

*Taneli Rantabarju & Pentti Romppainen*

# Työperäisen kehotärinäaltistuksen arvioinnin epävarmuustekijät

Kajaanin ammattikorkeakoulu

**KAJAANIN AMMATTIKORKEAKOULUN JULKAISUSARJA A**  
**TUTKIMUKSIA 11**

Taneli Rantaharju & Pentti Romppainen

**TYÖPERÄISEN KEHOTÄRINÄALTISTUKSEN**  
**ARVIOINNIN EPÄVARMUUSTEKIJÄT**

Kajaanin ammattikorkeakoulu

2011

Yhteystiedot:

Kajaanin ammattikorkeakoulu  
PL 240  
87101 KAJAANI  
Puh. (08) 6189 9504  
Sähköposti: [merja.soininen@kajak.fi](mailto:merja.soininen@kajak.fi)  
<http://www.kajak.fi>

ISBN 978-952-9853-47-2

ISSN 1458-9141

Kustantaja: Kajaanin ammattikorkeakoulu

## SISÄLTÖ

### TIIVISTELMÄ

1	JOHDANTO	1
2	SUORITETUT TUTKIMUKSET	4
	2.1 Mittausasetelma ja tärinäherätteet	4
	2.2 Mittausprotokollat ja mittaustulosten käsittely	5
3	TULOSTEN TARKASTELU	7
	3.1 Anturin sijoittelun vaikutus	7
	3.2 Istuma-asennon vaikutus	8
4	ISTUMA-ASENNON VAIKUTUS ALTISTUKSEN ARVIOINTIIN	10
5	YHTEENVETO	11
	LÄHTEET	12

## TIIVISTELMÄ

Taneli Rantaharju, DI, projektisuunnittelija, Kajaanin ammattikorkeakoulu

Pentti Romppainen, TkT, yliopettaja, Kajaanin ammattikorkeakoulu

EU:n tärinädirektiivi 2002/44/EY määrittelee vähimmäisvaatimukset työntekijöiden suojelemiseksi liialliselta tärinältä. Direktiivin mukaan työnantajat ovat velvollisia arvioimaan työntekijöidensä päivittäisen tärinäaltistuksen joko tarkoituksenmukaisen tärinäinformaation tai käytännön mittauksen perusteella. Mittauksiin pohjautuva lähestymistapa on suositeltava vaihtoehto, sillä näin kunkin työsuorituksen ominaispiirteet tulevat huomioiduiksi. Tärinä mitataan standardoidulla istuinturilla, jonka halkaisija on  $250 \text{ mm} \pm 50 \text{ mm}$  ja maksimipaksuus 12 mm. Se mittaa kiihtyvyyttä kolmessa akselisuunnassa kuljettajan ja istuinalustan väliseltä rajapinnalta. Mittaustulokset käsitellään standardin ISO 2631-1 mukaisesti, minkä jälkeen niistä muodostetaan päivittäisen altistuksen A(8)-arvo, jota verrataan direktiivissä annettuihin altistuksen toiminta- ja raja-arvoon. Mikäli jompikumpi arvoista ylitetään, on työnantaja velvoitettu toteuttamaan erinäisiä tärinäriskejä minimoivia toimenpiteitä.

Vaikka käytännön mittauksiin perustuva altistusarvio on lähtökohtaisesti luotettava, sisältyy arvioon aina jonkinasteista epävarmuutta aiheutuen mm. istuinturin sijoittelusta tai kuljettajan istuma-asennosta. Tässä laboratorioissa suoritetussa tutkimuksessa selvitettiin edellä mainittujen epävarmuustekijöiden vaikutuksia tuloksiin. Mittauksissa koehenkilöt altistettiin sekä kuuden vapausasteen satunnaisherätteelle että traktorista mitattua liiketietoa jäljittelevälle herätteelle, jotka tuotettiin kuuden vapausasteen liikelaitteistolla (Moog).

Tutkimukset osoittivat, että jos istuinturin sijainti poikkeaa hieman istuinluiden kyhmyjen tasalla sijaitsevasta optimaalisesta mittauskohdasta, tuloksissa ei esiinny suuria poikkeamia. Keskimääräiset poikkeamat eivät ylittäneet 10 %:n tasoa edes istuinturin sijaitessa 4 cm optimaalisen kohdan etupuolella. Sen sijaan eri istuma-asennoissa saatujen tulosten välillä esiintyi merkittäviä poikkeamia. Suurin yksittäinen poikkeama oli yli 30 %, ja suurin keskimääräinen poikkeama oli noin 15 %. Tätä luokkaa olevat poikkeamat aiheuttavat selviä eroja päivittäisen altistuksen arvioinnin lopputuloksiin.

Avainsanat: kehotärinä, istuinturi, ISO 2631-1, epävarmuustekijät

## ABSTRACT

Taneli Rantaharju, M. Sc., project planner, Kajaani University of Applied Sciences

Pentti Romppainen, D. Sc., principal lecturer, Kajaani University of Applied Sciences

According to the EU directive 2002/44/EC, employers are responsible for estimating the daily vibration of workers on the basis of appropriate vibration information or measurements at work places. The latter approach is recommended as it takes into account the characteristics of different work tasks. Vibration is measured using a standardized seat pad accelerometer, the diameter and maximum height of which is  $250 \text{ mm} \pm 50 \text{ mm}$  and  $12 \text{ mm}$ , respectively. Acceleration, measured in three dimensions between a driver and a seat pan, is processed according to the ISO 2631-1 standard. Then, the daily exposure is expressed as a single  $A(8)$  parameter which is compared to exposure action and limit values given in the EU directive. If either of the values is exceeded, the employer is responsible for executing particular measures aiming to reduce vibration-related risks.

Even though the exposure estimation, based on measurements, is reliable by default, uncertainty is involved due to positioning of the standard seat pad accelerometer or sitting posture, for instance. This study, conducted in a laboratory, investigated the effect of the above mentioned uncertainty factors on results. In the measurements, subjects were exposed to a random stimulus with six degrees of freedom (6DOF) and a stimulus replicating motion data measured from an agricultural tractor. The stimuli were produced with a 6 DOF motion system (Moog). Based on the results, minor deviations of the seat pad accelerometer from its optimal measurement location (under ischial tuberosities) do not cause high deviations. Average deviations did not reach 10 % level even if the seat pad accelerometer was placed 4 cm in front of the optimal location. In contrast, significant differences in the results were observed between sitting postures. The highest single deviation was over 30 % while the highest average deviation was about 15 %. Deviations of this extent have clear effect on daily exposure evaluation.

Keywords: whole-body vibration, seat pad accelerometer, ISO 2631-1, uncertainty factors

## 1 JOHDANTO

Erityisesti liikkuvia työkoneita käytettäessä kuljettajaan voi tiettyjen työvaiheiden aikana kohdistua voimakasta tärinää, jonka taso määräytyy pääasiassa ajoalustan ja käytetyn ajonopeuden perusteella. Tärinän kannalta ongelmallisia työsuoritteita ovatkin esimerkiksi puutavaran kuljettaminen kuormatraktorilla, peltotyöt maataloustraktorilla tai kiviaineksen siirtäminen kaivosdumpperilla. Kuvatunlaisissa tapauksissa koettua mekaanista värähtelyä, joka välittyy ihmiseen istuimen tai lattian kautta, kutsutaan kehotärinäksi. Vuosikymmenten ajan jatkuneen tieteellisen tutkimuksen tuloksena on havaittu yhteys jatkuvan, pitkäkestoisen kehotärinäaltistuksen ja haitallisten terveysvaikutusten välillä. Näistä yleisimmin raportoituja ovat alaselän ongelmat, mutta yhteyksiä myös muihin oireisiin on esitetty (Bovenzi 1999). Tärinä johdannaisten oireet heikentävät elämänlaatua ja voivat pahimmassa tapauksessa johtaa jopa työkyvyttömyyteen ja ennenaikaiseen eläköitymiseen. Terveystieteellisten vaikutusten lisäksi tärinä voi aiheuttaa ylimääräistä epämukavuutta, vaikeuttaa työtehtävistä suoriutumista ja vaikuttaa näin myös työn tuottavuuteen.

Työntekijöiden suojelemiseksi liialliselta tärinäaltistukselta on laadittu EU:n tärinädirektiivi 2002/44/EY, jonka sisältö on tullut saatua osaksi kunkin jäsenvaltion lainsäädäntöä viimeistään 6.7.2005. Direktiivi velvoittaa työnantajan arvioimaan työntekijöidensä päivittäisen tärinäaltistuksen joko konevalmistajien antamien tärinän päästöarvojen tai käytännön mittausten perusteella. Vaikka mittaus ei ole välttämätön, muun informaation pohjalta laadittu arvio on hyvä vahvistaa käytännön työoloissa suoritettujen altistusmittausten avulla. Näin kullekin työtilanteelle ominaisesta tärinäaltistuksesta saadaan mahdollisimman tarkka arvio, joka huomioi niin vallitsevat työolosuhteet, työsuorituksen ominaispiirteet kuin koneen ominaisuudetkin. Altistuksen haitallisuutta arvioidaan suhteessa direktiivin määrittelemään päivittäisen altistuksen toiminta-arvoon  $0,5 \text{ m/s}^2$  ja raja-arvoon  $1,15 \text{ m/s}^2$ . Päivittäisellä altistuksella tarkoitetaan kahdeksan tunnin työpäivän aikana koettavaa tärinää. Edellä mainitut arvot perustuvat kiihtyvyyden taajuuspainotetun neliöllisen keskiarvon (RMS-arvo) laskemiseen ISO 2631 -standardin mukaisesti. Standardin lähestymistavassa on oletettu, että terveysvaikutukset ovat riippuvaisia värähtelyn amplitudista, taajuu-

desta, suunnasta, kestoajasta sekä kohdasta, jota kautta värähtely siirtyy kehoon (ISO 1997).

Istuvan työntekijän tapauksessa tärinää mitataan istuinalustan päälle asetetulla ISO 10326-1 –standardin mukaisella istuinanturilla, josta käytetään tässä tekstissä jatkossa myös nimitystä standardianturi. Tämä laitojaan kohti oheneva kumi- tai muovikiekko on halkaisijaltaan  $250 \pm 50$  mm, maksimipaksuudeltaan 12 mm ja sisältää kiihtyvyyttä kolmessa suunnassa mittaavan anturin (ISO 1992). Lähtökohtana on mitata takapuolen luisten kohtien eli ns. istuinluiden kyhmyjen kautta kehoon siirtyvää värähtelyä. Siksi istuinanturi tulee asettaa istuimelle siten, että istuinluiden kyhmyt ja anturin keskikohta ovat samalla linjalla. Tämän lisäksi anturin tulee olla asemoituna siten, että x-akseli osoittaa ajosuuntaan eli istuimen etulaitaa kohti. y-akseli on tällöin ajosuuntaan nähden kohtisuorassa osoittaen sivulle, ja z-akseli osoittaa ylöspäin.

Mitatusta kiihtyvyydestä muodostetaan akselikohtaiset kiihtyvyyden taajuuspainotetut RMS-arvot, jotka suhteutetaan kahdeksan tunnin vertailu-aikaan. Näistä ns. A(8)-altistusarvoista suurinta verrataan sekä edellä esitettyyn päivittäisen altistuksen toiminta- että raja-arvoon. Direktiivin mukaan toiminta-arvon ylittyessä työnantajan on laadittava ja toteutettava erityinen toimenpideohjelma, jonka tarkoituksena on minimoida tärinään liittyvät riskit. Kyseisessä tärinän-torjuntaohjelmassa erityistä huomiota tulee kiinnittää oikeanlaisiin työtapoihin ja -välineisiin, asianmukaiseen tiedottamiseen ja koulutukseen sekä altistuksen keston ja määrän rajoittamiseen. Lisäksi työnantajan on varmistettava, etteivät työntekijät altistu raja-arvon ylittävillä tärinätasojilla missään tilanteessa. Mikäli näin kuitenkin tapahtuu, on ryhdyttävä välittömiin toimenpiteisiin altistuksen saattamiseksi raja-arvon alapuolelle. Maa- ja metsätaloudessa käytettävien työvälineiden kohdalla noudatetaan raja-arvon osalta siirtymäaika, joka kestää 6.7.2014 saakka. Toiminta-arvon velvoitteet ovat kuitenkin astuneet täysimääräisesti voimaan näilläkin toimialoilla. (Euroopan parlamentti ja neuvosto 2002)

Tärinädirektiiviä on luonnehdittu vaikeaselkoiseksi, minkä johdosta sen vaatimien toimenpiteiden suorittamiseksi on muutamissa maissa, kuten Iso-Britanniassa ja Saksassa, laadittu selkeyttäviä ohjeistuksia. Kehotärinäaltistuksen arvioinnista vastaaville tahoille tarkoitettua suomenkielistä ohjeistusta ei ole



olemassa, mutta selkokielisen kuvan arviointimenettelyn eri vaiheista saa esim. ohjeesta *Guide to good practise on Whole-body vibration*.

Kuten jo edellä todettiin, päivittäisen altistuksen arvioinnin tulisi mieluiten perustua käytännön työsuoritteiden aikana tehtyihin mittauksiin. Vaikka asianmukaisilla mittauksilla altistusarvion tarkkuutta saadaan parannettua huomattavasti, sisältyy arvioon aina jonkinasteista epävarmuutta, joka voi aiheutua mm. seuraavista tekijöistä:

- Anturin sijoittelu istuimelle
- Kuljettajan ajoasento
- Kuljettajan fyysiset ominaisuudet
- Mittauslaitteisto (kalibrointi, kohina)
- Työsuoritteen toistettavuus (ajonopeus, työtavat)
- Muutokset koneen ominaisuuksissa

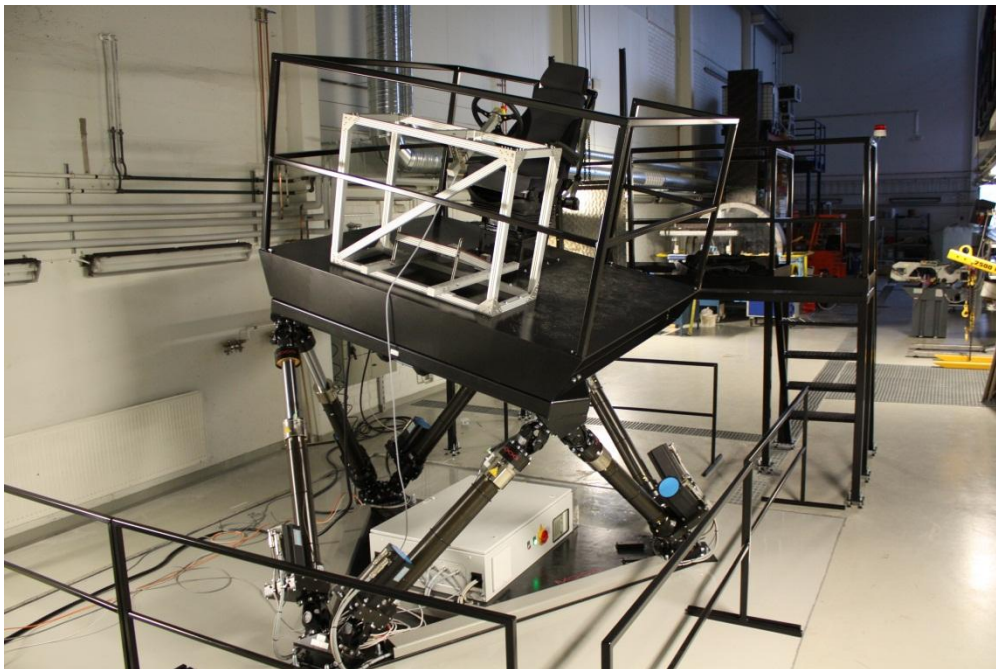
Näin ollen näennäisesti samasta työsuoritteesta tehty mittausta voi tuottaa hyvinkin erilaisia tuloksia kuljettajan muuttaessa esim. ajonopeutta tai istuma-asentoaan. Vielä suurempia eroja voi aiheutua vaihdettaessa koneenkuljettajaa, jolloin myös fyysisten ominaisuuksien erilaisuus vaikuttaa mittaustulokseen. Onkin esitetty, että mittauksiin perustuva päivittäisen altistuksen  $A(8)$ -arvo voi olla erinäisistä epävarmuustekijöistä aiheutuen jopa 20 % todellista arvoa suurempi tai vastaavasti 40 % pienempi. Mikäli altistusarvio perustuu muuhun kuin mitattuun värinäinformaatioon, voi arvion poikkeama olla vielä yllä esitetyjä arvoja huomattavasti suurempi (Griffin ym. 2008).

Mittausten luotettavuuden arvioimiseksi on oleellista tietää, kuinka epävarmuutta aiheuttavat yksittäiset tekijät vaikuttavat tuloksiin. Tässä artikkelissa on esitetty tutkimustuloksia kahden epävarmuustekijän, anturin sijoittelun ja istuma-asennon osalta.

## 2 SUORITETUT TUTKIMUKSET

### 2.1 Mittausasetelma ja värinäherätteet

Mittausten luotettavuuden varmistamiseksi tutkimukset suoritettiin laboratorioolosuhteissa käyttäen värinäherätteiden tuottamiseen kuvan 1 mukaista kuuden vapausasteen liikelaitteistoa.



Kuva 1. Kuuden vapausasteen liikelaitteisto (Moog E-Cue 624-1800) varustettuna kehotärinä tutkimukseen soveltuvalla mittausasetelmalla.

Liikelaitteiston avulla työkoneesta mitattu liiketieto saadaan jäljiteltä ja toistettua identtisesti kerta toisensa jälkeen. Näin vältetään kenttämittauksiin liittyvät työsuorituksen toistettavuusongelmat. Mittausten suorittaminen tarkoituksenmukaisessa tutkimusympäristössä mahdollistaa myös mittaustilanteen vaivattoman kontrolloimisen. Tutkimuksessa käytettiin kuvassa 1 liikelaitteiston päällä olevaa mittausasetelmaa, joka koostui jalkatuen ja ohjauspyörän sisältävästä kehikosta sekä vakiosäädetyistä Be-Ge 94 –sarjan vaimentamattomasta työkoneistuksesta.

Istuinanturin sijoittelun ja kuljettajan istuma-asennon vaikutuksen tutkimiseksi koehenkilöt altistettiin kahdelle, luonteeltaan erilaiselle kolmen minuutin mittai-

selle tärinäherätteelle. Näistä ensimmäinen oli ohjelmallisesti luotu kuuden vapausasteen satunnaisheräte, josta käytetään jatkossa nimitystä 6DOF-heräte. Sen sisältämän satunnaisliikkeen taajuusalue oli 0,5 – 20 Hz, jolle tärinäenergia oli tasaisesti jakautunut kaikissa akselisuunnissa (x ajosuunta, y sivuttaissuunta ja z pystysuunta). Toinen, ns. traktoriheräte luotiin standardin mukaisella traktoreiden testausradalla (Vakola, Vihti) suoritetun mittauksen pohjalta. Työkoneympäristöille tyypilliseen tapaan valtaosa traktoriherätteen tärinäenergiasta keskittyi alle 5 Hz taajuuksille. Traktoriherätteen erityispiirteenä oli testiradan profiilista aiheutunut noin 1 Hz taajuinen voimakas sivuttaissuuntainen liike. Herätevalinnoilla pyrittiin varmistamaan mahdollisimman kokonaisvaltaisen kuvan saaminen tutkittavista epävarmuustekijöistä erilaisissa tärinäolosuhteissa. Koehenkilömittauksiin liittyvät turvallisuusvaatimukset huomioitiin rajoittamalla herätteiden voimakkuudet sallitulle tasolle.

## 2.2 Mittausprotokollat ja mittaustulosten käsittely

Standardianturin mittauskohdan muutoksen vaikutusta tutkittiin 10 koehenkilön avulla, ja mittausprotokolla oli seuraava: Istuimen korkeus säädettiin koehenkilökohtaisesti, ja istuinanturi asetettiin optimaaliseen mittauskohtaan istuinluiden kyhmyjen tasalle. Tästä eteenpäin optimaalisesta mittauskohdasta käytetään tässä tekstissä rinnan nimityksiä vertailu- ja referenssikohta. Lisäksi koehenkilön istuma-asento vakioitiin asettamalla reiden ja säären väliseksi kulmaksi 100 ° sekä ohjeistamalla hänet pitämään kätet vapaasti sylissä mittausten aikana. Näiden toimenpiteiden jälkeen mittaus suoritettiin kummankin tärinäherätteen avulla. Koska tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää anturin sijainnin muutoksen vaikutusta tuloksiin, mittaukset suoritettiin myös, kun anturia oli siirretty seuraavasti suhteessa vertailukohtaan:

- a) 1 cm sivuun istuimen keskilinjalta,
- b) 2 cm referenssikohdan takapuolelle (selkänojaa kohti)
- c) 2 cm referenssikohdan etupuolelle eli istuinalustan etulaitaa kohti ja
- d) 4 cm referenssikohdan etupuolelle.

Kohdissa (b - d) istuinanturi oli sijoitettuna istuimen keskilinjalle.

Analysointivaiheessa mitatuista kiihtyvyyssignaaleista muodostettiin ensin akselikohtaiset taajuuspainotetut RMS-arvot standardin ISO 2631-1 mukaisesti. Tämän jälkeen laskettiin mittauskohtien (a - d) sekä vertailukohdan tulosten väliset prosentuaaliset poikkeamat. Toimenpide suoritettiin erikseen kullekin akselisuunnalle ja koehenkilölle. Lopuksi kaikkien koehenkilöiden suhteelliset eli prosentuaaliset poikkeamat yhdistettiin laskemalla niistä suuntakohtaiset keskiarvot.

Istuma-asennon vaikutusta tutkittaessa koehenkilömäärä oli viisi, ja siinä käytettiin samaa mittausasetelmaa ja tärinäherätteitä kuin edellä kuvatussa tutkimusjaksossa. Mittausprotokolla aloitettiin suorittamalla vertailumittaus, jonka aikana koehenkilö istui ryhdikkäässä asennossa kädet sylissä polvikulman ollessa vakioituna 100 asteeksi. Istuintururi oli kaikissa mittauksissa sijoitettuna optimaaliseen mittauskohtaan istuinluiden kyhmyjen tasalle. Tämän jälkeen koehenkilön asentoa muutettiin seuraavasti kuvattuun vertailuasentoon verrattuna:

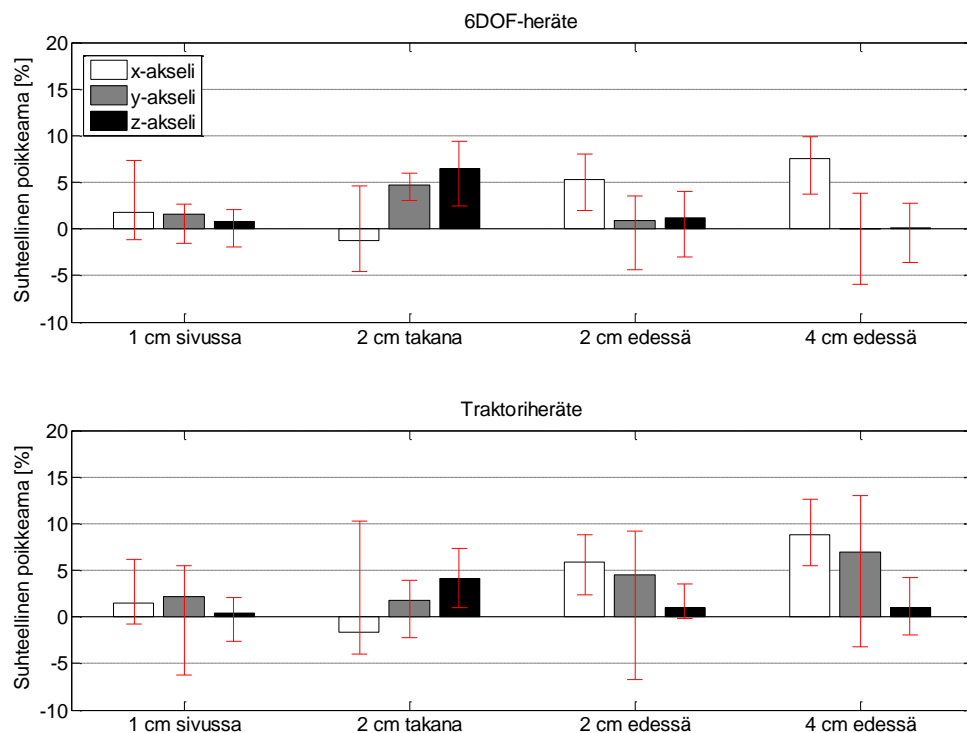
1. kädet ohjauspyörällä
2. kädet käsinojilla
3. selkä irti selkänöjasta, kädet käsinojilla
4. selkä irti selkänöjasta, kädet ohjauspyörällä
5. yläselkä kiinni selkänöjassa, alaselkä ja lantio ilman kontaktia, kädet käsinojilla
6. jalat ojennettuina 120 ° polvikulmaan, kädet käsinojilla
7. jalat koukistettuina alle 90 ° polvikulmaan, kädet käsinojilla

Mittaustulosten käsittelyssä edettiin samoin kuin edellisessä tutkimusjaksossa, eli laskemalla ensin mukautetuissa istuma-asennoissa (1-7) saatujen taajuuspainotettujen RMS-arvojen ja vertailumittauksen vastaavien arvojen välinen prosentuaalinen poikkeama. Toimenpide suoritettiin erikseen kullekin koehenkilölle, minkä jälkeen kunkin muutetun istuma-asennon keskimääräinen suhteellinen poikkeama muodostettiin laskemalla keskiarvo suunnittain kaikkien viiden koehenkilön tuloksista.

### 3 TULOSTEN TARKASTELU

#### 3.1 Anturin sijoittelun vaikutus

Anturin sijainnin muutoksen aiheuttama keskimääräinen poikkeama suhteessa referenssikohdasta suoritettuun mittaukseen on esitetty pylväsdiagrammeina kuvassa 2. Tulosten vaihteluvälit on kuvattu punaisten pystyjanojen avulla.



Kuva 2. Standardianturin paikan vaikutus taajuuspainotettuihin RMS-keskiarvoihin.

Kuvasta on selvästi havaittavissa, ettei anturin siirtäminen 1 cm sivulle vertailukohdasta aiheuta merkittäviä muutoksia tuloksiin kummankaan herätteen tapauksessa. Sitä vastoin anturin siirtäminen istuimen keskilinjalla 2 cm referenssikohdan takapuolelle aikaansaa molemmilla heränteillä x-suunnan arvojen pienenemisen ja z-suunnan arvojen kasvamisen. Sijoitettaessa anturi 2 cm optimikohdan etupuolelle havaitaan päinvastainen ilmiö edelliseen kohtaan verrattuna: poikkeaman kasvaminen x-suunnassa ja pieneneminen z-suunnassa. Liikutettaessa anturia edelleen 2 cm kohti istuimen etulaitaa voimistuu pystysuunnan poikkeama entisestään herätteestä riippumatta.

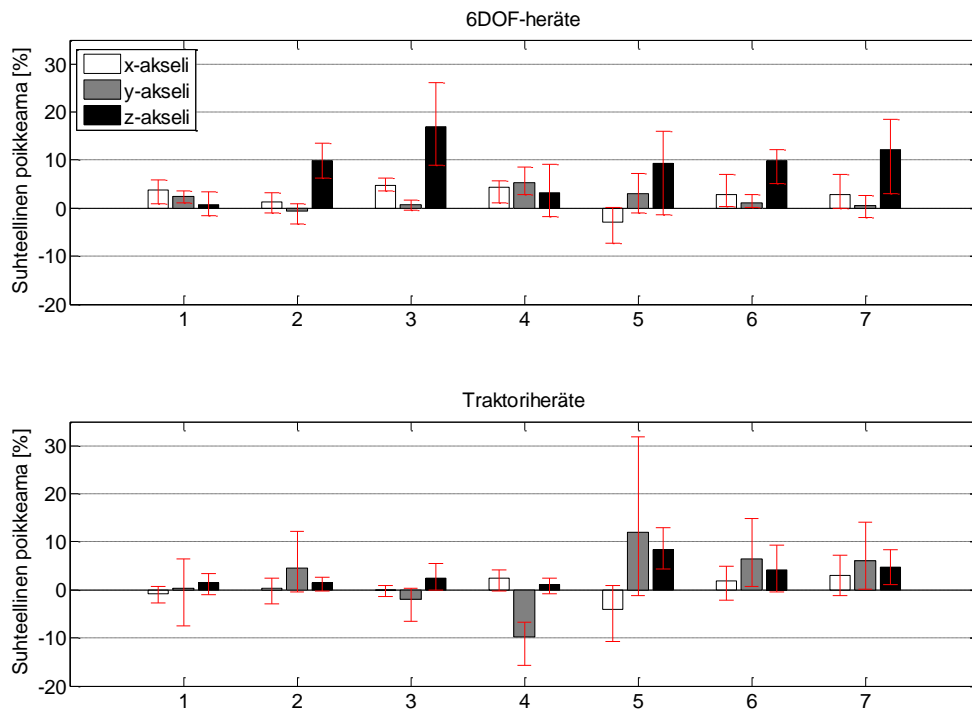
Tuloksista ilmeikävää x- ja z-suunnan poikkeamien käyttäytyminen aiheutuu anturin asennon ja siihen kohdistuvan kontaktin muuttumisesta mittauskohdan vaihtuessa. Anturin sijaitessa liian lähellä selkänöjää kohdistuu istumakontakti anturin etulaidalle, mikä muuttaa sen kallistusta. Tämän johdosta pystysuunnan (z-suunta) arvot voimistuvat ja ajosuunnan (x-suunta) arvot pienenevät. Sen sijaan siirros referenssikohdan etupuolelle muuttaa anturin kallistusta toiseen suuntaan, mikä on havaittavissa arvojen päinvastaisena kehityksenä. 6DOF-herätteen tapauksessa suurin y-suunnan poikkeama ilmenee anturin sijaitessa istuimen takaosassa. Traktoriherätteen y-suunnassa mitatut suurimmat poikkeamat esiintyvät anturin sijaitessa istuimen etuosassa. Yksittäiset poikkeamat ylittävät joissakin tapauksissa 10 % rajan. Yhteenvetona voidaan kuitenkin todeta, ettei anturin asettaminen lievästi väärään kohtaan istuinalustalla aiheuta merkittävää epävarmuutta altistuksen arviointiin.

### 3.2 Istuma-asennon vaikutus

Istuma-asennon muutoksen aiheuttamat keskimääräiset suhteelliset poikkeamat on esitetty pylväsdiagrammeihin kuvassa 3. Tulosten vaihteluvälit on ilmaistu pystyjanojen avulla, ja istuma-asennot on numeroitu vaaka-akselilla sivun alalaidan selitteiden<sup>1</sup> mukaisesti.

---

<sup>1</sup> Istuma-asentojen selitteet: 1. kädet ohjauspyörällä, 2. kädet käsinojilla, 3. selkä irti selkänöjasta, kädet käsinojilla, 4. selkä irti selkänöjasta, kädet ohjauspyörällä, 5. yläselkä kiinni selkänöjassa, alaselkä ja lantio ilman kontaktia, kädet käsinojilla, 6. jalat ojennettuina 120 ° polvikulmaan, kädet käsinojilla ja 7. jalat koukistettuina alle 90 ° polvikulmaan, kädet käsinojilla.



Kuva 3. Istuma-asennon vaikutus taajuuspainotettuihin RMS-keskiarvoihin.

Käsien vieminen ohjauspyörälle ei tuota merkittäviä muutoksia tuloksiin kummankaan herätteen tapauksessa. Sen sijaan käsien vieminen käsinojille muuttaa merkittävästi tilannetta edelliseen verrattuna 6DOF-herätteen z-suunnassa aiheuttaen noin 10 % keskimääräinen poikkeaman. Selkänojakontaktin puuttuminen lisää edelleen poikkeamaa 6DOF-herätteellä z-suunnassa. Yhden koehenkilön tapauksessa poikkeama ylittää jopa 25 % rajan. Käsien vieminen ohjauspyörälle selkänojakontaktin puuttuessa palauttaa 6DOF-herätteen tapauksessa z-suunnan poikkeaman noin 5 % tasolle. Merkillepantavaa on, että traktoriherätteellä poikkeama on noin -10 % y-suunnassa, joka on tämän herätteen dominoiva värinän suunta. Huono työasento, jossa alaselällä ei ole selkänojakontaktia, näkyy molemmilla herätteillä negatiivisena poikkeamana x-suunnassa ja positiivisena z-suunnassa. Merkittävin poikkeama ilmenee kuitenkin traktoriherätteen y-suunnassa, jossa positiivinen poikkeama on suuruudeltaan yli 10 %. Myös tulosten vaihteluväli on poikkeuksellisen suuri. Polvikulman muuttuessa suurimmat poikkeamat esiintyvät 6DOF-herätteellä z-suunnassa.

Erityisesti 6DOF-herätteen perusteella saadut tulokset osoittavat, että merkittävin yksittäinen mittauksiin vaikuttava tekijä on käsien paikka. Myös traktori-

herätteen tapauksessa käsien vieminen käsinojilta ohjauspyörälle aiheuttaa suuren muutoksen tilanteessa, jossa selkänojakontaktia ei ole. Mittausjakson tulosten suurin vaihteluväli ja yksittäinen poikkeama, hieman yli 30 %, mitattiin traktoriherätteellä asennossa, jossa alaselkä ja lantio olivat siirtyneet kohti istuimen etuosaa. Tämä aiheutuu todennäköisesti erilaisesta istuinanturikontaktista, sillä asennossa 5 voimakkain kontakti on istuinanturin etulaidalla, kun taas muissa asennoissa kontakti on istuinanturin keskellä. Istuma-asentojen 2, 4 ja 6 välillä ainut erottava tekijä on jalkojen asento. Koska tulokset ovat herätekohtaisesti tarkasteltuna näissä istuma-asennossa lähes identtiset, voidaan jalkojen asennon merkitys todeta hyvin pieneksi.

#### 4 ISTUMA-ASENNON VAIKUTUS ALTISTUKSEN ARVIOINTIIN

Tutkimuksen kohteena olleista muuttujista istuma-asennon vaikutus on selvästi suurempi kuin huonosti asetellun standardianturin. Seuraavassa esimerkissä on havainnollistettu, millainen vaikutus istuma-asennon vaihdoksen seurauksena muuttuneilla taajuuspainotetuilla RMS-arvoilla on EU-direktiivin mukaiseen päivittäisen altistuksen arviointiin. Taulukossa 1 on esitetty erään koehenkilön kahden eri istuma-asennon tulokset 6DOF-herätteen tapauksessa. Kiihtyvyyden taajuuspainotetut RMS-arvot on muodostettu ISO 2631-1 -standardin mukaisesti käyttäen horisontaalisuunnissa (x & y) lisäpainotuskerrointa 1,4.

Taulukko 1. Kahdessa erilaisessa istuma-asennossa määritetyt kiihtyvyyden taajuuspainotetut RMS-arvot

<b>Istuma-asento</b>	<b>RMS x</b>	<b>RMS y</b>	<b>RMS z</b>
Kädet ohjauspyörällä, täysi selkänojakontakti	0,79 m/s <sup>2</sup>	0,87 m/s <sup>2</sup>	0,97 m/s <sup>2</sup>
Kädet käsinojilla, täysi selkänojakontakti	0,78 m/s <sup>2</sup>	0,87 m/s <sup>2</sup>	1,07 m/s <sup>2</sup>

Direktiivin mukaisesti kehotärinän terveysvaikutusten arviointi suoritetaan voimakkaimman suunnan perusteella. Näin ollen tärinäaltistuksen toiminta- ja raja-arvon täyttymiseen kuluva aika lasketaan tässä tapauksessa z-suunnan perusteella.



Poikkeamat istuma-asentojen välisissä tuloksissa konkretisoituvat erilaisina tärinäaltistuksen toiminta- ja raja-arvon täyttymisaikoina. Asennossa, jossa koehenkilön kädet olivat ohjauspyörällä ja koko selkä kiinni selkänojassa, toiminta-arvon  $0,5 \text{ m/s}^2$  ylittymiseen kuluva aika on 127 minuuttia. Raja-arvo  $1,15 \text{ m/s}^2$  saavutettaisiin tässä tapauksessa 675 minuutin altistumisen jälkeen. Vastaavat ajat toiselle istuma-asennolle ovat 105 ja 554 minuuttia. Tulosten syvempi tarkastelu osoittaa, että noin 10 % ero taajuuspainotettujen z-suunnan RMS-arvojen välillä aiheuttaa toiminta-arvon täyttymiseen kuluviin aikoihin 20 % prosenttien muutoksen. Tämä aiheutuu laskennassa käytetystä altistusajan ja altistuksen voimakkuuden välisestä riippuvuudesta.

## 5 YHTEENVETO

Tutkimuksessa selvitettiin kahden kehotärinämittaukseen liittyvän epävarmuustekijän, anturin sijoittelun ja kuljettajan istuma-asennon, aiheuttamaa epävarmuutta mittaustuloksiin. Tutkimustulosten valossa standardianturin sijoittelu ei ole merkittävä epävarmuustekijä, sillä keskimääräiset poikkeamat pysyivät kaikissa tilanteissa alle 10 prosentissa. Toki anturin sijoittelu voi muuttua keskeiseksi virhelähteeksi, mikäli se sijoitetaan riittävän kauas istuinluiden kyhmyjen tasalla sijaitsevasta optimaalisesta mittauskohdasta. Käytännön mittauskokemukset ovat kuitenkin osoittaneet, että anturin asettaminen silmämääräisesti hyvin lähelle ideaalista paikkaa on suhteellisen helppoa.

Kuljettajan istuma-asentoa voidaan sen sijaan pitää merkittävänä epävarmuustekijänä, sillä sen havaittiin aiheuttavan yli jopa 10 prosentin luokkaa olevia keskimääräisiä poikkeamia. Myös tulosten hajonta oli useissa tilanteissa huomattavaa. Tutkimusaineiston pohjalta laadittu esimerkki osoittaa, kuinka näennäisesti pienikin istuma-asennon muutos voi muuttaa merkittävästi altistuksen arvioinnin lopputulosta. Toisin sanoen tietty työsuorite voidaan tulkita haitallisuudeltaan erilaiseksi riippuen henkilön istuma-asennosta. Tämän vuoksi todennettaessa tärinäaltistusta mittauksin on muiden tekijöiden ohella syytä kiinnittää huomiota myös siihen, että kuljettaja istuu tehtävälle ominaisessa ajoasennossa. Istuma-asennon liiallinen rajoittaminen ei kuitenkaan ole perusteltua, sillä tuolloin saatu tulos ei enää välttämättä kuvasta kohteena olevaa työtilannetta.

## LÄHTEET

*Bovenzi M. & Hulshof, C.T.J.* 1999. An Updated Review of Epidemiologic Studies on the Relationship between Exposure to Whole-Body Vibration and Low Back Pain (1986-1997). *Int Arch Occup Environ Health* 72, 351-365.

*EUROOPAN PARLAMENTIN JA NEUVOSTON DIREKTIIVI 2002/44/EY.* 2002. Terveyttä ja turvallisuutta koskevat vähimmäisvaatimukset työntekijöiden suojelemiseksi altistumiselta fyysikaalisista tekijöistä (tärinä) aiheutuville riskeille.

*Griffin M.J., Howarth H.V.C., Pitts P.M. et al.* 2008. Guide to good practice on Whole-Body Vibration. Non-binding guide to good practice with a view to implementation of Directive 2002/44/EC on the minimum health and safety requirements regarding the exposure of workers to the risks arising from physical agents (vibrations).

*ISO 10326-1:1992.* Mechanical vibration – Laboratory method for evaluating vehicle seat vibration – Part 1: Basic requirements. International Organization for Standardization, Switzerland.

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