



Puutavarakuorma auton tärinän vähentäminen rengaspaineita säätämällä

Marko Oksanen, Esko Rytönen



TYÖYMPÄRISTÖTUTKIMUKSEN RAPORTTISARJA 58
Työterveyslaitos · Helsinki

Työterveyslaitos
Tekniset ratkaisut ja suojautuminen -tiimi
Topeliuksenkatu 41 a A
00250 Helsinki

Kansi
Esko Rytönen

Kannen kuva
Marko Oksanen

Valokuvat
Metsäteho Oy kuva 6, a ja b
Työterveyslaitos muut kuvat

© Työterveyslaitos ja kirjoittajat

ISBN 978-952-261-064-5

ISSN-L 1458-9311
ISSN 1799-4470

Sisällys

ESIPUHE	4
TIIVISTELMÄ	5
1 JOHDANTO.....	6
1.1 Tärinän peruskäsitteitä.....	6
1.2 Tärinän vaikutuksia	7
1.3 Aiempia tutkimustuloksia	8
1.4 Lainsäädäntöä	8
1.5 Tutkimuksen tarkoitus.....	9
2 AINEISTO JA MENETELMÄT.....	10
3 TULOKSET	15
3.1 Kuljettajan tärinäaltistuksen vähentyminen.....	15
3.2 Kalustoon kohdistuvan tärinän pienentyminen.....	19
4. POHDINTA.....	22
LÄHTEET	24

ESI PUHE

Tämä tutkimus on jatkoa vuonna 2006 tehdylle tutkimukselle "Puutavaranakuorma-autojen ääriä ja melu", jossa mitattiin ääriä ja melua 16 puutavaranakuorma-autossa ja autojen mukana kulkevissa puutavaranostureissa. Suomen ensimmäinen muuttuvalla rengaspainejärjestelmällä (CTI, Central Tire Inflation) varustettu puutavaranakuorma-auto otettiin käyttöön vuonna 2008. Tässä tutkimuksessa selvitettiin rengaspaineiden alentamisen vaikutusta kuljettajan ääriäaltistukseen ja auton ääriään. Tutkimus oli osa Metsätehon organisoimaa tutkimuskokonaisuutta, jossa tutkittiin rengaspaineiden vaikutusta tien raiteistumiseen, tierungon rasitukseen sekä kuljetustalouteen. Tutkimuskohteena olleet tiet sijaitsivat Keuruulla ja Petäjävedellä. Ääriämittaukset ja niiden analysoinnit teki Marko Oksanen Työterveyslaitokselta. Esko Rytönen Työterveyslaitokselta osallistui tutkimuksen suunnitteluun ja raportointiin. Tutkimuksen ideointiin ja käytännön järjestelyihin osallistui Antti Korpilahti Metsäteho Oy:stä. Ääriämittauksissa mukana olleen rengaspaineiden säätöjärjestelmällä varustetun puutavaranakuorma-auton omisti Kuljetusliike Niinikoski Oy ja kuljettajana oli Veikko Niinikoski. Työsuojelurahasto rahoitti tutkimusta. Kiitämme kaikkia tutkimukseen osallistuneita hyvästä yhteistyöstä.

Marko Oksanen
Esko Rytönen

TIIVISTELMÄ

Alennettujen rengaspaineiden merkitystä puutavarakuorma-autoon ja sen kuljettajaan kohdistuvaan tärinään tutkittiin kesä- ja talviolosuhteissa neljällä erityyppisellä tiellä: metsäautotie, huono hiekkatie, hyvä hiekkatie sekä huono asfalttatie. Tärinää mitattiin CTI-rengaspaineen säätöjärjestelmällä varustetusta Scania R620 puutavarakuorma-autosta neljästä kohdasta yhtäaikaisesti ajon aikana: etuakselista, rungosta, ohjaamon lattiasta ja kuljettajan istuimesta.

Alennetut rengaspaineet pienensivät tärinää huonoilla tieosuuksilla. Mitatuissa tapauksissa kuljettajan istuimen tärinän suurin alenema oli kesämittauksissa 8 % ja talvimittauksissa 29 %. Lisäksi kuljettajan tärinäkokemus oli myönteinen. Kaluston tärinä pieneni kuljettajan tärinäaltistusta enemmän. Etuakselin tärinä pieneni jopa 76% käytettäessä alennettuja rengaspaineita.

1 JOHDANTO

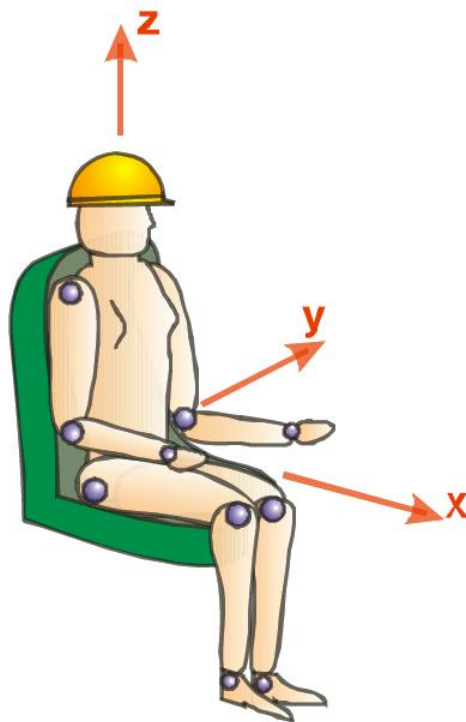
1.1 Tärinän peruskäsitteitä

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 mittaussjakson 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.

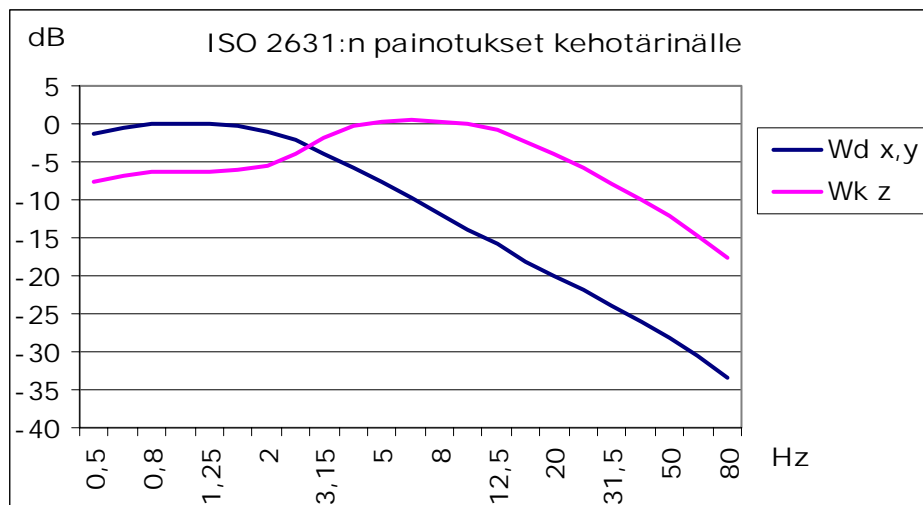
Tärinätaajuuden yksikkö on värähdysten lukumäärä sekunnissa eli hertsi (Hz). Tärinän haitallisuuteen vaikuttaa myös altistusaika eli mitä pitempi altistusaika on, sitä suurempi on tärinän aiheuttamien terveysvaikutusten riski. Ihmiseen kohdistuvasta tärinästä tarkastellaan erikseen koko kehoon kohdistuvaa 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 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 niskahartiaseudun 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.)

1.3 Aiempia tutkimustuloksia

Työterveyslaitos tutki vuonna 2006 Keski-Suomessa ja Pohjois-Savossa puutavarakuorma-autojen kuljettajien tärinäaltistusta. Tärinää mitattiin normaalin puutavarakuljetuskierroksen aikana siten, että kuljettajan tärinäaltistus mitattiin ajon aikana istuimesta sekä kuormauksen aikana nosturin istuimesta. Tässä tärinätutkimuksessa toiminta-arvo $0,5 \text{ m/s}^2$ ylittyi autojen istuimilla maantiellä sekä metsätiellä ajon aikana 63 %:ssa tutkituista tapauksista. Ylityksiä esiintyi eniten pystysuunnassa. Ajon aikana istuintärinä oli voimakkainta pitkittäis- ja poikittaissuunnassa pääasiassa alle 5 Hz:n taajuuksilla ja pystysuunnassa 1-12,5 Hz:n taajuuksilla. Istuintärinä oli useimmiten voimakkaampaa kuin lattiatärinä. Pystysuunnassa ja sivusuunnassa istuin vahvasti tärinää tyypillisesti 1-5 Hz:n taajuudella. Kuormauksen 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 kuormauksessa. (Oksanen ja Sorainen 2007.)

Rengaspaineiden alentamisella on tutkimusten mukaan saatu merkittäviä hyötyjä, muun muassa puutavarakuorma-autojen toimintakyky on parantunut pehmeäpintaisilla teillä. 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 vetämässä hankkeessa varustettiin 12 puutavara-autoa eri puolilla Ruotsia kanadalaisella Tirebossin CTI-järjestelmällä. Hankkeeseen osallistuivat ruotsalaiset metsäyhtiöt, puutavara-autovalmistajat ja Vägverket. Tutkimustulosten mukaan tärinä hytissä vähenee ja kuljettajien niska-, selkä- ja hartiavaivat vähenevät, kun rengaspaineet säädetään ajo-olosuhteiden mukaan. Erään kokeen mukaan tärinä hytissä laskee keskimäärin 8 % kierroksella tehtaalta tehtaalle ja 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. (Rieppo 2006.)

1.4 Lainsäädäntöä

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

Ennen 6.7.2007 hankittuihin työväliseisiin, 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 työväliseiden 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-kiihtyvyyttä vaakasuunnissa x ja y sekä pystysuunnissa 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 mittauksen 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.)

1.5 Tutkimuksen tarkoitus

Suomen ensimmäinen muuttuvalla 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 rasitukseen sekä kuljetustalouteen.

2 AINEISTO JA MENETELMÄT

Tärinää mitattiin Scania R620 puutavarakuorma-autosta, joka oli varustettu CTI rengaspaineen säätöjärjestelmällä. Tärinää mitattiin puutavarakuorma-auton neljästä kohdasta yhtäaikaaisesti 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.



Kuvat 4 ja 5. CTI järjestelmän ohjausyksikkö ohjaamossa sekä ulkopuoliset ilmaletkut ja alennetun paineen vaikutus renkaisiin.

Mittauksiin valittiin Keuruulta ja Petäjävedeltä neljä erityyppistä tietä: metsäautotie, huono hiekkatie, hyvä hiekkatie sekä huono asfalttatie (kuva 6). Samaa reittiä ajettiin käyttäen täysiä rengaspaineita sekä CTI-

järjestelmän antamia tietyyppikohtaisia alennettuja paineita. Rengaspaineiden vaikutusta tärinään tutkittiin myös ajettaessa kuormatulla ja tyhjällä puutavarakuorma-autolla.

Kesäolosuhteiden mittaukset tehtiin 3. lokakuuta 2008. Talvimittaukset tehtiin 25. lokakuuta päivänä 2010. Tällöin ilman lämpötila oli $-1\text{ }^{\circ}\text{C}$, asfalttitie loskainen jossa paljaat ajourat sekä huonolla hiekkatiellä noin 5 cm uutta lunta ja hyvällä hiekkatiellä.



a. Huono hiekkatie

b. Metsäautotie

c. Asfaltti, talvi



d. Asfalttitie

e. Hiekkatie

f. Huono hiekkatie, talvi

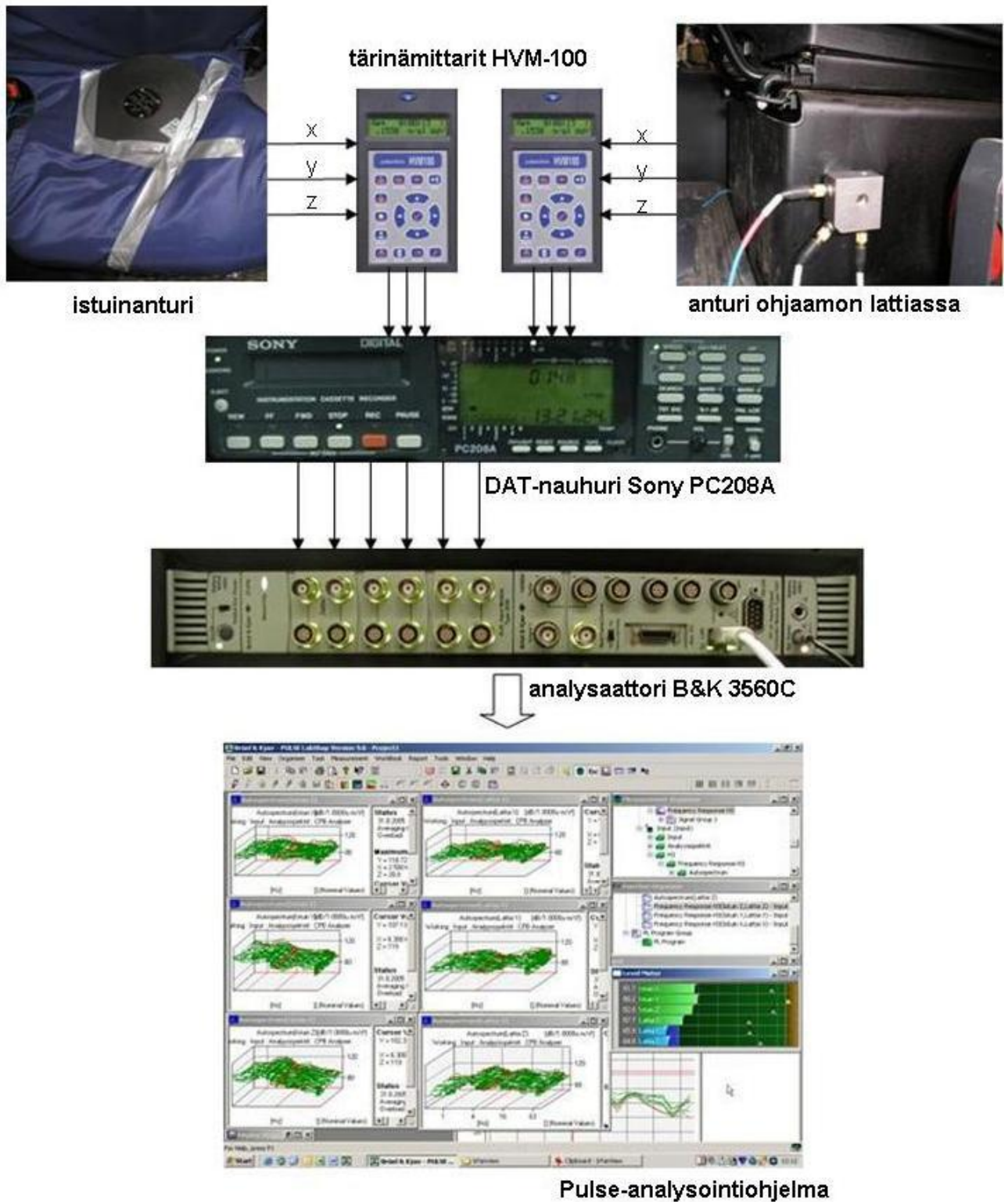
Kuva 6. Mittauksissa käytettyjen tietyyppien kuvat.

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

Tärinäanalysointeja varten koko ajolenkki nauhoitettiin ja tästä analysoitiin keskimääräinen tärinä.

Tärinä mitattiin kaikissa pisteissä kolmessa suunnassa, x-, y- ja z-suunnassa, joista x on ajosuunta eli pitkittäissuunta, y poikittaissuunta ja z pystysuunta. Mitatuista tärinöistä analysoitiin tärinädirektiivin ja standardin ISO 2631/1(1997) mukaisesti taajuuspainotettu RMS-kiihtyvyyden 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 kiihtyvyyden. Vaakasuurteiden (x ja y) tärinän kiihtyvyydet on kerrottu 1,4 :llä standardin ISO 2631 (1997) mukaisesti.



Kuva 7. Tärinän mittaus- ja analysointilaitteet.

Mittauslaitteina käytettiin kolmea 3-suuntaista kiihtyvyyssanturia (B&K 4321, PCB 356B41 ja Kistler 8692C5M1) ja yhtä 3-suuntaista istuinanturia (Dytran 5313A), joiden signaalit vahvistettiin kolmella Larson Davis HVM 100- tärinämittareilla ja yhdellä Wilcoxon P703B signaalivahvistimella. Kaikki 12 eri tärinäsignaalia tallennettiin kahdella 8-kanavaisella DAT-nauhurilla Sony PC208A. Tärinäauhat analysoitiin laboratoriossa 11-kanavaisella reaaliaika-analysoitsorilla 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.

Eri tietyyppejä tyhjällä ja täydellä kuormalla mitattiin ajamalla sama reitti täysillä ja alennetuilla rengaspaineilla. Taulukoissa 1a ja 1b on esitetty mittauksissa käytetyt rengaspaineet eri tilanteissa. Taulukossa 2 on esitetty kuormatun ja tyhjän puutavarakuorma-auton pyörä- ja akselipainot, jotka mitattiin pyöräpainovaaioilla.

Taulukko 1a. Käytetyt rengaspaineet eri tilanteissa kesällä.

tietyyppi	kuorma	rengaspaineet	etu-renkaat kPa	veto-pyörät kPa	taka-renkaat kPa
huono hiekkatie	tyhjä	täydet	839	879	839
		CTI	409	324	377
huono hiekkatie	täysi	täydet	839	794	839
		CTI	602	530	548
metsäautotie	täysi	täydet	884	794	839
		CTI	615	534	584
hyvä hiekkatie	täysi	täydet	884	794	839
		CTI	615	534	584
huono asfaltti	tyhjä	täydet	840	794	844
		CTI	543	445	525

Taulukko 1b. Käytetyt rengaspaineet eri tilanteissa talvella.

tietyyppi	kuorma	rengaspaineet	etu-renkaat kPa	veto-pyörät kPa	taka-renkaat kPa
huono hiekkatie	tyhjä	täydet	839	879	839
		CTI	498	382	485
hyvä hiekkatie	tyhjä	täydet	839	879	839
		CTI	498	382	485
huono asfaltti	tyhjä	täydet	839	879	839
		CTI	557	445	503

Taulukko 2. Kokeessa käytetyn CTI-auton pyörä- ja akselipainot, jotka mitattiin pyöräpainovaaioilla.

kuorma	perävaunun pyörät [kg]				vetopyörät [kg]		etu- pyörät [kg]	massa [kg]
tyhjä	860	1090	790	950	2780	2620	2780	23670
	1000	1000	910	960	2580	2630	2720	
täysi	4580	5540	4160	3780	4400	4760	3480	64240
	5300	5240	5040	3480	5780	5340	3360	

3 TULOKSET

3.1 Kuljettajan tärinäaltistuksen vähentyminen

Taulukoissa 3a (kesä) ja 3b (talvi) 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 tämä on lihavoituna taulukossa.

Taulukko 3a. Kesäolosuhteissa kuljettajan istuimesta mitatut RMS kiihtyvyydet x-y- ja z-suunnissa eri tilanteissa ja tärinän pienentyminen.

tietyyppi	kuorma	rengaspaineet	x m/s ²	y m/s ²	z m/s ²	tärinäaltistuksen 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	- 5
metsä-autotie	täysi	täydet CTI	0,28 0,30	0,44 0,41	0,56 0,55	- 2
hyvä hiekkatie	täysi	täydet CTI	0,16 0,18	0,22 0,22	0,27 0,26	- 4
huono asfaltti	tyhjä	täydet CTI	0,34 0,35	0,44 0,44	0,85 0,85	- 0

Taulukko 3b. Talviolosuhteissa kuljettajan istuimesta mitatut RMS kiihtyvyydet x-y- ja z-suunnissa eri tilanteissa ja tärinän pienentyminen.

tietyyppi	kuorma	rengaspaineet	x m/s ²	y m/s ²	z m/s ²	tärinäaltistuksen muutos %
huono hiekkatie	tyhjä	täydet CTI	0,53 0,45	0,34 0,33	0,46 0,38	-15
hyvä hiekkatie	tyhjä	täydet CTI	0,96 0,44	0,77 0,37	0,64 0,68	- 29
huono asfaltti	tyhjä	täydet CTI	0,46 0,50	0,38 0,40	0,54 0,57	+ 6

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

Kun kokonaistärinäaltistus tunnetaan, voidaan laskea aika T (tunteina), jossa kahdeksan tunnin toiminta-arvo 0,5 m/s² ylitetään. T lasketaan kaavasta

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

missä a = tärinäaltistus (m/s²)

Taulukossa 4 on suurimmat ajoajat, millä kuljettajan värinäaltistuksen toiminta-arvo ei ylitä, jos värinäaltistus on kuten taulukossa 3.

Taulukko 4a. Kuljettajan värinäaltistuksen kesämittausten perusteella suurimmat lasketut päivittäiset ajoajat, millä värinäaltistuksen toiminta-arvo ei vielä ylitä.

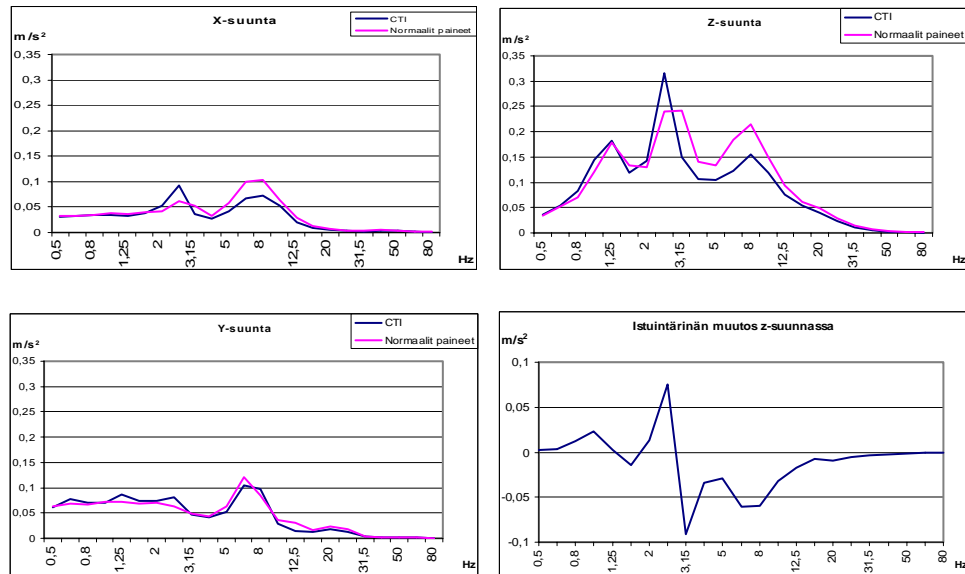
tietyyppi	kuorma	rengas-paineet	tärinä- altistus m/s ²	suurin sallittu ajoaika, millä toiminta-arvo ei ylitä
huono hiekkatie	tyhjä	täydet CTI	0,60	5 h 30 min
			0,55	6 h 40 min
huono hiekkatie	täysi	täydet CTI	0,43	10 h 50 min
			0,41	11 h 50 min
metsäautotie	täysi	täydet CTI	0,56	6 h 20 min
			0,55	6 h 40 min
hyvä hiekkatie	täysi	täydet CTI	0,27	24 h
			0,26	24 h
huono asfaltti	tyhjä	täydet CTI	0,85	2 h 50 min
			0,85	2 h 50 min

Taulukko 4b. Kuljettajan värinäaltistuksen talvimittausten perusteella suurimmat lasketut päivittäiset ajoajat, millä värinäaltistuksen toiminta-arvo ei vielä ylitä.

tietyyppi	kuorma	rengas-paineet	tärinä- altistus m/s ²	suurin sallittu ajoaika, millä toiminta-arvo ei ylitä
huono hiekkatie	tyhjä	täydet CTI	0,53	7 h 10 min
			0,45	9 h 50 min
hyvä hiekkatie	tyhjä	täydet CTI	0,96	2 h 10 min
			0,68	4 h 20 min
huono asfaltti	tyhjä	täydet CTI	0,54	6 h 50 min
			0,57	6 h 10 min

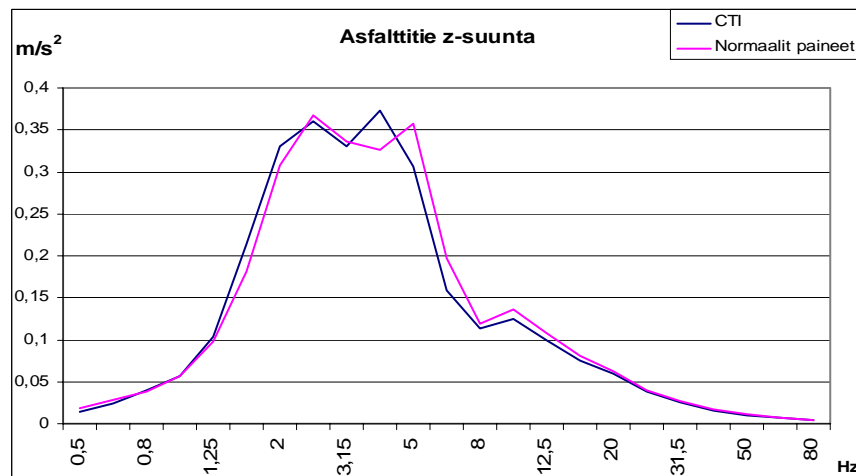
Alennettu rengaspaine pienensi kesämittauksissa kuljettajan värinäaltistusta eniten ajettaessa tyhjällä autolla huonoa hiekkatietä. Kuvassa 8 on esitetty tämän tapauksen osalta kuljettajaan kohdistuvan värinän spektrit sekä normaaleilla paineilla että alennetuilla paineilla.

Kuvan 8 spektreistä nähdään, että värinä ei juuri muuttunut x- ja y-suunnissa mutta z-suunnassa muutos oli selkeä. Suurilla taajuuksilla värinä pieneni, mutta alennetut paineet suurensivat värinää 2-3 Hz taajuusalueella. Muillakin tietyypeillä muutos oli samanlainen, mutta selvimmin se näkyi ajettaessa tyhjällä puutavarakuorma-autolla huonoa hiekkatietä.



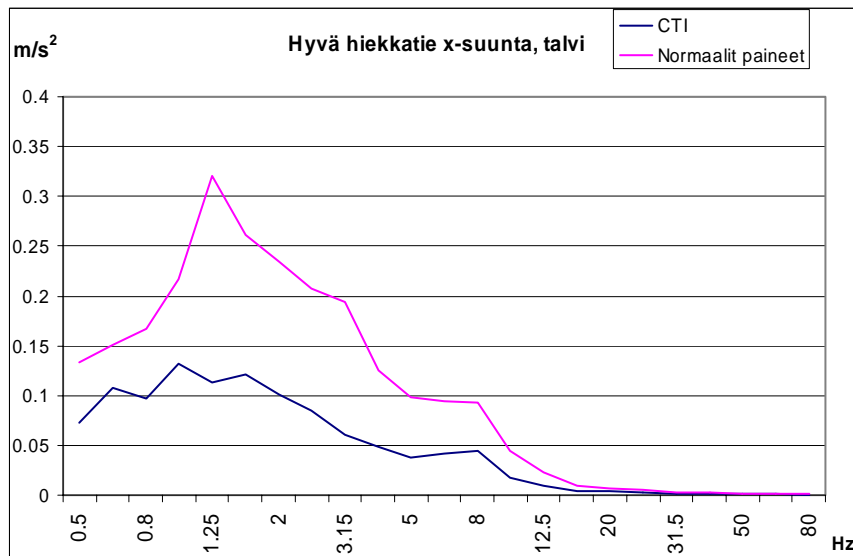
Kuva 8. Kuljettajan kokokehon tärinäaltistus istuimelta, kun autolla ajettiin huonoa hiekkatietä käyttäen normaaleja rengaspaineita sekä alennettuja paineita (CTI) sekä istuintärinän z-suunnan muutos eri taajuuskaistoilla.

Kesäolosuhteissa kuljettajan tärinäaltistus oli suurin ajettaessa tyhjällä autolla huonoa asfalttietä. Kuvassa 9 on esitetty kuljettajan tärinäaltistuksen määräävä z-suunta. Tärinäaltistus ei muuttunut rengaspaineita alentamalla.

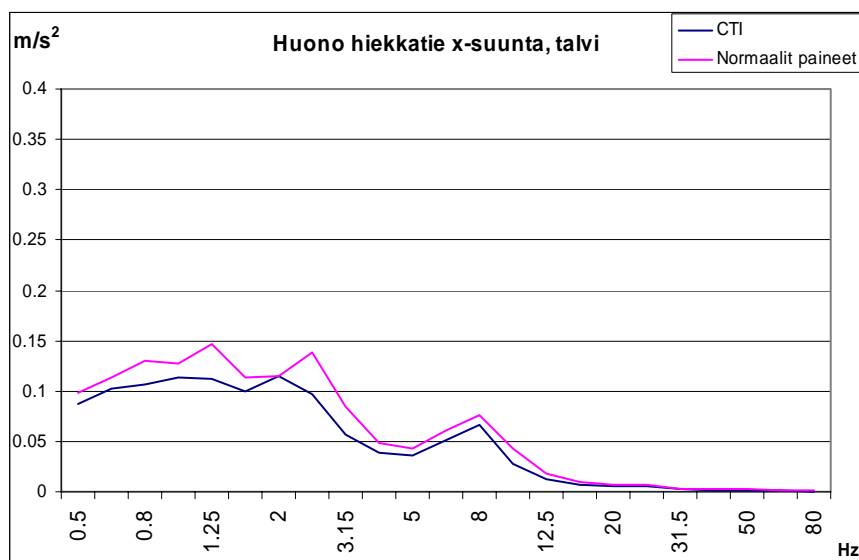


Kuva 9. Kuljettajan tärinäaltistuksen määräävä z-suunnan tärinäspektri ajettaessa kesällä tyhjällä autolla huonoa asfalttietä.

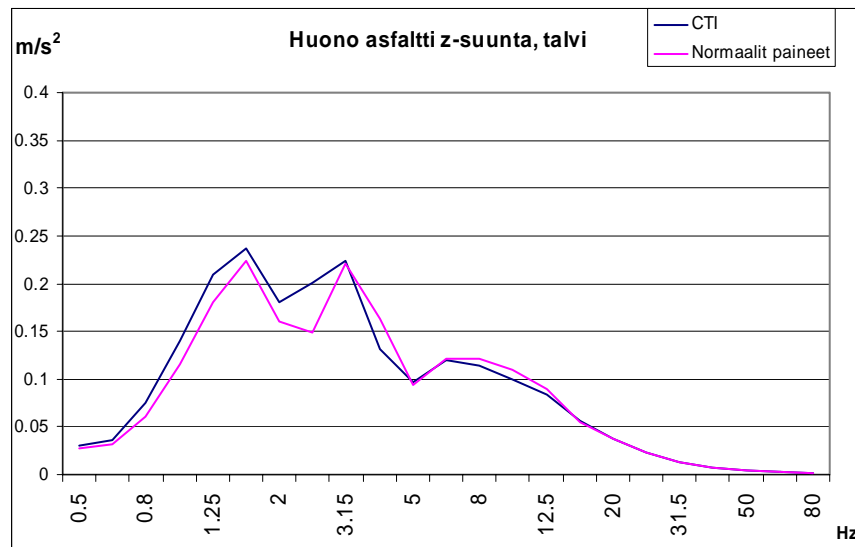
Talviolosuhteissa kuljettajan värinäaltistus oli suurin ajettaessa hyvää hiekkatietä. Kuvassa 10 on esitetty kuljettajan värinäaltistuksen määräävä pitkittäissuunta. Värinäaltistus aleni 29 % rengaspaineita alentamalla eli enemmän kuin kesäolosuhteissa. Myös huonolla hiekkatiellä rengaspaineiden alentaminen vähensi kuljettajan värinäaltistusta talvella enemmän kuin kesällä. Kuvassa 11 on pitkittäissuunnan värinäspektrit. Huonolla asfaltilla värinä hieman lisääntyi, kun rengaspaineita alennettiin. Kuvassa 12 on pystysuunnan (z-suunnan) värinäspektrit.



Kuva 10. Kuljettajan värinäaltistuksen määräävä pitkittäissuunnan (x-suunnan) värinäspektrit ajettaessa tyhjällä autolla talvella hyvää hiekkatietä.



Kuva 11. Pitkittäissuunnan (x-suunnan) värinäspektrit ajettaessa tyhjällä autolla talvella huonoa hiekkatietä.



Kuva 12. Pystysuunnan (z-suunnan) tärinäspektrit ajettaessa tyhjällä autolla talvella huonoa asfalttitietä.

3.2 Kalustoon kohdistuvan tärinän pienentyminen

Alennetut paineet vähensivät tärinää selvimmin ajettaessa huonoa hiekkatietä, ja seuraavissa taulukoissa onkin esitetty kalustoon kohdistuvan tärinän mittausravot tällä tiellä ajettaessa. Taulukoissa 5a (tyhjä auto) ja 5b (kuormattu auto) on esitetty auton akselin ja rungon 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.

Taulukko 5a. Tyhjän auton painottamaton tärinä (0,5-80 Hz) auton rungossa ja akselissa.

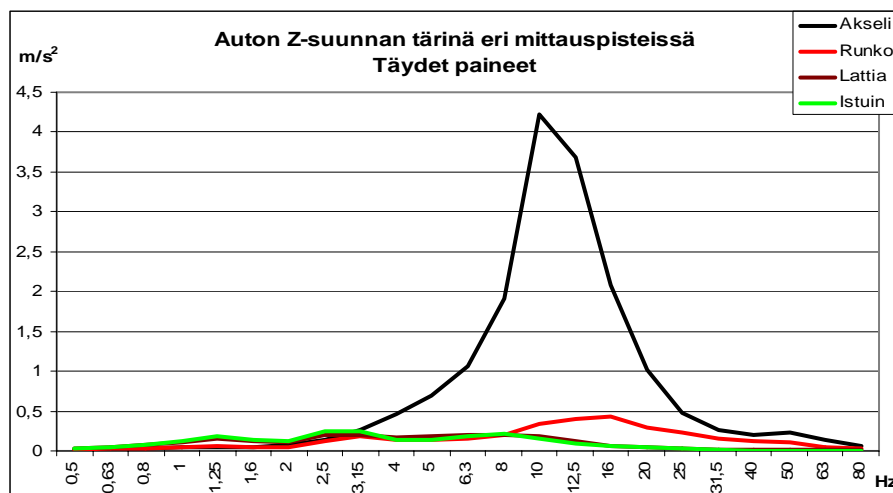
tietyyppi	rengas-paineet	ohjaamon lattia			runko			akseli		
		x	y	z	x	y	z	x	y	z
huono hiekkatie (kesällä)	täydet alennetut	0,95	0,73	0,84	0,53	1,16	1,37	1,98	2,12	7,31
		0,72	0,67	0,80	0,49	0,83	1,18	0,70	0,72	1,75
huono hiekkatie (talvella)	täydet alennetut	0,62	0,62	0,52	0,58	1,02	1,17	1,45	1,03	3,92
		0,51	0,52	0,47	0,43	0,75	0,81	1,20	0,86	2,66
hyvä hiekkatie (talvella)	täydet alennetut	0,69	1,06	0,69	0,54	0,89	1,35	1,08	1,29	3,75
		0,42	0,50	0,45	0,59	0,82	1,23	1,29	0,86	2,97
huono asfaltti (talvella)	täydet alennetut	0,49	0,78	0,36	0,45	0,75	1,11	1,25	-*	3,29
		0,51	0,52	0,47	0,40	0,67	1,00	1,15		2,61

* Huonon asfaltin akselinmittauksen y-suunta epäonnistui johtovaurion vuoksi, mutta sen suuruusluokan ja muutoksen voi päätellä rungon vastaavasta tuloksesta.

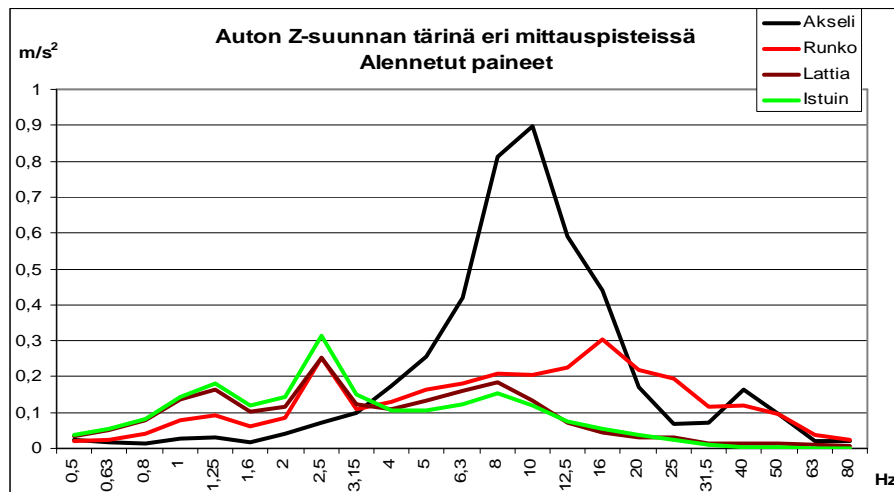
Taulukko 5b. Kuormatun auton painottamaton tärinä (0,5-80 Hz) auton rungossa ja akselissa.

tietyyppi	rengaspaineet	ohjaamon lattia			runko			akseli		
		x	y	z	x	y	z	x	y	z
hyvä hiekkatie (kesällä)	täydet alennetut	0,27	0,31	0,42	0,47	0,56	0,61	1,12	1,10	3,48
		0,27	0,31	0,44	0,42	0,60	0,50	1,01	0,88	2,35
metsä- autotie (kesällä)	täydet alennetut	0,62	0,73	0,83	0,46	0,94	0,83	2,03	2,26	7,58
		0,59	0,67	0,83	0,61	0,70	0,73	1,18	1,84	5,58
huono hiekkatie (kesällä)	täydet alennetut	0,48	0,57	0,63	0,72	0,76	0,78	1,59	1,82	6,26
		0,48	0,62	0,63	0,64	0,65	0,68	1,43	1,51	4,79

Kuvissa 13a ja 13b on esitetty auton eri mittauspisteistä samanaikaisesti mitatut pystysuuntaisen (z-suunta) tärinän taajuuspainotetut spektrit ajettaessa kesällä huonoa hiekkatietä tyhjällä puutavarakuorma-autolla. Huomaa kuvissa olevat eri asteikot tärinälle.



Kuva 13a. Auton eri mittauspisteiden tärinäspektrit ajettaessa tyhjällä autolla huonoa hiekkatietä täysillä paineilla.



Kuva 13b. Auton eri mittauspisteiden tärinäspektrit ajettaessa tyhjällä autolla huonoa hiekkatietä alennetuilla paineilla.

4. POHDINTA

Tässä tutkimuksessa saatiin kuljettajan tärinäaltistuksen lisäksi uutta tietoa kaluston tärinästä eri rengaspaineita käytettäessä. Tutkimusaineisto oli melko pieni, joten tulokset ovat suuntaa antavia. Kuljettajan istuimen tärinä väheni alennetuilla paineilla kaikilla tietyypeillä asfalttia lukuunottamatta 2-29 %. Kaluston tärinä väheni kuljettajan istuimen tärinää enemmän, enimmillään jopa 76 % (akselin tärinä, tyhjä auto huonolla hiekkatiellä). Ohjaamon lattian tärinän pienentyminen oli 0-50 %, ja suurin alenema mitattiin talvella hyvällä hiekkatiellä. Tulokset ovat samaa luokkaa tai suuremmat kuin ruotsalaisten ja yhdysvaltalaisen tutkijoiden saamat tulokset. (Rieppo 2006.)

Kuljettaja arvioi tärinän pienentyneen merkittävästi käytettäessä alennettuja rengaspaineita. Tärinän pienentymisen tuntemus saattaa syntyä korkeiden taajuuskomponenttien pienentymisestä. Kokokehötärinäaltistus ei kuitenkaan alentunut kesämittauksissa merkittävästi standardin ISO 2631/1(1997) mukaisesti mitattuna (0-8 %). Talvimittauksissa istuimen tärinä aleni 29 % hyvällä hiekkatiellä, ja suurin alenema oli pitkittäissuunnassa. Huonolla hiekkatiellä alenema oli 15 %, mutta huonolla asfaltilla tärinä näytti hieman lisääntyvän. Talvi- ja kesäolosuhteissa mitattujen tärinätasojen välillä ei näytä olevan selvää systemaattista eroa. Talvimittauksissa huomiota kiinnitti se, että kuljettajan istuimen pitkittäissuuntainen (suunta x) tärinä oli hiekkatiellä suhteellisen voimakasta verrattuna kesämittauksiin.

Istuimen tärinä väheni yli 3 Hz taajuuksilla ja lisääntyi 2-3 Hz taajuuksilla, mikä näkyy hyvin myös kuvassa 8. Tulos on samansuuntainen kuin aikaisemmassa suomalaisessa tutkimuksessa (Oksanen ja Sorainen 2007), jossa todettiin, että istuin vahvasti pystysuunnassa tärinää tyypillisesti 1-5 Hz:n taajuudella, mikä johtui istuimen ominaistaajuudesta.

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

Eri tietyyppejä verrattaessa rengaspaineen alentaminen vähensi tärinää kesällä eniten ajettaessa tyhjällä autolla huonoa hiekkatietä. Talvella suurin alenema havaittiin hyvällä hiekkatiellä. Tyhjällä puutavarakuorma-autolla ajettaessa tärinä väheni enemmän kuin kuormatulla autolla. Kaikista mitatuista tapauksista suurin tärinän pienentyminen mitattiin ajettaessa tyhjällä autolla huonoa hiekkatietä, jolloin rengaspaineiden alentaminen pienensi tärinää merkittävästi lähes jokaisessa mittauskohdassa (5-76 %). Kesämittauksessa metsäautotiellä kuormatun auton rungon tärinä rengaspaineita alennettaessa lisääntyi pitkittäissuunnassa 33 % mutta aleni poikittaissuunnassa 26 %. Akselin tärinä väheni noin 20-40 %.

Tärinäspektrin muoto on erilainen akselissa ja muissa mittauspisteissä (kuva 13), mikä aiheutuu eri komponenttien (runko, ohjaamo, istuin-kuljettaja) jousi-massajärjestelmien erilaisista ominaistaajuuksista.

Auton rakenteiden alempien kohtien tärinä toimii ylempien kohtien ominaistajuuksia 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.

Tämä tutkimus osoittaa, että alennettuja rengaspaineita kannattaa käyttää puutavarakuorma-autossa aina, kun se on mahdollista. Kuljettajan ajomukavuus paranee ja kalustoon kohdistuvan tärinän pienentyminen on merkittävää ainakin ajettaessa huonokuntoisia teitä. Lisäksi kuljettajan tärinäkokemus on myönteinen. CTI-järjestelmän vaikutus tärinään erilaisilla ajonopeuksilla ei sisällynyt tähän tutkimukseen, ja sen selvittäminen edellyttäisi lisämittauksia.

LÄHTEET

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

ISO 2631-1 Mechanical vibration and shock - Evaluation of human exposure to whole-body vibration - Part 1. General requirements. International Organization for Standardization, Geneva 1997.

Oksanen M, Sorainen E: Puutavarakuorma-autojen tärinä ja melu. Loppuraportti. Työsuojelurahaston hanke 105343. Työterveyslaitos, Kuopio 2007.

Rieppo K: Rengaspaineiden säädön merkitys puutavaran kuljetuksissa. Kirjallisuuskatsaus. Metsätehon raportti 192. Metsäteho, Helsinki 2006.

Valtioneuvoston asetus työntekijöiden suojelemisesta tärinästä aiheutuville vaaroille 48/2005.