenetelmät tai työolot muuttuvat merkittävästi tai työntekijälle aiheutuu tärinästä terveysvaara. (VNa 2005.)

1.3 Tärinän vaikutuksia

Epidemiologisten tutkimusten tulokset osoittavat, että kokokehotärinälle altistuneilla ryhmillä esiintyy enemmän alaselkäkipuja, välilevytyriä ja selkärangan varhaista rappeutumista. Tärinäaltistuksen keston pidentyminen ja voimistuminen kasvattavat riskiä, kun sen sijaan lepojaksot pienentävät riskiä. Monet kuljettajat valittavat myös niska-hartiaseudun vaivoista, mutta epidemiologiset tutkimukset eivät ole vahvistaneet varmaksi tätä vaikutusta. Alaselkäkipu ja selkä-, hartia- ja niskavaivat eivät johdu ainoastaan tärinälle altistumisesta. Niihin vaikuttavat myös monet muut tekijät, kuten työasento, antropometriset ominaisuudet, lihaskunto, yksilölliset taipumukset (ikä, ennestään olevat sairaudet, lihasvoima jne.) ja fyysinen työtaakka. (Euroopan komissio 2008.)

1.4 Aiempia tutkimustuloksia

Työterveyslaitoksen tutki vuonna 2006 Keski-Suomessa ja Pohjois-Savossa puutavarakuorma-autojen kuljettajien tärinäaltistusta (Oksanen ja Sorainen 2006). Tärinää mitattiin normaalin puutavarakuljetuskierroksen aikana. Kuljettajan tärinäaltistus mitattiin ajon aikana istuimesta ja lattiasta sekä lastauksen aikana nosturin istuimesta. Tässä tärinätutkimuksessa toiminta-arvo 0,5 m/s^2 ylittyi autojen istuimilla maantiellä sekä metsätiellä ajon aikana 63 %:ssa tutkituista tapauksista. Ylityksiä esiintyi eniten pystysuunnassa. Ajon aikana istuintärinä oli voimakkainta pitkittäis- ja poikittaissuunnissa pääasiassa alle 5 Hz:n taajuuksilla ja pystysuunnassa 1–12,5 Hz:n taajuuksilla. Istuintärinä oli useimmiten voimakkaampaa kuin lattiatärinä. Pystysuunnassa ja sivusuunnissa istuin vahvisti tärinää tyypillisesti 1–5 Hz:n taajuudella.

Lastauksen aikana puutavaranosturin istuintärinä ylitti altistuksen toiminta-arvon 94 %:ssa tutkituista tapauksista ja altistuksen raja-arvon 13 %:ssa tapauksista. Ylityksiä esiintyi eniten eteen-taakse-suunnassa. Tärinän hetkelliset huippuarvot (peak) olivat suurimmillaan noin 20 m/s^2 sekä ajossa että lastauksessa.

Rengaspaineiden alentamisella on tutkimusten mukaan saatu merkittäviä hyötyjä, muun muassa puutavarakuorma-autojen toimintakyky on parantunut pehmeäpintaisilla teillä (Rieppo 2006). Yhdysvaltalaisen Nevada Automotive Test Centerin (NATC) tutkimuksen mukaan matalapaineiset renkaat välittivät 85 % vähemmän iskuja ja värähtelyjä puutavara-auton jousitukseen, auton komponenttien rikot vähentyivät 87 % ja korjauskustannukset 83 %. Pienet rengaspaineet näyttivät vähentävän tärinätasoa kuljettajan istuimella 10–25 % tien päällyksestä riippuen.

Ruotsalaisessa Skogforskin hankkeessa (2003–2006) varustettiin 12 puutavara-autoa eri puolilla Ruotsia kanadalaisella Tirebossin CTI-järjestelmällä. Hankkeeseen osallistuivat ruotsalaiset metsäyhtiöt, puutavara-autovalmistajat ja Vägverket. Tutkimustulosten mukaan tärinä ohjaamossa vähenee ja kuljettajien niska-, selkä- ja hartiavaivat vähenevät, kun rengaspaineet säädetään ajo-olosuhteiden mukaan. Erään kokeen mukaan tärinä ohjaamossa laski keskimäärin 8 % kierroksella joka käsitti ajon tyhjänä tehtaalta varastolle ja kuormattuna takasin tehtaalle. Rengaspaineen alentaminen vähensi tärinää jopa 15 %, kun ajettiin kuormittamattomana huonolla tiellä. Keskimääräistä 8 %:n laskua pidetään suurena ja se vahvistaa sitä, mitä CTI:llä varustettujen autojen kuljettajat ovat sanoneet: CTI:llä saadaan paljon paremmat tärinäolosuhteet.

1.5 Tutkimuksen tarkoitus

Suomen ensimmäinen säädettävällä rengaspainejärjestelmällä (CTI, Central Tire Inflation) varustettu puutavarakuorma-auto otettiin käyttöön vuonna 2008. Tässä tutkimuksessa selvitettiin rengaspaineiden alentamisen vaikutusta kuljettajan tärinäaltistukseen ja auton tärinään. Tämä tutkimus oli osa Metsätehon organisoimaa tutkimuskokonaisuutta, jossa tutkittiin rengaspaineiden vaikutusta tien raiteistumiseen, tierungon rasituksiin sekä kuljetustalouteen.

2 MENETELMÄT JA AINEISTO

Tärinää mitattiin Scania R620 puutavarakuorma-autosta, joka oli varustettu CTI rengaspaineen säätöjärjestelmällä. Tärinää mitattiin puutavarakuorma-auton neljästä kohdasta yhtäaikaisesti ajon aikana: etuakselista, rungosta, ohjaamon lattiasta ja kuljettajan istuimesta (kuva 3).

Autoon asennetussa säätöjärjestelmässä on erilaisia esiasennettuja valintoja, joita käytettiin alempien rengaspaineiden valinnassa eri tietyypillä ja auton kuormille (kuva 4). Kuvassa 5 näkyy alennetun paineen vaikutus renkaisiin.

KUVA 3. CTI-järjestelmällä varustettu puutavarakuorma-auto.

KUVA 4. CTI järjestelmän ohjausyksikkö ohjaamossa

KUVA 5. Vetopyörät alennetuin rengaspainein.

KUVA 6. Mittauksissa käytettyjen tietyyppien kuvat.

Mittauksiin valittiin Keuruulta ja Petäjävedeltä neljä erityyppistä tietä: metsäautotie, huono hiekkatie, hyvä hiekkatie sekä huono asfalttitie (kuva 6). Samaa reittiä ajettiin käyttäen täysiä rengaspaineita sekä CTI-järjestelmän antamia tietyyppikohtaisia alennettuja paineita. Rengaspaineiden vaikutusta tärinään tutkittiin myös ajettaessa kuormatulla ja tyhjällä puutavarakuormaautolla.

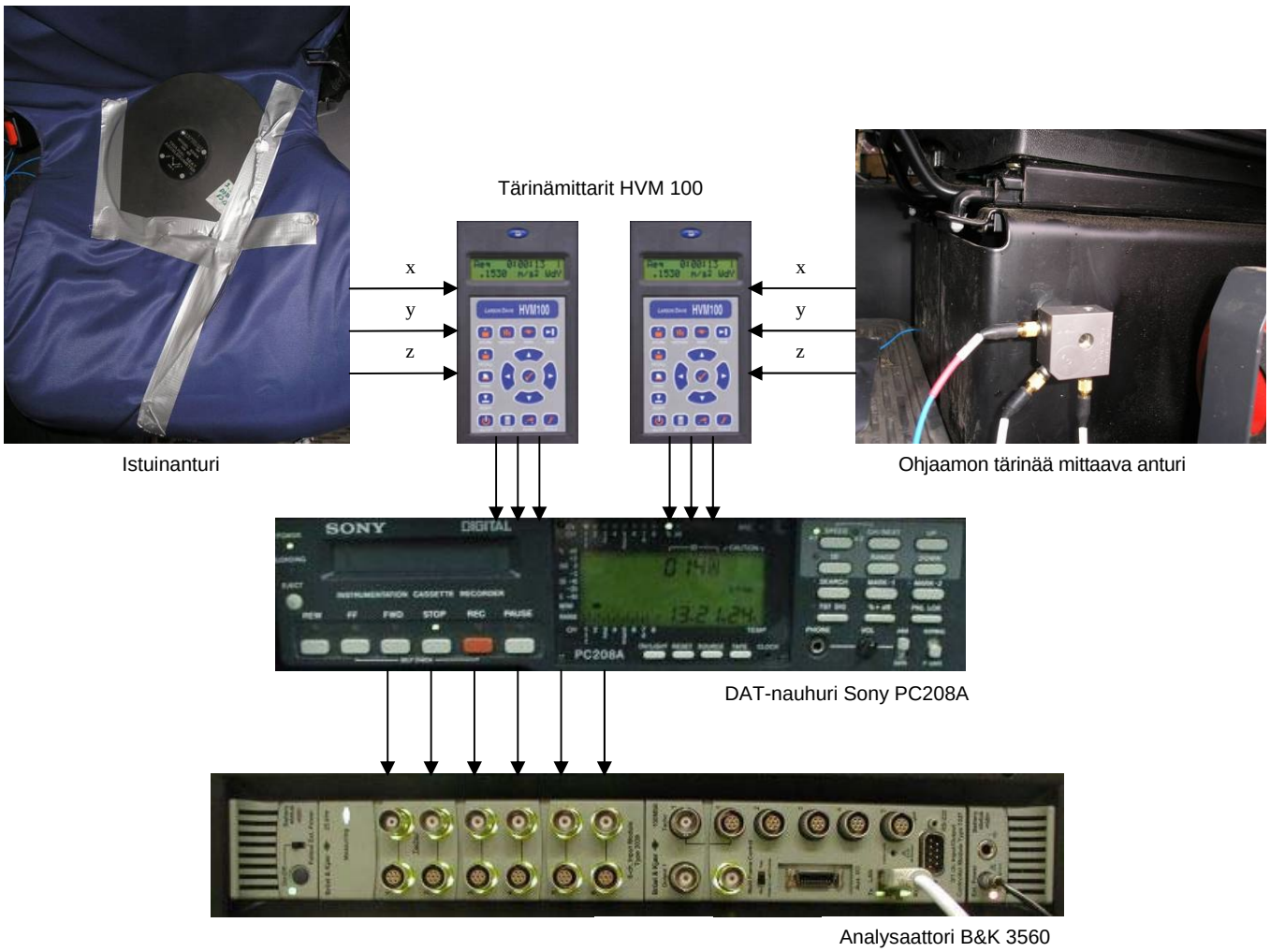
Huono hiekkatie koostui noin 8 kilometrin lenkistä, jonka ympäri ajettiin noin 30–35 km/h keskinopeudella. Metsäautotie oli 1,5 kilometrin pituinen, ja se ajettiin täysillä paineilla toiseen suuntaan ja alennetuilla paineilla takaisin. Keskinopeus metsäautotiellä oli noin 5–10 km/h. Parempi hiekkatie oli 2,5 kilometrin pituinen, ja myös se ajettiin eri paineilla eri suuntaan 40-50 km/h keskinopeudella. Huono asfalttitie oli noin 15 kilometrin mittainen lenkki, ja se ajettiin noin 60–70 km/h keskinopeudella.

Tärinää mitattiin kaikkien tieosuuksien koko pituudelta ja keskimääräinen tärinä analysoitiin koko havaintomäärästä.

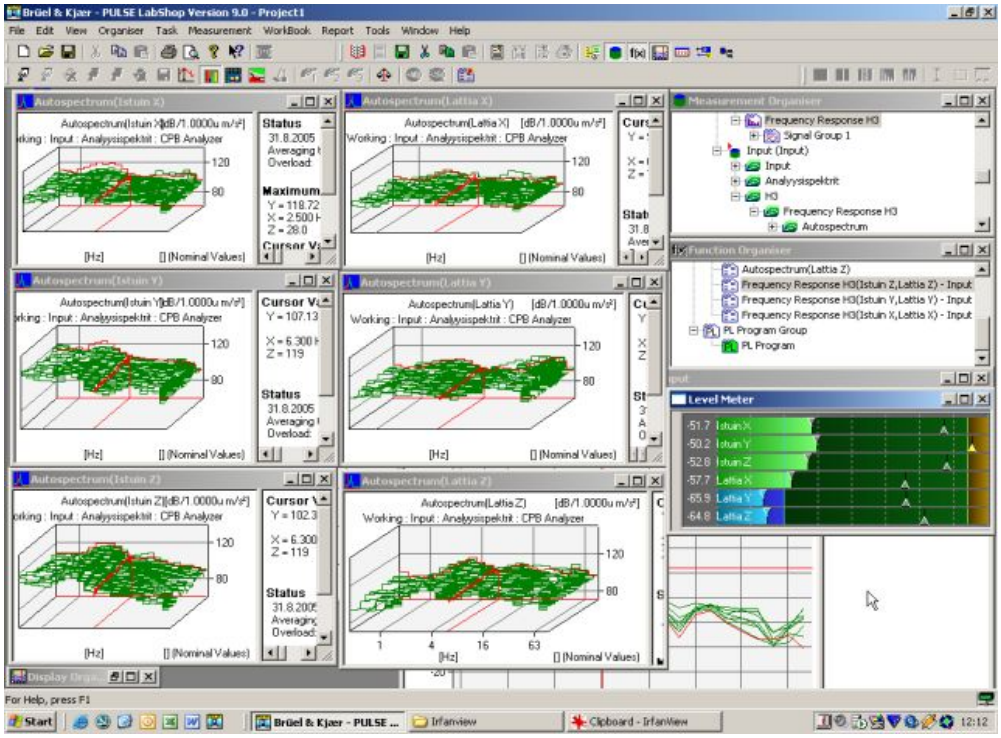
Tärinä mitattiin kaikissa pisteissä kolmessa suunnassa, x-, y- ja z-suunnissa, joista x on ajosuunta eli pitkittäissuunta, y poikittaissuunta ja z pystysuunta. Mitatuista tärinöistä analysoitiin tärinädirektiivin ja standardin ISO 2631/1(1997) mukaisesti taajuuspainotettu RMS-kiihtyvyys 1/3-oktaaveittain taajuusalueella 0,5–80 Hz.

Tärinäaltistus ilmoitetaan suurimpana arvona luvuista $1{,}4a_{wx}$, $1{,}4a_{wy}$ ja a_{wz}, joissa a_w on tärinän painotettu kiihtyvyys. Vaakasuuntaisen (x ja y) tärinän kiihtyvyydet on kerrottu 1,4:llä standardin ISO 2631 (1997) mukaisesti.

Mittauslaitteina käytettiin kolmea 3-suuntaista kiihtyvyysanturia (B&K 4321, PCB 356B41 ja Kistler 8692C5M1) ja yhtä 3-suuntaista istuinanturia (Dytran 5313A). Signaalit vahvistettiin kolmella Larson Davis HVM 100-tärinämittarilla ja yhdellä Wilcoxon P703B signaalivahvistimella. Kaikki 12 eri tärinäsignaalia tallennettiin kahdella 8-kanavaisella DAT-nauhurilla Sony PC208A. Tärinänauhat analysoitiin laboratoriossa 11-kanavaisella reaaliaika-analysaattorilla B&K 3560 C käyttäen PULSE-analysointiohjelmistoa. Kuvassa 7 on esitetty osa mittauslaitteistosta kahden anturin, kuljettajan istuimen ja ohjaamon lattian osalta. Akseli ja runko mitattiin samalla mittausgeometrialla.



KUVA 7. Tärinän mittaus- ja tiedonkeruulaitteet.



KUVA 8. Tärinäaineiston analysointia.

TAULUKKO 1. Eri mittaustilanteissa käytetyt rengaspaineet.

Tietyyppi	Kuorma	Rengaspaineeen valinta	Eturenkaat kPa	Vetopyörät kPa	Perävaunu kPa
Huono hiekkatie	Tyhjä	Täydet CTI	839 409	879 324	839 377
Huono hiekkatie	Täysi	Täydet CTI	839 602	794 530	839 548
Metsäautotie	Täysi	Täydet CTI	884 615	794 534	839 584
Hyvä hiekkatie	Täysi	Täydet CTI	884 615	794 534	839 584
Huono asfaltti	Tyhjä	Täydet CTI	840 543	794 445	844 525

TAULUKKO 2. Kokeessa käytetyn CTI-auton pyörä- ja akselipainot, jotka mitattiin pyöräpainovaakoilla. Tyhjä perävaunu punnittiin takimmaiset pyörät sekä ylhäällä että laskettuina.

Kuorma	Perävaunun pyörät [kg]				Vetopyörät [kg]		Etupyörät [kg]	Yhteensä [kg]
	Takimmainen teli		Etummainen teli					
Tyhjä	0	2190	420	1030	2780	2620	2780	23 660
	0	2360	480	1070	2580	2630	2720	
Tyhjä	860	1090	790	950	2780	2620	2780	23 670
	1000	1000	910	960	2580	2630	2720	
Täysi	4580	5540	4160	3780	4400	4760	3480	64 240
	5300	5240	5040	3480	5780	5340	3360	

Tärinämittausta tehtiin tieosuuksilla sekä tyhjänä että kuormattuna ajon aikana. Taulukossa 1 on esitetty mittauksissa käytetyt rengaspaineet eri tilanteissa. Taulukossa 2 on esitetty kuormatun ja tyhjän puutavarakuorma-auton pyörä- ja akselipainot, jotka mitattiin pyöräpainovaaoilla. Puutavaranosturi oli autossa mukana.

3 TULOKSET

3.1 Kuljettajan tärinäaltistuksen vähentyminen

Taulukossa 3 on esitetty alennettujen rengaspaineiden vaikutus istuimen tärinään. Kuljettajan tärinäaltistus on tärinädirektiivin ja standardin ISO 2631/1(1997) mukaisesti taajuuspainotettujen kolmen suunnan RMS-kiihtyvyyksien suurin arvo, ja se on lihavoituna taulukossa.

TAULUKKO 3. Kuljettajan istuimesta mitatut RMS kiihtyvyydet x-, y- ja z-suunnissa eri tilanteissa ja tärinän pienentyminen.

Tietyyppi	Kuorma	Rengas-paineeen valinta	x m/s^2	y m/s^2	z m/s^2	Tärinä-altistuksen muutos %
Huono hiekkatie	Tyhjä	Täydet CTI	0,30 0,26	0,37 0,38	**0,60** **0,55**	-8
Huono hiekkatie	Täysi	Täydet CTI	0,21 0,24	0,31 0,31	**0,43** **0,41**	-4
Metsäautotie	Täysi	Täydet CTI	0,28 0,30	0,44 0,41	**0,56** **0,55**	-3
Hyvä hiekkatie	Täysi	Täydet CTI	0,16 0,18	0,22 0,22	**0,27** **0,26**	-5
Huono asfaltti	Tyhjä	Täydet CTI	0,34 0,35	0,44 0,44	**0,85** **0,85**	0

Kun kokonaistärinäaltistus tunnetaan, voidaan laskea aika T, jossa kahdeksan tunnin toiminta-arvo 0,5 m/s^2 ylitetään. T lasketaan kaavasta

$$T = \frac{2}{a^2}$$

TAULUKKO 4. Kuljettajan tärinäaltistuksen perusteella suurimmat lasketut päivittäiset ajoajat, millä tärinäaltistuksen toiminta-arvo ei vielä ylity.

Tietyyppi	Kuorma	Rengas-paineeen valinta	Tärinä-altistus m/s^2	Suurin sallittu ajoaika, millä toiminta-arvo ei ylity
Huono hiekkatie	Tyhjä	Täydet CTI	**0,60** **0,55**	5 h 30 min 6 h 40 min
Huono hiekkatie	Täysi	Täydet CTI	**0,43** **0,41**	10 h 50 min 11 h 50 min
Metsäautotie	Täysi	Täydet CTI	**0,56** **0,55**	6 h 20 min 6 h 40 min
Hyvä hiekkatie	Täysi	Täydet CTI	**0,27** **0,26**	24 h 24 h
Huono asfaltti	Tyhjä	Täydet CTI	**0,85** **0,85**	2 h 50 min 2 h 50 min

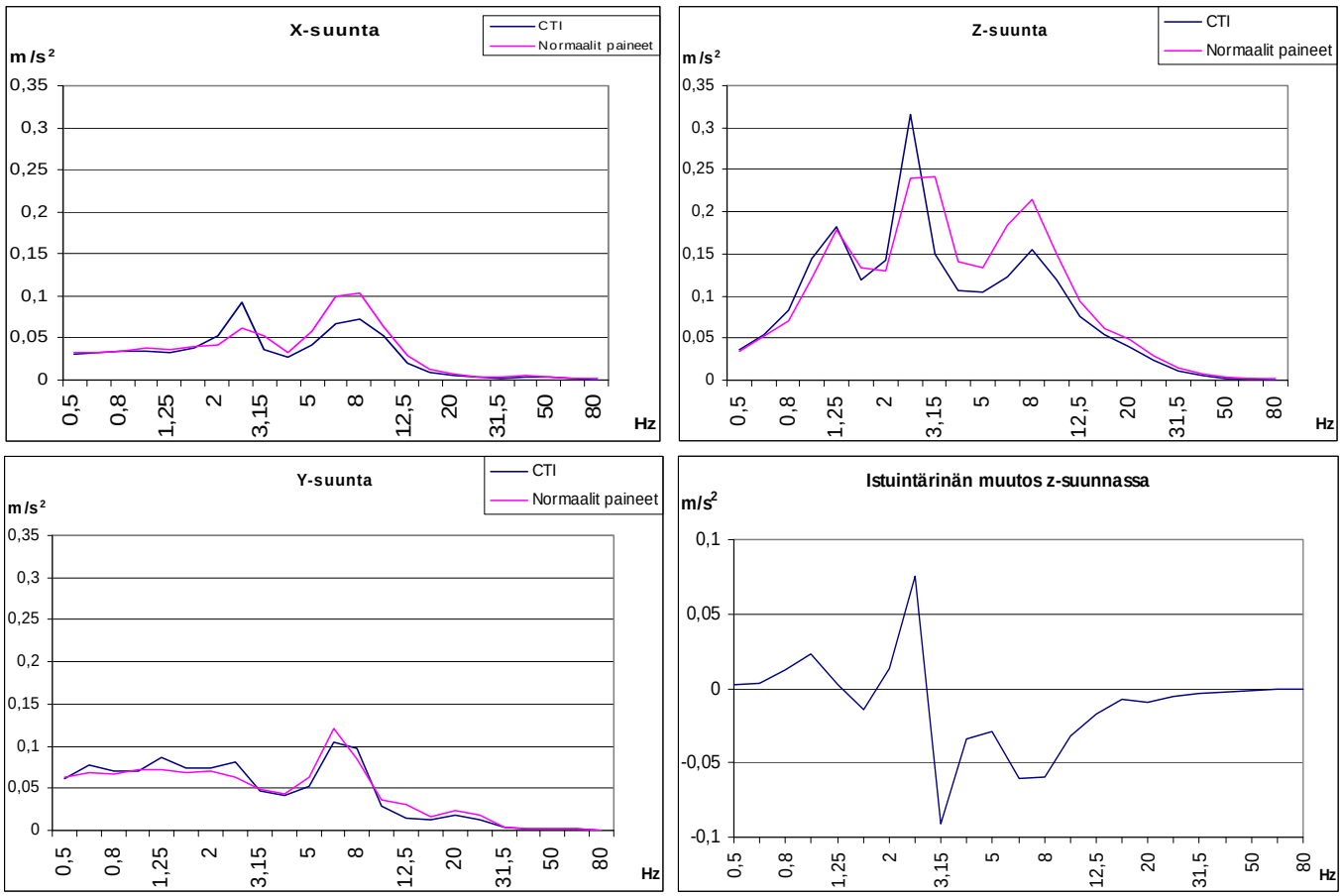
Taulukossa 4 on suurimmat ajoajat, millä kuljettajan tärinäaltistuksen toiminta-arvo ei ylity jos tärinäaltistus on kuten taulukossa 3.

Alennettu rengaspaine pienensi kuljettajan tärinäaltistusta eniten ajettaessa tyhjällä autolla huonoa hiekkatietä. Kuvassa 9 on esitetty tämän tapauksen osalta kuljettajaan kohdistuvan tärinän spektrit sekä normaaleilla paineilla että alennetuilla paineilla.

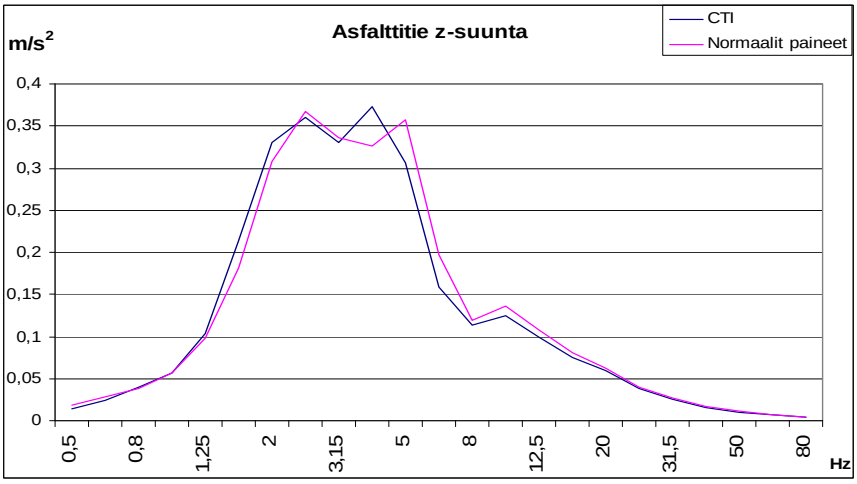
Kuvan 9 spektreistä nähdään, että tärinä ei juuri muuttunut x- ja y-suunnissa mutta z-suunnassa muutos oli selkeä. Suurilla taajuuksilla tärinä pieneni, mutta alennetut paineet suurensivat tärinää 2–3 Hz taajuusalueella. Muillakin tietyypeillä muutos oli samanlainen, mutta selkeimmin se näkyi ajettaessa tyhjänä huonoa hiekkatietä.

Kuljettajan subjektiivinen kokemus oli, että alennetuilla paineilla ajettaessa tärinän haitallisuus tuntui vähäisemmältä.

Kuljettajan tärinäaltistus oli suurin kun ajettiin ilman kuormaa huonoa asfalttitietä. Kuvassa 10 on esitetty kuljettajan tärinäaltistuksen määräävä z-suunta. Tärinäaltistus ei muuttunut rengaspaineita alentamalla.



KUVA 9. Kuljettajan kokokehon tärinäaltistus istuimelta, kun autolla ajettiin huonoa hiekkatietä käyttäen normaaleja rengaspaineita sekä alennettuja paineita (CTI) sekä istuintärinän z-suunnan muutos eri taajuuskaistoilla.



KUVA 10. Kuljettajan tärinäaltistuksen määräävä z-suunnan tärinäspektri ajettaessa ilman kuormaa huonoa asfalttitietä.

3.2 Kalustoon kohdistuvan tärinän pienentyminen

Alennetut paineet vähensivät tärinää selvimmin ajettaessa huonoa hiekkatietä, ja seuraavissa taulukoissa onkin esitetty kalustoon kohdistuvan tärinän mittausarvot tällä tiellä ajettaessa. Taulukoissa 5 ja 6 on esitetty eri mittauspisteiden tulokset eri paineilla ajettaessa sekä kuorman kanssa että ilman kuormaa. Tulokset ovat tärinädirektiivin ja standardin ISO 2631/1(1997) mukaisesti taajuuspainotettuja kiihtyvyysarvoja. Ne on siis laskettu samalla tavoin kuin kehotärinäaltistus. Taulukossa 7 on esitetty rengaspaineen alentamisen vaikutus tärinään prosentteina eri kohdissa autoa.

TAULUKKO 5. Tärinä eri mittauspisteissä ajettaessa huonoa hiekkatietä ilman kuormaa.

Mittaussuunta	Alennetut rengaspaineet				Täydet rengaspaineet			
	Akseli	Runko	Ohjaamo	Istuin	Akseli	Runko	Ohjaamo	Istuin
pitkittäis-, m/s^2	0,17	0,16	0,33	0,26	0,43	0,15	0,40	0,30
poikittais-, m/s^2	0,26	0,20	0,41	0,38	0,56	0,25	0,39	0,37
pysty-, m/s^2	1,54	0,73	0,53	0,55	6,54	0,91	0,60	0,60

TAULUKKO 6. Tärinä eri mittauspisteissä ajettaessa huonoa hiekkatietä täydellä kuormalla.

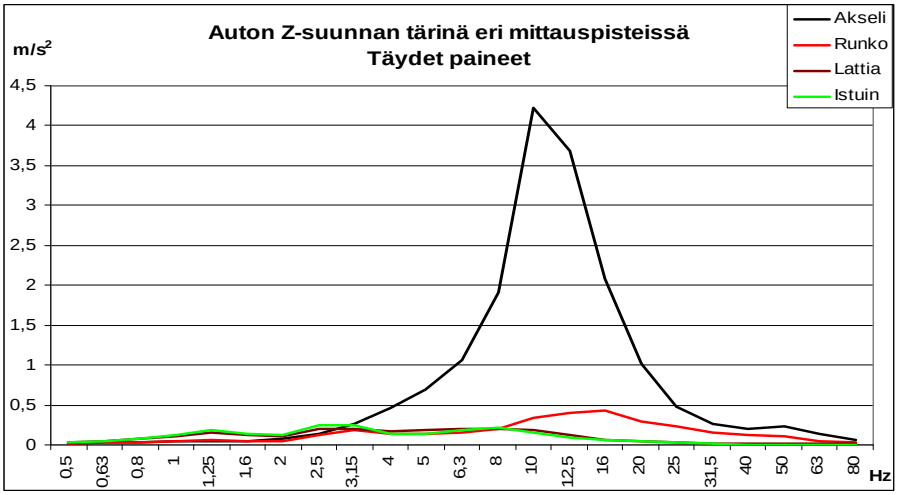
Mittaussuunta	Alennetut rengaspaineet				Täydet rengaspaineet			
	Akseli	Runko	Ohjaamo	Istuin	Akseli	Runko	Ohjaamo	Istuin
pitkittäis-, m/s^2	0,35	0,20	0,31	0,24	0,38	0,20	0,25	0,21
poikittais-, m/s^2	0,42	0,18	0,47	0,31	0,47	0,20	0,38	0,31
pysty-, m/s^2	4,39	0,43	0,42	0,41	5,68	0,52	0,44	0,43

TAULUKKO 7. Rengaspaineen alentamisen vaikutus tärinään ajettaessa huonoa hiekkatietä.

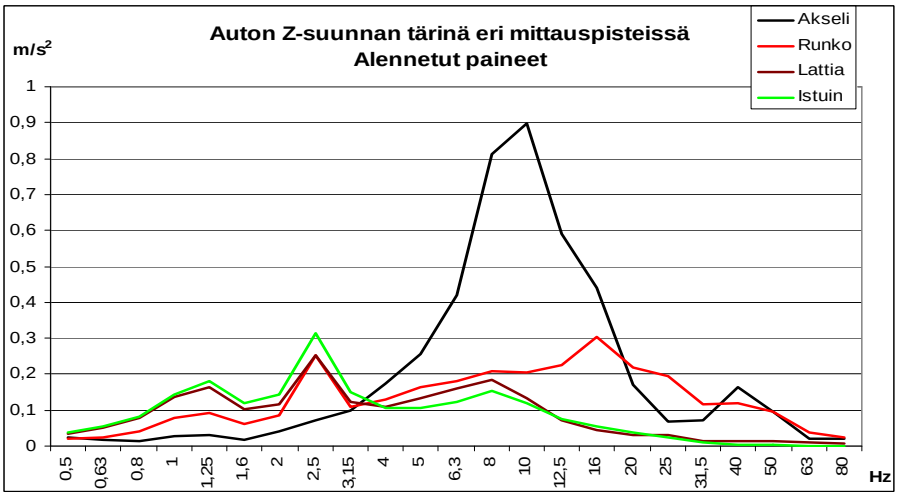
Mittaussuunta	Tyhjä auto				Täysi auto			
	Akseli	Runko	Ohjaamo	Istuin	Akseli	Runko	Ohjaamo	Istuin
pitkittäis-, %	-60	7	-18	-13	-8	0	24	14
poikittais-, %	-54	-20	5	3	-11	-10	24	0
pysty-, %	-76	-20	-12	-8	-23	-17	-5	-5

Kuvissa 11 ja 12 on esitetty auton eri mittauspisteistä samanaikaisesti mitatut pystysuuntaisen (z-suunta) tärinän spektrit ajettaessa huonoa hiekkatietä tyhjällä puutavarakuorma-autolla. Kun etuakselin tärinä täysillä paineilla oli 6,5 m/s^2, se oli alennetuilla paineilla vain 1,5 m/s^2. Tärinäarvot ovat painotettuja, kuten edellä on mainittu. Huomaa kuvissa olevat eri asteikot tärinälle.

Liitteessä on esitetty kaluston ja istuimen tärinä painottamattomana kokonaiskiihtyvyytenä taajuusalueelta 0,5–80 Hz eri tapauksissa. Nämä tärinäarvot ovat lineaarisia eli niitä ei ole taajuuspainotettu eikä x- ja y-suuntia ole kerrottu 1,4:llä.



KUVA 11. Auton eri mittauspisteiden taajuuspainotetut tärinäspektrit ajettaessa tyhjällä puutavarakuorma-autolla huonoa hiekkatietä täysillä paineilla.



Kuva 12. Auton eri mittauspisteiden taajuuspainotetut tärinäspektrit ajettaessa tyhjällä puutavarakuorma-autolla huonoa hiekkatietä alennetuilla paineilla. Huomaa eri asteikot tärinöissä.

4 TULOSTEN POHDINTAA

Tässä tutkimuksessa saatiin kuljettajan tärinäaltistuksen lisäksi uutta tietoa rengaspaineiden vaikutuksesta kaluston tärinään. Kuljettajan tärinäaltistus pieneni alennetuilla paineilla kaikilla tietyypeillä asfalttia lukuunottamatta. Tärinäaltistuksen pienentyminen oli 3–8 %. Kaluston tärinä pieneni kuljettajan istuimen tärinää enemmän, enimmillään jopa 76 % (akselin tärinä, tyhjä auto huonolla hiekkatiellä). Ohjaamon lattian tärinän pienentyminen oli 0–12 %. Tulokset ovat samaa luokkaa kuin ruotsalaisten ja yhdysvaltalaisten tutkijoiden saamat tulokset (Rieppo 2006).

Eri tietyypeistä rengaspaineen alentaminen vähensi tärinää eniten huonolla hiekkatiellä. Tyhjällä puutavara-autolla ajettaessa tärinä väheni enemmän kuin kuormatulla autolla. Kaikista mitatuista tapauksista suurin tärinäaltistuksen pienentyminen todettiin ajettaessa tyhjällä autolla huonoa hiekkatietä, jolloin rengaspaineiden alentaminen pienensi tärinää joka mittauskohdassa merkittävästi (8–76 %), ja kuormatullakin autolla selvästi (5–23 %).

Istuimen tärinä pieneni yli 3 Hz taajuuksilla ja suureni 2-3 Hz taajuuksilla kun rengaspaineita alennettiin, mikä näkyy hyvin myös kuvassa 8. Tulos on samansuuntainen kuin aikaisemmassa suomalaisessa tutkimuksessa (Oksanen ja Sorainen 2006), jossa todettiin, että istuin vahvisti pystysuunnassa tärinää tyypillisesti 1–5 Hz:n taajuudella, mikä johtui istuimen ominaistaajuudesta.

Tärinäspektrin muoto on erilainen akselissa ja muissa mittauspisteissä (kuva 10), mikä aiheutuu eri komponenttien (runko, ohjaamo, istuin-kuljettaja) jousi-massajärjestelmien erilaisista ominaistaajuuksista. Auton rakenteiden alempien kohtien tärinä toimii ylempien kohtien ominaistaajuuksia herättävänä tekijänä. Tärinän voimakkuus kuitenkin pienenee rakenteissa korkeammalle mentäessä. Auton eri kohdissa on tärinää vaimentavia ominaisuuksia, kuten akselistojen iskunvaimentimet, ohjaamon vaimentimet ja istuimen vaimentavat ominaisuudet. Uudessa autossa tärinän pienentyminen on mahdollisesti suhteellisesti pienempää kuin vanhassa autossa, sillä eri vaimentimien teho saattaa heiketä ajan kuluessa.

Alennetut rengaspaineet aikaansaavat tilanteen, missä rengas pääsee joustamaan enemmän. Tämä toimii lisävaimentimena, mutta myös omana jousimassajärjestelmänään, mikä mahdollisesti aikaansaa tuon havaitun tärinän suurentumisen 2–3 Hz taajuudella.

Kuljettaja arvioi tärinän pienentyneen merkittävästi käytettäessä alennettuja rengaspaineita. Kokokehotärinäaltistus ei kuitenkaan pienene merkittävästi standardin ISO 2631/1(1997) mukaisesti mitattuna (0–8 %). Tärinän pienentymisen tuntemus saattaa syntyä korkeiden taajuuskomponenttien pienentymisestä.

Alennettuja rengaspaineita kannattaa käyttää aina, kun se on mahdollista. Kalustoon kohdistuvan tärinän pienentyminen on merkittävää ainakin ajettaessa huonokuntoisia teitä. Lisäksi kuljettajan tärinäkokemus on myönteinen.

LÄHTEET

Euroopan komissio, 2008. Ohjeellinen opas: Hyvät toimintatavat direktiivin 2002/44/EY (altistuminen tärinälle työssä) täytäntöön panemiseksi. Euroopan komissio. Työllisyyden, sosiaali- ja tasa-arvoasioiden pääosasto. Yksikkö F.4. 111 s.

ISO 2631-1. Mechanical vibration and shock - Evaluation of human exposure to whole-body vibration-Part 1. General requirements. International Organization for Standardization (ISO). Geneve. 1997. 31 s.

Oksanen M., Sorainen E, Puutavarakuorma-autojen tärinä ja melu. Työterveyslaitos Kuopio 2006. 32 s.

Rieppo K., Rengaspaineiden säädön merkitys puutavaran kuljetuksissa. Kirjallisuuskatsaus. Metsätehon raportti 192, 17.8.2006. 35 s.

VNa 48/2005. Valtioneuvoston asetus työntekijöiden suojelemisesta tärinästä aiheutuvilta vaaroilta n:o 48. STM. Helsinki.

LIITE

TAULUKKO 1. Painottamaton tärinä (0,5-80 Hz) ajettaessa huonoa hiekkatietä ilman kuormaa.

	Istuin			Lattia			Runko			Akseli		
Rengaspaineet	x	y	z	x	y	z	x	y	z	x	y	z
CTI	0,53	0,66	0,89	0,72	0,67	0,80	0,49	0,83	1,18	0,70	0,72	1,75
Täydet	0,70	0,72	0,88	0,95	0,73	0,84	0,53	1,16	1,37	1,98	2,12	7,31

TAULUKKO 2. Painottamaton tärinä (0,5-80 Hz) ajettaessa huonoa hiekkatietä täydellä kuormalla.

	Istuin			Lattia			Runko			Akseli		
Rengaspaineet	x	y	z	x	y	z	x	y	z	x	y	z
CTI	0,33	0,47	0,67	0,48	0,62	0,63	0,64	0,65	0,68	1,43	1,51	4,79
Täydet	0,34	0,50	0,67	0,48	0,57	0,63	0,72	0,76	0,78	1,59	1,82	6,26

TAULUKKO 3. Painottamaton tärinä (0,5-80 Hz) ajettaessa hiekkatietä täydellä kuormalla.

	Istuin			Lattia			Runko			Akseli		
Rengaspaineet	x	y	z	x	y	z	x	y	z	x	y	z
CTI	0,22	0,30	0,43	0,27	0,31	0,44	0,42	0,60	0,50	1,01	0,88	2,35
Täydet	0,23	0,32	0,43	0,27	0,31	0,42	0,47	0,56	0,61	1,12	1,10	3,48

TAULUKKO 4. Painottamaton tärinä (0,5-80 Hz) ajettaessa metsäautotietä täydellä kuormalla.

	Istuin			Lattia			Runko			Akseli		
Rengaspaineet	x	y	z	x	y	z	x	y	z	x	y	z
CTI	0,44	0,61	0,87	0,59	0,67	0,83	0,61	0,70	0,73	1,18	1,84	5,58
Täydet	0,46	0,66	0,86	0,62	0,73	0,83	0,46	0,94	0,83	2,03	2,26	7,58