

KARELIA-AMMATTIKORKEAKOULU
Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma

Niko Nyman

HAKETTIMEN TÄRINÄMITTAUS

Opinnäytetyö
Joulukuu 2014



Karelia
AMMATTIKORKEAKOULU

OPINNÄYTETYÖ
Joulukuu 2014
Kone- ja tuotanto tekniikan
koulutusohjelma

Karjalankatu 3
80100 Joensuu
+358 50 260 6800

Tekijä
Niko Nyman

Nimeke
Hakettimen värinämittaus

Toimeksiantaja

Kesla Oyj

Tiivistelmä

Opinnäytetyön tarkoituksena oli tutkia keho- ja käsivärinää Kesla Oyj:n valmistamalle autohakurille. Mittaaminen suoritettiin Keslan valmistamalle autohakurille. Saatua tuloksia voidaan verrata keskenään eri koneryhmien kanssa ja tarkastella kuinka pitkään koneella voidaan yhtiötyöskennellä. Saatua tuloksia voidaan käyttää Kesla Oyj:n valmistamien koneiden päivittämiseen.

Mittaukset tehtiin Norsonic Nor140 -laitteella ja tulokset ovat Excel-pohjaiset. Saavutettuja tuloksia voidaan tarkastella sekä vertailla keho- ja käsivärinän toiminta- ja raja-arvoihin. Näin voitiin analysoida laitteen mahdollisia muutoksia tai ohjeistaa työntekijää työskentelemään ilman, että toiminta-arvot eivät ylittyisi.

Mittauslaitteen puutteet ja mittauksen hankala toteuttaminen rajoittavat saatujen tulosten luotettavuutta. Autohakureilla työskentelevä ihmisen on syytä tietää työstä aiheutuvasta värinäpäästästä. Tämä tutkimus antaa suuntaa koneen valmistajille sekä työnantajille.

Kieli
suomi

Sivuja 39
Liitteet 4
Liitesivumäärä 4

Asiasanat
autohakuri, koko kehovärinän mittaus, käsivärinän mittaus



THESIS
December 2014
**Degree Programme in Mechanical and
Production Engineering**
Karjalankatu 3
FI 80200 JOENSUU
Finland
+358 50 260 6800

Author
Niko Nyman

Title
Vibration Measurement for Wood Chipper

Commissioned by
Kesla PLC

Abstract

The purpose of this thesis was to examine the body and hand-arm vibration of a wood chipper manufactured by Kesla PLC. The measurement process of vibration was created for one of the Kesla manufactured wood chippers. The received results can be used to compare to other machines, and to view how long the wood chippers can be used continuously for. The results can be used to update the Kesla PLC wood chippers.

The measurements were made with Norsonic Nor140 device and the results are represented in Excel form. The result can be examined and compared to the vibration action values and limit values of the arms and whole body. The analysis of these values enabled suggestions for improvements for the wood chipper, or instructions for the device users to work without exceeding the action values or the limit values.

The lack of measuring equipment and difficulties in executing measurements of the wood chipper limits the reliability of the results. A person who works with a wood chipper has to know about the effects which are caused from using the wood chipper and its vibration. This thesis gives suggestions for the manufacturer of machinery and employers using the machines.

Language
Finnish

Pages 39
Appendices 4
Pages of Appendices 4

Keywords

Wood chipper, whole-body vibration measurement, hand vibration measurement

Sisällys

Tiivistelmä

Abstract

1 Johdanto	5
2 Tärinä yleisesti ja hakkeen jalostaminen.....	6
2.1 Tärinän mittaaminen.....	7
2.1.1 Mittaamisesta yleisesti	9
2.1.2 Tärinälle altistumisen kesto ja sen määrittäminen	10
2.2 Tärinän voimakkuuden määrittäminen	10
2.3 Hakkeen jalostaminen	11
3 Mittaaminen ja yleistiedot hakettimesta	11
3.1 Mittauskohde	11
3.2. Haketettava materiaali.....	13
3.3 Mittauslaite	14
3.4 Mittalaitteen kalibrointi.....	15
3.5 Mittausten suorittaminen	16
4 Laskentamenetelmät.....	17
4.1. Kiihtyvyyden määrittäminen	17
4.2. Painotetun kiihtyvyyden määrittäminen	18
4.2.1 Kiihtyvyyden ja painotetun kiihtyvyyden kuvaajat.....	18
4.3. Taajuuspainotteisen kiihtyvyyden määrittäminen	22
4.4 Tulokset.....	23
4.4.1 Z-suuntaisen kehontärinän arvot.....	23
4.4.2 X-suuntaisen kehontärinän arvot.....	24
4.4.3 Y-suuntaisen kehontärinän arvot.....	26
4.4.4 Z-suuntaisen käsitärinän arvot	27
4.4.5 X-suuntaisen käsitärinän arvot	28
4.4.6 Y-suuntaisen käsitärinän arvot	28

4.5 Tulosten tarkastelu kehontärinä	29
4.6 Käsitärinän tulokset	30
5 Analysointi	31
6 Tärinän estäminen tai vähentäminen	32
6.1 Työn aikatauluttaminen	33
6.2 Tärinäpäästön realisointi ja mittauksen parantaminen	33
6.3 Tärinäpäästön vähentäminen	34
7 Parannusehdotus	36
8 Pohdinta	37
Lähteet	39

Liitteet

Liite 1	Kiihtyvyyden määrittäminen laskemalla Excelissä
Liite 2	Painotetun kiihtyvyyden määrittäminen
Liite 3	Taajuuspainotteisen kiihtyvyyden määrittäminen
Liite 4	Esimerkkejä yleisten koneiden tärinän voimakkuuksista. Ohjeellinen opas: Hyvät toimintatavat direktiivin 2002/44/EY

1 Johdanto

Työn tarkoitus oli tutustua Itä-Suomessa toimivaan energiaksi poltettavan hakkeen käsittelyyn, jossa haketin eli hakkuri silppuaa metsätyön jäljiltä jäävää puuainesta hakkeeksi. Työnä oli tutkia ja mitata mahdollista tärinää, joka aiheutuu hakettimen käytöstä. Työtä varten on toimeksiantajana Karelia-ammattikorkeakoulua lähestynyt itäsuomalainen mm. hakkurin valmistukseen erikoistunut Kesla Oyj.

Haketin on yleinen Suomessa käytetty hakkeen jalostamiseen käytetty työkone, josta maailmalta löytyy paljon erilaisia variaatioita. Hakettimen koko vaihtelee pienestä puutarhaan soveltuvasta hakettimesta aina massiivisiin hakkeenpolttolaitosten yhteydessä oleviin kiinteisiin hakettimiin. Tämän opinnäytetyön kohde on Keslan haketin. Tärinän kannalta käyttäjää suojaavat standardit ja EU:n direktiivit, joista työnantajan on velvollisuus tietää, ja laitteen valmistajan tulee tiedottaa, jos laite ylittää sallitut raja-arvot.

Hakkeen valmistaminen on yksinkertainen toimenpide, jossa puuainesta pilkotaan hienoksi hakkeeksi eli silpuksi. Palakoko hakkeella on keskimäärin 5 cm. Hake voi olla kokopuuhaketta, osapuuhaketta, viherhaketta ja polttohaketta sekä lisäksi paperiteollisuuteen käytettävää puuhaketta ns. massanvalmistukseen. Tämä puuaineksen monipuolisuus tuo muutamia haasteita hakettimen käytölle.

Kesla on perustettu 1960 vuonna ja nykyinen kotipaikka sillä on Joensuu. Yritys on metsäteknologian kehittämiseen ja valmistukseen erikoistunut konepajakonserni. Kesla oyj:n liikevaihto vuonna 2013 44,9 miljoonaa euroa. Metsä koneryhmän viennin osuus liikevaihdosta oli 70,1 % vuonna 2013. Henkilöstöä oli vuonna 2013 tilikauden lopussa 298. Keslan tuotteita ovat mm. metsäperävaunut, harvesteri- ja energiakourat, kuormaimet, puutavara- metsäkone- ja kierrätysnosturit sekä hakkurit. Keslan tuotantolaitoksia sijaitsee Joensuussa, Iломantsissa, Tohmajärvellä ja Kesälahdella. Keslalla on myös toimintaa ulkomailla. (Kesla 2014.)

2 Tärinä yleisesti ja hakkeen jalostaminen

Ihmisen keho tuntee tärinän hyvin helposti. Tärinä on värähtelyä, joka liikkuu materiaalissa eteenpäin aallonlailla. Tärinä on tyypillistä monissa koneissa ja tuotantolaitteissa, koska tärinää syntyy koneiden osien liikkeestä. Tämän takia todella paljon tarkkuutta vaativat työkoneet yleensä poissulkevat tärinää erittäin tehokkaasti, jotta haluttu tarkkuus voidaan saavuttaa. Melu ja tärinä yleisesti liitetään yhteen konemekaniikassa ja melua vaimentamalla yleensä pienennetään myös tärinää. Tärinä siirtää myös energiaa. Näitä kutsutaankin mekaniikassa ja biomekaniikassa kineettiseksi energiaksi tai potentiaaliseksi energiaksi. Tärinä on havaittu ihmiskunnassa jo varhaisessa vaiheessa, kun ensimmäiset musiikkiin liittyvät soittimet on keksitty. Galileo Galilei (1564–1612) pidetään yhtenä merkittävänä tutkijana, joka perehtyi mm. tärinään. (Balanchandran & Magrab 2004,1–3.)

Tärinä (värähtely) kuormittaa ja väsyttää rakenteita ja koneen osia, joka aiheuttaa yleensä yllättäviä rikkoutumisia. Seurauksena voi tulla koneen osien murtumisia, sinkoutumisia, kaatumisia tai muita vaaratilanteita. Pyörivän osan liikkeestä aiheutuva tärinä/värähtely saattaa aiheuttaa vaaratilanteen hyvinkin lyhyessä ajassa. Värähtely voi aiheuttaa siis rakenteisiin todella suuria rasituksia. (Siirilä 2009,413.)

Erittäin paljon tärisevien työvälineiden käyttäminen aiheuttaa tunnetusti sairauksia mm. käsiin. Valkosormisuutta esiintyy esimerkiksi metsureilla moottorisahan käytöstä. Valkosormisuus johtuu tuntoaistin ja sormien verenkierron häiriintymisestä. Koko kehontärinästä esimerkkinä voisi olla, että työkoneen ohjaamo tärisee. Tämä tärinä voi aiheuttaa selän kulumasairauksia koneen käyttäjille. Hetkellinen koko kehoon kohdistuvasta tärinästä voi seurata verenpaineen laskua ja pahoinvointia. (Laitinen, Vuorinen & Simola 2009,172–173.)

2.1 Tärinän mittaaminen

Käsitärinän ja kehontärinän mittaaminen täytyy noudattaa seuraavia toiminta-arvoja ja raja-arvoja, jotka löytyvät Valtioneuvoston asetuksessa 48/2005. Arvot ovat määritetty 8 tunnin altistukselle.

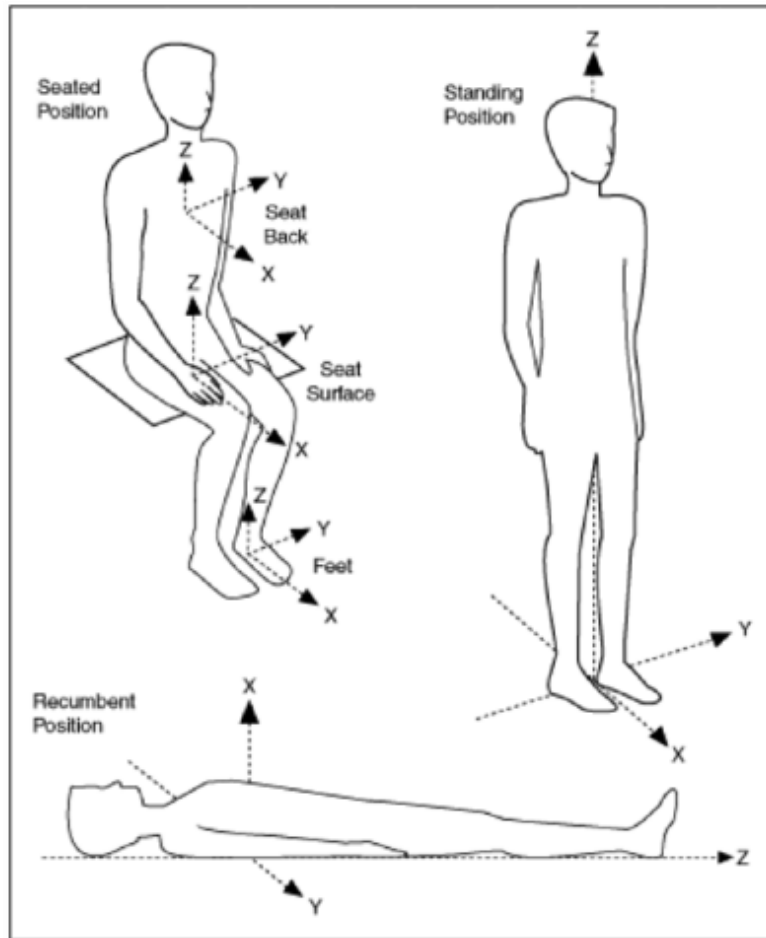
	Käsitärinä	Kehotärinä
Toiminta-arvo (8 tuntia)	2,5 m/s ²	0,5 m/s ²
Raja-arvo (8 tuntia)	5,0 m/s ²	1,15 m/s ²

Kuvio 1. Keho- ja käsitärinän toiminta- ja raja-arvot (Työterveyslaitos 2013)

Toiminta-arvon ylittyessä on työnantajan velvollisuus tehdä tärinätorjuntaohjelma, jonka tavoite on vähentää tärinälle altistumista. Toiminta-arvon ylittävälle kehotärinälle on työntekijöille suoritettava määräajoin terveystarkastuksia. Työterveyshuollon tehtävänä on havaita tärinälle erityisen herkät työntekijät, joiden kohdalla työnantajan on aloitettava asianmukaisiin toimenpiteisiin työntekijöiden terveyden ja turvallisuuden suojelemiseksi. Raja-arvon ylityksestä työnantajan on välittömästi aloitettava toimenpiteet tärinän alentamiseksi. Työnantajan on selvitettävä raja-arvon ylittämisen syyt ja suoritettava toimenpiteet, jotta ylitys ei toistu. (Työterveyslaitos 2013.)

Mittaukset on normaalisti suoritettava kolmesta suunnassa. Kokokehontärinälle on määritettävä seuraavat arvot:

$$a_{wz} , a_{wx} , a_{wy}$$

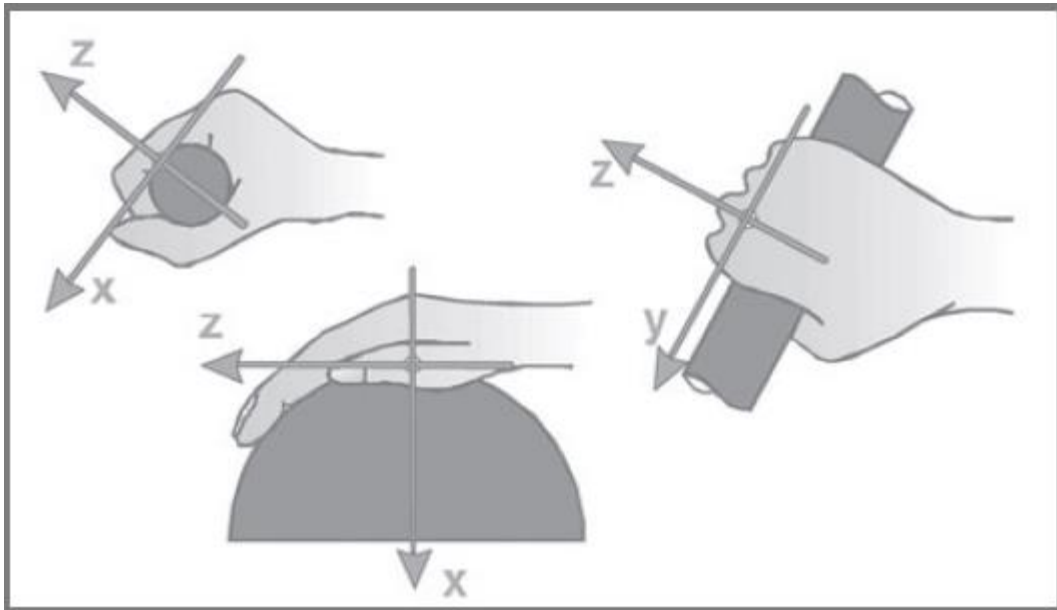


Kuvio 2. Translaattoriseen ihmiskehoon kohdistuvaan kokokehotärinään liittyvät kohtisuoran koordinaatistojärjestelmän asianomaiset suunnat (Evaluation engineering 2013)

Arvot ovat taajuuspainotetun kiihtyvyyden arvoja x-, y- ja z-akselien suunnassa. Näin tulos tulee olemaan tarkka ja kertoo paljon enemmän. Käsitärinälle suunnat ovat samat, mutta ne ilmoitetaan seuraavasti.

$$a_{hwz}, a_{hwx}, a_{hwy}$$

Tärinän voimakkuutta kuvaavana suurena käytetään tärinämittaamisessa taajuuspainotettua kiihtyvyyttä m/s^2 , joka ilmoitetaan kiihtyvyyden tehollisarvona a_w (rms-arvona) (SFS-EN 1032 +A1).



Kuvio 3. Käsitärinämittauksen akselit (Ohjeellinen opas: Hyvät toimintatavat direktiivin 2002/44/EY)

2.1.1 Mittaamisesta yleisesti

Mittaaminen tulisi tehdä täysin uudella laitteella, joka on huollettu kunnolla. Mikäli mitattava kone on jo käytössä oleva laite, niin kone edustaa silloin koko koneryhmää ja sen on oltava varusteltu täsmälleen koneryhmän tyypillisellä tavalla. Kuormauksesta mittauksen aikana on noudatettava täysin normaalia kuormaustilaa, jotta mittaaminen antaa todenmukaisia arvoja ja kuorman käsittelystä ei aiheudu ylimääräistä vaaraa. Käyttäjän kannalta mittaaminen on toteutettava siten, että koneenkäyttäjälle ei aiheudu mittaamisesta turhaa vaaraa ja hän voi toimia työ-koneella täysin normaalilla tavalla. Istuimet on säädettävä siten, että koneen käyttäjän on helppo työskennellä koneella ja hän ylettyy tarvittaviin ohjaimiin. Ohjauspyörän tai ohjaussauvan käsittelyssä mittauksen aikana on käyttäjän ohjailtava konetta täysin normaalisti koneen hallinnan kannalta. Toimintaolosuhteet ja testausradat mittaukselle voi olla simuloituja ja/tai yksinkertaistettuja olosuhteita, jos alustava tutkimus on osoittanut, että tällaiset olosuhteet edustavat tärinäpäästöä. Mittauksen aikana vaikuttava olosuhde on kirjattava ylös. Ennen kun mittaamien suoritetaan, on konetta käytettävä normaalisti vähintään 10 min ajan (SFS-EN 1032 + A1).

2.1.2 Tärinälle altistumisen kesto ja sen määrittäminen

Alustavasti on tiedettävä, kuinka paljon työntekijä altistuu tärinälle päivän aikana. Tämän työn kohteena oleva haketin kuuluu prosessiin, jossa työntekijä ei ole jatkuvasti tärinälle altistuneena täyttä työpäivää. Joten direktiivissä 2002/44/EY kehoitetaan, että on otettava huomioon vain ne ajat, jolloin työntekijä on altistuneena tärinälle. Kosketusaika on käyttöaika, jolloin työntekijä altistuu käsitärinälle tai kokokehontärinälle. Tämä tarkoittaa sitä, että työskentelyyn yleisesti käytetty kokonaisaika on paljon pitempi kuin kosketusaika. Tämän takia työkalun ja koneiden käyttäjät arvioivat yleensä kosketusajan liian suuriksi.

Kosketusaika jaotellaankin kahteen luokkaan eli yhtäjaksoiseen työkalunkäyttöön tai ajoittaiseen työkalunkäyttöön. Tämä jaksottaminen koskee lähinnä käsitärinää, mutta sitä voidaan soveltaa täysin kokokehontärinäänkin. Kokokehontärinässä otetaan huomioon samoja lähtökohtia kuin käsitärinässä. Kokokehontärinässä painotetaan työskentelytapoihin, joilla voidaan vaikuttaa suuresti kokokehontärinän suuruuteen. (Euroopan yhteisöt 2008, 18 – 67.)

2.2 Tärinän voimakkuuden määrittäminen

Käsitärinäriski perustuu arvoon a_{hw} , joka on taajuuspainotettu kiihtyvyyden kokonaisarvo. Se saadaan akselien x-, y- ja z-akselien taajuuspainotettujen kiihtyvyyksien summan neliöjuuresta (m/s^2). Käsitärinää määriteltäessä on käytettävä altistumisen korkeinta arvoa, jos työkalua joudutaan pitämään kahdella kädellä kiinni. Tällöin on mittausta suoritettava molempien käsien sijainneista.

Kokokehontärinän suuruus on taajuuspainotettu kiihtyvyyssarvo suurimmalla kolmesta ortogonaalisesta akselista, jotka kohdistuvat seisovaan tai istuvaan henkilöön (m/s^2). (Euroopan yhteisöt 2008, 19 – 68.)

2.3 Hakkeen jalostaminen

Metla eli metsäntutkimuslaitos on aloittanut vuodesta 2001 hankkeen kiinteän puupolttoaineen energiakäytön tilastoinnin. Vuonna 2000 metsähakkeen osuus puupolttoaineen energiakäyttö lämpö- ja voimalaitoksissa oli 0,8 milj.m³ (metsäntutkimus 2001.) Vuonna 2012 metsähakkeen käyttö on huomattavasti lisääntynyt. Merkittävin raaka-aine on pienpuu metsähakkeelle 3,6 milj.m³. Hakkuutähteitä 2,6 milj.m³ vuodessa. Tämän opinnäytetyöhön käytetty autohakkuri haketti juuri hakkuutähteitä. Kantojen ja juurakoiden käyttö metsähakkeeksi oli 1,1 milj.m³. Yleisesti ottaen metsähaketta käytti suuret energia- ja metsäteollisuudenyritykset. hakkeen toimitusketju on normaalisti metsäyhtiöiden järjestämä. Tähän toimintaketjuun kuuluvat yleisesti puunkorjuu-, haketus- ja kuljetusyrittäjiä. Hakettamiseen liittyviä yritykset ovat yleisesti yksittäisiä henkilöitä tai pieniä haketus ja kuljetusyrittäjiä. Lisäksi alalla toimii metsäkoneyrittäjiä, jota ovat laajentaneet toimintaansa energia-alalle. Tämä yritystoiminta on ollut Suomessa jo jonkin aikaa, mutta tutkimuksia ja tuloksia on toiminnasta hyvin vähän (Nummelin, Petäjäistö & Rummukainen 2014, 6.)

3 Mittaaminen ja yleistiedot hakettimesta

3.1 Mittauskohde

Kesla C1060 autohakkuri, joka on suurin sarjavalmisteen autohakkuri Keslalla. Autohakkurissa on myös lisäksi nosturi Kesla 1200T. Tämä on Keslan sarjavalmisteen autohakkuri ja yleensä tämä kiinnitetään kuorma-auton runkoon. Nosturin ollessa erillään hakkurista voidaan nosturin ja autohakkurin sijoitteluun hie-man vaikuttaa. Mittaukset kokokehontärinälle ja käsitärinälle suoritettiin koneen käyttäjän kannalta ohjaamosta, jossa koneen käyttäjä työskentelee.

Keslan valmistavan autohakkurin C1060 teknisiä tietoja. Mahdolliset muutokset kone kannassa ovat yleisiä, jos asiakas haluaa parantavia ominaisuuksia tai muutoksia. Hakettimen tiedot:

- Paino 9500 kg (ilman kuormainta)
- Kokonaispituus 2945 mm
- Kokonaisleveys 2550 mm
- Max korkeus 2750 mm
- Syöttöaukon koko 1000 x 600 mm
- Rummun halkaisia 860 mm



Kuva 1. Keslan autohakkuri C1060 Polvijärveltä (Kuva: Niko Nyman.)



Kuva 2. Keslan nosturin ohjaamo, jossa mittaukset suoritettiin (Kuva: Niko Nyman.)

3.2. Haketettava materiaali

Haketettavana materiaalina toimi hakkuusta jääneet oksat, puiden latvat ja muu puuaines. Eli puuaines, joka ei kelpaa sahatavaraksi vaan toimii hyvänä raaka-aineena puuhakkeelle. Tämä on yleinen hakkeen raaka-aine, koska metsän hakkuun jälkeen tämä puuaines ei kelpaa yleisesti monipuoliseen käyttöön ns. hakkuujäte. Puuaines pilkottuna hakettimella toimii hyvänä energianlähteenä.

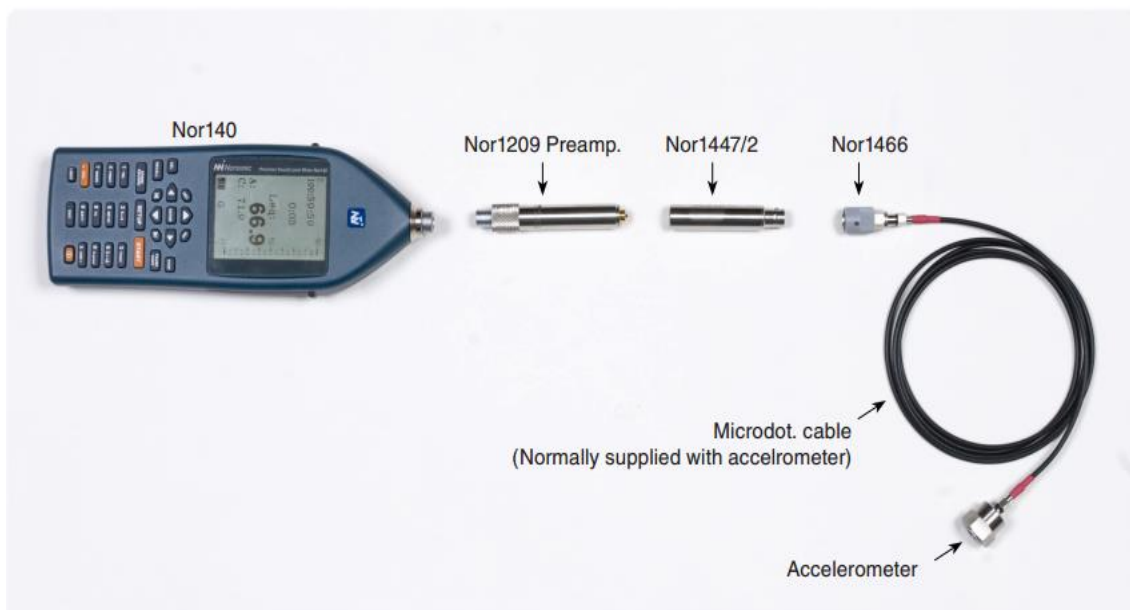


Kuva 3. Haketettavana materiaalina toimi hakkuujäte, jossa on oksia, puun latvoja ja muuta puuainesta. (Kuva: Niko Nyman.)

3.3 Mittauslaite

Mittauslaite on oltava EN ISO 8041:2005 standardin vaatimusten mukainen käsitärinässä ja kokokehontärinässä. Kiihtyvyyssmittari tulee valita huolella, koska tärinä voi olla hyvin voimakasta ja ylikuormittaa epäsozivaa mittaria. (SFS-EN ISO 5349-2 2002, 16 – 20.)

Mittauksissa käytetty mittari oli Norsonic Nor140. Mittaria käytetään äänen desibelimittaamiseen, mutta laitteella voidaan mitata luotettavasti myös värähtelyjä kiihtyvyyssanturin avulla.



Kuva 4. Norsonic Nor140 (Measuring vibration using sound level meter Nor140.)

Äänitasomittari Nor140 on Norsonicin valmistama äänianalysaattori. Mittaria käytetään äänen ja melun mittaamiseen ja sen soveltuvuuksia on lukuisia (mm. värähtelymittaukset). Laite nauhoittaa mittaustulokset ja tallentaa tulokset muistikortille. Tämän jälkeen raakadata voidaan analysoida myöhemmin.

3.4 Mittalaitteen kalibrointi

Tärinämittauksia varten oli mittalaite NOR140 kalibroitava oikein. Kalibroinnissa desibeli asetukset muutetaan kiihtyvyyden mittaamisen asetuksiin. Asetusten löytäminen vaati opastusta laitteen aikaisemmilta käyttäjiltä ja testausta.

Mittarin täytyi mittauksen aikana ottaa huomioon matalat taajuudet, joten mittalaite NOR 140 asetuksista frekvenssi muutettiin 1/3 -> 1/3W. Tämä muutos helpottaa saamaan tulokset tärinästä alueella, jolloin sykähtely ei ole isoja, mutta kiihtyvyydet voivat olla isoja. Tämä muutos sai mittarin ottamaan huomioon 0,4Hz ylöspäin matalan ja hitaan värähtelyn.

Lisäksi asetuksista täytyi muuttaa ICP-anturille sopivaksi ja desibeliasetukset täytyi muuttaa EU-asetukselle (Eu = Engineerin units), jotta mittari mittaisi kiihtyvyyksiä. Kun tarvittavat muutokset oli tehty. Voitiin mittalaite kalibroida. Kalibrointi tapahtuu yksinkertaisesti painamalla mittalaitteen näppäintä CAL. Tämän jälkeen laitteelle pitää syöttää laskemalla saatu tulos. Tuloksen saa, kun ottaa huomioon mittalaitteen kiihtyvyyksianturin ja laskee kiihtyvyyksianturin mukana tulleen ohjeen ja kaavan avulla kalibrointiin tarvittavan arvon. Arvo voi olla negatiivinen. (Nor140 Sound analyser 2007.)

$$L_s = 10 \lg \left\{ \frac{x^2}{x_0^2} \right\}$$

$$L_s = 10 \lg \left(\frac{\left(10.08 \frac{mV}{m/s^2} \right)^2}{(1)^2} \right) \rightarrow L_s = -39.3$$

$10.08 \frac{mV}{m/s^2}$ saadaan kiihtyvyyksianturin ohjeista. Anturia käytettiin mittauksissa.

Taulukko 1. Nor140 asetuksista tärinälle (Nor140 Sound analyser 2007.)

CAL	-39,3
2nd netw	Z wide
Units	eu
Preamp	icp
Freq mode	on, 1/3W

3.5 Mittausten suorittaminen

Kuten kohdassa 2.1.1 mainitut puitteet olivat kunnossa. Voitiin mittaaminen suorittaa. Mittaaminen tapahtui Polvijärvellä heinäkuussa 2014 klo 8 alkaen yhdessä melumittauksen kanssa. Tärinä mittauksia tuli yhteensä 18 kappaletta, koska jokaisesta ortogonaalisesta akselistä täytyi ottaa vähintään kolme mittausta, jotta

tulokset olisivat luotettavia ja standardin mukaisia. Mittauksessa mitattiin siis koko kehoon kohdistuvaa värinää Z-, X-, ja Y-akselilta sekä käteen kohdistuvaa värinää Z-, X-, ja Y-akselilta.

Kehontärinän mittauksen suunnat löytyvät kuviosta 2. Ja käsitärinän suunnat löytyvät kuviosta 3. Lisäksi tämän työn luvusta 4.4 eteenpäin löytyy tarkentavia kuvia mittauksista kehontärinälle sekä käsitärinälle.

4 Laskentamenetelmät

Tässä opinnäytetyössä tarkasteltuja värinämittauksen tuloksia tarkasteltiin mittalaitteelta saadun raaka-datan perusteella. Mittaustulokset eivät tulleet suoraan halutussa ja tarkastelu kelpoisessa muodossa vaan tulokset oli laskettava annettujen standardien ja direktiivien ehdoilla. Ohjeita laskuille löytyi standarteista ja Norsonicin ohjeista. Laskut suoritettiin Microsoft Excelillä, koska saadut mittaus tulokset olivat todella laajat ja Norsonicin antamat mittaustulokset olivat Excel muodossa. Microsoft Excelillä oli kaikkein järkevintä suorittaa laskut ja kaavojen käsittelykin oli nopeampaa. Saatuja mittaustuloksia oli kuitenkin yhteensä 18 kappaletta ja aina yhdessä mittaustuloksessa oli 48 kappaletta mitattua arvoa, jotka olivat keskiarvoja suuremmasta otoksesta per jokainen Hz-arvo.

4.1. Kiihtyvyyden määrittäminen

Mittalaite NOR140 on suunniteltu desibeli-mittaukseen. Sen laitevalmistaja on standardeja huomioon ottaen muuttamaan saadut värinämittauksen tulokset paremmin tulkittavaan muotoon. Tämän takia on kaava, jolla mittaustuloksista saadaan kiihtyvyys määritettyä.

$$20\mu ms^{-2} * 10^{\frac{L}{20}}$$

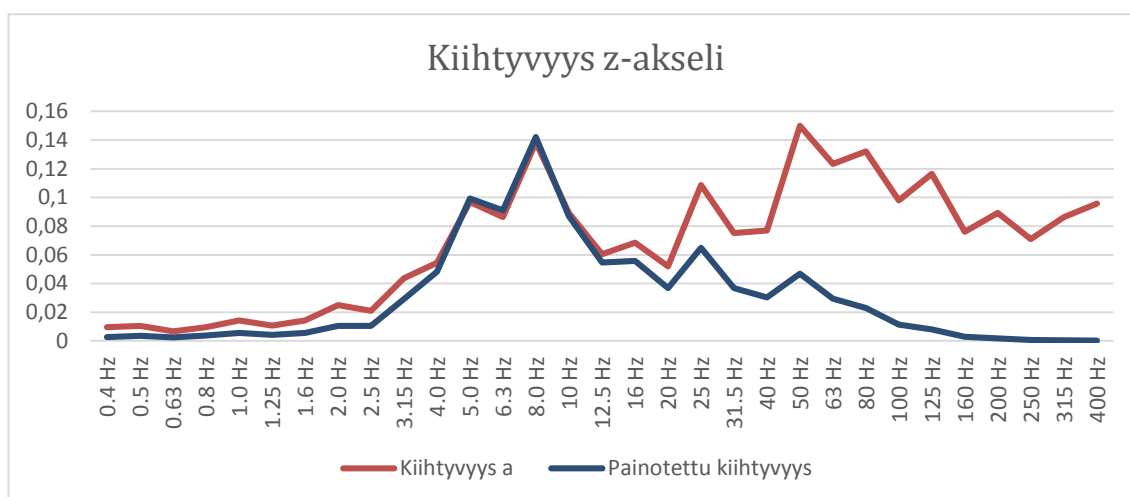
Kaavassa L on mittauksista saadun raakadatan L_{feq}-arvo, josta saadaan arvot 0,4Hz – 400Hz jokaiselle mittaustulokselle kehontärinälle (liite 1). Käsitärinälle kaavalla lasketaan isompi joukko tuloksia 0,8 HZ - 4000 Hz. (Nor140 Sound analyser 2007.)

4.2. Painotetun kiihtyvyyden määrittäminen

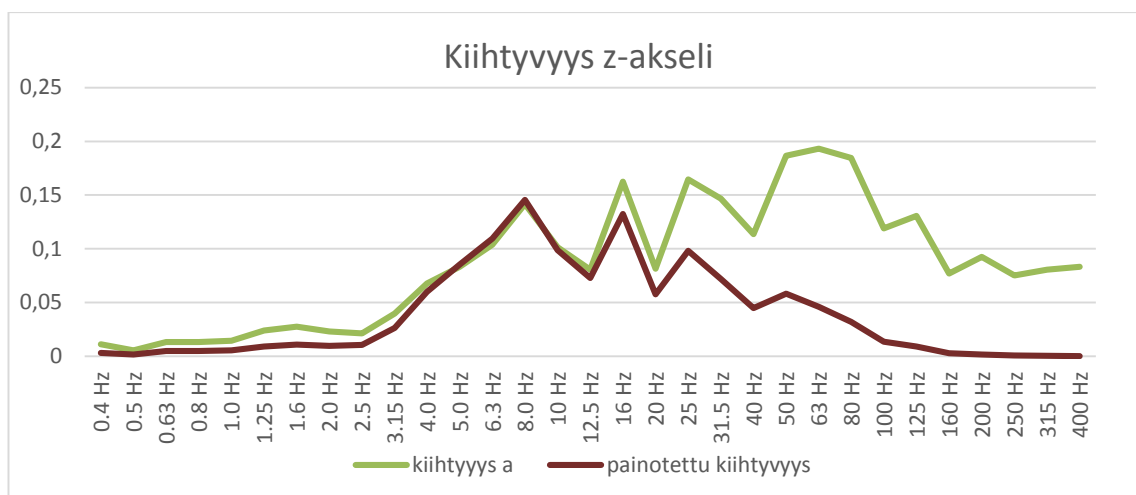
Luvussa 4.1 käytetty kaava on sama, myös painotetun kiihtyvyyden laskemisessa, mutta arvo L joudutaan muuttamaan arvoon L_{feq} + painotusarvo W_b , W_c , W_d , W_e , W_j , W_k , W_m tai W_h . Painotusarvot W_b , W_c , W_d , W_e , W_j , W_k ja W_m ovat kokokehon tärinään liittyviä ja W_h on käteen kohdistuvan tärinän painoarvo. Tällä tavoin saamme määriteltyä painotetun kiihtyvyyden joka arvolle 0,4 Hz – 400 kehon tärinälle ja 0,8 HZ - 4000 Hz jokaiselle saadulle mittaustulokselle käsitärinälle (liite 2). Painotusarvot löytyvät standartista ISO 8041:2005 Liitteestä B. (ISO 8041 2005, 49 – 67.)

4.2.1 Kiihtyvyyden ja painotetun kiihtyvyyden kuvaajat

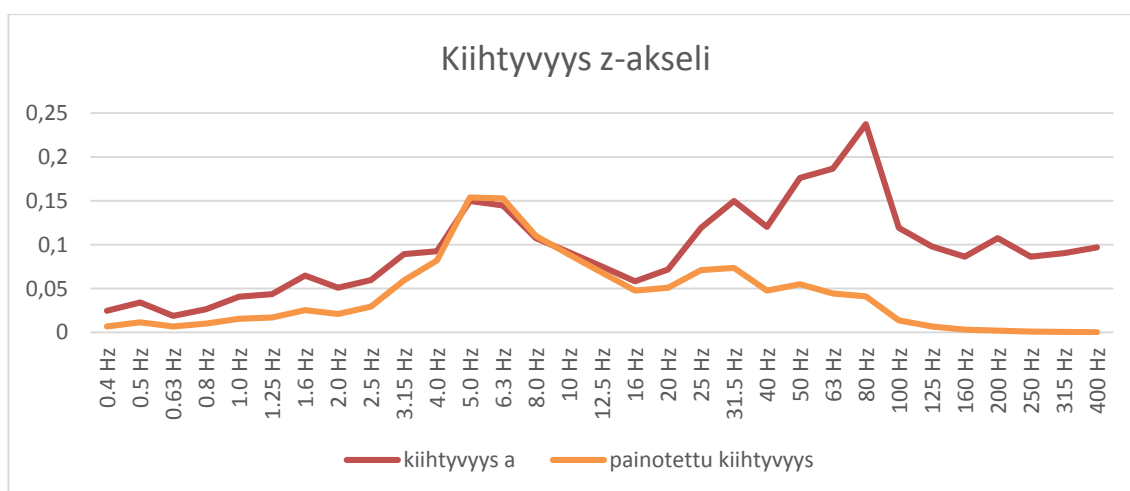
On hyvä verrata keskenään saadusta mittauksesta, että millä taajuudella kiihtyvyydet ovat suurimpia ja täten havainnoida mahdollisia korjauksia laitteisiin ja rakenteisiin autohakkurissa. Kiihtyvyys on anturilla saatu kiihtyvyyden arvo kuvaajassa ja painotettu kiihtyvyys on kiihdytysarvo, johon on lisätty painotus. Kuvaajat ovat kehontärinälle.



Kuvio 4. Ensimmäisen Z-akselin mittauksen kiihtyvyyssarvot.

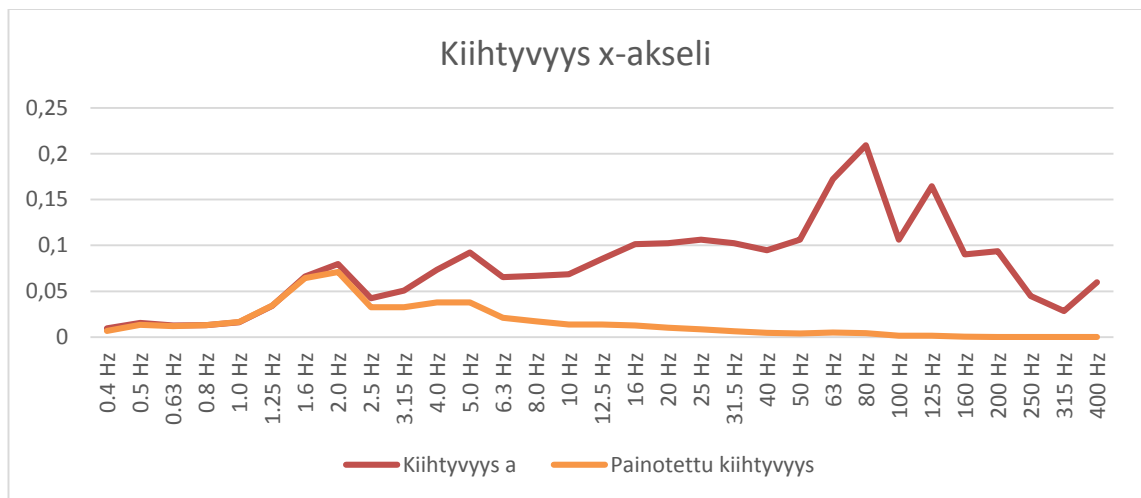


Kuvio 5. Toisen Z-akselin mittauksen kiihtyvyyssarvot.

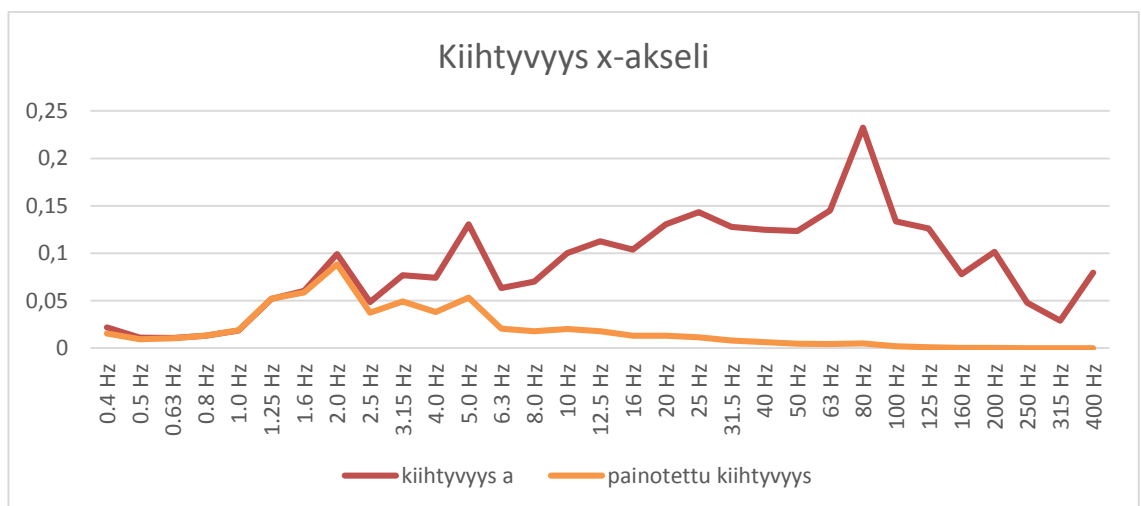


Kuvio 6. Kolmannen Z-akselin mittauksen kiihtyvyyssarvot.

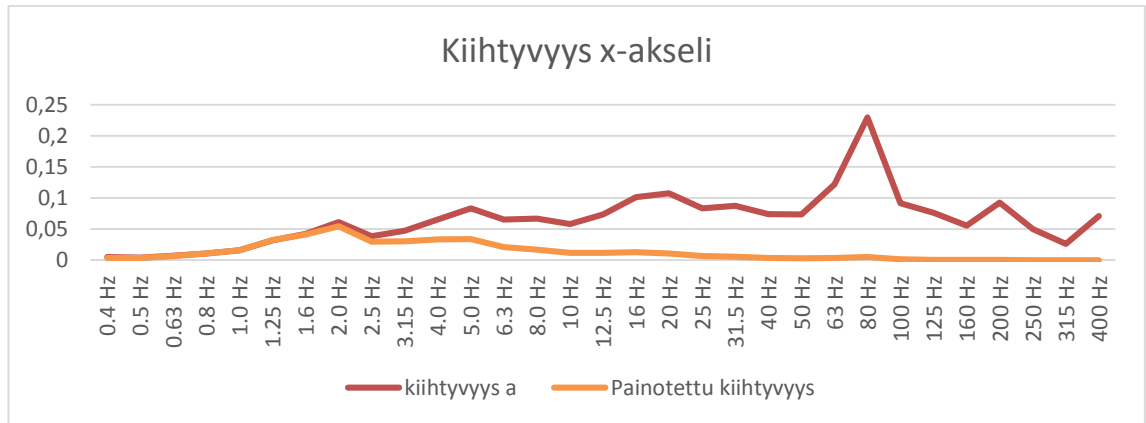
Kuten z-akselin kuvaajista näemme, että painotus ei vielä vaikuta kiihtyvyyden arvoon pienillä taajuuksilla. Kiihtyvyys kuitenkin kasvaa, kun taajuus muuttuu suuremmaksi. Samalla suurenee standardissa painotus, joten keholle vahingollinen värinä tapahtuu matalilla taajuuksilla (ks. kuviot 4 – 6). Joten rakenteellisia muutoksia suunniteltaessa ja tehtäessä on otettava huomioon matalan taajuuden kiihtyvyydet. Matalan taajuuden kiihtyvyydet ovat haitallisimpia koneenkäyttäjän kannalta. Tätä on hyvä miettiä, kun suunnitellaan koneelle päivityksiä.



Kuvio 7. Ensimmäisen X-akselin mittauksen kiihtyvyydet.

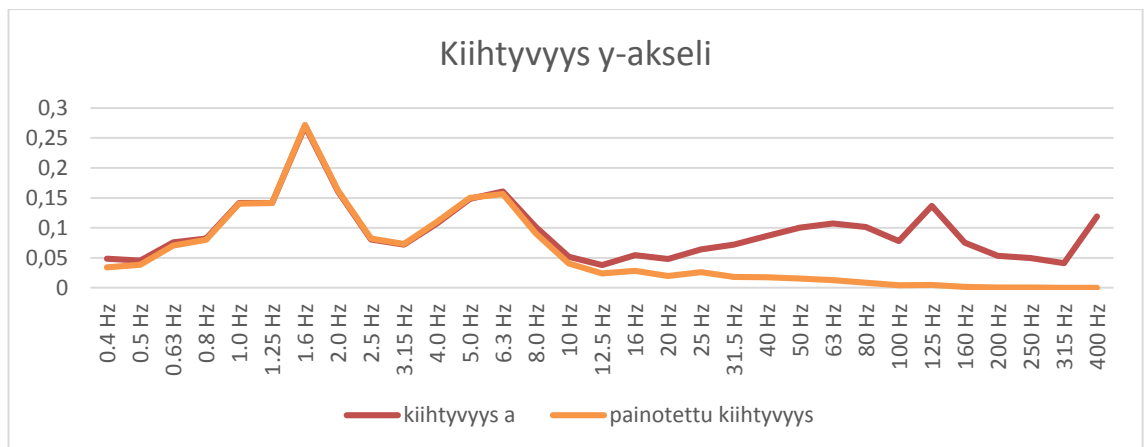


Kuvio 8. Toisen X-akselin mittauksen kiihtyvyydet.

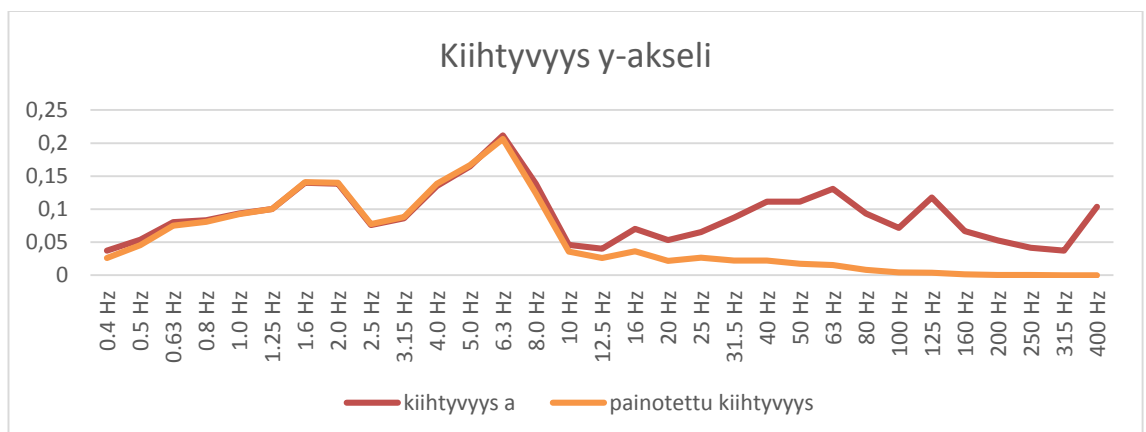


Kuvio 9. Kolmannen X-akselin mittauksen kiihtyvyyssarvot.

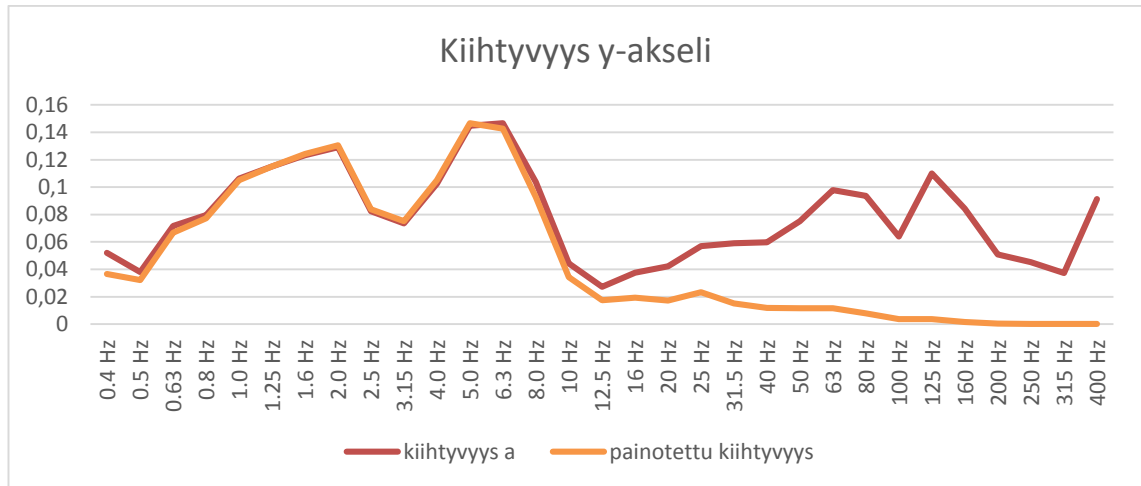
X-akselin kuvaajista huomataan painotuksen olevan matalampi kuin z-akselin painotuksen. Suurimmat kiihtyvyyssarvot ovat, kun taajuus nousee yli 50 Hz, jotka todennäköisesti johtuvat laitteen käymisestä (ks. kuvat 7 – 9).



Kuvio 10. Ensimmäisen Y-akselin mittauksen kiihtyvyyssarvot.



Kuvio 11. Toisen Y-akselin mittauksen kiihtyvyyssarvot.



Kuvio 12. Kolmannen Y-akselin mittauksen kiihtyvyyssarvot.

Y-akselin kuvaajista huomaa, että kun painotus on pieni ja taajuuden ollessa pieni niin kiihtyvyydet ovat suuria. Painotuksen ja taajuuden kasvaessa painotettu kiihtyvyyys laskee voimakkaasti. Huomataan hyvin kuinka ensimmäisessä mittauksessa Y-akselille kiihtyvyyden arvo on suuri 1,6 Hz kohdalla (ks. kuvio 10). Tämä kiihtyvyyden arvo johtunee selvästi työskentelytavasta, koska tämä ei toistu muissa mittauksissa Y-akselilla. Eikä Z- ja X-akselien mittauksissa huomata matalilla taajuuksilla (Hz) vastaavanlaista kiihtyvyyden arvoa.

4.3. Taajuuspainotteisen kiihtyvyyden määrittäminen

Saadaan suoraan standardista kaavalla. Tämä kaava löytyy standartista ISO 8041. Näin voidaan määrittää taajuuspainotteinen kiihtyvyyys. Tätä tarvitaan, kun määritellään tuloksia ja halutaan verrata tuloksia keskenään.

$$a_w = \sqrt{\sum_i (w_i a_i)^2}$$

Kaavassa w_i on painotuskerroin, joka saadaan standartista ISO 8041. Tämä a_i on painotettu kiihtyvyyys, joka saadaan laskemalla. Kaavalla tarkoitetaan yksinkertaisesti, että kun laskemme saaduistamme arvosta painotetun kiihtyvyyden ja

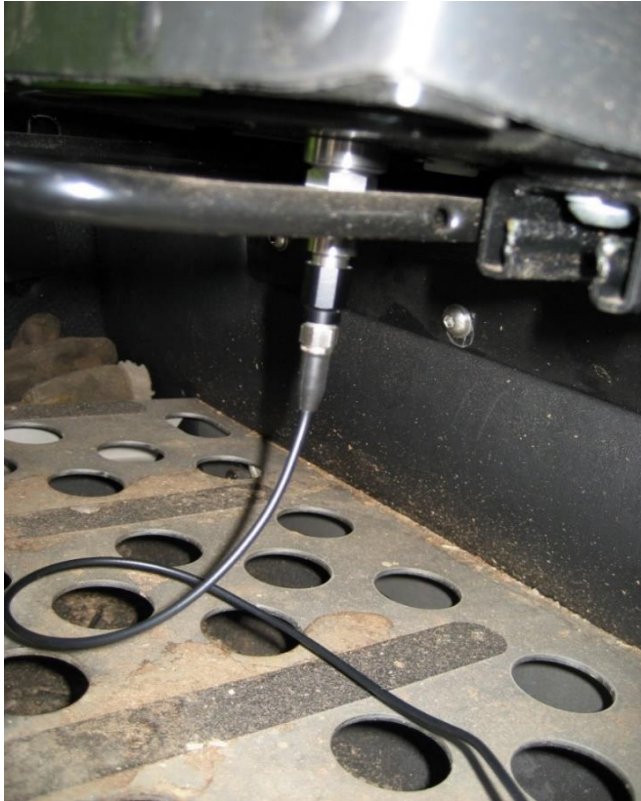
korotamme sen toiseen. Tämän jälkeen lasketaan 0,4 Hz – 400 Hz välisien arvojen tulokset yhteen kehontärinää määrittäessä. 0,8 Hz – 4000 Hz käsitärinää määrittäessä. Jonka jälkeen otetaan summasta neliöjuuren (liite 3). Näin saadaan taajuus painotteisen kiihtyvyyden suuruus a_w kehon tärinälle ja a_{hw} käsitärinälle määräytyy kaavasta $a_{hw} = \sqrt{a_{whx}^2 + a_{why}^2 + a_{whz}^2}$. (ISO 8041), (Euroopan yhteisöt 2008, 68.)

4.4 Tulokset

Tulokset lasketaan Microsoft Excelillä. Koska tällä tavoin on helpoin ja nopein tapa hallita suurta joukkoa mittaustuloksia ja laskenta on myös yksinkertainen. Mittaustulosten iso määrä vaikutti suuresti Excelin valintaan. Saatujen laskujen tulokset olivat seuraavat.

4.4.1 Z-suuntaisen kehontärinän arvot

Z-suuntainen koko kehontärinän mittaaminen suoritettiin penkin rungosta (pohjasta), johon magneettinen kiihtyvyyssanturi saatiin kiinni helpoiten. Z-suuntainen mittaaminen on samansuuntainen kun ihmisen selkäranka on istuma-asennossa. Mittaaminen ei ota huomioon tässä tapauksessa, kuinka paljon pehmusteet vaimentavat koneesta johtuvaa tärinäpäästöä. Mittaaminen tästä kohtaa suoritettiin kolme kertaa, jotta mittaustuloksia on helppo verrata.



Kuva 5. Z-suuntainen mittaus (kehontärinä) (Kuva Niko Nyman.)

Taulukko 2. Z-suuntaisen kehontärinän tulokset

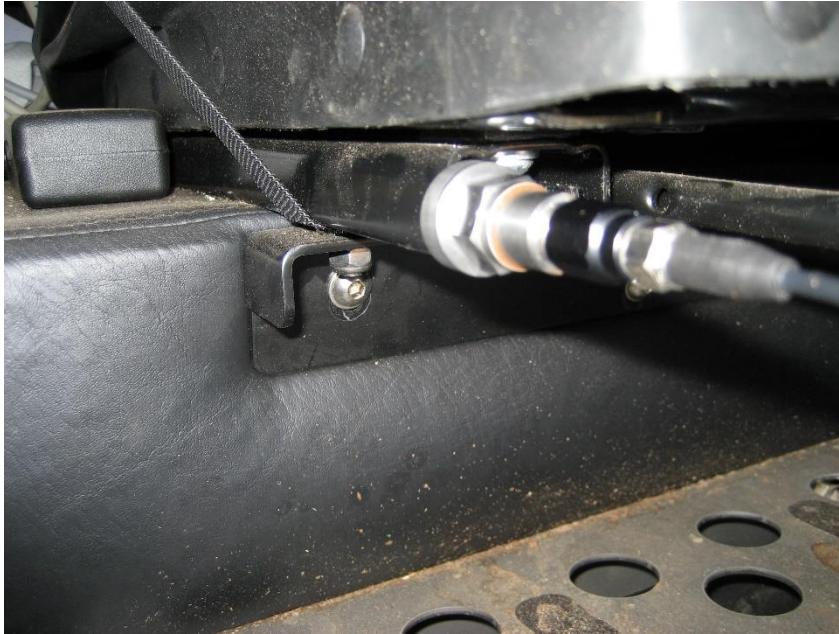
Mittaustulos 1.	0,2591 m/s^2
Mittaustulos 2.	0,3237 m/s^2
Mittaustulos 3.	0,3310 m/s^2
Suurin tulos:	Mittaustulos 3.
Toiminta-arvo (8 tuntia):	0,5 m/s^2

Z-akselin taajuuspainotteisen kiihtyvyyden kerroin on 1,0wz (Euroopan yhteisöt 2008, 68)

4.4.2 X-suuntaisen kehontärinän arvot

X-suuntainen kehontärinän mittaaminen suoritettiin samalla tavalla, kuin Z-suuntainen. Anturin kiinnityskohta muutettiin vain hieman. Tämäkin mittaus suoritettiin.

tiin penkin rungosta, joten pehmusteiden vaikutusta ei voitu ottaa huomioon. Mittaaminen tästä kohtaa suoritettiin kolme kertaa, jotta mittaustuloksia on helppo verrata.



Kuva 6. X-suuntainen mittaus (kehontärinä) (Kuva Niko Nyman.)

Taulukko 3. X-suuntaisen kehontärinän tulokset

Mittaustulos 1.	0,1330 m/s^2
Mittaustulos 2.	0,1590 m/s^2
Mittaustulos 3.	0,1079 m/s^2
Suurin tulos:	Mittaustulos 2. 0,159 m/s^2 x 1,4 = 0,2226 m/s^2
Toiminta-arvo (8 tuntia):	0,5 m/s^2

X-akselin taajuuspainotteisen kiihtyvyyssarvon kerroin on 1,4wx (Euroopan yhteisöt 2008, 68)

4.4.3 Y-suuntaisen kehontärinän arvot

Y-suuntaisen kehontärinän mittaaminen oli samanlainen kuin aikaisemmat mitaukset. Kiihtyvyyssanturi kiinnitettiin penkin runkoon, johon magneettinen anturi kiinnittyi parhaiten. Mittaaminen tästä kohtaa suoritettiin kolme kertaa, jotta mitaustuloksia on helppo verrata. Tässäkin kohtaa mitattuna penkin pehmusteita ei voida ottaa huomioon mitaustuloksissa.



Kuva 7. Y-suuntainen mittaus (kehontärinä) (Kuva Niko Nyman.)

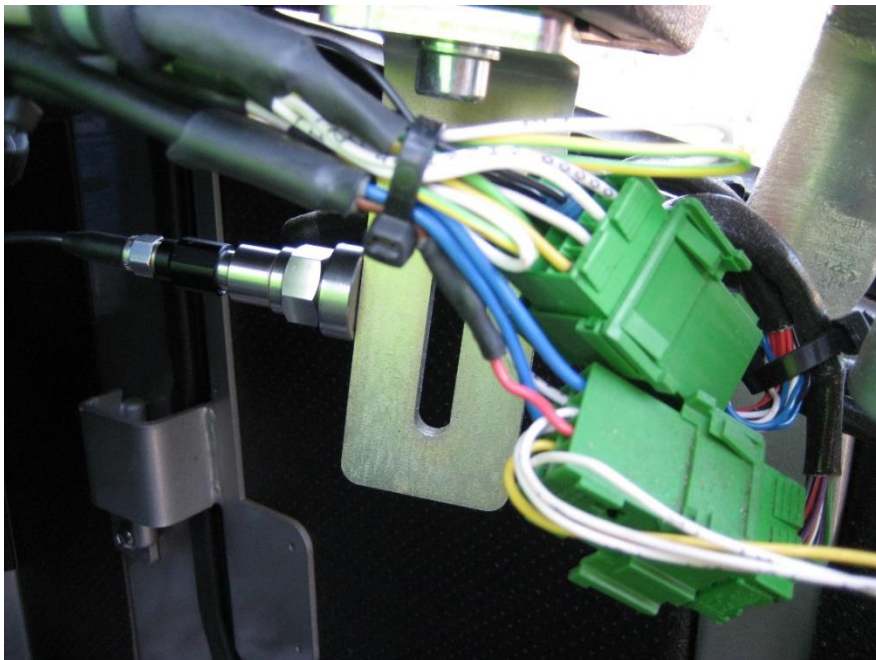
Taulukko 4. Y-suuntaisen kehontärinän tulokset

Mittaustulos 1.	0,4890 m/s^2
Mittaustulos 2.	0,4450 m/s^2
Mittaustulos 3.	0,3840 m/s^2
Suurin tulos:	Mittaustulos 1. $0,489 m/s^2 \times 1,4 = 0,6846 m/s^2$
Toiminta-arvo (8 tuntia):	0,5 m/s^2

Y-akselin taajuuspainotteisen kiihtyvyyssarvon kerroin on 1,4wy (Euroopan yhteisöt 2008, 68)

4.4.4 Z-suuntaisen käsitärinän arvot

Z-suuntainen käsitärinän mittaaminen on mielenkiintoinen, koska mittaamisen koordinaatisto on erilainen kuin kehontärinän mittauksissa (ks. kuvio 3). Mittaaminen täytyy suorittaa kohdasta, johon magneettinen kiihtyvyyssanturi kiinnittyy parhaiten. Tässä tapauksessa käsinojan runkoon, johon tärinäpäästö mahdollisesti vaikuttaa. Pehmusteita ei voitu ottaa huomioon tässä mittauksessa ja mittaaminen suoritettiin kolme kertaa.



Kuva 8. Z-suuntaisen käsitärinän mittaaminen (Kuva Niko Nyman.)

Taulukko 5. Z-suuntaisen käsitärinän tulokset

Mittaustulos 1.	0,7610 m/s^2
Mittaustulos 2.	0,8912 m/s^2
Mittaustulos 3.	0,9195 m/s^2
Suurin tulos:	Mittaustulos 3.
Toiminta-arvo (8 tuntia):	2,5 m/s^2
Raja-arvo (8 tuntia):	5,0 m/s^2

4.4.5 X-suuntaisen käsitärinän arvot

X-suuntainen käsitärinä mitattiin kohdasta, joka tuotti koneen käyttäjälle melkein hankaluuksia ohjata konetta normaalisti. Ongelma ratkaistiin siirtämällä hieman käsinojaa sivummalle mittauksien ajaksi. Mittauksia suoritettiin tästäkin kohtaa kolmesti ja pehmusteita ei voida ottaa huomioon tuloksiin.



Kuva 9. X-suuntaisen käsitärinän mittaus (Kuva Niko Nyman.)

Taulukko 6. X-suuntaisen käsitärinän tulokset

Mittaustulos 1.	0,9260 m/s^2
Mittaustulos 2.	0,9297 m/s^2
Mittaustulos 3.	0,9222 m/s^2
Suurin tulos:	Mittaustulos 2.
Toiminta-arvo (8 tuntia):	2,5 m/s^2
Raja-arvo (8 tuntia):	5,0 m/s^2

4.4.6 Y-suuntaisen käsitärinän arvot

Y-suuntainen käsitärinän mittaaminen suoritettiin penkin käsinojan rungosta. Tässä mittauspisteessä on suurin mahdollisuus, että koneen käyttäjä koskettaa

kädellä käsinojan runkoa. Mittaaminen suoritettiin kolme kertaa tästä kohtaa ja pehmusteita ei saada otettua huomioon tästä kohtaa mitattuna.



Kuva 10. Y-suuntaisen käsitärinän mittaus (Kuva Niko Nyman.)

Taulukko 7. Y-suuntaisen käsitärinän tulokset

Mittaustulos 1.	0,9515 m/s^2
Mittaustulos 2.	0,9731 m/s^2
Mittaustulos 3.	1,1464 m/s^2
Suurin tulos:	Mittaustulos 3.
Toiminta-arvo (8 tuntia):	2,5 m/s^2
Raja-arvo (8 tuntia):	5,0 m/s^2

4.5 Tulosten tarkastelu kehontärinä

Kehon tärinässä saadut tulokset paljastavat, että hakettimen kuljettajaan kohdistuva kokokehon tärinä X-, Y- ja Z-akselinsuunnassa eivät ole hyvin suuria. Ainoa poikkeus on Y-akselinsuuntainen koko kehontärinän tulos. Joka ylittää kahdeksan tunnin toiminta-arvon. Saatu tulos on 0,685 m/s^2 (4,5 tunnin toiminta-arvo raja). Kehontärinää tarkastellessa on otettava huomioon kiihtyvyyssarvo suurimmasta kolmesta ortogonaalisesta akselistä. Eli tässä tapauksessa Y-akselin arvo. Kun ylitetään toiminta-arvo, kuten tässä tapauksessa on kuitenkin syytä muistaa,

kuinka tätä arvo voidaan pienentää ja ymmärrettävä, että koneen käyttäjä harvoin toimii yhtäjaksoisesti hakettimella kahdeksaa tuntia putkeen.

Keslan autohakkuri C1060 Y-akselin suurempi arvo kuitenkin selittyy selvästi sillä, että ohjausyksikkö, josta koneen käyttäjä ohjaa konetta (ohjaamo). Pyörii sivuttaissuunnassa akselinsa ympäri (ei kuitenkaan 360°). Liike mittauksen aikana visuaaliseen havaintoon perustuen oli aggressiivista ja rotaatioliike vaihtui nopeasti puolelta toiselle. Ohjaamo josta kuljettaja ohjasi konetta näytti todella stabiililta, mutta mittarin antama tulos paljastaa, että toiminta-arvo ylitetään. Eli tässä tapauksessa voisin ehdottaa kuljettajaa ohjaamaan konetta rauhallisemmin, koska tällä tavoin parhaiten voisimme alittaa 8 tunnin toiminta-arvon. (Euroopan yhteisöt 2008, 83 – 87.)

Tässä kohti tulee mittauksen eräs ongelma vastaan, kun nosturi ja ohjaamo liikkuvat lähes akselinsa ympäri noukkiessa hakkuujätettä tai puuainesta niin mittari ottaa ylös liikettä jota ohjaamo ja nosturi tekevät, eikä niinkään mittaa pelkästään tärinää.

4.6 Käsitärinän tulokset

Mittaamalla saadut tulokset käsitärinälle X-, Y- ja Z-akselin suhteen tarkastellaan vain suurimpia arvoja ja sijoitetaan nämä kaavaan, joka on vilahtanut tässä työssä muutaman kerran. Kaava on seuraava $a_{hw} = \sqrt{a_{whx}^2 + a_{why}^2 + a_{whz}^2}$. Sijoittamalla kaavaan saadut mittaustulokset saadaan a_{hw} arvoksi 1,738 m/s². Tämä ei ylittää kahdeksan tunnin raja-arvoa, eikä toiminta-arvoa. Mutta tässä kohti on nyt tarkasteltava kohtaa josta mittaus on suoritettu. Käytössä oli anturi, joka tarttuu vain metalliselle pinnalle. Joten jouduimme mittaamaan mittaukset käsinojen rakenteesta (ks. käsitärinän mittauksen kuvat). Eli mittaus on suoritettu kohdasta, josta ei suoranaista kontaktia synny koneenkäyttäjään. Vaan pehmusteet vaimentavat käsinojissa tärinää ja ohjaussauvakin on pehmustettu. Mahdotonta on väittää, kuinka paljon pehmusteen oikeasti tärinäpäästöjä vähentää. (Euroopan yhteisöt 2008, 39.)

5 Analysointi

Mittaaminen on kehon- sekä käsitärinän kohdalla ollut haastavaa, koska tarkkoja paikkoja mitattaville kohteille ei ollut alustavasti tiedossa, joten mittaukset täytyi suorittaa pikaisten kokeiden jälkeen paikan päällä. Mittalaitetta oli käytetty tärinän mittaamisen ja sen perehdyttäminen tapahtui Karelia AMK:n toimesta kesällä 2013. Lisäksi koemittaaminen suoritettiin traktorille ennen kuin mittaaminen suoritettiin autohakkurille C1060.

Mittaamisen opetteluun jälkeen suoritettavat mittaukset ovat havainnointu tähän opinnäytetyöhön ja tulokset löytyvät tästä opinnäytetyöstä. Mittaukset osoittavat, että tulokset kehontärinälle sekä käsitärinälle pyrkivät noudattamaan annettuja standardeja ja voimassa olevia ohjeita. Kehontärinän mittaaminen on suoritettu penkin rungosta, johon magneettinen anturi on tarttunut parhaiten. Tämä ei anna tarkkaa tulosta, kuinka paljon penkin pehmusteet pehmentävät tärinää ja näin ollen estävät sen kulkua ihmiskehoon. Sama päätelmä voidaan tuoda käsitärinään liittyen. Tärinäpäästön mittaaminen on suoritettu käsinojan rungosta, johon kiihtyvyyssanturi on kiinnitetty magneetin avulla. Näin ollen saadut käsitärinän tulokset kertovat ilman pehmusteita ihmisen käsiin vältyvän tärinän. Lisäksi laitetta ohjataan kahdella ohjaimella. Olisi tarkennettava mittausta siten, että kumpainkin käsi tulisi mitattua.

Koska tähän työhön saadut mittaustulokset ovat yleisesti koneen käytöstä. Emme tiedä millaisia tuloksia olisimme saaneet, jos olisimme voineet mitata hakkuria käyttöasteittain eri olosuhteissa ja vaihdelle materiaalia, jota hakkuri silppu-aisi. Nämä tiedot palvelisivat todella hyvin laitteen suunnittelijoita ja rakentajia. Huomaamme kuitenkin saaduista tuloksista muutamia muutettavia kohteita, jotka voisivat parantua.

Hyvää vertailua saamme, kun katsomme Hyvät toimintatavat direktiivin 2002/44/EY sivua 83. Jossa liitteessä B osoitetaan tärinäpäästöjä muille laitteille

(liite 4). Liitteestä huomaamme hyvin, kuinka hakettimen tulokset ovat verrannollisia muuhun konekantaan Euroopassa tärinän osalta. Mielenkiintoiseksi tekee, kun katsomme kohtaa kaivurit pyörillä ja maataloustraktorit (liite 4). Näiden koneiden tärinäpäästöt kuvaisivat todennäköisemmin myös autohakkuria, jota tähän opinnäytetyöhön on mitattu.

6 Tärinän estäminen tai vähentäminen

Euroopan unioni on asettanut tärinälle altistumisesta aiheutuvien riskien poistamisen jo syntyvaiheessa tai niitä on mahdollisuuksien mukaisesti vähennettävä pienelle tasolle. Altistuksen estämisessä tai vähentämisessä tulee ottaa huomioon tekniikan kehittyminen ja toimenpiteet, jotka ovat käytössä riskien hallintaan jo sen syntyvaiheessa.

Ohjeistuksen mukaan, kun toiminta-arvot ylittyvät on laadittava tarkat toimenpiteet. Toimenpiteissä on tarkoitus vähentää mahdollisimman pieniksi, jossa kiinnitetään huomiota erityisesti seuraaviin seikkoihin. On mietittävä vaihtoehtoisia työmenetelmiä, jossa tärinälle altistuminen alittaa annetut toiminta-arvot (ks. 2.1 Tärinän mittaaminen). Työskentely ympäristön ja työvälineiden työergonomian parantaminen, jossa tärinälle altistuminen vähenee ja työtilanne otetaan huomioon. Tärinästä aiheutuvien vaurioiden vähentämistä mahdollisilla lisälaitteilla mm. kokokehontärinää heikentävät työistuimet ja käsinojat, jotka vähentävät käsitärinälle altistumista.

Työpisteiden suunnittelu ja huoltosuunnitelmat ovat tärkeitä. Mielestäni erittäin hyödyllinen ohjeistus on, että työntekijä on saanut koulutuksen ja asianmukaisen tiedon laitteesta ja sen toiminnasta. Tämä edellyttää myös, että työntekijää on opastettu käyttämään toimilaitetta/työvälinettä oikein sekä turvallisesti, jotta tärinälle altistuminen pysyisi mahdollisimman alhaisella tasolla. Ohjeistuksessa lisäksi mainitaan, jotta tärinälle altistuminen ja määrää on rajoitettava annettujen arvojen ehdolla. Lisäksi on löydettävä työaikajärjestely, johon sisältyy riittävästi

lepotaukoja. Henkilönsuojaimet ja vaatesuojaimet ovat viimeinen keino, jolla pyritään estämään tärinäpäästöjä. (Neuvoston direktiivi 2002/44/EY 2007, 73.)

6.1 Työn aikatauluttaminen

Tärinän riskin vähentämiseksi voi olla tarpeen muuttaa aikaa, jonka työntekijät viettävät työkalun parissa tai prosessissa tärinälle altistuneena. On suotavaa suunnitella työnteko siten, että työntekijä ei altistu tärinälle pitkään ja yhtäjaksoisesti. Kannattaa varmistaa, että uusien työtapojen käyttöönottoa seurataan, jottei työntekijä palaakaan takaisin käyttämään vanhoja työtapoja. Jos työntekijä saa tulospalkkaa, järjestelyjen pitäisi olla sellaiset, että yksittäinen työntekijä ei joudu tekemään jatkuvaa työtä pitämättä taukoja altistuksesta. (Euroopan yhteisöt 2008, 27.)

6.2 Tärinäpäästön realisointi ja mittauksen parantaminen

Jos jatkossa halutaan tutkia ja toteuttaa kattava tärinäpäästön mittaaminen tulisi se toteuttaa laajemmin. Tärinäpäästöön vaikuttaa kuitenkin iso joukko asioita, kuten esimerkiksi lämpötila, haketettava materiaali ja laitteen voimanlähde. Hakkuuria kuitenkin käytetään ympärivuoden ja haketettava materiaali vaihtelee urakan mukaisesti. Lämpötilan vaikutusta tärinään voitaisiin tutkia suorittamalla mittauksia eri lämpötiloissa eri vuoden aikoina. Lisäksi suurin tärinään vaikuttava tekijä on materiaali, jota haketetaan. Mittauksia olisi hyvä toteuttaa mahdollisimman vaihtelevalla materiaalilla ja vaihtelevissa olosuhteissa, jotta voidaan tarkasti tarkastella tuloksia ja verrata niitä keskenään. Tällöin saatavat tulokset kuvaisivat parhaiten normaalia tilannetta, jossa tärinäpäästöä syntyy koneen käyttäjään.

Voimanlähteenä kuitenkin toimii erillinen moottori tai kuorma-auto. Tämä vaikuttaa suuresti, kuinka tärinä välittyy koneenkäyttäjään. Esimerkkinä voimanlähteenä ollessa traktori (erillinen moottori) ja tähän liitetään vaunumallinen hakkuri niin tärinä välityserilaisilla, kuin autohakkurissa (kuorma-auto). Puhuttaessa moottoreista voimanlähteenä on otettava huomioon moottorien voimantuotto. Kuten

mittauskohteen hakettimessa voimantuotto tapahtuu kuorma-auton moottorista. Emme paneudu syvemmin moottorin voimantuottoon tässä työssä, mutta tähän työhön liittyen kiinnostavaa olisi tutkia moottorin kierrosluvun vaikutus tärinään. Kuinka paljon kierroksia moottorin tulisi tuottaa, jotta se olisi optimaalinen kehon- ja käsitärinän kannalta? Mittauksissa kuitenkin moottorin kierrosluvut vaihtelivat, kun konetta ajettiin hetki ennen kuin hakettimeen työnnettiin haketettavaa puuainesta. Eli kone oli niin sanotussa normaalissa käytössä ja tätä haluttiinkin tutkia tässä työssä.

6.3 Tärinäpäästön vähentäminen

Tärinäpäästön vähentämisessä olisi syytä tarkastella konetta ja sen rakennetta. Mihin kohtaa koneen painopiste sijoittuu ja mitkä rakenteelliset osat tuottavat tärinää. Tutkittavana kohteena autohakkuri on monimutkainen ja tärinää aiheuttavia tekijöitä on enemmän kuin yksi. Tutkitussa hakkurissa oli voimanlähteenä kuorma-auton oma moottori, jonka tärinä välittyminen on kuorma-auton valmistajan Volvon omaa salaista tietoa, mutta oletamus on, että moottori on tärinäeristetty voimakkaasti. Kuten autojen moottorit ovat nykyaikana.

Hakettimen kiinnitys kuorma-auton runkoon on kuitenkin tärinän välittymisessä ratkaisevassa asemassa, koska kyseiseen runkoon kiinnitetään myös nosturi, josta koneen käyttäjä ohjaa nosturia. Koneen rakenteellisesti siis meille jää hyvin yksinkertainen luonnos siitä, kuinka tärinä voi välittyä koneen käyttäjään nosturin ohjaamossa. Runkorakenteeseen kiinnitetty hakkuri, nosturi ja kuorma-auton moottori on tärinän lähteenä ja kulkemisen kannalta tärkeitä huomioida, kun pyritään estämään tärinän kulkua koneen käyttäjään.

Tärinää eristäviä rakenneosia ovat normaalisi:

- Jouset
 - ❖ Elastomeeriset jouset
 - ❖ Metallijouset
 - ❖ Ilmajouset

- Vaimentimet
- Jousi-vaimenninyhdistelmät
- Aktiiviset tärinävaimentimet

Joista jokainen tukee rakennetta ja vähentää tärinää rakenteissa. Kaikkien ominaisuudet tärinän vähentämiseen perustuu niiden elastisuuteen ja pyrkimys muokkautumaan takaisin omaan muotoonsa. Tämä ominaisuus on tärkeä, kun halutaan eristää, estää tai vähentää tärinää. (SFS-EN 1299 + A1 2009.)

Tähän opinnäytetyöhön liittyen koneesta johtuva tärinä ei ollut haitallista Z-akselin suunnassa, joka on todella hyvä asia, koska tämä pois sulkee runkoa pitkin tulevan haitallisen tärinän. Koska toiminta-arvo ei ylity Z-akselilla niin hakettimesta syntyvä tärinä ei ole vaimennuksen tarpeessa. Sama huomio voidaan todeta X-akselin suuntaisesta tärinästä.

Y-akselin suuntainen tärinä ylittää 8 tunnin toiminta-arvon, joten tämän tärinän vaimentaminen on hyvä huomioida. Tässä kappaleessa on jo käyty läpi tärinää eristäviä rakenne osia. Y-akseli on akseli jossa tapahtuu rotaatioliikettä oikealta vasemmalle toistuvasti, kun nosturilla noukitaan hakkuujätettä hakkurin kitaan. Tämä tuo haasteen, kun mietimme mahdollisia mekaanisia ratkaisuja tärinän vähentämiseen. Koska liike on toistuva ja rotaatioliikkeen suuruus vaihtelee joka kerta, kun nosturi liikkuu rotaatiosuunnassa.

Y-akselin tärinäpäästö (kiihtyvyyсарvo) tuottaa koneen tärinäpäästö ongelman, koska tärinää on helppo eristää suoraviivaisessa liikkeessä. Rotaatioliike nosturissa toimii hydraulisesti. Tähän liikkeeseen voidaan vaikuttaa säätämällä hydraulimoottoria, jotta rotaatioliike tapahtuisi hitaammin. Tällöin kiihtyvyyсарvo Y-akselille pienentyisi ja kehontärinä arvo laskisi, joka olisi suotava.

7 Parannusehdotus

Hakettimen nosturi, jossa koneenkäyttäjää ohjaa ohjaamosta työtään hakettimella on kiinteästi kiinni nosturissa (ks. Kuva 11.). Ohjaamo liikkuu nosturin mukaisesti ja tämä todennäköisesti helpottaa laitteen ohjattavuutta ja tarkkuutta. Liike kuitenkin on sivuttaissuunnassa liian voimakasta, koska värinämittauksissa havaitut värinäpäästöt ovat 8 tunnin toiminta-arvojen ylittäviä. Tämä ei tarkoita, jotta laitetta ei saisi käyttää, koska kun vertaamme kyseistä laitetta muihin koneisiin (liite 4.). Huomaamme, että kyseinen toiminta-arvo ylittyy monessa työhön käytettävissä koneessa.



Kuva 11. Keslan haketin C1060 ja Nosturi 1200T toimintoasennossa Polvijärveltä (Kuva Niko Nyman.)

Parannusehdotus koskisi juuri tämän ohjaamon sivuttaisliikkeen poistamista tai vähentämistä. Nosturi ja nosturin ohjaamon hytti ei tarvitsisi olla kiinteästi yhteydessä toisiinsa vaan nämä voisivat olla omalla ohjausyksiköllä erillään. Nosturin puomi voisi toimia omalla voimakkaalla hydraulimoottorillaan ja nosturin hytti olisi kiinni nosturin rungossa mutta toimisi kiertoliikkeissä omalla moottorilla.

Toinen ehdotus voisi olla, että ohjaamon hytti ei liikkuisi, kun omasta ohjauksesta vain jonkin verran, kun taas nosturin puomi toimisi omalla ohjauksella. Tässä esimerkissä hytti ohjattaisiin normaalisti ylös ja sitä voitaisiin hydraulisynterinin ohjauksella liikuttaa hytin etuosaa sivulle, josta nosturi poimii mahdollista puuainesta. Nosturin puomi toimisi omalla hydraulimoottorilla normaalisesti, mutta hytti olisi omassa tukipilarissa rungossa kiinni.

Kolmas ehdotus olisi samankaltainen kun ensimmäinen. Siinä olisi erona, että nosturi ja hytti ovat samassa rungossa kiinni, mutta hytin alle rakennettaisiin alusta, jossa sijaitseisi hytin oma ohjausmoottori. Hytin keula ohjattaisiin sivuasentoon, jotta nosturi mahtuisi nostamaan puuainesta hakettimen sivulta. Ohjaamo ei seuraisi nosturia nykyisellä tavalla, vaan pysyisi halutessaan paikoillaan. Tai seuraisi hieman nosturia, jotta näköyhteys hakettimeen pysyisi hyvänä.

Neljäs ehdotus olisi, että Nosturin puomi olisi alempana, kuin hytti. Tällöin nosturi tulisi käytännössä ohjaavan hytin alta, mutta olisi hytin etupuolella selvästi. Ohjaamon hytti toimisi omalla ohjauksella ylös ja rotaatioliike tapahtuisi omalla ohjausyksiköllä. Nosturin toimisi omalla ohjausyksiköllä ja nosturin puomeja joudutaisiin pidentämään, jotta kantoalue pysyisi riittävänä.

8 Pohdinta

Työn tavoitteena oli saada mitattua Keslan autohakkurista koko kehontärinä ja käsitärinä, kun laite oli normaalissa käytössä eli haketti puuainesta. Kehontärinän ja käsitärinän mittauksia ei ollut aikaisemmin suoritettu kyseiselle laitteelle, joten tutkimus oli hyvä suorittaa.

Työn mittaukset onnistuivat pienten säätelyiden jälkeen, mutta mielestäni luotettavia mittauspisteitä ei voitu saavuttaa, koska magneettinen kiihtyvyyssanturi ei tarttunut pehmusteisiin penkissä ja käsinojissa. Sen sijaan ne suoritettiin penkin runkorakenteisiin, kun konetta käytettiin normaalisti.

Mittaukset onnistuivat ja jokaisesta suunnasta X-, Y- ja Z-akselilta saatiin vähintään kolme mittausta. Tulokset saavutettiin Microsoft Excel-pohjaiseksi ja laskeminen samalla ohjelmalla suoritettiin. Tuloksien saamista vaikeutti huolimattomuus ja oli todella lähellä, että virheellisiä tuloksia olisi julkaistu. Tulosten tarkastelujen jälkeen voitiin havainnoida saadut tulokset, verrata arvoja keskenään, verrata toiminta- ja raja-arvoihin ja muiden koneiden tärinäarvoihin.

Kehontärinä arvot kiinnostivat tekemään kuvaajat kiihtyvyyksistä joka akselia kohden (X, Y ja Z-akseli), jotta havainnoidaan tarkemmin syy tärinään. Tämä oli mielestäni hyvin mielenkiintoinen tulos, koska tällä tavalla me näemme laajemmin tärinän ja saamme tuloksiimme paljon enemmän syvyyttä. Tämän kohdan toivon auttavan jatkossa laitteen suunnittelijoita ja sen kehittäjiä.

Tämä työ toimi todella hyvänä täydennyksenä opinnoille ja mielestäni opin valtavasti työn aikana. Lähtökohtaisesti minulla oli hyvin vähän tietoa, mutta tämä opinnäytetyö toi minulle todella paljon varmuutta ja lisää tietoa asiasta. En olisi voinut koskaan kuvitella ottavani näitä asioita huomioon töissä tai opiskelussa ilman tätä työtä. Tärinä ja värähtely ovat minusta tutkimuksena erittäin tärkeä ja sen eristäminen koneissa ja laitteissa pysyy aina koneen- ja laitesuunnittelussa mukana.

Lähteet

- Balachandran, B. Magrab, E. 2004. Vibrations. Brooks/Cole, a Division of Thomson Learning, Inc. ISBN 0-534-39510-4.
- Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2002/44/EY.
<http://eurlex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2002:177:0013:0019:FI:PDF> 18.2.2014.
- Euroopan yhteisöt. 2008. Ohjeellinen opas: Hyvät toimintatavat direktiivin 2002/44/EY (altistuminen tärinälle työssä) täytäntöön panemiseksi. ISBN 978-92-79-07536-0.
ec.europa.eu/social/BlobServlet?docId=3614&langId=fi 21.2.2014
- Evaluation engineering. 2013. Whole-Body Vibration Testing Using LXI Devices.
<http://www.evaluationengineering.com/articles/201306/whole-body-vibration-testing-using-lxi-devices.php> 14.2.2014.
- Kesla Oyj 2014 Pörssitiedote.
<http://www.kesla.fi/documents/10304/174108/Kesla+Oyj+taloudellinen+tiedottaminen+vuonna+2015>. 25.11.2014
- Laitinen, H. Vuorinen, M. Simola, A. 2009. Työturvallisuuden ja -terveyden johtaminen. Tietosanoma Oy. ISBN 978-951-885-275-2.
- Measuring vibration using sound level meter Nor140.
http://www.norsonic.no/filestore/PDF-filer/Application_Notes/ANVibrationEd2Rev0English0308.pdf 23.4.2014.
- Metlan asiakaslehti 2001-2. Puuvoiman tilastointi aloitettu.
<http://www.metla.fi/asiakaslehti/2001/2001-2/2001-2-ylitalo.pdf> (viitattu 2.10.2014)
- Nor140 Sound analyser 2007.
http://www.mip.fi/cms/images/stories/docs/melu_ja_aani/nor140.pdf 27.5.2014
- Nummelin T, petäjäistö L & Rummukainen A. 2014. Metsähakkeen käyttö ja hankinta energiantuotantolaitoksissa – toimintatavat ja toiminnan ongelmat. Metsäntutkimuslaitos. ISBN 978-951-40-241-9
- Siirilä T. 2009. Koneturvallisuus ohjausjärjestelmät ja turvalaitteet. Inspecta koulutus Oy. ISBN 978-951-98254-6-5.
- SFS-EN 1032 + A1:2009 Mekaaninen värähtely. Liikkuvien koneiden testaus kehoon kohdistuvan tärinäpäästön määrittämiseksi. (viitattu 14.2.2014).
- SFS-EN ISO 5349-2: 2001. Mekaaninen värähtely – Käsiin kohdistuvan tärinäaltistuksen mittaaminen ja arviointi – Osa 2: Käytännön ohjeita työpaikkamittauksia varten. (Viitattu 12.3.2014)
- SFS-EN ISO 8041:2005. Human response to vibration. Measuring instrumentation. (viitattu 29.5.2014).
- SFS-EN 1299 + A1:2009 Mekaaninen värähtely ja isku. Koneiden tärinäeristys. Ohjeita tärinälähteen eristämiseksi. (viitattu 26.11.2014).
- Työterveyslaitos. 2013. Tärinä.
<http://www.ttl.fi/fi/tyoymparisto/tarina/sivut/default.aspx> 11.2.2014.

Esimerkkejä yleisten koneiden tärinän voimakkuuksista.

Ohjeellinen opas: Hyvät toimintatavat direktiivin 2002/44/EY, 83.

KUVA B.3 ESIMERKKEJÄ YLEISTEN KONEIDEN TÄRINÄN VOIMAKKUUKSISTA

Tilastollisia tietoja, jotka perustuvat työpaikalla tehtyihin korkeimpien akselin tärinäarvojen mittauksiin työpaikalla. Mittaukset ovat tehneet INRS INRS (CRAM:n ja Prevencemin avustuksella), HSL ja RMS Vibration Test Laboratory vuosina 1997 ja 2005.

Tiedot ovat viitteellisiä, eivätkä ne vastaa koneen käyttöä kaikissa olosuhteissa.

25. ja 75. prosenttipisteet osoittavat sen tärinävoimakkuusalan rajat, johon 25 tai 75 prosenttia näyttekappaleista sijoittuu.

