



VAKOLA

RUKKILA
00001 HELSINKI 100
90-563 3133

VALTION MAATALOUSKONEIDEN TUTKIMUSLAITOS
FINNISH RESEARCH INSTITUTE OF ENGINEERING IN AGRICULTURE AND FORESTRY

TUTKIMUSSELOSTUS N:o 15

Ari Hahlman - Jukka Ahokas

TUTKIMUS MAATALOUSTRAKTORIN
TÄRINÄSTÄ JA HEILUNNASTA

1. TIIVISTELMÄ

Maataloustraktorin käytön epäsäännöllisyys tekee sen tärinän vaikutuksen arvioimisen vaikeaksi. Keskimääräinen traktorin vuotuinen käyttöaika Suomessa on noin 500 tuntia, mutta käyttö keskittyy lähinnä muutamien viikkojen ajaksi, jolloin vuorokautinen käyttöaika saattaa olla lähes 20 tuntia. Näin ollen esim. ISO:n määrittelemät suurimmat sallitut vuorokautiset käyttöajat eivät sellaisenaan ole aivan soveliaita, koska ne perustuvat ympärivuotiseen säännölliseen käyttöön (ISO 2631, ISO/TC 108/SC 4 N 35).

Työssä on tutkittu traktorista kuljettajaan siirtyvää tärinää. Tärinä mitattiin ohjauspyörästä, istuimelta ja ohjaamon jalkatasosta. Muista hallintalaitteista siirtyvällä tärinällä ei ole merkitystä niiden pienen käytön vuoksi.

Ohjauspyörän tärinä mitattiin traktorin käydessä paikallaan kuormittamattomana. Nykyisin käytetyt ohjausjärjestelmät vaimentavat maastosta ohjauspyörään siirtyvät liikkeet niin tehokkaasti, että niillä ei ole käytännön merkitystä. Tärinä mitattiin sekä ohjauspyörä vapaana että siitä kevyesti kiinni pitäen. Ohjausotteen vaikutus ei tullut esille, vaan se vaihteli huomattavasti traktorista ja kuljettajasta riippuen. Erityisesti hydraattisella ohjauksella varustetuissa traktoreissa ohjauspyörän tärinä pienestä värähtelevästä massasta johtuen on usein hyvin pieni. Voimakkuudeltaan tärinä vaihteli eri traktoreissa huomattavasti alittaen parhaimmillaan selvästi ISO:n asettaman kahdeksan tunnin työajan sallitun rajan. Eniten tärisevässä traktorissa sallittu käyttöaika olisi ollut vain puoli tuntia päivässä.

Ajoradan aiheuttamaa heiluntaa tutkittiin sekä VAKOLAn radalla että käytännön oloissa. Käytännön työssä heilunta on pahinta äestettäessä kynnöspeltoa. Myös sora- tiellä ajettaessa heilunta on erittäin voimakasta. Kynnettäessä heilunta on edellisiin tilanteisiin verrattuna pientä.

VAKOLAn radalla tutkittiin eri tekijöiden vaikutusta heiluntaan. Ajonopeuden vaikutus oli ylivoimaisesti merkittävin. Raidелеvyyden lisääminen ja levikeypyörien käyttö vähensi huomattavasti sivusuuntaista heiluntaa. Renkaiden ilmanpaineella ei havaittu olevan mainittavaa merkitystä heilunnan kannalta. Raskas perävaunu aiheuttaa voimakasta pituussuuntaista nykimistä.

Teliakseliston käytöllä pystytään heiluntaa vähentämään huonossa maastossa erittäin paljon. Sen sijaan jousitetun etukaseliston käyttö ei kovin paljon vähennä heiluntaa.

Tärkein tekijä, joka vaikuttaa ajoradan kuljettajaan aiheuttaman heilunnan suuruuteen, on kuljettaja itse. Ajonopeutta vähentämällä ja sopivalla ajoreitin valinnalla pystytään kaikkein tehokkaimmin pienentämään heiluntaa.

Traktoreissa käytetyt istuimet osoittautuivat harvataajuiseen heilunnan kannalta erittäin huonoiksi. Koska nykyiset ohjaamot ovat kumityynyillä, istuimen ja ohjaamon jalkatason tärinä ovat pieniä.

SUMMARY

Irregular usage of agricultural tractors makes it difficult to estimate exposure to vibration. Average annual usage of tractors in Finland is about 500 hours but the usage concentrates upon few weeks. Then daily usage can be almost 20 hours. Thus the ISO standards for vibration are not very well applicable because they are based on regular exposure time (ISO 2631, ISO/TC 108/SC 4 N 35). In this work we have measured vibration on steering wheel, on seat and on cab floor. Vibration of pedals and hand controls is not important because their time to use is short.

Steering wheel vibration was measured when tractor was stationary and unloaded. Because steering systems in new tractors are either hydrostatic or power assisted they absorb shocks and vibration from soil surface so efficiently that it does not have a practical importance. Vibration was measured when steering wheel was free and also with light grip. The effect of light grip differed very much depending on tractor and driver and there was no logical line to it. Especially vibration on tractors with hydrostatic steering reduces very significantly. This is due to small vibrating mass. Vibration levels on tractors differed noticeable. Vibration on some tractors was even clearly less than the ISO eight hour level. On the other hand we had a tractor in which exposure time was only half an hour.

Vibration on seat due to uneven soil surface was measured both on ISO/DIS 5008 rough track and during some practical farm work.

During practical work vibration is most severe when a ploughed soil is cultivated. Also driving on a gravel road causes strong vibration. During ploughing vibration is not so severe.

On test track we studied effect of different factors on vibration. The most significant is driving speed. Widening track width or dual wheels reduce transverse (right to left) vibration noticeably. Tyre pressure does not have a significant importance. A heavy trailer causes strong longitudinal shocks. Tandem rear wheels reduce vibration on rough soils very much. Suspended front wheels does not reduce vibration very much.

Most significant factor on vibration is driver himself. By reducing driving speed and looking for his driving route he can most efficiently reduce vibration. At low frequency vibration tractor seats were very poor.

Due to rubber-isolated cabs vibration on seats and on cab floor are small.

2. TÄRINÄN VAIKUTUS IHMISEEN

Tärinä voi kohdistua ihmiseen kolmella eri tavalla

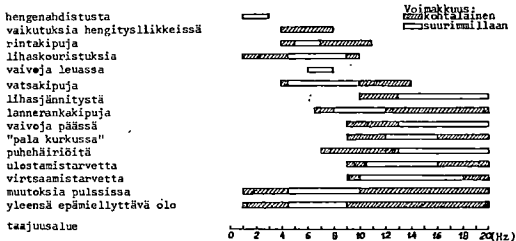
- Koko pintaan (paineaalto)
- Kantavaan pintaan (seisovalle henkilölle lattiasta, istuvalle istuimesta)
- Yksittäiseen osaan, tavallisimmin käsiin.

Tärinän vaikutuksen arvostelemiseksi on välttämätöntä tietää tärinästä suunta, suuruus (poikkeama, nopeus, kiihtyvyyt), taajuusjakautuma ja vaikutusaika.

2.1. Koko kehoon kohdistuva tärinä

Koko kehoon kantavan pinnan kautta kohdistuvassa tärinässä voidaan taajuuden mukaan erottaa kolme tapausta:

- Hyvin harvalla taajuudella, alle 1,5 Hz, käyttäytyy keho kuin jäykkä massa.
- Taajuuksilla 1,5...100 Hz pystysuunnassa ja 1...5 Hz vaakasuunnassa joutuvat eri kehon osat ja elimet resonanssiin (kuva 1). Ihminen käyttäytyy monimutkaisien massojen, jousien ja vaimentimien muodostaman systeemin tavoin.
- Tiheämmillä taajuuksilla värähtelyt vaimenevat nopeasti ihon pinnalla jo parin millimetrin matkalla.



Kuva 1. Pystysuuntaisen heilunnan vaikutus ihmiseen.

Figure 1. Effect of longitudinal whole body vibration on man.

Eriytyisesti traktorin kuljettajilla esiintyvistä toimintahäiriöistä mainittakoon:

- ohjaustarkkuuden huononeminen
- vipujen käsittelyn muuttuminen epävarmaksi
- selkä- ja vatsakivut ja -vaivat
- jalan poljinvoiman muuttuminen epätasaiseksi
- reaktionopeuden pieneneminen
- näön heikkeneminen ja näkökentän supistuminen
- väsymys, päänsärky ja yleensä hermosto-oireet
- työtehon aleneminen

2.2. Käsiin kohdistuva värinä

Käsiin kohdistuvan värinän vaikutuksia on tutkittu erityisesti moottorisahojen ja muiden värisevien käsityökoneiden käytössä. Vaarallisimpana käsiin kohdistuvassa värinässä pidetään taajuusaluetta 40...140 Hz.

Tyypillisiä oireita käsien värinäsaikauden yhteydessä ovat:

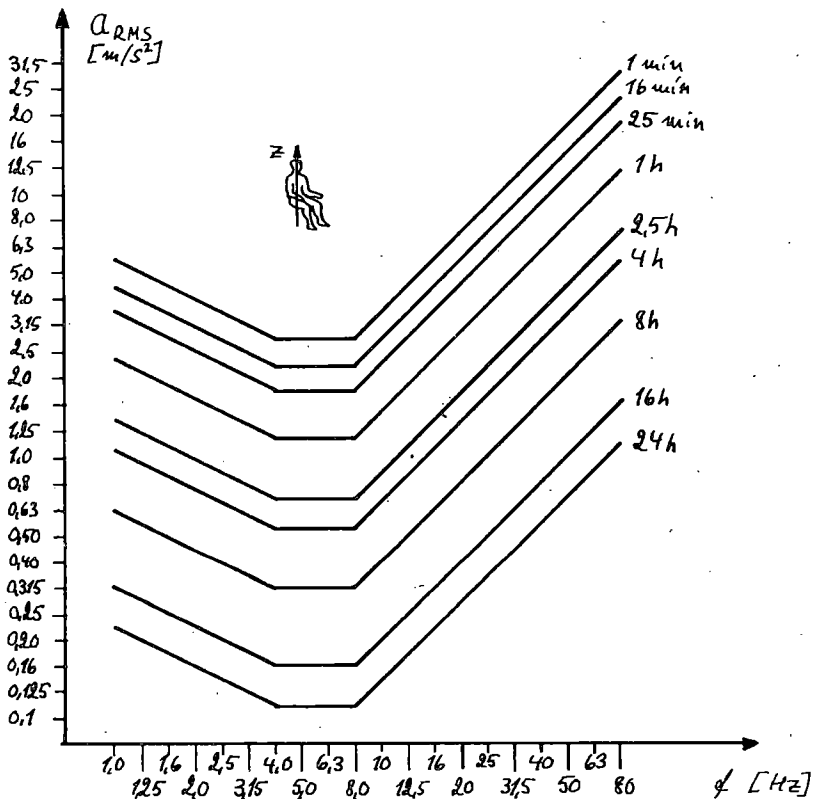
- käsien puutuminen ja särky, jota esiintyy usein yöllä
- nivelsärky
- käsien kylmänsiedon ja puristusvoiman heikkeneminen
- Raynardin ilmiö (valkeat sormet)

2.3. ISO:n normit värinän arvostelemiseksi

Kansainvälinen standardisointijärjestö, ISO, on laatinut normin koko kehoon kohdistuvan värinän arvostelemiseksi (ISO 2631). Värinän vaikutukselle ISO asettaa kolme eri astetta (kuva 2):

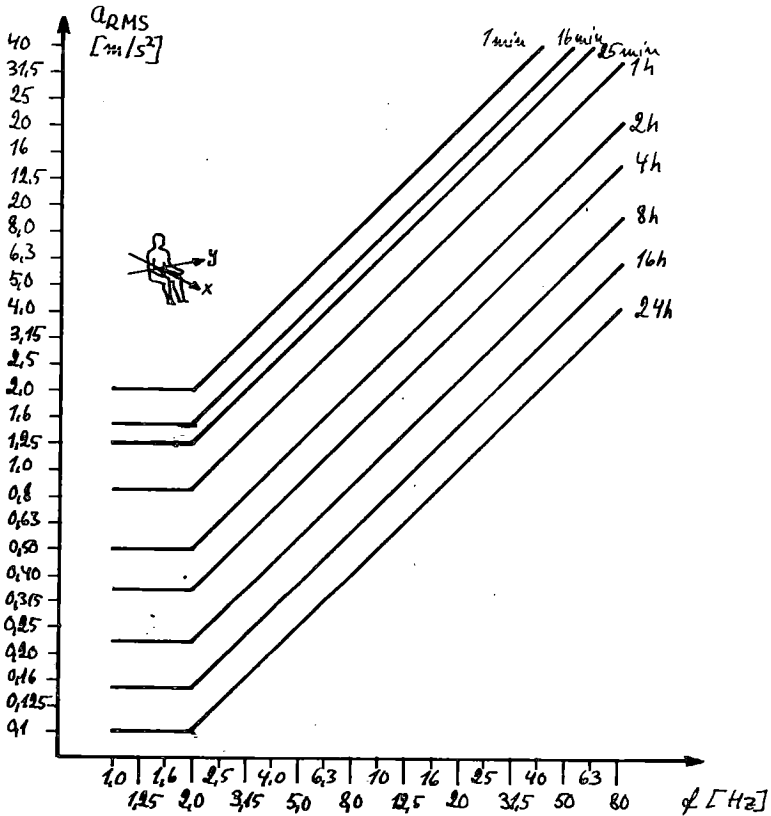
- a) Mukavuuden säilyminen ("vähentyneen mukavuuden raja")
- b) Työtehon säilyminen ("väsymisen ja huonontuneen työtehon raja")
- c) Terveiden ja turvallisuuden säilyminen ("vaarallisen värinän raja")

Värinän voimakkuuden mittana käytetään kiihtyvyyden tehollisarvoa (RMS-arvoa). Mittaus voidaan suorittaa joko 1/3-oktaaveittain tai koko taajuusalueelta siten, että anturin ja mittalaitteen väliin sijoitetaan eri taajuuksia kuvan 2 mukaan painottava suodatin.



Kuva 2 a. Koko kehoon kohdistuvan pystysuuntaisen heilunnan (a_z) sallitut altistumisajat "väsymisen ja alentuneen työtehon" mukaan (ISO 2631).
 "Vaarallisen värinän ja heilunnan" rajat saadaan jakamalla a_{RMS} -arvot 2:lla.
 "Vähentyneen mukavuuden" rajat saadaan jakamalla a_{RMS} -arvot 3,15:lla.

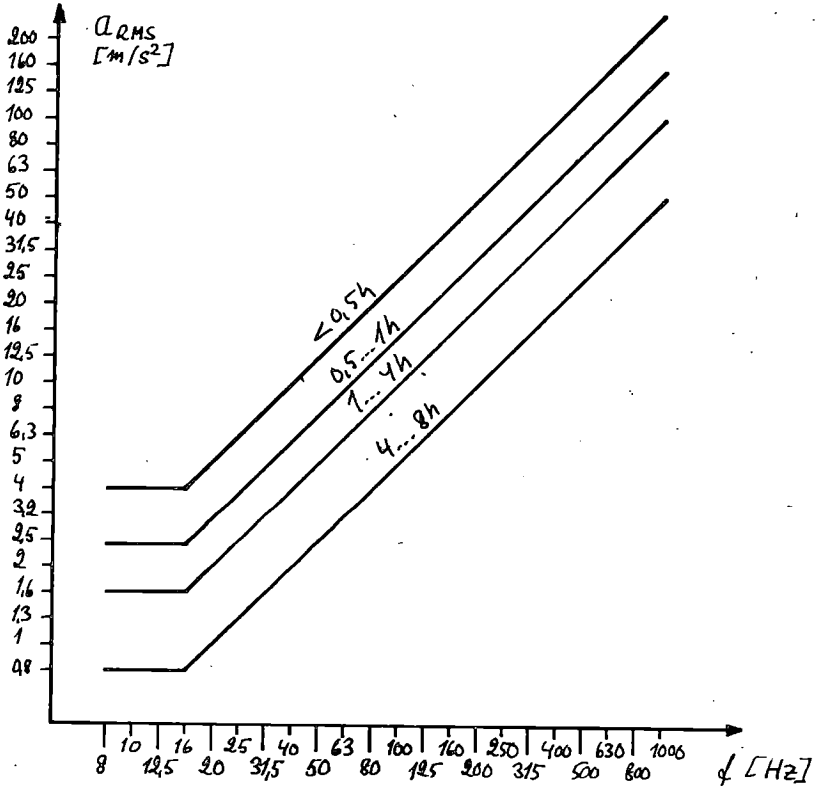
Figure 2 a. Whole body vibration longitudinal (a_z) acceleration limits, "fatigue-decreased proficiency boundary" (ISO 2631).



Kuva 2 b. Koko kehoon kohdistuvan sivuttaisuuntaisen heilunnan (a_x , a_y) sallitut altistumisajat "väsymisen ja alentuneen työtehon" mukaan (ISO 2631). "Vaarallisen värinän ja heilunnan" rajat saadaan kertomalla a_{RMS} -arvot 2:lla.

Figure 2 b. Whole body vibration, transverse (a_x , a_y) acceleration limits "fatigue-decreased proficiency boundary" (ISO 2631).

Käsiin kohdistuvan värinän arvostelemiseksi ISO on laatinut selostuksen ISO/TC 108/SC 4 (Secretariat - 20) N 35 (kuva 3).



Kuva 3. Käsiin kohdistuvan värinän sallitut altistumisajat (ISO/TC 108/SC 4 N 35).

Figure 3. Human exposure to vibration transmitted to the hand (ISO/TC 108/SC 4 C N 35).

3. TRAKTORISSA ESIINTYVÄ TÄRINÄ JA SEN SIIRTYMINEN AJAJAAN

Traktorissa esiintyvä värinä voidaan jakaa kolmeen osaan sen syntyvän mukaan: Itse traktorissa syntyvään, ajoradan aiheuttamaan ja työkoneen aiheuttamaan värinään.

3.1. Itse traktorissa syntyvä värinä

Traktorissa syntyvä värinä on suurimmaksi osaksi lähöisin moottorista. Muiden pyörievien osien epätasapainon ja lisälaitteiden (hydraulipumppu, kompressori ym.) aiheuttama värinä on vähäistä. Moottorin suunnittelun ja valmistuksen tarkkuudella on hyvin suuri vaikutus sen aiheuttaman värinän suuruuteen. Taajuudeltaan se on yleensä yli 20 Hz. Tämä värinä siirtyy ajajaan pääasiassa ohjauspyörän ja ohjaamon lattian välityksellä. Polkimien ja muiden hallintalaitteiden värinä saattaa olla hyvin voimakasta, mutta sillä ei ole normaalissa maatalouskäytössä terveyden kannalta merkitystä, koska niitä käytetään vain hetkellisesti. Istuimen pehmustus ja jousitus vähentävät tehokkaasti tätä tiheätaajuista värinää. Myös koko ohjaamon kumityynyksiinnitys vaimentaa moottorin aiheuttamaa värinää.

3.2. Ajoradan synnyttämä värinä

Ajoradan aiheuttaman värinä on yleensä harvataajuista, alle 20 Hz, jonka vuoksi siitä käytetään nimitystä heilunta. Tämä on traktorin rakenteen lisäksi riippuvainen lähinnä ajonopeudesta sekä ajoradan epätasaisuudesta ja joustavuudesta. Traktorin kohdatessa maastossa yksittäisen esteen, tapahtuu ensin heräte, jonka jälkeen traktori pomppii ominaistaajuudellaan (3...4 Hz). Tämä pomppiminen vaimenee hitaasti ja on hyvin epämiellyttävää. Jos ajoradan aiheuttama herätetaajuus sattuu lähelle traktorin ominaistaajuutta, joutuu traktori voimakkaaseen resonanssiin. Näin tapahtuu usein sora-tiellä ajettaessa. Ajoradan aiheuttamaan heiluntaan on erityisesti maastossa ja pellolla ajettaessa ajajalla merkittävä osuus, koska heilunta on hyvin voimakkaasti riippuvainen ajonopeudesta.

Heilunta siirtyy ajajaan istuimen välityksellä ja on pystysuunnassa pahimmillaan traktorin ominaistaajuudella (3...4 Hz). Koska istuimen ominaistaajuudet ovat välillä 1,2...4 Hz, eivät ne yleensä pysty vaimentamaan traktorin ominaistaajuudella tapahtuvaa heiluntaa, vaan saattavat jopa pahentaa tilannetta. Vaakasunnassa ei nykyisissä istuimissa ole jousitusta, joten maaston aiheuttama heilunta sivusuunnassa muodostuu hyvin voimakkaaksi.

Etupyöristä ohjausjärjestelmän kautta ohjauspyörään siirtyvä, maaston aiheuttama värinä on nykyisillä hydrostaattisilla tai voimakkaasti tehostetuilla ohjausjärjestelmillä varustetuissa traktoreissa hyvin vähäistä. Myöskään yksittäiset etupyöriin kohdistuvat iskut eivät tunnu ohjauspyörässä.

3.3. Työkoneen synnyttämä tärinä

Pellolla käytettävien työkoneiden (äes, aura, kylvökone ym.) aiheuttama tärinä ja heilunta on yleensä niin pientä, että niiden vaikutusta ei huomaa moottorin tärinän ja pellon epätasaisuuden aiheuttaman heilunnan rinnalla. Tällaisten koneiden vetovastus ei ajettaessa muutu äkillisesti, joten ne eivät aiheuta myöskään pituussuuntaista nykimistä. Ajettaessa työkone ylhäällä nostolaitteen varassa kevenee traktorin etupää. Tämä aiheuttaa pientä heilunnan lisääntymistä.

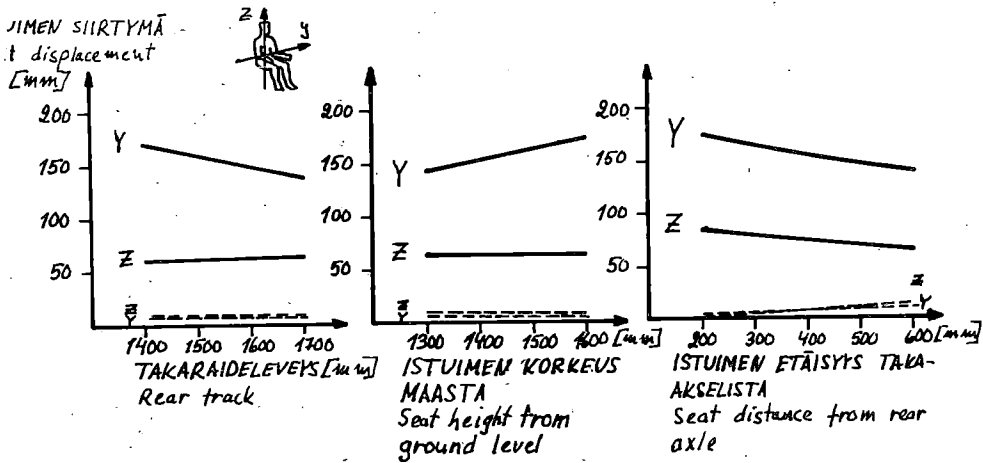
Perävaunun vetovastus muuttuu ajossa huomattavan paljon, josta aiheutuu voimakasta pituussuuntaista nykimistä. Varsinkin kuoppaisella soratiellä nykiminen on erittäin kiusallista. Tätä nykimistä lisää vielä se, että traktorin vetokoukun ja perävaunun aisan silmukan vällys on usein melko suuri. Jousittamaton perävaunu pomppii helposti ominaistaajuudellaan. Tämä pomppiminen siirtyy yksiakselisesta perävaunusta vetokoukun välityksellä traktoriin.

Traktorikäyttöiset työkoneet, joissa on pyöriviä tai edestakaisin liikkuvia massoja (kompessorit, paalain, niittokone ym.) aiheuttavat tiheitäaajuista tärinää, joka siirtyy koneen kiinnityksen ja voimanottoakselin kautta traktoriin.

3.4. Traktorin rakenteen vaikutus heiluntaan

Maataloustraktorin rungon muodostaa jäykkä moottorin, vaihteiston ja taka-akselin muodostama kokonaisuus. Tähän runkoon on liitetty ohjaamo ja keinuva etuakselisto. Tästä vakiintuneesta rakenteesta esiintyy hyvin vähän poikkeuksia, esim. jousitetut pyörät (Zetor 8011) tai teliakselisto takana (Valmet 1502). Jousitettujen etupyörien vaikutus heiluntaan maastossa on mitätön jäykän taka-akselin ollessa määräävä. Sen sijaan tiellä ajettaessa sillä on vaikutusta. Takana oleva teliakselisto vähentää tehokkaasti maastossa tapahtuvaa heiluntaa. Taka-akselin kohdatessa esteen istuimen siirtymät pienenevät normaalirakenteeseen verrattuna puoleen.

Traktorin geometrisistä mitoista ajajan heiluntaan vaikuttavat oleellisesti vain takaraidaleveys ja istuimen sijainti pysty- ja pituussuunnassa (kuva 4). Muiden mittojen vaikutus heiluntaan on hyvin pieni.



Kuva 4. Traktorin rakenteen vaikutus kuljettajan siirtymään (Valmet 702)

Figure 4. Effect of tractor construction on driver displacement (Valmet 702)

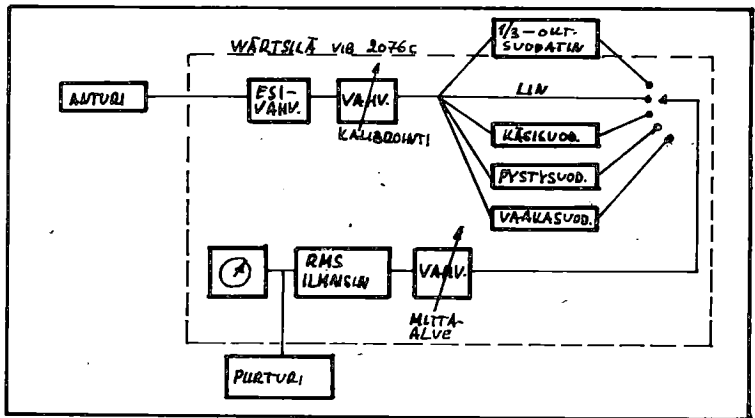
4. MITTAUKSET

4.1. Mittauslaitteisto

Mittauksissa käytettiin seuraavia laitteita:

- kiihtyvyyssanturi Brüel & Kjaer Type 4340
- kalibraattori Brüel & Kjaer Type 4291
- tärinämittari Wärtsilä Vib 2076c + 1275
- piirturi Georz Minigor Type RE 501

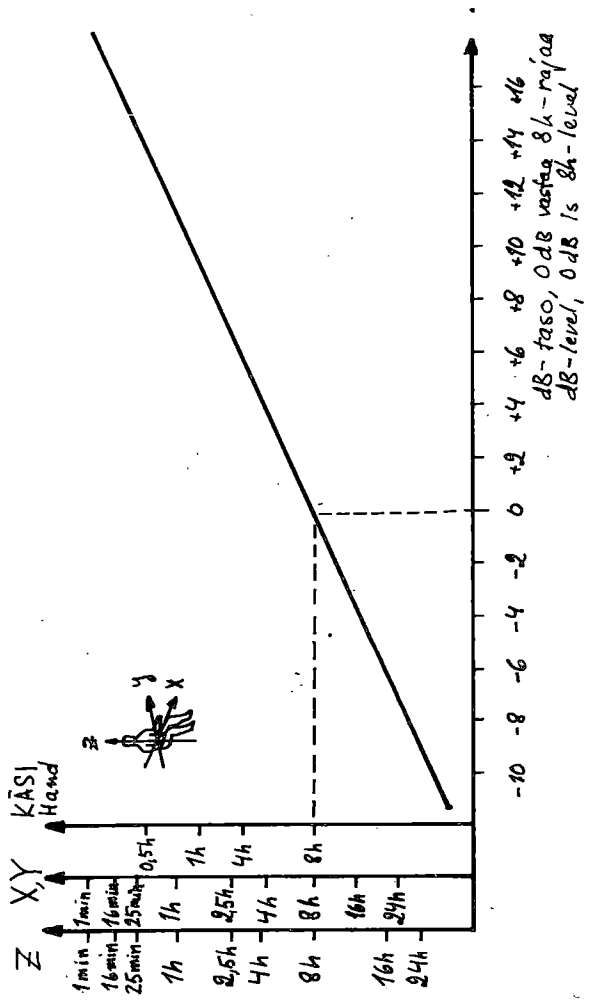
Kaikki käytetyt laitteet ovat paristokäyttöisiä.



Kuva 5. Kaaviokuva mittauslaitteistosta

Figure 5. Measuring equipment

Laitteistolla voidaan mitata tärinää, jonka taajuusarvo on välillä 1...10000 Hz ja suuruus 0,025...1250 m/s². Mittari mittaa vain kiihtyvyyden tehollisarvoa (RMS-arvoa), joten liikkeen nopeutta ja amplitudia ei saada selville. Wärtsilä Vib 2076c sisältää kolme erilaista eri taajuuksia painottavaa suodatinta. Suodattimien ominaiskäyrät ovat kuvien 2 ja 3 käyrien mukaiset. Käytettäessä näitä suodattimia, saadaan tärinän suuruus desibeleinä. Nolla desibeliä vastaa ISO:n mukaan 8:n tunnin sallittua vuorokautista käyttöaikaa, kun arvosteluperusteena pidetään työtehon säilymistä (kuva 6).



Kuva 6. Tärinän desibeli-arvon ja sallitun käyttötajan välinen yhteys ISO:n mukaan.

Figure 6. dB level over eight hour ISO level and exposure time

Wärtsilä 1275 1/3-oktaavisuodattimella voidaan tehdä taajuusanalyysi, jossa 1/3-oktaavikaistojen keskitäajuus on välillä 1...10000 Hz. Tällöin tärinän RMS-kiiktyvyys saadaan yksikkönä m/s^2 .

Tärinämittarin kalibrointi suoritettiin Brüel & Kjaer Type 4291 kalibraattorilla jonka antaman tärinätaajuus on 79,6 Hz ja kiiiktyvyyden RMS-arvo $6,94 m/s^2$ (1 g huippu).

Heilunnan mittauksissa tallennettiin tärinämittarin lukema Georz Minigor Type Re 501 piirturilla. Piirturin käyristä luettiin heilunnan keskiarvo.

Mitatut traktorit

Traktori	Istuin	Ohjauksen tyyppi	Massa (kg)	Akseliväli (mm)	Raideleveys (mm)
Valmet 502	Bostrom Argus XL 100	Hydrost.	2557	2120	ed. 1415 tak. 1515
Zetor 8011	Grammer DS 85 H2B	Mek.+teh.	3740	2360	ed. 1500 tak. 1500
Valmet 702	Bostrom Argus XL	Hydrost.	3365	2245	ed. 1465 tak. 1540
Massey-Ferguson 590	Grammer DS 85 H2B	Hydrost.	3378	2290	ed. 1450 tak. 1600
Ford 6700	Grammer Viking 301	Hydrost.	3130	2580	ed. 1475 tak. 1630
Valmet 1502	Bostrom Argus XL	Hydrost.	5500	2530 teliväli 1255	ed. 1655 tak. 1655
Belarus MTZ 80	Bostrom Argus XH	Mek.+ teh.	3655	2370	ed. 1420 tak. 1565

4.2. Heilunta

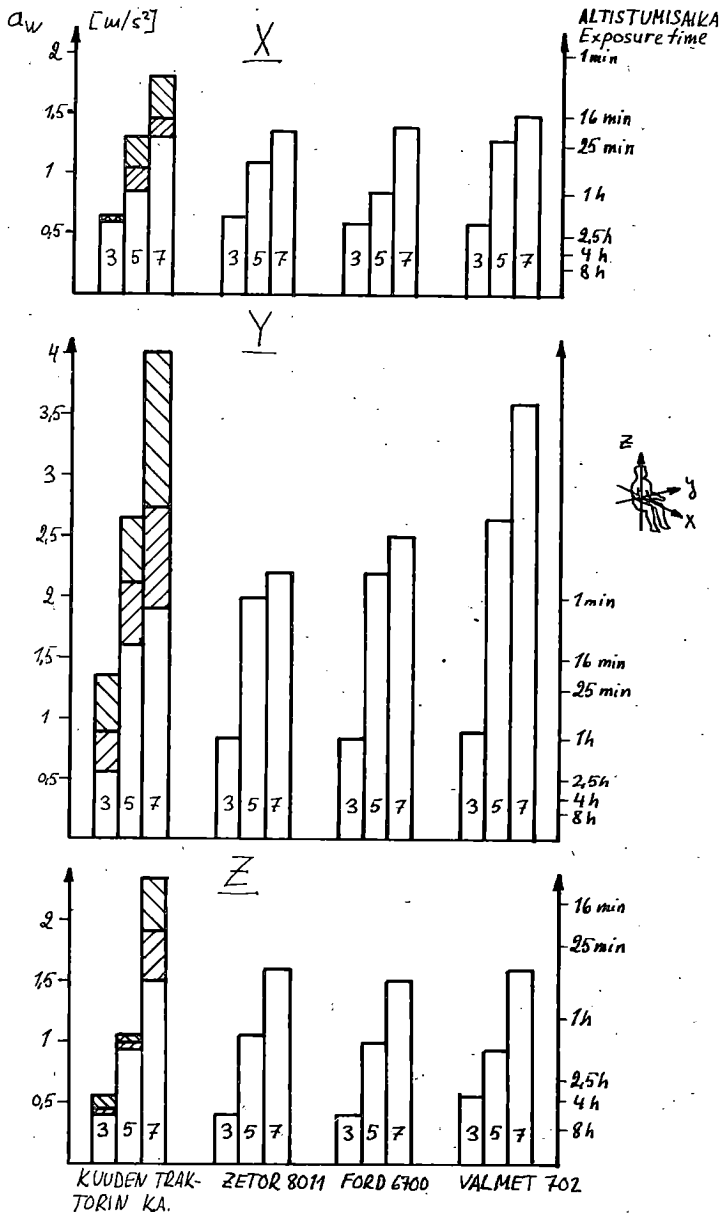
4.2.1. Mittaukset VAKOLAn rasisusradalla

Heiluntakokeissa käytettiin VAKOLAn rasisusrataa, joka profiililtaan vastaa ISO:n lyhyempää heiluntamittauksiin tarkoitettua rataa (ISO/DIS 5008). Radan profiili vastaa pystysuunnassa melko hyvin kovahkon kynnöspellon pintaa. Radalla tutkittiin seuraavien seikkojen vaikutusta heiluntaan:

- ajonopeus
- takarenkaiden ilmanpaine

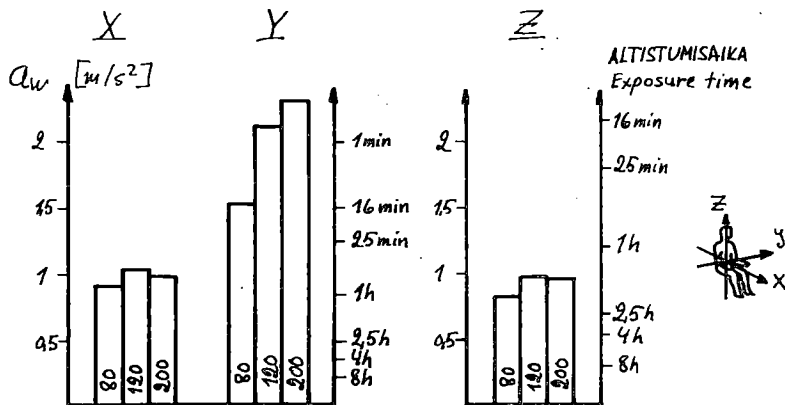
- raideleveys
- istuimen jousitus ja ajajan paino
- jousitettu etuakselisto
- teliakselisto
- levikeypyörät
- raskas perävaunu
- paino nostolaitteessa

Ellei toisin mainita, on ajonopeus ollut 5 km/h, ajajan paino 65 kg, takarenkaiden ilmanpaine 120 kPa ja eturenkaiden paine 200...220 kPa. Heilunta mitattiin ajajan ja istuimen väliin sijoitetulta teräslevyiltä. Mittaustulokset ovat kuvissa 7...13.



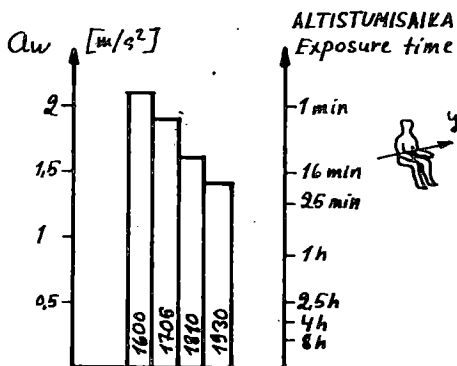
Kuva 7. Ajonopeuden vaikutus ajamisen heiluntaan koeajoradalla ajettaessa. Ajonopeudet 3,5 ja 7 km/h.

Figure 7. Effect of driving speed on drivers vibration on test track mean values of six tractors and Zetor 8011, Ford 6700 and Valmet 702 tractors. Driving speeds 3,5 and 7 km/h.



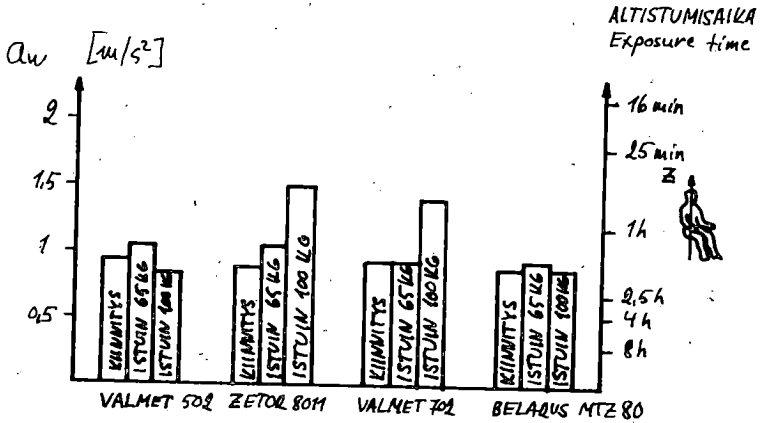
Kuva 8. Takarenkaiden ilmanpaineen vaikutus ajajan heiluntaan koeajoradalla. Käytetyt paineet: 80, 120 ja 200 kPa. Viiden traktorin keskiarvo.

Figure 8. Effect of rear tyre pressure on driver's vibration on test track. Tyre pressures: 80, 120 and 200 kPa. Mean value of five tractors.



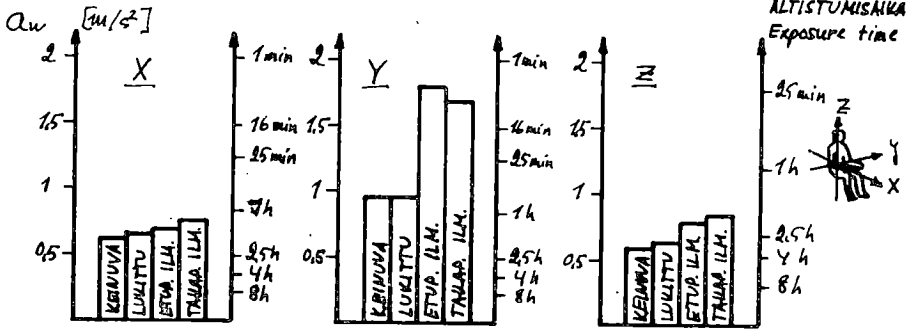
Kuva 9. Takaraidellevyden vaikutus ajajan sivusuuntaiseen heiluntaan koeajoradalla. Takaraidellevydet: 1600, 1705, 1810 ja 1930 mm. Traktorina Massey-Ferguson 590.

Figure 9. Effect of rear wheel track on driver's transverse (right to left) vibration on test track. Rear wheel tracks: 1600, 1705, 1810 and 1930 mm. Tractor: Massey-Ferguson 590.



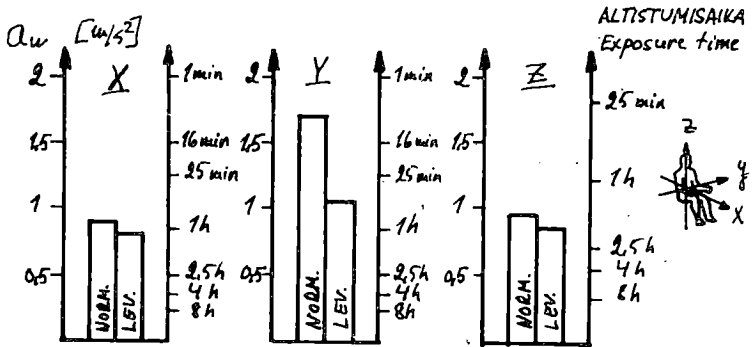
Kuva 10. Istuimen vaikutus kuljettajan heiluntaan koeajoradalla. Kiihtyvyydet on mitattu sekä istuimen kiinnityspisteestä että istuimelta 65 kg ja 100 kg painoisten kuljettajien ajaessa traktoreita.

Figure 10. Effect of seat on driver's vibration on test track. Accelerations have been measured both at seat attaching point (kiinnitys) and on seat (istuin) when a 65 kg driver and a 100 kg driver drove tractor.



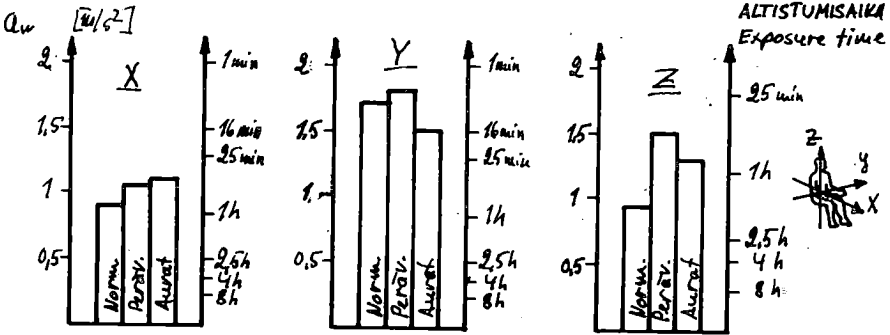
Kuva 11. Valmet 1502, teliakseliston vaikutus heiluntaan. Teliakselisto on ollut keinuva ja lukittuna sekä keskiasentoonsa että ääriasentoihinsa.

Figure 11. Valmet 1502, effect of tandem wheels on vibration. Tandem wheels were free and locked to centre and side positions.
(keinuva = free, lukittu = locked, etup.ilm. = front wheels of tandem raised up, takap.ilm. = rear wheels of tandem raised up.)



Kuva 12. Kumisten levikepyörien vaikutus heiluntaan koeajoradalla. Traktorina Valmet 702.

Figure 12. Effect of dual wheels (lev.) on vibration on test track. Tractor: Valmet 702.

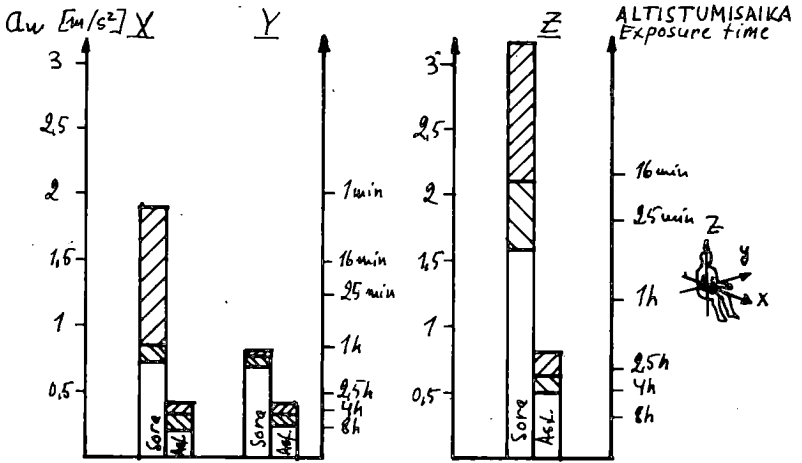


Kuva 13. Raskaan perävaunun ja nostolaitteen varassa olevan auran vaikutus heiluntaan koeajoradalla. Traktorina Valmet 702.

Figure 13. Effect of heavy trailer (peräv.) and a plough (aura) lifted by three point hitch on vibration on test track. Tractor: Valmet 702.

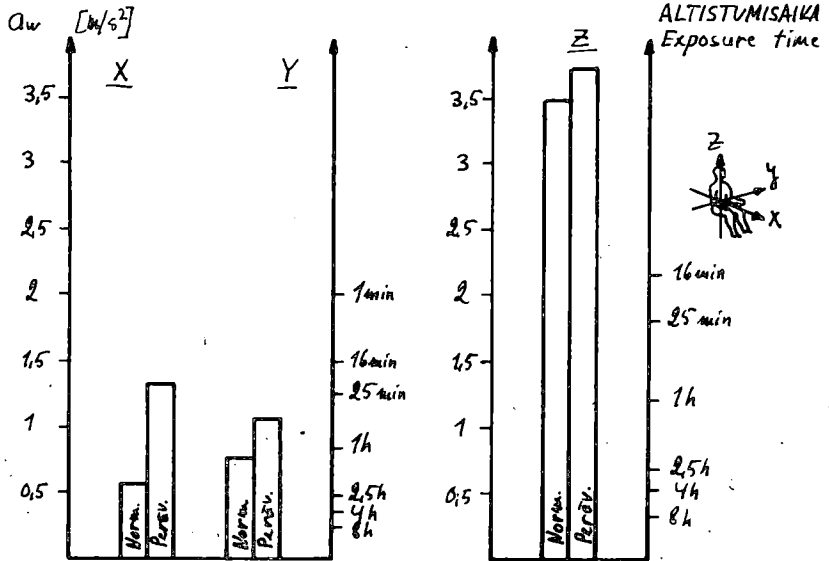
4.2.2. Mittaukset tiellä

Sora- ja asfalttitiellä mitatun heilunnan suuruus ilmenee kuvasta 14. Soratienä käytettiin VAKOLAN koerataa. Kokeissa käytetty asfaltti oli suhteellisen hyväkuntoinen. Traktoreilla ajettiin mitattaessa huippunopeudella (24...33 km/h) paitsi Valmet 1502:lla, jonka huippunopeus oli yli 40 km/h.



Kuva 14 a. Kuljettajan heilunta sora- ja asfalttitiellä. Soratien mittaukset ovat kuuden traktorin keskiarvoja vaihtelurajoineen. Asfalttitiemittaukset ovat neljän traktorin keskiarvoja vaihtelurajoineen. Ajonopeudet olivat 24...33 km/h.

Figure 14 a. Driver's whole body vibration on gravel road (sora) and on tarmacadam (asf.). Measurements on gravel road are mean values of six tractors. Measurements on tarmacadam are mean values of four tractors. Driving speeds were 24...33 km/h.



Kuva 14 b. Perävaunun vaikutus istuimen kiinnityskohdan kiihtyvyyksiin ajettaessa soratiellä Valmet 702 traktorilla. Ajonopeudet pelkällä traktorilla 33 km/h ja perävaunun kanssa 24 km/h.

Figure 14 b. Effect of trailer on vibration at seat attaching point on gravel road. Tractor: Valmet 702. Driving speeds: Tractor alone 33 km/h (norm.) and tractor with trailer 24 km/h (peräv.).

Tiellä mitatut heilunnan arvot eivät ole kovin luotettavia. Eri ajokerroilla saattaa syntyä huomattavia eroja (+3 dB), koska täysin samaa ajorataa ei pystytä käyttämään. Traktori saattaa jollakin ajokerralla kulkea suhteellisen tasaisesti, mutta toisella kerralla joutua pahaan resonanssiin, jolloin istuin useimmiten joustaa ylös-alas rajoittimiinsa asti.

4.2.3. Mittaukset pellolla

Kovahkolla kynnöspellolla ajettiin Valmet 702 traktorilla kynnöksen suuntaan, poikkisuuntaan ja 45° kulmassa kynnökseen nähden. Ajonopeudet olivat 7 ja 10 km/h. Mittaukset tehtiin istuimen kiinnityskohdasta kaikissa kolmessa suunnassa ja istuimelta pystysuunnassa.

Levikäpyörien vaikutusta kynnöspellolla kokeiltiin nopeuksilla 7 ja 10 km/h ja mittaamalla istuimen kiinnityskohdan heilunta. Käytössä oli sekä kumiset (vain

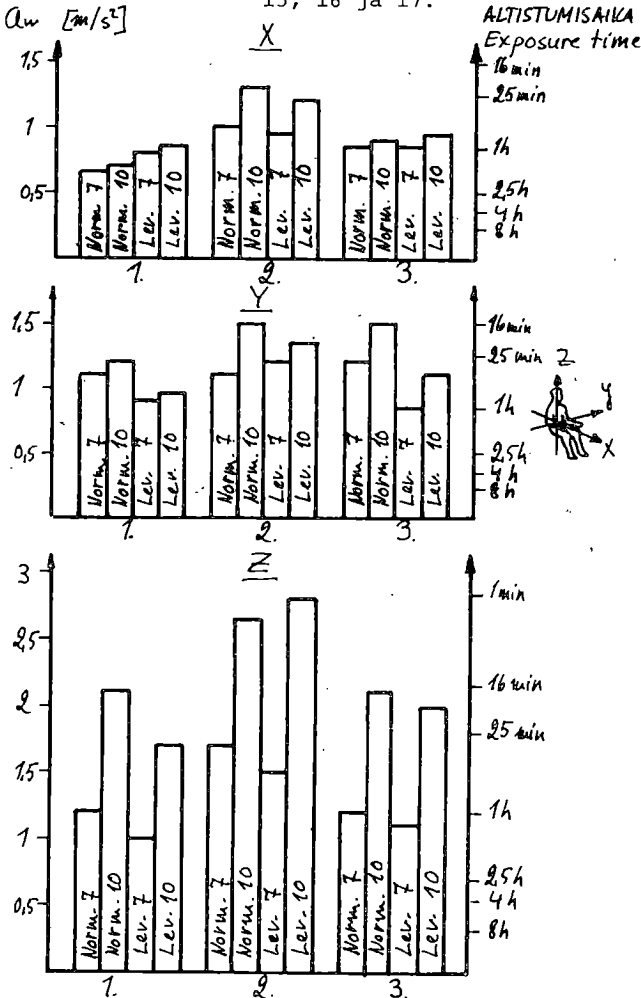
taka-akselissa) että rautaiset (kaikissa pyörissä) levikeypyörät.

Teliakseliston vaikutuksen selvittämiseksi mitattiin Valmet 1502:n istuimen kiinnityskohdan heilunta ajettaessa kynnöksen pituus- ja poikkisuuntaan nopeudella 7 km/h.

Valmet 702:lla vedettiin keskikokoista äestä kynnöksen pituus- ja poikkisuuntaan nopeuksilla 7 ja 10 km/h.

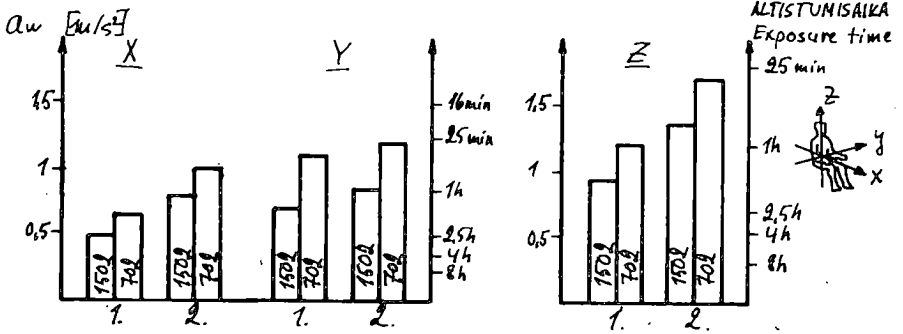
Kynnettäessä mitattiin Massey-Ferguson 590 traktorin heilunta nopeuksilla 7 ja 10 km/h. Käytössä oli Fiskarsin 3 x 16 aura. Samalla pellolla mitattiin heilunta myös ajettaessa aura ylhäällä nostolaitteen varassa ja ajettaessa pelkällä traktorilla.

Kynnöspeltoa äestettäessä ei havaittu eroa pelkällä traktorilla ajoon verrattuna. Tulokset ovat kuvissa 15, 16 ja 17.



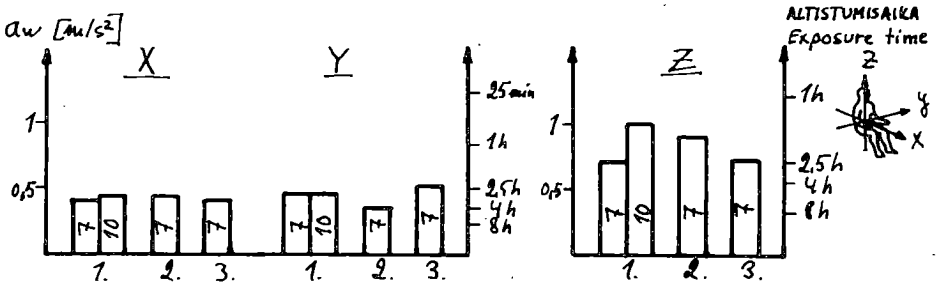
Kuva 15. Istuimen kiinnityskohdan heilunta ajettaessa kynnöspellolla 1. kynnöksen pituussuuntaan 2. poikkisuuntaan ja 3. 45° kulmassa kynnökseen nähden. Ajonopeudet olivat 7 ja 10 km/h. Traktorina Valmet 702.

Figure 15. Vibration at seat attaching point during drive on a ploughed field. Direction of drive: 1. along 2. across 3. in 45° angle to ploughing. Driving speeds 7 and 10 km/h. Tractor: Valmet 702 (lev. = dual wheels)



Kuva 16. Teliakselin ja normaalirakenteen ero kynnöspellolla ajettaessa. Ajonopeus 7 km/h. Traktorina Valmet 702 ja Valmet 1502. 1. pitkin ja 2. poikin kynnöstä.

Figure 16. Tandem wheels and normal construction on ploughed field. Driving speed 7 km/h. Tractors: Valmet 702 and 1502. 1. Along and 2. across ploughing.



Kuva 17. Heilunta 1. kynnettäessä 7 ja 10 km/h, 2. ajettaessa pellolla aura ylhäällä 7 km/h ja 3. ajettaessa pellolla 7 km/h ilman auraa. Traktorina Massey-Ferguson 590.

Figure 17. Vibration 1. during ploughing 7 and 10 km/h, 2. during driving on field with plough lifted by three point hitch 7 km/h and 3. during driving on field without plough. Tractor: Massey-Ferguson 590.

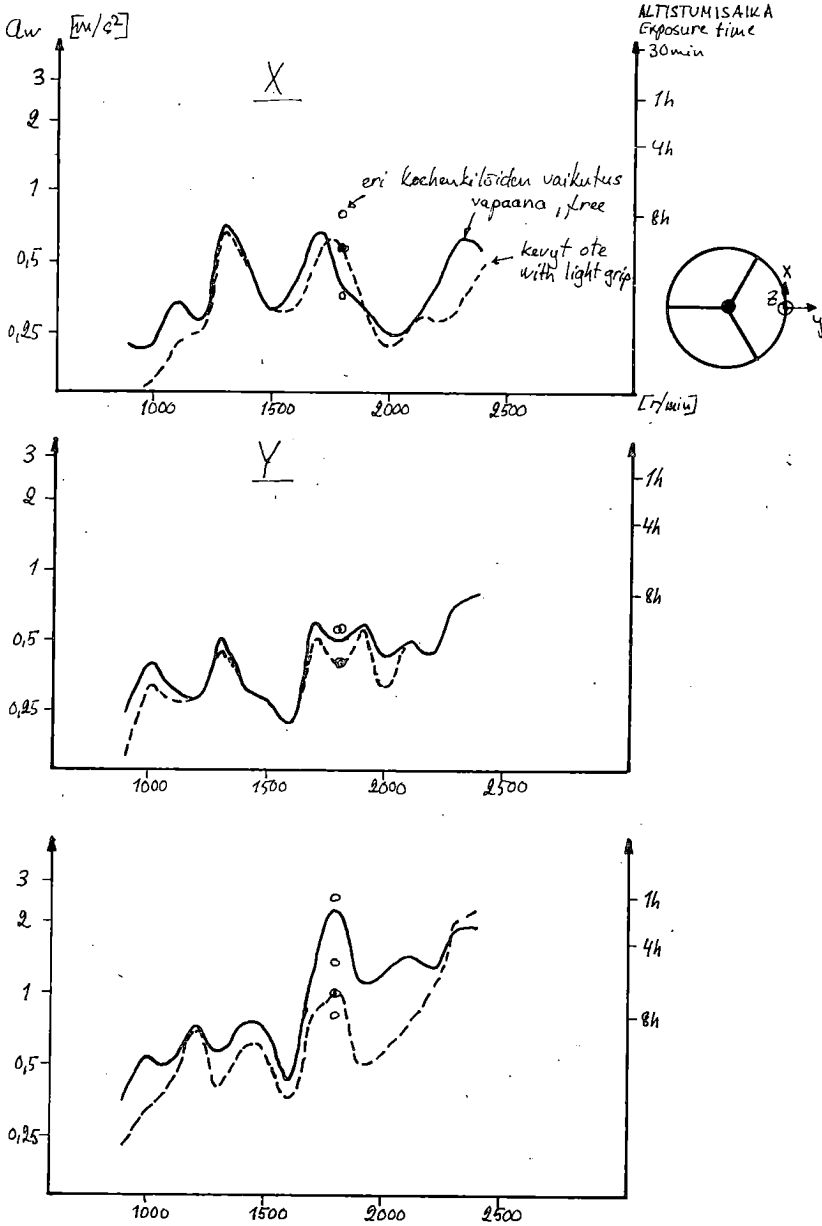
4.3. Tärinä

4.3.1. Ohjauspyörän tärinä

Traktorin ohjauspyörän tärinän suuruuteen vaikuttaa aivan oleellisesti ohjausote. Ohjauspyörä vapaana mitattaessa saadaan yleensä aivan liian suuria arvoja. Etenkin hydrostaattisella ohjauksella varustetuissa traktoreissa, joissa ohjauksen värähtelevä massa on melko pieni, vaimenee tärinä ohjauspyörään tartuttaessa usein lähes olemattomiin. 19.11.56

Ohjauspyörän tärinä mitattiin traktorin käydessä paikallaan kuormittamattomana. Mittaukset suoritettiin sekä ohjauspyörä vapaana että siitä käsin kiinni pitäen moottorin koko kierroslukualueella mittausvälin ollessa sata kierrosta minuutissa. Eri koehenkilöiden käsiotteen vaikutusta tutkittiin kierroslukualueella, jolla tärinä oli suurimmillaan.

Anturi kiinnitettiin ohjauspyörän kehälle ruuvikiristimellä ohjauspyörän vaakasuoran halkaisijan ja kehän leikkauspisteeseen. Ohjauspyörä oli asennossa, jossa anturi tuli ohjauspyörän puolien kiinnityskohdan puoliväliin. Mittaukset tehtiin ohjauspyörän kehän (x-suunta), säteen (y-suunta) ja akselin suunnassa (z-suunta).

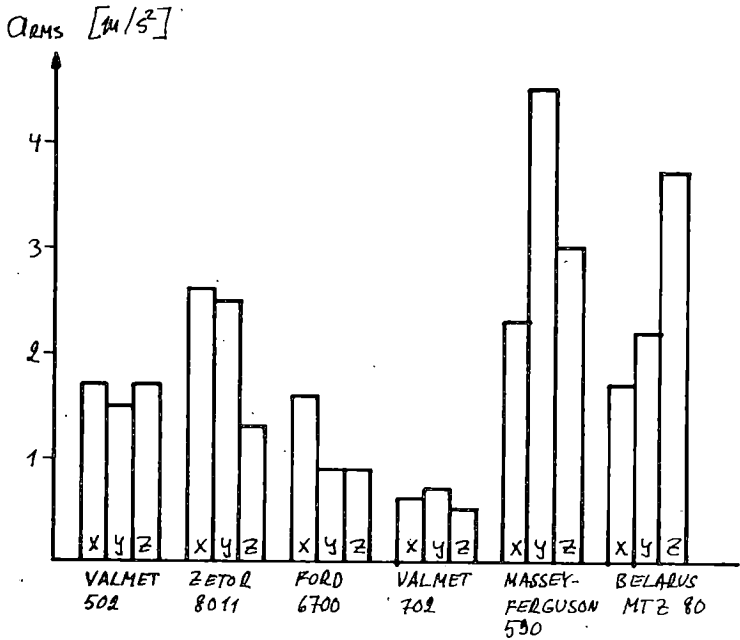


Kuva 18. Massey-Ferguson 590 ohjauspyörän painotettu värinä kierrosnopeuden mukaan.

Figure 18. Massey-Ferguson 590, weighted driving wheel vibration as a function of motor speed.

4.3.2. Jalkatason tärinä

Ohjaamon jalkatason tärinä mitattiin jalan alle sijoitetusta teräslevystä. Tällöin mitattiin lineaarisesti suurin esiintynyt tärinä traktorin käydessä paikallaan.



Kuva 19. Jalkatason suurin lineaarinen tärinä.

Figure 19. Maximum linear cab floor vibration.

5. YHDISTELMÄ

5.1. Heilunta

Ajoradan aiheuttamaan heiluntaan on ajonopeudella erittäin suuri vaikutus sekä rasisusradalla että pellolla ajettaessa.

Takarenkaiden ilmanpaineen vähentäminen 120:stä 80:een kPa:iin vähentää hieman heiluntaa kaikissa suunnissa. Paineen lisääminen 200:aan kPa:iin ei sen sijaan tunnu vaikuttavan. Ilmanpaineen vaikutus vaihtelee jonkin verran eri traktoreissa, mutta on yleensä suhteellisen pieni.

Takaraidelevyyden lisääminen vähentää tehokkaasti sivusuuntaista heiluntaa. Raidelevyyden lisäys 1600:sta 1930:een mm:iin vähensi sivusuuntaista heiluntaa VALKOLAn radalla 2,1:sta 1,4:aan m/s²:een.

Istuimelta mitattu heilunta on eteen-taakse- ja sivusuunnassa lähes poikkeuksetta hieman istuimen kiinnityskohdan heiluntaa suurempaa. Tämä johtuu mittauspisteen sijainnista ja istuimen joustavuudesta (tukevuuden puutteesta) myös vaakasuunnassa. Pystysuunnassa ei yksikään istuin pystynyt vähentämään kevyemmän kuljettajan (65 kg) heiluntaa, vaan useimmiten vahvisti sitä (0...1,5 dB). Raskaan kuljettajan (100 kg) ollessa kysymyksessä kaksi istuinta osoittautui erittäin huonoksi (vahvistus 3,5 ja 4,5 dB), mutta yksi pystyi vähentämään heiluntaa yhden dB:n verran.

Etuakseliston jousitus (Zetor 8011) vähentää soratiellä ajettaessa heiluntaa melko paljon (3...4 dB), mutta vaikeammassa maastossa vaikutus on mitätön

Teliakselisto osoittautui radalla ajettaessa normaali-rakenteeseen verrattuna erittäin hyväksi. Nopeudella 5 km/h oli sivusuuntainen heilunta 4,5...9 dB pienempää kuin mussa traktoreissa. Pystysuunnassa ero oli 4...5 dB. Myös eteen-taakse-suuntainen heilunta oli pienempää. Pellolla ajettaessa ei ero normaalitraktoriin ole yhtä suuri kuin radalla, mutta kuitenkin edelleen merkittävä. Maantiellä ajossa ei teliakselisto eroa normaalirakenteesta.

Kumiset levikepyörät vähentävät radalla ajettaessa sivusuuntaista heiluntaa tehokkaasti (4 dB). Kynnökellä sekä kumiset että rautaiset levikepyörät vähentävät sivusuuntaista heiluntaa n. 2 dB ajettaessa kynnökseen pituussuuntaan tai viistosti. Poikittain ajettaessa levikepyörät eivät juuri vaikuta sivusuuntaiseen heiluntaan. Pystysuuntaista heiluntaa levikepyörät vähentävät hieman ajettaessa pitkittäin tai viistosti. Poikittain ajettaessa ei vaikutusta huomaa. Rautaiset levikepyörät vähentävät pystyheiluntaa jonkin verran kumisia tehokkaammin.

Raskas perävaunu lisää radalla ajettaessa eteen-taakse- ja pystysuuntaista heiluntaa. Soratiellä perävaunu aiheuttaa erittäin voimakasta pituussuuntaista nykimistä ja lisää myös sivu- ja pystysuuntaista heiluntaa.

Kynnöspeltoa äestettäessä ei havaittu eroa pelkällä traktorilla ajoon verrattuna.

5.2. Heilunnan haitallisuus

Ajoradan aiheuttama heilunta muodostuu traktorilla ajettaessa kaikissa oloissa haitalliseksi. Pahin on tilanne kynnöspeltoa äestettäessä. Tällöin heilunta on käytännössä välillä $0,9 \dots 2,5 \text{ m/s}^2$, jolloin sallittu vuorokautinen käyttöaika ISO:n mukaan olisi välillä 60...5 min, kun arvosteluperusteena pidetään työtehon säilymistä. Kynnöspellolla ajettaessa on heilunta pahinta pysty- ja sivusuunnassa.

Soratiellä ajettaessa muodostuu pystysuuntainen heilunta pahimmaksi ja ylittää helposti $1,8 \text{ m/s}^2$ (sallittu käyttöaika noin 30 min). Kynnettäessä heilunta on melko pientä. Se jää useimmiten alle $0,8 \text{ m/s}^2$ (sallittu käyttöaika n. 2 tuntia).

Myös melko tasaisella asfaltilla traktorit pomppivat niin paljon, että sallittu vuorokautinen käyttöaika olisi vain noin neljä tuntia.

5.3. Tärinä

Ohjauspyörästä mitattuun tärinään on käsiotteella oleellinen vaikutus. Tulostäyristä käy ilmi käsiotteen hyvin epämääräinen vaikutus ohjauspyörän tärinään. Käsiotteen vaikutus ei tunnu noudattavan mitään johdonmukaista linjaa. Se ei riipu tärinän suuruudesta, suunnasta, moottorin kierrosluvusta (herätetaajuudesta) eikä ajajan painosta. Jopa ohjausotteen voimakkuuden vaikutus on epämääräinen. Suurin mitattu tärinän vaimeneminen käsiotteen vaikutuksesta oli 21 dB. Tämä merkitsee tärinän vaimenemista vähempään kuin kymmenesosaan. Toisaalta käsiote saattaa myös lisätä tärinää, joskin lisäys on yleensä pieni. Suurimmillaan tärinä voimistui käsiotteen vaikutuksesta kaksinkertaiseksi. Eri koehenkilöiden käsiotteen vaikutus vaihteli traktoreittain. Saman henkilön käsiote saattoi jossakin traktorissa lisätä tärinää, toisessa vähentää sitä. Toisen koehenkilön vaikutus saattoi olla täysin päinvastainen.

Jos traktorissa on joustavasti kumityynyin kiinnitetty ohjaamo, johon puolestaan on kiinnitetty ohjauspyörä ja -venttiili, saattaa ajajan painolla olla vaikutusta ohjaamon ja samalla myös ohjauspyörän tärinään. Tämä johtuu ohjaamon ominaistajuuden pienestä harvenemisestä ajajan painon vaikutuksesta.

Suurin tärinä esiintyi yleensä ohjauspyörän akselin suunnassa moottorin kierrosnopeuden ollessa suhteellisen suuri.

5.4. Tärinän haitallisuus

Traktoria käytettäessä moottorin kierrosnopeus on yleensä suurimman vääntömomentin ja kuormittamattoman huipukierrosluvun välillä (n. 1300...2600), joten tärinä, kun kierrosnopeus on pieni (joutokäynti), ei ole kovin merkityksellistä. Mikäli voimakas tärinä esiintyy vain hyvin kapealla kierrosalueella (n. 100 r/min), kuljettaja pyrkii välttämään tuon alueen käyttöä. Tämä vähentää huomattavasti tuollaisen resonanssihuipun vaarallisuutta.

Ohjauspyörien tärinän suuruudessa oli hyvin suuria eroja eri traktorimerkkien välillä. Yhdessä traktorissa tärinä alitti koko kierrosalueella ja joka suunnassa ISO:n rajan kahdeksan tunnin päivittäiselle käyttöajalle. Pahimmassa tapauksessa jo puolen tunnin päivittäinen käyttö olisi aivan liikaa.

KIRJALLISUUSLUETTELO

Aho, Kauko / Kättö, Juha: Traktorityö ja työterveys
Vakolan tiedote 17/71. Helsinki 1971.

Huang, B.K. / Suggs, C.W.: Vibration Studies of Tractor
Operators. Transactions of the ASAE. General Editon.
Volume 10 N:o 4. St. Joseph Michigan, USA 1967.

Husberg, Wiking: Om möjligheterna att minska vibrations-
belastningen på traktorförare. Forskningsrapport 3. Arbetar-
skyddsstyrelsen. ISBN 951-46-0888-7. Tammerfors 1974.

Kättö, Juha: Metsätraktorin rakenteen vaikutus ajajan ja
kuorman heiluntaan. Diplomityö. Helsingin teknillinen
korkeakoulu 1971.

Matthews, J.: Ride Comfort for Tractor Operators I.
Journal of Agricultural Engineering Research. Volume 9
N:o 1, Silsoe, Bedford, England 1964.

Matthews, J.: Ride Comfort for Tractor Operators III.
Journal of Agricultural Engineering Research. Volume 10
N:o 1. Silsoe, Bedford, England 1965.

Matthews, J.: Ride Comfort for Tractor Operators IV.
Journal of Agricultural Engineering Research. Volume 11
N:o 1. Silsoe, Bedford, England 1966.

Matthews, J./ Knight, A.A.: Ergonomics in Agricultural
Equipment Design. National Institute of Agricultural
Engineering. Silsoe, Bedford, England 1971.

Olsen, Hans, Jörgen: Vibrationsundersögelser på landbrugs-
maskiner. Jordbrugsteknisk Institut. Tåstrup, Tanska 1974.

Wendenborn, J.G.: The Irregularities of Farm Roads and
Fields as Sources of Farm Vehicle Vibration. Journal of
Terramechanics. Volume 3, N:o 3, 1966. Durham, North
Carolina, USA 1966.

Guide for the Evaluation of Human Exposure to Whole-body
Vibration. ISO 2631-1974(E).

Guide for the Measurement and the Evaluation of Human
Exposure to Vibration transmitted to the Hand. Third Draft
Proposal. ISO/TC 108/SC 4 (Secretariat - 20) 35, 1975.

Agricultural Tractors and Field Machinery. Measurement of
Whole-body Vibration of the Operator. Draft International
Standard ISO/DIS 5008.

Agricultural Wheeled Tractors - Operator Seat - Measurement
of transmitted Vibration and Seat Dimensions. Draft
International Standard ISO/DIS 5007.

