

# **FOLIA FORESTALIA 656**

METSÄNTUTKIMUSLAITOS · INSTITUTUM FORESTALE FENNIAE · HELSINKI 1986

---

---

PEKKA MÄKINEN

KOKOKEHON TÄRINÄ AJETTAESSA  
MAATALOUSTRAKTORILLA METSÄSSÄ

WHOLE-BODY VIBRATION IN FARM  
TRACTORS DRIVEN IN THE FOREST



METSÄNTUTKIMUSLAITOS  
*THE FINNISH FOREST RESEARCH INSTITUTE*

Osoite: Unioninkatu 40 A  
Address: SF-00170 Helsinki, Finland

Puhelin: (90) 661 401  
Phone:

Ylijohtaja: <i>Director:</i>	Professori <i>Professor</i>	Aarne Nyssönen
Julkaisujen jakelu: <i>Distribution of publications:</i>	Kirjastonhoitaja <i>Librarian</i>	Liisa Ikävalko-Ahvonen
Julkaisujen toimitus: <i>Editorial office:</i>	Toimittaja <i>Editor</i>	Tommi Salonen

Metsäntutkimuslaitos on maa- ja metsätalousministeriön alainen vuonna 1917 perustettu valtion tutkimuslaitos. Sen päätehtävänä on Suomen metsätaloutta sekä metsävarojen ja metsien tarkoituksenmukaista käyttöä edistävä tutkimus. Metsäntutkimustyötä tehdään lähes 800 hengen voimin yhdeksällä tutkimusosastolla ja kymmenellä tutkimus- ja koeasemalla. Tutkimus- ja koetöimintää varten laitoksella on hallinnassaan valtion-metsiä yhteensä n. 150 000 hehtaaria, jotka on jaettu 17 tutkimusalueeseen ja joihin sisältyy kaksi kansallis- ja viisi luonnonpuistoa. Kenttäkoikeita on käynnissä maan kaikissa osissa.

*The Finnish Forest Research Institute, established in 1917, is a state research institution subordinated to the Ministry of Agriculture and Forestry. Its main task is to carry out research work to support the development of forestry and the expedient use of forest resources and forests. The work is carried out by means of 800 persons in nine research departments and ten research stations. The institute administers state-owned forests of over 150 000 hectares for research purposes, including two national parks and five strict nature reserves. Field experiments are in progress in all parts of the country.*

# FOLIA FORESTALIA 656

Metsäntutkimuslaitos. Institutum Forestale Fenniae. Helsinki 1986

Pekka Mäkinen

## KOKOKEHON TÄRINÄ AJETTAESSA MAATALOUSTRAKTORILLA METSÄSSÄ

Whole-body vibration in farm tractors driven in the forest

*Approved on 11. 4. 1986*

### SISÄLLYS

1. JOHDANTO .....	3
2. TUTKIMUSAINEISTO JA -MENETELMÄ .....	4
21. Aineiston koko .....	4
22. Mittausten suoritus ja laitteisto .....	4
23. Tutkitut traktorit .....	4
24. Tulosten luotettavuus .....	6
3. TULOKSET .....	6
31. Ajonopeuden vaikutus heiluntaan .....	6
32. Maaston vaikutus heiluntaan .....	7
33. Traktorityyppien heilunta .....	7
331. Traktorin mittojen vaikutus staattisiin siirtymiin .....	7
332. Traktorityyppien erot maastokokeissa .....	9
333. Taajuusanalyysit .....	9
34. Istuin .....	11
35. Traktorin ominaisuuksien vaikutus .....	17
351. Raidelevyden vaikutus .....	17
352. Painojakauman vaikutus .....	18
353. Taka- ja nelivedon ero .....	19
354. Peräkärryn vaikutus .....	19
36. Lumen vaikutus .....	20
37. Kuljettajien väliset erot .....	20
38. Tulosten vertailu ISO:n normeihin .....	20
381. Heilunta eri suunnissa .....	20
382. Päivittäisen kuormituksen taso maatalous- ja metsätraktorilla .....	21
4. TULOSTEN TARKASTELUA .....	22
KIRJALLISUUS—REFERENCES .....	23
SUMMARY .....	24

MÄKINEN, P. 1986. Kokokehon värinä ajettaessa maataloustraktorilla metsässä. Summary: Whole-body vibration in farm tractors driven in the forest. *Folia For.* 656. 24 p.

Tutkimus kuuluu NSR-projektiin "Omatöimisen metsänomistajan työympäristö". Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää nykyisten maataloustraktoreiden heilunnan taso ja siihen eniten vaikuttavat tekijät. Tutkimuksessa verrattiin maatalous- ja metsätraktoreiden heiluntaa toisiinsa ja ISO:n standardiin 2631. Tulosten perusteella ei kuitenkaan tule verrata eri traktorimerkkejä toisiinsa, koska traktorit edustivat eri kokoluokkia ja erilaisia teknisiä ratkaisuja.

Selvimmän heilunnan tasoon vaikutti ajonopeus mutta myös maasto. Ajonopeuden kasvaessa tasolta 0,5 tasolle 1,0 m/s lyhenee ISO:n normin mukaan sallittava ajo-aika kahdeksasta kahteen ja puoleen tuntiin.

Traktortyyppien eroihin vaikutti eniten traktorin massa. Raskaimmat traktorit heiluivat vähiten. Nelivedon heiluntaa vähentävä vaikutus oli myös ilmeinen. Peräkärri lisäsi heiluntaa useimmissa tapauksissa.

Tutkimukseen sisältyi suppeahko istuintesti. Istuimet eivät vaimentaneet vaan yleensä lisäsivät heiluntaa tärkeillä taajuuksalueilla, joten ne eivät olleet tyydyttäviä. Kaikkien istuinten vikana olivat voimakkaat ja vaimentamattomat sivusuuntaiset heilahtelut.

Kahdella kuljettajalla suoritettu vertailu ei osoittanut eroa erilaisen ajokokemuksen omaavien kuljettajien välillä.

Tutkimuksessa laskettiin heiluntaräsituksen taso päivittäinen työaika ja ajonopeudet huomioiden. Vain neljällä traktorilla voidaan työskennellä neljä tuntia, mikäli noudatetaan ISO:n standardin alentuneen työtehon rajaa ja kriteerinä on sivusuuntaisen heilunta. Kaikilla tutkituilla traktoreilla voidaan työskennellä metsäajossa yli kahdeksan tuntia terveyden vaaran rajan ylittymättä sivusuuntaisessa heilunnassa. Summa-arvoilla tarkasteltaessa on raskailla traktoreilla kokonaisheilunta selvästi pienempää kuin kevyemmillä. Kahden ja puolen tunnin alentuneen työtehon rajan alittaa viisi traktoria. Terveyden vaaran rajaa noudatettaessa vain kahdella traktorilla voidaan työskennellä kahdeksan tuntia.

This study belongs to the NSR-project "The work environment of the self-employed forest owner". The aim was to research the present degree of swaying in farm tractors and the affecting factors. The swaying of farm tractors and forwarders were compared both with each other and with ISO 2631 standards. One cannot, however, compare various tractor makes on the basis of the results, because the tractors represented different size classes and different kinds of technical designs.

The clearest effect on the degree of swaying was speed, followed closely by terrain. With the increase of speed from 0,5 m/sec. to 1,0 m/sec., the acceptable driving time in accordance with ISO norms decreases from eight to two and a half hours.

The differences between tractor types were mostly affected by the tractor's weight. Heavier tractors swayed less. It was also apparent that 4-wheel drive affected the tractor's swaying. Trailers increased swaying in most cases.

The study included a limited testing of seats. Seats did not check swaying, in contrast they tended to increase swaying on important frequencies, for which reason they were unsatisfactory. The faults of all seats were strong and unchecked sideways swaying.

The comparison of two drivers did not point to any differences between drivers with differing driving experience.

The degree of swaying strain was calculated in the study, taking into consideration the daily work time and driving speeds. It was possible to work with only four tractors for four hours complying with the ISO standard for decreased productivity, with the criterion being sideways swaying. It was possible to work with all tractors in forest hauling for over eight hours without going over the exposure limit for sideways swaying. An examination of the sum values shows that the total swaying for heavy tractors is clearly less than for lighter tractors. Five tractors did pass the two and a half hour decreased productivity limit. In compliance with the exposure limit it was possible to work for eight hours with only two tractors.

ODC 304 + 307 + 377,44  
ISBN 951-40-0739-5  
ISSN 0015-5543

Helsinki 1986. Valtion painatuskeskus

# 1. JOHDANTO

Kokokehon värinää, josta tässä tutkimuksessa käytetään nimitystä heilunta, ei ole maataloustraktorilla metsäajossa paljon tutkittu. Aho (1970) vertasi maataloustraktoria ja laahusmetsätraktoria teoreettisten laskelmien avulla ja esteradalla ja totesi maataloustraktorin molemmissa tapauksissa heiluvan enemmän. Hahlmanin (1977) mukaan maataloustraktorilla pellolla ajossa ajonopeudella on erittäin suuri vaikutus ajajan heiluntaan. Istuimen heilunta oli suurempaa kuin rungon heilunta kuljettajan painon ollessa 65 kg. Raskaalla kuljettajalla (100 kg) vain yksi istuin seitsemästä pystyi vaimentamaan pystysuuntaista heiluntaa.

Traktorin heilunnan aiheuttaa pääasiassa ajoradan epätasaisuus. Heilunta on matalataajuisista ja taajuus vaihtelee välillä 0–20 Hz. Heilunnan tasoon vaikuttavat ajoradan epätasaisuuden lisäksi traktorin rakenne, ajonopeus (Hahlman 1977, Sireń ym. 1979, Aho ja Kättö 1971a), kuljettajan ominaisuudet, peräkärri (Hahlman 1977) ja kuormaus. Traktorin osalta vaikuttavat heiluntaan akselirakenne, istuin ja renkaat (Hahlman 1977).

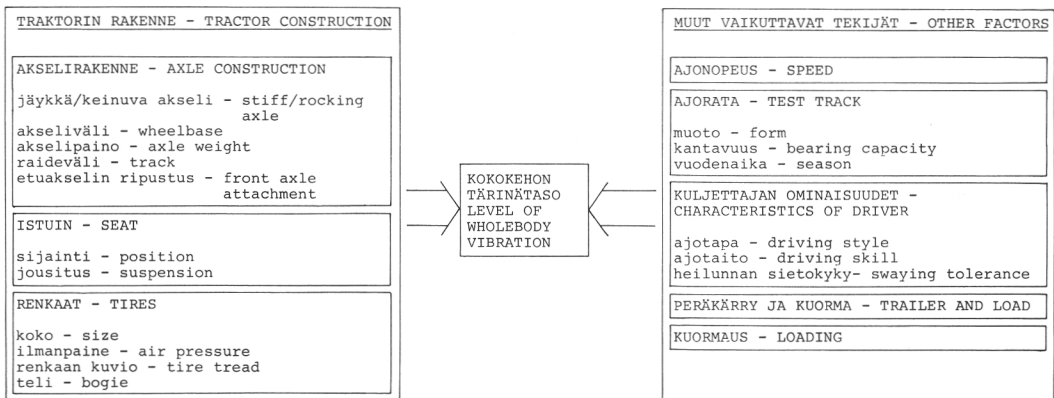
Tässä tutkimuksessa selvitettiin akselirakenteen ja traktorin eri mittojen vaikutusta heiluntaan teoreettisten laskelmien avulla. Maastokokeissa keskityttiin ajonopeuden, ajoradan ja istuimen vaikutusten tutkimiseen ja myös rakenteeltaan erilaisten tai eriko-

koisten traktorien vertailuun. Jonkin verran selvitettiin kuljettajan ominaisuuksien, peräkärriin ja kuorman vaikutusta. Tutkimuksessa verrattiin maatalous- ja metsätraktoreita ja näiden heilunta-arvoja ISO:n normeihin.

Kuvassa 1 on esitetty ne tekijät, joiden katsotaan vaikuttavan eniten heiluntaan ja jotka siten ovat myös tämän tutkimuksen hypoteeseja. Tulosten perusteella ei voida verrata traktorimerkkejä toisiinsa, sillä traktorityypit valittiin edustamaan eri kokoluokkia ja erilaisia teknisiä ratkaisuja.

Tutkimuksen toteuttamisen tekivät mahdolliseksi seuraavat henkilöt ja organisaatiot luovuttamalla traktorit tutkimuksen käyttöön: myyntipäällikkö Paavo Koppanen (Rauta-Savon Auto Oy, Ford), Tapio Miettinen (Agroma Oy, Belarus), Seppo Makkonen (Arepo Ky, Fiat), markkinointipäällikkö Heikki Asikainen (Hankkija, Valmet) Seppo Tikkanen (Konekauppa Pellervo Oy, Massey-Ferguson) ja toim.joht. Einari Vidgren (Ponsse Oy). Kiitokset heille ja myös DI Tor-Ola Lönnrothille (Oy Algol Ab, Grammer) ja myyntipäällikkö M. Leppäselälle (Oy Sandman-Nupnan Ab, Bostrom) istuinten luovuttamisesta testattaviksi.

Käsitteellisen tarkastuksen tekivät prof. Pentti Hakkila, prof. Rihko Haarlaa, MMT Pertti Harstela ja DI Kimmo Piirainen. Tekstinkäsittelystä huolehti käytönjärjestäjä Tuula Konttinen. Kuljettajina toimivat Mauno Airaksinen, Esa Mõlkänen, Esko Jalkanen sekä Leo ja Pasi Vottonen. Haluan esittää parhaimmat kiitokseni kaikille edellä mainituille ja erityisesti MMT Pertti Harstelalle työn ohjauksesta ja arvokkaista neuvoista.



Kuva 1. Heiluntatasoon vaikuttavat tekijät.  
 Fig. 1. Factors affecting swaying frequency.

## 2. TUTKIMUSAINEISTO JA -MENETELMÄ

### 21. Aineiston koko

Heiluntamittaukset suoritettiin pääasiassa 13.6.—5.11.1984 Suomenjoella Metsäntutkimuslaitoksen maille tehdyillä radoilla. Rata 1, joka oli 131 metriä pitkä ja maataloustraktorin maastoluokkaa II oli sijoitettu kuivalle kankaalle, jossa kiviä oli paljon ja radan kuluminen vähäistä. Rata 2 oli 91 metriä pitkä ja maataloustraktorin maastoluokassa III. Se oli kuivahkolla kankaalla ja pinnaltaan hieman pehmeämpi kuin rata 1. Haittaavaa kulumista ei tälläkään radalla tapahtunut.

Maataloustraktoreilla ajettiin kesällä ja metsätraktoreilla syksyllä, Ponsse S15:llä marraskuun alussa. Mittaukset talviolosuhteissa suoritettiin 15.—16.3.1985 ja metsätraktorin kuormausta ja kuorman purkamista mitattiin 23.5.1985.

Kaikilla traktoreilla ajettiin kolmella nopeudella, jotka määriteltiin normaaliksi, normaalia hitaammaksi ja normaalia nopeammaksi. Metsätraktoreilla molemmat radat kierrettiin yhdeksän kertaa ja maataloustraktoreilla 12—21 kertaa riippuen tutkittavista erityisominaisuuksista. Kaikilla maataloustraktoreilla ajettiin myös peräkärryn ja kuorman kanssa. Kuorman koko oli alle 3000 kg:n traktorilla 2 m<sup>3</sup>, 3000—4000 kg:n traktorilla 3 m<sup>3</sup> ja yli 4000 kg:n traktorilla 4 m<sup>3</sup>. Metsätraktorilla ajettiin ilman kuormaa. Peräkärryn vaikutuksen lisäksi tutkittiin myös raidevälin, painojakauman ja kuljettajan kokemuksen vaikutusta. Lisäksi tehtiin neljä erilaista istuinta käsitävä testi. Kaikista traktoreista (paitsi Fiat 160—90 ja Massey-Ferguson 265) mitattiin heilunnan kiihtyvyyttä yhtäaikaan rungosta ja istuimesta.

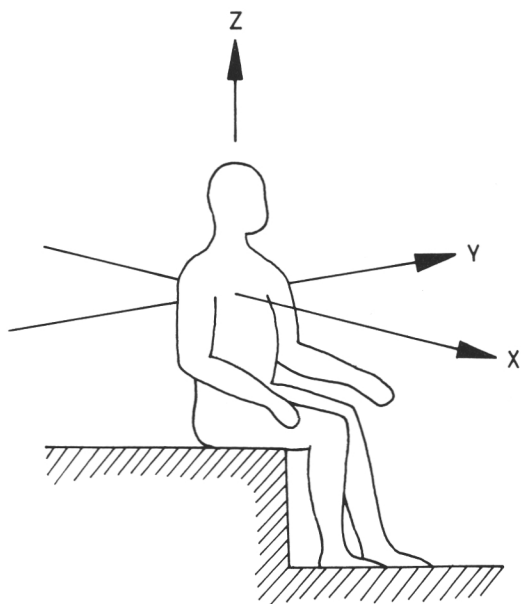
Mittaukset suoritettiin kuivalla säällä lukuun ottamatta Ponsse S15 -metsätraktoria, jota jouduttiin ajamaan heikossa sateessa. Maataloustraktoreissa oli aina sama kuljettaja, ÖSA 250 -metsätraktoria ajoi omistaja ja Ponsse S15:tä valmistajan kuljettaja.

### 22. Mittausten suoritus ja laitteisto

Mittaukset suoritettiin ISO:n standardin 2631 mukaan. Tässä tutkimuksessa heiluntaa mitattiin kolmessa suunnassa x, y ja z. Suunta x on eteen-taakse-suunta, ts. ajosuunta. Suunta y on sivusuunta, ja se muodostaa 90 asteen kulman suunnan x kanssa. Suunta z on pystysuunta (kuva 2).

Bruel & Kjaer 2512 -tärinäanalystusmittareita oli kaksi. Toisella mitattiin traktorin rungon ja toisella istuimen kiihtyvyyttä. Mittausarvoina saatiin tehollinen keskiarvo (RMS), huippuarvo ja aika kuuden sekunnin tarkkuudella. Samanaikaisesti mitattiin aika erikseen cmin-kellolla nopeuden selvittämiseksi. Tärinäanalystusmittarin tarkkuus on  $\pm 0,5$  dB.

Terssianalyysejä varten nauhoitettiin jokaisella traktorilla kolme ajokertaa (kolme suuntaa) Teac-61 -kasetti-instrumentointinauhurilla. Nauhoitettu aineisto purettiin Bruel & Kjaer 1621 säädettävällä suodattimella,



Kuva 2. Heilunnan mittaussuunnat.

*Fig. 2. The directions of measurement of swaying.*

jonka tarkkuus on riittävä ominaistajuuksien selvittämiseksi.

Istuimen kiihtyvyyden mittaamisessa käytettiin Bruel & Kjaer 4322 -kiihtyvyyssanturia. Fiat 160—90 ja Massey-Ferguson 265 -traktoreissa käytettiin kuitenkin kiihtyvyyssanturia Bruel & Kjaer 4371, jota käytettiin myös mitattaessa rungon kiihtyvyyttä.

### 23. Tutkitut traktorit

Tutkimuksessa oli mukana yhdeksän traktoria, joista kahdeksalla ajettiin maastossa. Valmet 500 oli vuosimalli 1970 ja se oli mukana teoreettisissa laskelmissa, koska haluttiin verrata vanhaa ja uutta traktoria.

Painoluokat jaettiin kolmeen ryhmään: alle 3000 kg, 3000—4000 kg ja yli 4000 kg. Jokaisesta painoluokasta pyrittiin saamaan sekä neli- että takavetoinen edustaja. Yli 4000 kg:n painoluokasta ei saatu kuitenkaan takavetoista traktoria.

Valinta suoritettiin uusien markkinoilla olevien traktoreiden joukosta siten, että myydyimmät merkit tulivat edustetuiksi. Nelivetoisia maataloustraktoreita olivat Belarus, Valmet 604—4, Fiat ja Valmet 802. Metsätraktoreiksi valittiin keskiraskaat Ösa 250 ja Ponsse S15. Traktorit on esitelty taulukossa 1.

Taulukko 1. Tutkittujen traktoreiden ominaisuuksia.

Table 1. Characteristics of tractors tested.

Traktori Tractor	Massa Weight kg	Massa etu-akse- Hilla - Weight on front axle, kg	Massa taka-akse- Hilla - Weight on rear axle, kg	Etuakselin keski- tappin korkeus - Height of axle's center journal, cm	Akseliväli Wheelbase, cm	Istumen etäisyys laka-akselista - The distance of the seat from the rear axle, cm	Istumen etäisyys maasta - The distance of the seat from the ground, cm	Raidetavali edessä Front track, cm	Raidetavali takana Rear track, cm	Teho Power kW	Renkaat Tires			Rengaspaineet Tire pressure kPa		Istuin Seat
											Edessä Front	Takana Rear	Edessä Front	Takana Rear	Edessä Front	
Valmet 500	2030	770	1260	60	193	10	118	155	165	39.5	7.50-16 PR 8	14.9-28 PR 6	—	—	—	—
Ford 6610	3406	1174	2232	65	222	1	153	149	163	60	10.00-16 PR 8	16.9-34 PR	800	220	Grammer DS 44/2	
Belarus Progress 825	3790	1350	2440	78	245	15	160	160	157	62.5	11.2-20 PR 8	15.5-38 PR 8	210	180	Grammer DS 85 4/3	
Valmet 604-4	2890	1180	1710	54	218	15	139	162	151	45	11.2-24 PR 10	16.9-30 PR 10	180	160	Grammer DS 85/H3	
Fiat 160-90 Turbo	6730	2430	4300	62	291	31	177	189	169	118	14.9-28 PR 8	18.4-38 PR 10	200	200	Grammer DS 85 4/ 90AR	
Massey-Ferguson 265	2730	1115	1615	70	225	20	139	161	153	44	10.00-16 PR 8	16.9 14-30 PR 6	180	140	Grammer DS 85 H90A	
Valmet 802 Turbo	3960	1580	2380	61	245	5	151	165	164	60	11.3.6-28 PR 10	114.9-38	250	180	Grammer DS 85 H3	
Ösa 250	10900	6100	4800	54	380 (454)	25	202	194	194	83	2600-34 PR 14	2600-26.5 PR 16	200	350	Bostrom Viking 303	
Ponsse S 15	10000	5200	4800	58	365	29	207	191	192	70	600/65- 34 PR 14	600/55- 265 PR 16	250	300	Bostrom Viking 303	

1/ Kaksi vuotta käytössä (jonkin verran kuluneet) 600 h

2/ Hieman kuluneet (2732 h)

3/ Etäisyys etuakselista

1/ In use for two years (somewhat worn)

2/ Slightly worn (2732 h)

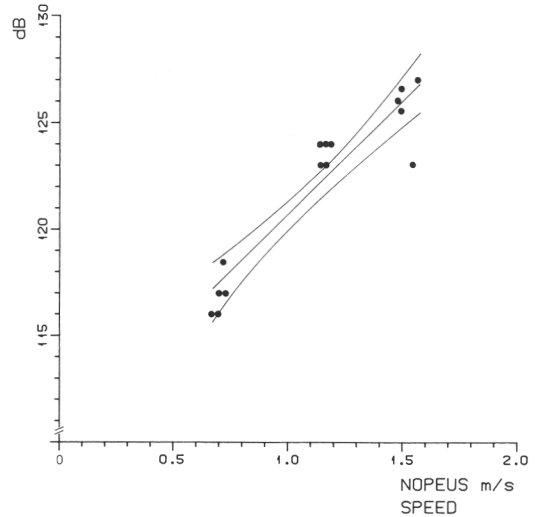
3/ Distance from front axle

## 24. Tulosten luotettavuus

Tutkimusaineisto jäi pakostakin hieman suppeaksi, koska ratojen kulumisen vuoksi ei toistoja voitu paljon tehdä. Istuintestin yhteydessä saatiin kuitenkin Valmet 802 -traktorilla neljä toistoa kolmessa eri nopeuspisteessä kaikissa heiluntasuunnissa. Heilunnan regressioarvojen 5 %:n luotettavuusvyö laskettiin sivusuuntaiselle heilunnalle, joka on terveyden kannalta vaarallisinta. Luotettavuusväli oli pienimmillään 1,6 dB ja suurimmillaan 2,68 dB. Luotettavuusvyö on nähtävissä kuvassa 3.

Kuva 3. Heilunnan regressioarvojen 5 %:n luotettavuusvyö.

Fig. 3. 5 % confidence belt for the regression line of swaying.



## 3. TULOKSET

### 31. Ajonopeuden vaikutus heiluntaan

Istuimen heilunnan taso kasvoi ajonopeuden lisääntyessä. Radalla 1 kaikkien maataloustraktoreiden yhteinen regressioyhtälö saa muodon:

$LW \text{ (dB)} = 13,72 \times \text{NOPEUS (m/s)} + 112,0$ , missä  $R^2 = 0,945$  ja keskiarvo ( $KV = \text{RMS}$ ) = 1,189  
 $LW$  = heilunnan eri suuntien summa-arvo

Maastokokeissa kuljettaja valitsi nopeuden hitaaksi, normaaliksi tai nopeaksi. Useimmilla traktoreilla eri nopeudet vastasivat ajoa kolmella pienimmällä vaihteella. Regressioanalyysiä varten nämä kolme eri nopeuspistettä laskettiin siten, että cmin tarkkuudella mitatuista kolmen eri suunnan arvoista laskettiin keskiarvo. Näitä nopeuden keskiarvoja käytettiin laskettaessa heilunnan summa-arvoja ja eri suuntien arvoja.

Mittaukset pyrittiin suorittamaan ISO:n standardin 2631 mukaan. Käytetty mittari painottaa eri taajuuksien kiihtyvyydet standardin mukaisesti ja tuloksena saadaan yksi luku, joka noudattaa logaritmistä asteikkoa. Saatua lukua verrataan sallittuihin arvoihin 4–8 Hz:n taajuudella suunnassa Z. Tämä luku on muunnettavissa kiihtyvyydeksi ( $\text{m/s}^2$ ) seuraavan kaavan mukaan:

$a = 10^{L/20} \cdot 10^{-6} \text{ms}^{-2}$ , (L) = dB  
a = heilunnan kiihtyvyys

Tässä tutkimuksessa on käytetty dB-arvoja, koska mittaustulokset saatiin dB-arvoina. Myös esim. Hahlman (1977) on käyttänyt dB-arvoja.

Nopeuden kasvaessa esimerkiksi tasolta 0,5 m/s tasolle 1,0 m/s lisääntyy istuimen heilunta 6,9 dB. Tämä merkitsee ISO:n standardia noudatettaessa sitä, että terveyden vaararajan mukaan suurin sallittu ajoaika päivässä lyhenee kahdeksasta kahteen ja puoleen tuntiin.

Eri suuntaisille heilunnoille saadaan seuraavat regressioyhtälöt:

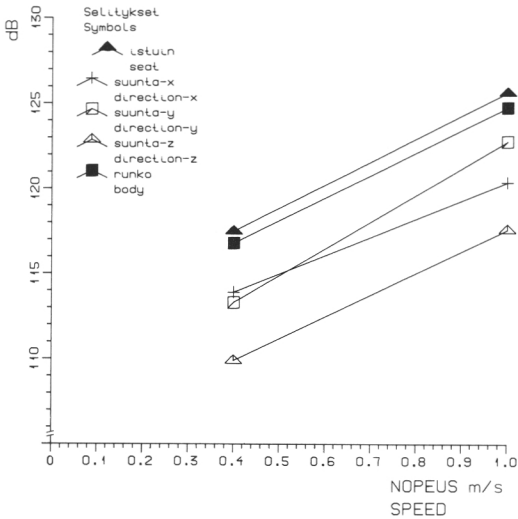
$LWX \text{ (dB)} = 10,95 \times \text{NOPEUS (m/s)} + 109,5$   
 $R^2 = 0,829$ ,  $KV = 1,781$

$LWY \text{ (dB)} = 15,77 \times \text{NOPEUS (m/s)} + 107,1$   
 $R^2 = 0,916$ ,  $KV = 1,717$

$LWZ \text{ (dB)} = 12,80 \times \text{NOPEUS (m/s)} + 104,8$   
 $R^2 = 0,925$ ,  $KV = 1,312$

Kuvassa 4 on esitetty regressioyhtälöt suorien muodossa. Yksittäisistä suunnista sivusuunta on muita ylempänä. Eri suuntien summakäyrä (LW) asettuu yksittäisten suuntien yläpuolelle. Sama havainto voitiin tehdä, kun tarkasteltiin yksittäisiä traktoreita.





Kuva 4. Maataloustraktorin istuimen ja rungon heilunta radalla 1 ja istuimen heilunnan jakaantuminen eri suuntiin.

Fig. 4. Swaying of the farm tractor seat and chassis on field test track 1 and the dispersion of the swaying of the seat into different directions.

Maataloustraktorin rungon summakäyrä (LW rata 1) saa seuraavan arvon:

$$LW (dB) = 13,34 \times NOPEUS (m/s) + 111,5$$

$$R^2 = 0,949, KV = 1,155$$

(Fiat ja Massey-Ferguson ei mukana).

Rungon regressiosuora kulkee samansuuntaisesti kuin istuimen suora mutta noin yhden desibelin alempana. Tarkasteltaessa heiluntaa eri suuntien summana havaitaan, että istuin ei vaimenna vaan lisää kuljettajan heiluntaa. Sama havainto voitiin tehdä tarkastelemalla yksittäisiä traktoreita.

### 32. Maaston vaikutus heiluntaan

Maaston vaikutusta selvitetiin kahdessa erityyppisessä maastossa. Rata 1 oli maataloustraktoriluokkaa II ja rata 2 luokkaa III. Istuimen heilunnan regressioyhtälöt maataloustraktoreilla ovat seuraavat:

$$\text{Rata 1 LW (dB)} = 13,72 \times NOPEUS (m/s) + 112,0$$

$$R^2 = 0,945, KV = 1,189$$

$$\text{Rata 2 LW (dB)} = 14,13 \times NOPEUS (m/s) + 112,8$$

$$R^2 = 0,856, KV = 1,908$$

Maastoluokka aiheuttaa heilunnassa noin yhden dB:n eron. Nopeuden kasvaessa ero

hieman kasvaa. Kuvassa 5 on molempien ratojen summakäyrien lisäksi piirretty eri suuntien regressiosuorat molemmilla radoilla. Maastoluokan vaikutus näyttää näkyvän suuntakohtaisesti selvemmin kuin summakäyrillä.

### 33. Traktorityyppien heilunta

#### 331. Traktorin mittojen vaikutus staattisiin siirtymiin

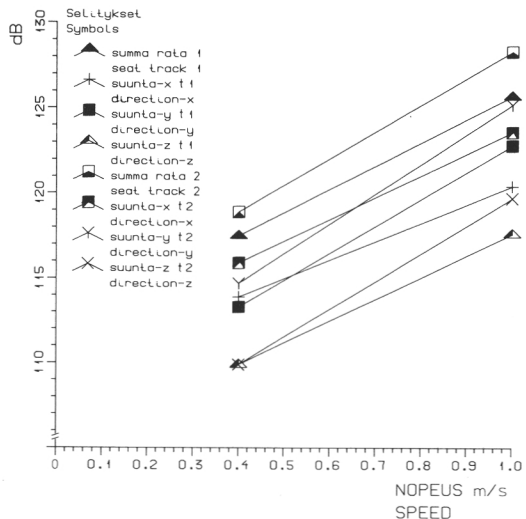
Traktorin mittojen vaikutusta selvitetiin istuimen referenssipisteen pysty- ja sivusuirtymän avulla.

Muuttujina laskelmissa olivat: akseliväli (ak), raidevälit (Re, Rt), etuakselin keskitaipin korkeus (e) sekä istuimen etäisyys maasta (m) ja taka-akselista (s) (kuva 6). Esteen ollessa etupyörän alla on pystysuora liike

$$X_e = \frac{s}{ak} \left( \sqrt{\left(\frac{Re}{2}\right)^2 + e^2} \cdot \sin(A + B) - e \right)$$

ja sivusuuntainen liike

$$Y_e = \frac{s}{a} \left( \frac{Re}{2} - \sqrt{\left(\frac{Re}{2}\right)^2 + c^2} \cdot \cos(A + B) \right).$$



Kuva 5. Maataloustraktorin heilunta radoilla 1 ja 2 eri suunnissa ja suuntien summana (rata 1 = t1, rata 2 = t2).

Fig. 5. The swaying of the farm tractor on test tracks 1 and 2 in different directions and the sum of the directions (track 1 = t1, track 2 = t2).

Esteen ollessa takapyörän alla on pystysuora liike

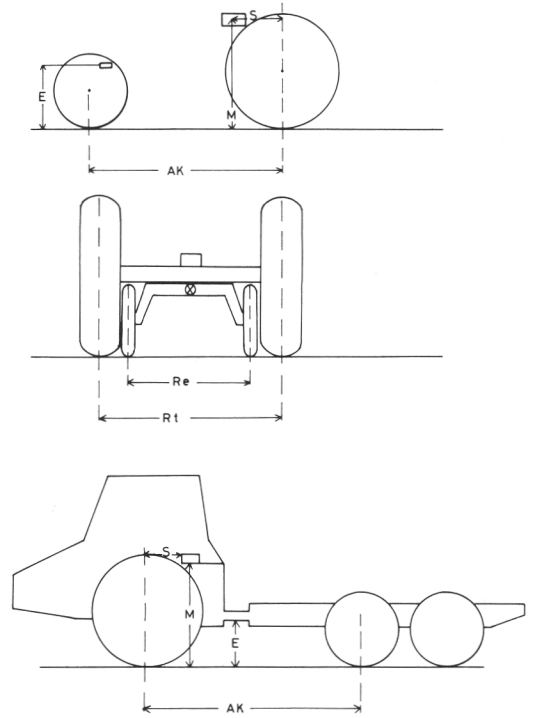
$$X_t = \frac{ak - s}{ak} \left( \sqrt{\left(\frac{Rt}{2}\right)^2 + m^2} \cdot \sin(A + B) - m \right)$$

ja sivusuuntainen liike

$$Y_t = \frac{ak - s}{ak} \left( \frac{Rt}{2} - \sqrt{\left(\frac{Rt}{2}\right)^2 + m^2} \cdot \cos(A + B) \right)$$

Taulukosta 2 näkyy heilahdusten suuruus suhteessa esteen korkeuteen, joka oli 40 cm. Maataloustraktorilla istuimen heilahdus on hyvin pieni esteen ollessa etupyörän alla ja suuri esteen ollessa takapyörän alla. Metsätraktoreilla on tilanne päinvastoin. Vertailun vuoksi on siirtymät summattu. Laskelmissa oli mukana Valmet 500 vuosimallia 1970, joka sai pienimmän arvon 117,4. Uusista traktoreista pienimmän arvon 131,5 sai Massey-Ferguson 265 ja suurimman 146,2 Ponsse S15. Kaikkien maataloustraktoreiden arvot olivat pienempiä kuin metsätraktoreiden.

Istuinta lähellä olevan renkaan koko vaikuttaa pystysiirtymän ja sivusiirtymän nopeuteen. Mitä suurempi rengas on, sitä hitaammin siirtyminen tapahtuu. Fiat 160-90:ssa oli suurin rengas, jonka läpimitta on 1750 mm. Merkitään tätä kokoa suhteellisella arvolla 100. Muiden traktoreiden suhteellinen arvo saadaan laskemalla montako prosenttia niiden renkaiden läpimitta on suurimman renkaan läpimitasta. Korjauskerroin saadaan jakamalla 100 suhteellisella arvolla.



Kuva 6. Staattisia siirtymiä laskettaessa käytetyt mitat.  
Fig. 6. Measurements used in calculating static movements.

Taulukko 2. Istuimen siirtyminen estekorkeuden ollessa 40 cm, % esteen korkeudesta.

Table 2. The movement of the seat with the height of the obstacle being 40 cm, given in percentage of the height of the obstacle.

Traktori Tractor	Este etupyörän alla Obstacle under front wheel		Este takapyörän alla Obstacle under rear wheel		Yhteensä Total
	Pystysiir. Vertical movement	Sivusiir. Horizontal movement	Pystysiir. Vertical movement	Sivusiir. Horizontal movement	
% esteen korkeudesta % of the height of the obstacle					
Valmet 500	2,3	2,3	39,1	73,6	117,4
Valmet 802	0,9	0,9	37,8	96,2	135,9
Valmet 604-4	3,1	2,7	35,0	92,0	132,9
Ford 6610	0,2	0,2	38,1	99,6	138,2
Belarus 825	2,7	3,4	34,5	101,7	142,3
Fiat 160-90	4,9	4,1	33,4	98,9	141,4
Massey Ferguson 265	3,9	4,4	34,5	88,8	131,8
Ösa 250	36,5	102,1	3,0	3,2	144,0
Ponsse S15	35,5	104,1	3,7	2,8	146,2

Taulukko 3. Rengaskoolla korjattu siirtymien summa-arvo.  
Table 3. Sum value of movements corresponding to tire size.

Traktori <i>Tractor</i>	Renkaan läpimitta, mm <i>Tire diameter, mm</i>	Läpimitan suhdeluku <i>Diameter ratio</i>	Korjauskerroin <i>Correction coefficient</i>	Korjattu summa-arvo <i>Corrected sum value</i>
Valmet 500	1365	78	1,28	150,3
Ford 6610	1585	91	1,10	152,0
Belarus 825	1570	90	1,11	157,9
Valmet 604-4	1485	85	1,18	156,8
Fiat 160-90	1750	100	1,00	141,4
Massey-F. 265	1485	85	1,18	155,5
Valmet 802	1615	92	1,09	148,1
Ösa 250	1645	94	1,06	152,6
Ponsse S15	1645	94	1,06	155,0

Korjattu summa-arvo saadaan kertomalla siirtymien summa korjauskertoimella. Taulukossa 3 on laskettu siirtymien summille rengaskoon mukaan korjattu arvo.

Pienimmän arvon sai Fiat 160-90 ja suurimman 157,9 Belarus 825. Tässä tarkastelussa ei maatalous- ja metsätraktoreiden välillä ollut selvää eroa.

Siirtymän suuruuteen vaikuttavien mittojen selville saamiseksi otettiin Valmet 604-4 lähempään tarkasteluun. Kuutta eri muuttujaa pienennettiin ja suurennettiin 10 cm ja tutkittiin sen vaikutus siirtymään. Taulukosta 4 havaitaan, että istuimen sijainnilla ja takaraidevälillä on suurin vaikutus siirtymään. Seuraavaksi muutettiin kolmea eniten vaikuttavaa muuttujaa yhtä aikaa siirtymien summaa pienentävään suuntaan. Havaitaan, että siirtymien summa pienenee yli 10 %, kun istuinta lasketaan 10 cm ja siirretään 10 cm eteenpäin sekä raideväliä takana kasvatetaan 10 cm.

Näiden kolmen muuttujan suhteen pyrittiin löytämään siirtymien summalle minimiarvo seuraavissa rajoissa:

istuimen etäisyys taka-akselista: 1—201 cm  
istuimen etäisyys maasta: 100—140 cm  
raideväli takana: 150—200 cm

Akseliväli oli 218 cm, raideväli edessä 162 cm ja etuakselin keskitapin korkeus 54 cm.

Siirtymien summan arvoksi saatiin 86,6 %. Minimiarvo saatiin kun istuin sijoitettiin matalimpaan kohtaan lähes etuakselin päälle ja takaraideväli oli suurimmillaan.

Jos istuimen etäisyys taka-akselista ja raideväli takana ovat samoja kuin edellä, niin istuimen etäisyyden ollessa maasta 67 cm, siirtyy istuin taka-akselille ja siirtymien sum-

ma on tällöin 85,2 %. Maastokokeiden ja näiden laskelmien tulosten vertailuun palataan kappaleessa 4.

### 332. Traktoriyoppien erot maastokokeissa

Kuljettajan heiluntaa kuvaavan istuimen heilunnan kolmen suunnan suhteen traktorijoukko jakaantuu kahtia. Radalla 1 heiluivat vähiten Fiat 160-90 ja Ösa 250 ja lähes yhtä vähän Ponsse S15 (kuva 7). Radalla 2 vähiten heiluivat Ösa, Fiat ja Ponsse (kuva 8). Vähiten heiluneet traktorit olivat myös tutkimuksen raskaimmat.

Eteen-taakse-suunnassa tai ajosuunnassa heilui Ponsse S15 nopeudessa alle 0,8—0,9 m/s muita selvästi vähemmän (kuva 9). Joukosta erottuivat myös Fiat 160-90 ja Ösa 250 muita vähemmän heiluvina.

Sivusuuntaisen heilunnan suhteen erottui kaksi ryhmää toisistaan (kuva 10). Vähemmän heiluvaan ryhmään kuuluvat Belarus 825, Ösa 250 ja Fiat 160-90.

Pystysuuntaiseen heiluntaan vaikuttaa istuin ratkaisevasti. Valmet 604-4 heilui selvästi vähiten kaikissa nopeuksissa ja Ponsse S15 vähemmän kuin useimmat muut alle 0,6 m/s nopeudessa (kuva 11). Nopeuden noustessa yli 0,7 m/s heiluu Ponsse S15 muita enemmän.

### 333. Taajuusanalyysit

Taajuusanalyysit tehtiin kuudesta traktorista mittaamalla heilunta rungosta ja istuimesta samanaikaisesti. Rungon taajuusanalyysit eteen-taakse-suunnassa näkyvät kuvassa 12. Kaikilla kuudella traktorilla rungon

Taulukko 4. Valmet 604-4-traktorin mittojen muutosten vaikutus siirtymän suuruuteen, % esteen korkeudesta (40 cm).

Table 4. The effect of dimensional changes on the magnitude of movement for the Valmet 604-4 farm tractor, as a percentage of the obstacle height (40 cm).

Tarkasteltava dimensio Factor to be studied	Muutoksen suunta, cm The direction of change, cm						Este etupyörän alla The obstacle under the front wheel		Este takapyörän alla The obstacle under the rear wheel		Istuimen siirtymien summa The sum of the seat's movement
	E	AK	S	M	Re	Rt	Pystysiirt. Vert. movem.	Sivusiirt. Horiz. mov.	Pystys. Vert. mov.	Sivus. Horiz. m.	
Normaalit mitat Normal measurements	54	218	15	139	162	151	3,1	2,7	35,0	92,0	132,9
Etuakseli alempana Front axle lower	-10						3,2	2,3	35,0	92,0	132,5
Etuakseli ylempänä Front axle higher	+10						3,1	3,1	35,0	92,0	133,2
Akseliväli lyhyempi Wheelbase shorter		-10					3,3	2,8	34,9	91,7	132,7
Akseliväli pitempi Wheelbase longer		+10					3,0	2,6	35,1	92,3	133,0
Istuin lähempänä taka-aks. Seat closer to the rear axle			-10				1,0	0,9	36,7	96,5	135,2
Istuin kauempana taka-aks. Seat farther from rear axle			+10				5,2	4,5	33,3	87,5	130,5
Istuin alempana Seat lower				-10			3,1	2,7	35,8	85,8	127,5
Istuin korkeammalla Seat higher				+10			3,1	2,7	34,2	98,2	138,2
Eturaideväli kapeampi Front track narrower					-10		3,1	2,9	35,0	92,0	133,0
Eturaideväli leveämpi Front track wider					+10		3,2	2,6	35,0	92,0	132,7
Takaraideväli kapeampi Rear track narrower						-10	3,1	2,7	33,3	98,5	137,7
Takaraideväli leveämpi Rear track wider						+10	3,1	2,7	36,4	96,3	128,6
Istuin alempana ja keskem- mällä, takaraidev. leveämpi Seat lower and more centered, rear track wider			+10	-10		+10	5,2	4,5	35,3	76,5	121,6

E = etuakselin keskitapin korkeus — height of the axle's center journal

AK = akseliväli — wheelbase

S = istuimen etäisyys taka-akselista — the distance of the seat from the rear axle

M = istuimen etäisyys maasta — the distance of the seat from the ground

Re = eturaideväli — front track

Rt = takaraideväli — rear track

ominaistaajuusalue löytyy yhden ja kahden hertsin väliltä, mikä on myös ihmisen kannalta haitallisinta aluetta (ISO-standard). Kuvassa 13 on erotuskäyrät (eteen-taakse-suunta), jotka on saatu vähentämällä istuimen heilunta-arvosta rungoston arvo eri taajuuksilla. Koska kaikki käyrät ovat pääasiassa nollan yläpuolella, istuin ei ole vaimentanut rungosta tulevia heilahduksia. Eniten istuin on lisännyt heiluntaa 2—6,3 hertsin alueella.

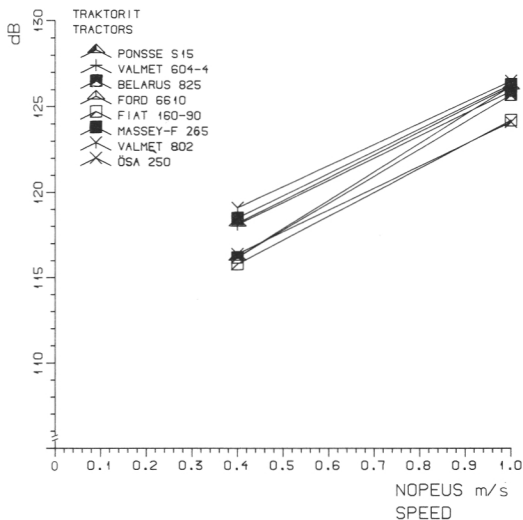
Sivusuunnassa ominaistaajuusalue on 1—1,6 hertsin välillä (kuva 14). Myös sivusuunnassa istuimet heiluvat pääasiassa enemmän

kuin rungot. Vain Fordin ja Belaruksen istuimet pystyvät vaimentamaan heiluntaa alle 2 Hz:n taajuuksilla (kuva 15).

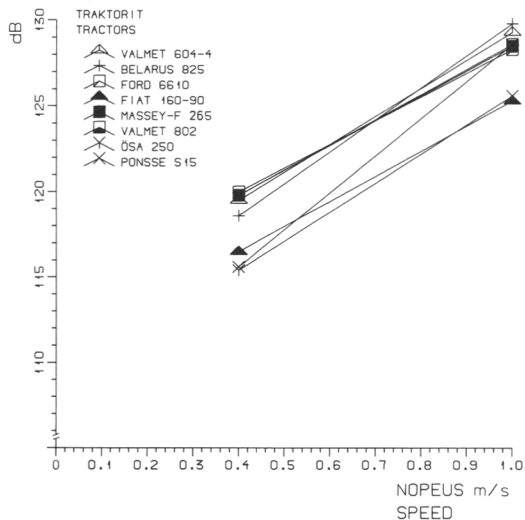
Taajuusalueella 2—8 Hz näyttää metsätraktori heiluvan erittäin voimakkaasti lähinnä istuimen heiluntaa lisäävän vaikutuksen vuoksi.

Rungon ominaistaajuudet pystysuunnassa olivat alueella 2,5—3,15 Hz (kuva 16). Se ei satu ISO standardin mukaiselle ihmisen kannalta vaarallisimmalle alueelle.

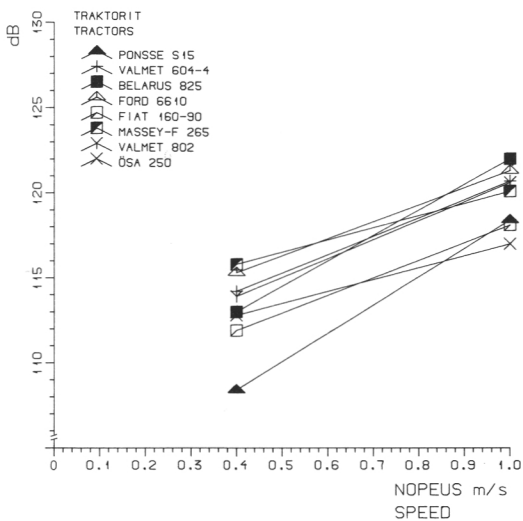
Istuimen jousituksen vaimennuskyky näkyy kuvasta 17. Yksikään istuin ei pysty vaimentamaan heiluntaa koko taajuusalueella.



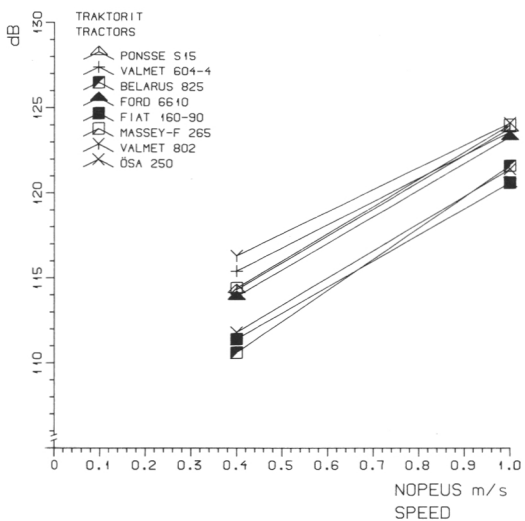
Kuva 7. Traktorien istuimien heilunnan summakäyrät radalla 1.  
Fig. 7. The sum curves of the swaying of the tractors' seats on track 1.



Kuva 8. Traktorien istuimien heilunnan summakäyrät radalla 2.  
Fig. 8. The sum curves of the swaying of the tractors' seats on track 2.



Kuva 9. Traktorien istuimien heilunta eteen-taakse -suunnassa (x) radalla 1.  
Fig. 9. The swaying of the tractors' seats in x direction on track 1.

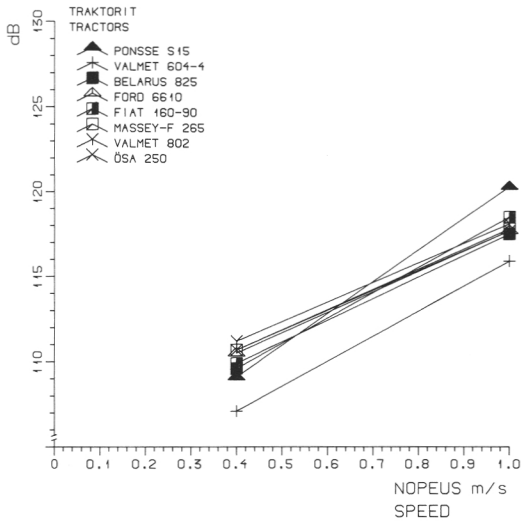


Kuva 10. Traktorien istuimien heilunta sivusuunnassa (y) radalla 1.  
Fig. 10. The swaying of the tractors' seats in y direction on track 1.

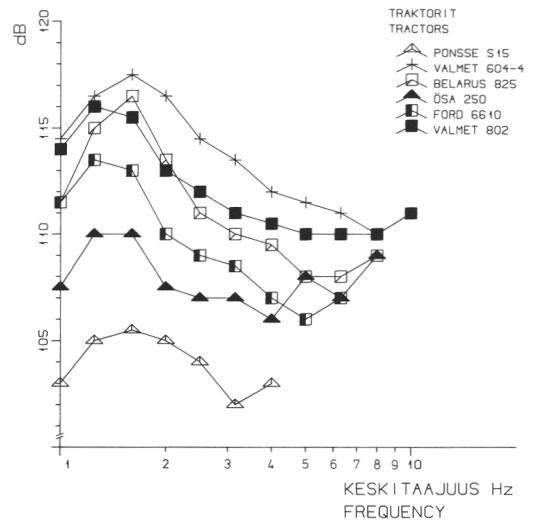
Parhaiten toimi Valmet 604-4 -traktorin istuin, joka vaimensi heiluntaa ihmisen kannalta haitallisimmalla 4–8 Hz:n ja myös traktorin ominaistaajuusalueella. Useimmat istuimet vaimentavat heiluntaa vain 2,5–5 Hz:n alueella.

### 34. Istuin

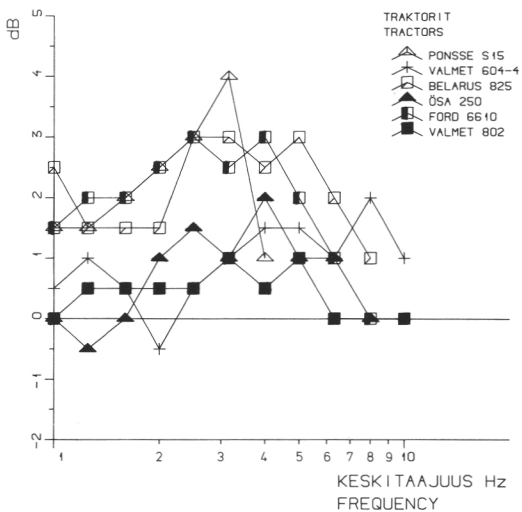
Tämän tutkimuksen yhteydessä suoritettiin suppeahko istuinkoe, jossa pyrittiin selvittämään yleisimpien markkinoilla olevien istuinten eroja. Istuimia oli neljä, jotka tes-



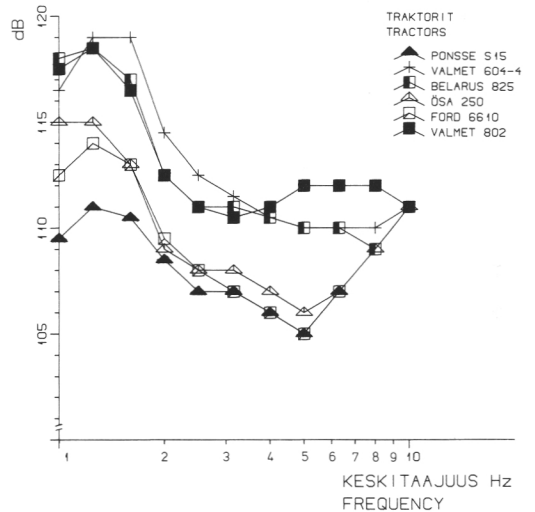
Kuva 11. Traktorien istuimien heilunta pystysuunnassa (z) radalla 1.  
Fig. 11. The swaying of the tractors' seats in z direction on track 1.



Kuva 12. Traktorien runkojen heilunnan taajuuskäyrät eteen-taakse-suunnassa (x).  
Fig. 12. Frequency curves in x direction of the swaying of the tractors' chassis.



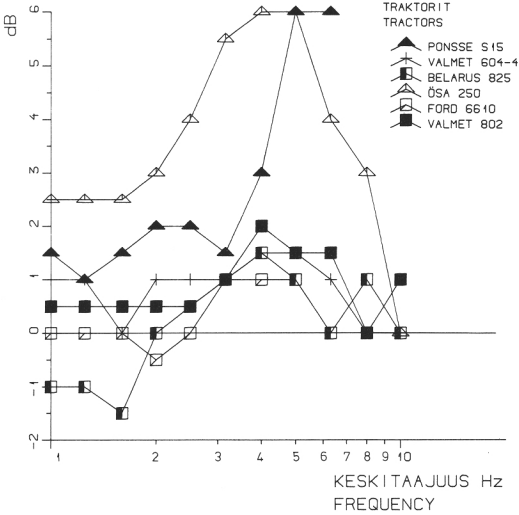
Kuva 13. Traktorien heilunnan erotuskäyrät (erotuskäyrä = istuimen heilunta — rungon heilunta) eteen-taakse-suunnassa (x).  
Fig. 13. The differential curves of the tractors' swaying (differential curve = the swaying of the seat — the swaying of the chassis) in x direction.



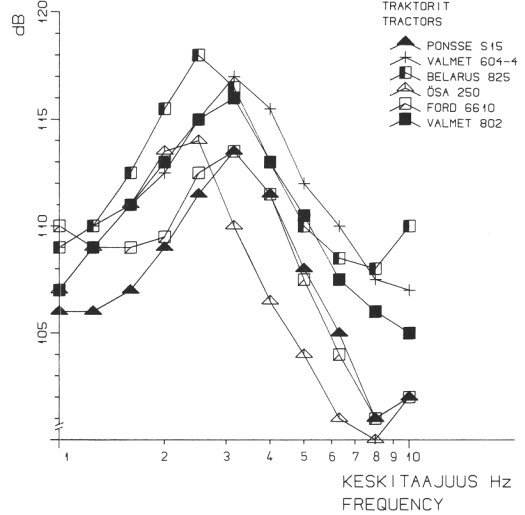
Kuva 14. Traktorien runkojen heilunnan taajuuskäyrät sivusuunnassa (y).  
Fig. 14. Frequency curves of the swaying of the tractors' chassis in y direction.

tattiin samalla Valmet 802 -traktorilla radalla 1. Kaikissa tapauksissa mitattiin heiluntaa istuimesta ja rungosta. Kuljettajan paino oli 90 kg. Istuimet olivat seuraavat:

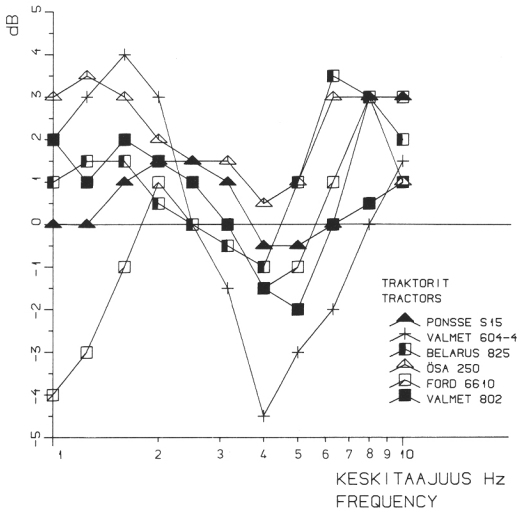
Valmistaja	Malli	Jousitus
GRAMMER	DS 85 H3	perinteinen
GRAMMER	85 H/90 AR	perinteinen
GRAMMER	LS 95 H	ilmajousitus
BOSTROM	Viking 303	perinteinen,
		tasovaimennin
BOSTROM	Viking 303	perinteinen



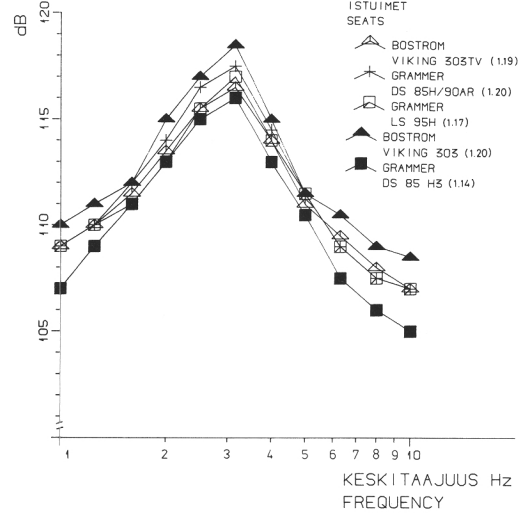
Kuva 15. Traktorien heilunnan erotuskäyrät sivusuunnassa (y).  
 Fig. 15. Differential curves of the tractors' swaying in y direction.



Kuva 16. Traktorien runkojen heilunnan taajuuskäyrät pystysuunnassa (z).  
 Fig. 16. Frequency curves of the swaying of the tractors' chassis in z direction.



Kuva 17. Traktorien heilunnan erotuskäyrät pystysuunnassa (z).  
 Fig. 17. Differential curves of the tractors' swaying in z direction.



Kuva 18. Valmet 802 traktorin rungon heilunnan taajuuskäyrät eri ajokertoilla pystysuunnassa (z) (suluisa nopeus m/s).  
 Fig. 18. The frequency curves of the swaying of the Valmet 802 tractors' chassis on different test runs in z direction (in brackets speed m/s).

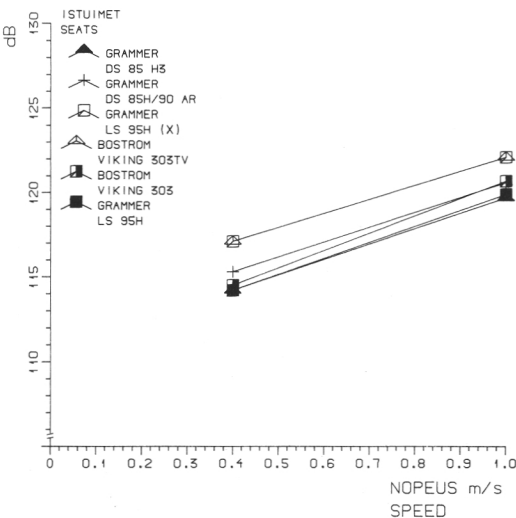
Siitä, miten eri ajokerrat vastaavat toisiaan herätetaajuuden osalta, otetaan esimerkiksi pystysuunnan rungon taajuusanalyysi kaikilla istuimilla (ajokerroilla). Kuvasta 18 havaitaan, että rungon taajuusanalyysin kuvaaja on lähes sama jokaisella ajokerralla. Suurin

kiihtyvyyksi esiintyy taajuudessa 3,15 Hz. Pienet erot käyrien välillä johtunevat nopeuksien eroista. Eteen-taakse-suunnassa ja sivusuunnassa herätetaajuuksien vastaavuus on samaa luokkaa kuin pystysuunnassa.

Suurin kiihtyvyyksi eteen-taakse-suunnassa

ja sivusuunnassa esiintyi 1,25 Hz:ssä. Tar- kasteltaessa heilunnan tasoa nopeuden funk- tion regressiosuorien avulla eteen-taak- se-suunnassa havaitaan, että Grammer LS 95H ja Grammer DS 85 H3 heiluvat vähiten ja Bostrom Viking 303 TV ja Grammer LS 95H(x) eniten (kuva 19). Grammer LS 95H on varustettu ajosuuntaisella vaimentimella, jonka ollessa päällä heilunta lisääntyy. Ku- vasta 20 nähdään, että eteen-taakse-suuntaisen heilahdusten vaimentimen ollessa päällä on erotuskäyrässä (erotuskäyrä = istuimen- arvo-rungonarvo) selvä huippu 1,6 Hz:n kohdalla.

Eteen-taakse-suuntaisen heilahdusten vai- mentimen ollessa pois päältä erotuskäyrän huippu on 3,15. Kuvassa 21, johon on piir- retty neljän tunnin terveyden vaararaja ja alentuneen työtehon raja, näkyy, että jäykän ja vaimennetun istuimen ero on suurimmi- laan 6,5 dB vaikka nopeudessa oli eroa vain 0,02 m/s. Tämä ero on erittäin merkittävä nimenomaan pienillä taajuuksilla. Kyseessä oleva eteen-taakse-suuntainen heilahdusten vaimennin lisää heiluntaa kun kaikki taajuudet summataan, ja se lisää heiluntaa ennen kaikkea terveydelle vaarallisella alueella. Bostrom 303:n vaimennus eteen-taakse- suunnassa on testatuista istuimista paras. Istuin vaimentaa heilahduksia kaikilla muilla



Kuva 19. Istuinten heilunta eteen-taakse-suunnassa (x).  
Fig. 19. The swaying of the seats in x direction.

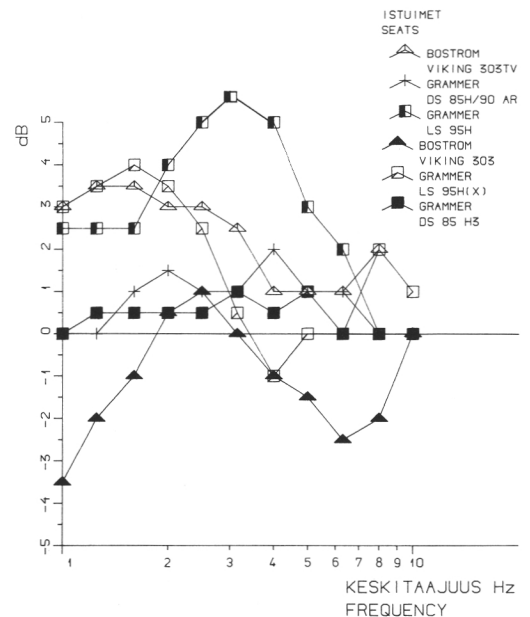
taajuuksilla paitsi 2 ja 2,5 Hz. Tasovaimenti- men käyttö eteen-taakse-suunnassa lisää hei- luntaa kaikilla taajuuksilla noin yhden dB (kuva 21). Kuvasta 20 nähdään, että tasovai- menninta käytettäessä istuimen ominaista- juus on 1,25 Hz. Voidaan sanoa, että tasovai- mentimen vikana eteen-taakse-suunnassa on liian matala ominaistaajuus.

Tutkituista istuimista Bostrom Viking 303, Grammer DS 85 H3 ja Grammer LS 95H alittivat ISO:n normien neljän tunnin tervey- den vaararajan ajettaessa noin 1,2 m/s no- peudella.

Sivusuunnassa, jossa heilunta on voimak- kainta ja jossa vaimennuskeinot ovat vähäi- set, sai regressioanalyysissä Grammer LS 95H suurimmat arvot ja Grammer DS 85 H3 ja Bostrom Viking 303 pienimmät arvot (ku- va 22).

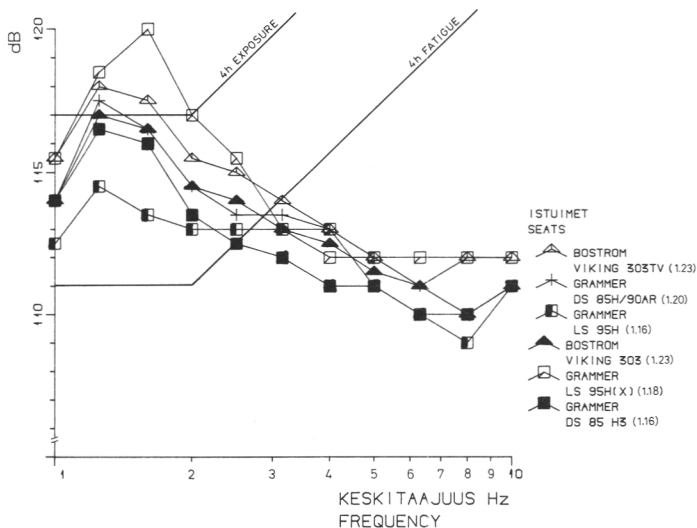
Bostrom Viking 303 muista poiketen jopa vaimentaa heiluntaa taajuusalueella 1,6— 3,15 Hz, ja Grammer LS 95H:sta löytyy sel- vä ominaistaajuusalue väliltä 1,25—1,6 Hz (kuva 23). Grammerin tapauksessa edellä mainittu merkitsee sitä, että taajuudella 1,25 Hz istuin saavuttaa suurimman kiihtyvyy- den, vaikka nopeus on toiseksi alhaisin (kuva 24). 1,25 Hz:n kohdalla Grammer LS 95H:n ja Bostrom Viking 303:n ero on 2,5 desibeliä.

Sivusuunnassa regressioanalyysin ja taa-



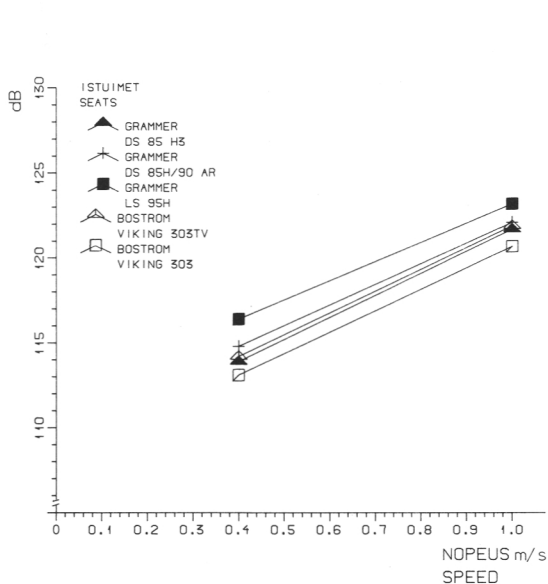
Kuva 20. Istuinkokeen erotuskäyrät eteen-taakse-suun- nassa (x).  
Fig. 20. Differential curves of seat test in x direction.



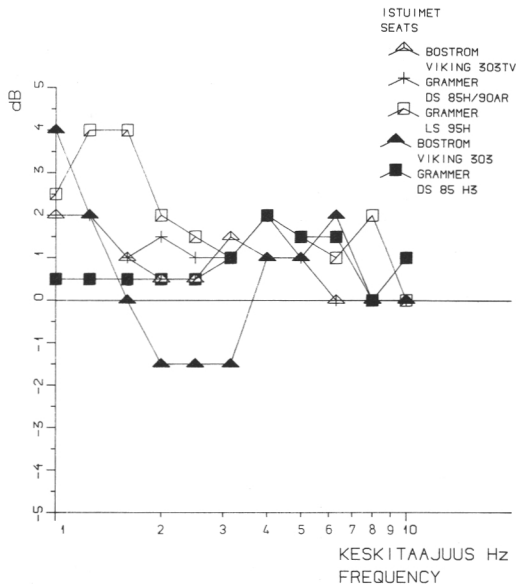


Kuva 21. Istuinten heilunnan taajuuskäyrät eteen-taakse-suunnassa (x) (suluisa nopeus m/s).

Fig. 21. Frequency curves of the swaying of the seats in x direction (in brackets speed m/s).



Kuva 22. Istuinten heilunta sivusuunnassa (y).  
Fig. 22. Swaying of the seats in y direction.

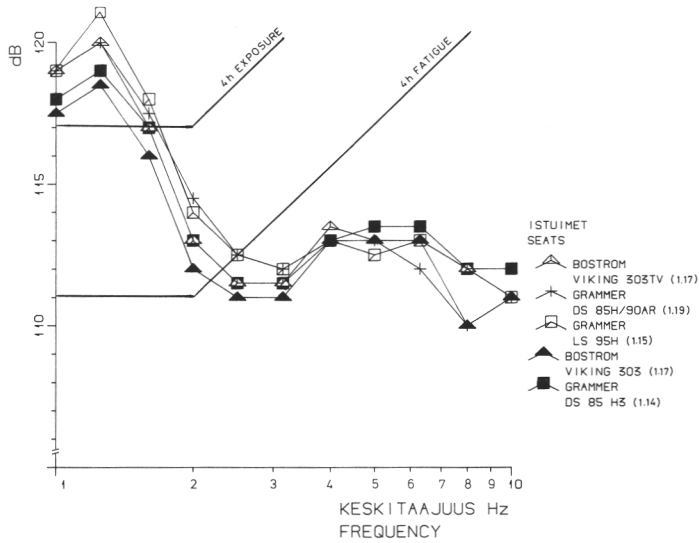


Kuva 23. Istuinkokeen erotuskäyrät sivusuunnassa (y).  
Fig. 23. Differential curves of seat test in y direction.

juusanalyysin tulokset ovat selvästi samansuuntaisia. Tämä johtunee siitä, että regressioanalyyssissä rungon vaikutus on vakioitunut riittävästi.

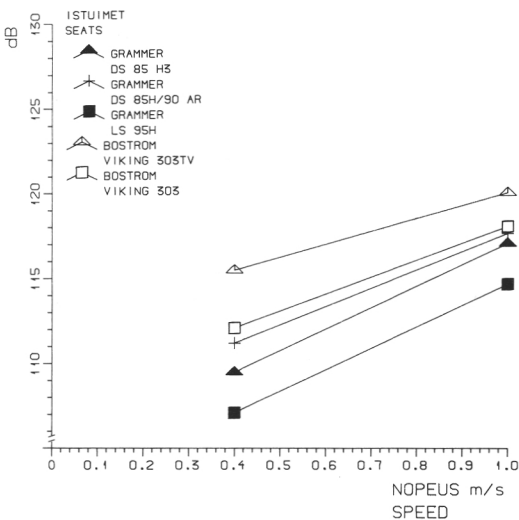
Sivusuunnassa ISO:n normien neljän tunnin terveyden vaararaja ylittyi kaikilla istuimilla nopeudessa 1,14—1,19 m/s.

Heilunnan taso pystysuunnassa oli pienimmillään Grammer LS 95H -istuimessa ja suurimmillaan Bostrom Viking 303 -istuimessa tasovaimentimella. Ero on 3,0—10,5 Hz siten, että nopeuden kasvaessa ero pienenee. Huomattavaa on, että tasovaimennin, jonka pitäisi vaikuttaa vain eteen-taakse- ja sivu-

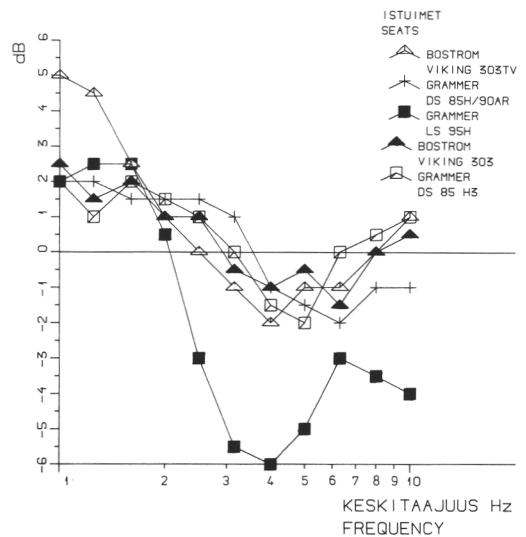


Kuva 24. Istuinten heilunnan taajuuskäyrät sivusuunnassa (y) (suluisissa nopeus m/s).

Fig. 24. Frequency curves of the swaying of the seats in y direction (in brackets speed m/s).



Kuva 25. Istuinten heilunta pystysuunnassa (z).  
Fig. 25. Swaying of the seats in z direction.



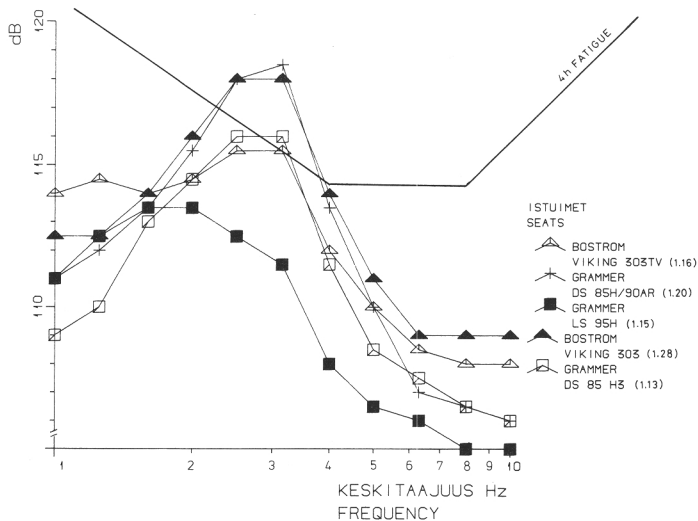
Kuva 26. Istuinkokeen erotuskäyrät pystysuunnassa (z).  
Fig. 26. Differential curves of seat test in z direction.

suuntaan lisää heiluntaa myös pystysuuntaan (kuva 25).

Erotuskäyrästä (kuva 26) erottuu selvästi Grammer LS 95H, joka 2 Hz:ä suuremmilla taajuuksilla vaimentaa varsin hyvin. Myös taajuusanalyyseissä (kuva 27) edellä mainittu istuin erottuu muita parempana ja alittaa ainoana ISO:n standardin neljän tunnin ter-

vyyden vaararajan nopeuksilla 1,13–1,29 m/s.

Kaikkien kolmen suunnan taajuusanalyyseistä on havaittavissa, että suurin kiihtyvyyksi esiintyy traktorin rungon ominaistajuusalueella. Eteen-taakse- ja sivusuunnassa se on 1,25 Hz ja pystysuunnassa 3,15 Hz. Heilunnan vähentämiseksi vaarallisilla taajuuksilla



Kuva 27. Istuinten heilunnan taajuuskäyrät pystysuunnassa (z) (suluissa nopeus m/s).

Fig. 27. Frequency curves of the swaying of the seats in z direction (in brackets speed m/s).

alueilla tulisi traktorin rungon ominaistuujuudet eri suunnissa saada vaarattomille taajuusalueille.

Kun kaikkien suuntien arvot summataan summakäyriksi, parhaimmiksi osoittautuivat Grammer DS 85 H3 ja Bostrom Viking 303 (kuva 28). Korkeimmat arvot saatiin Bostrom Viking 303 -tasovaimentimella.

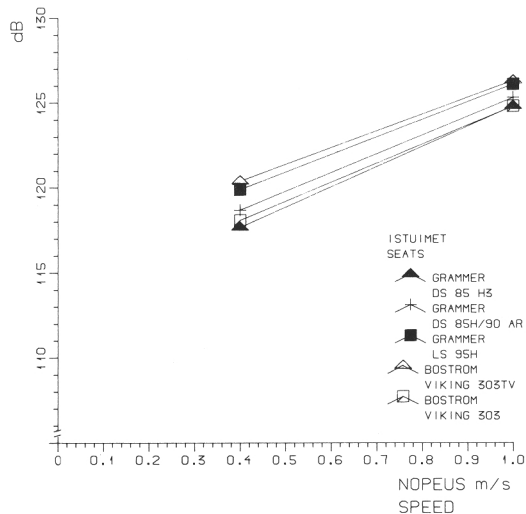
### 35. Traktorin ominaisuuksien vaikutus

#### 351. Raidelevyden vaikutus

Raidelevyden vaikutusta tutkittiin Valmet 802 -traktorilla. Traktorilla ajettiin kahdella eri takaraidelävyydellä, 164,5 cm ja 175,5 cm. Eturaideläveys oli molemmissa tapauksissa 165,5 cm. Rata 1 kierrettiin yhdeksän kertaa molemmilla raidelevyöksillä. Tulokset näkyvät taulukossa 5. LW on eri suuntien heilunnan tehollisen keskiarvon (RMS) summa, joka on laskettu seuraavalla kaavalla:

$$LW = 10 \log (10^{L_{wx}/10} + 10^{L_{wy}/10} + 10^{L_{wz}/10})$$

Lwy on suunnan y tehollinen keskiarvo. Havaitaan, että takaraidelävyyden lisääminen 11 cm lisää kokonaisheiluntaa ja heiluntaa sivusuunnassa. Vaikka raidelevyden



Kuva 28. Istuinkokeen istuimien heilunnan summakäyrät.

Fig. 28. The sum curves of the swaying of the seats of the seat test.

kasvattamisen pitäisi vähentää heiluntaa varsinkin sivusuunnassa, tässä tapauksessa näin ei käynyt. Synä tähän voi olla se, että leveämmällä raidevälillä ei voida yhtä helposti väistää esteitä. Rata noudatteli pääpiirteisään luonnollista ajoreittiä, jonka ulkopuolella on suurempaa epätasaisuutta.

Kyseisen radan maasto oli hyvin kivinen ja ajettaessa leveämmällä raideleveydellä kivien kiertäminen oli vaikeampaa. Näyttää siltä, että raideleveyden kasvattaminen ei aina vähennä heiluntaa, vaan on löydettävä optimi maasto-olosuhteiden ja traktorin ominaisuuksien välille.

### 352. Painojakauman vaikutus

Painojakauman vaikutusta heiluntaan tutkittiin Belarus 825 ja Ford 6610 -traktoreilla lisäpainojen avulla. Belaruksen normaali kokonaispaino oli 3790 kg, josta etuakselilla 1350 kg eli 35,6 %. Ilman etupainoja kokonaispaino oli 3590 kg, josta etuakselilla 1150 kg eli 32,0 %. Taulukossa 6 on kokeen tulokset.

Etupainojen vaikutus Belarus 825 -traktoriin on selvä. Kun painopiste siirtyy taaksepäin, heilunta lisääntyy kaikissa suunnissa ja myös summa-arvo kasvaa. Etuakselipai-

Taulukko 5. Raideleveyden vaikutus heiluntaan Valmet 802-traktorilla.

Table 5. The effect of the track width on the swaying of the Valmet 802 tractor.

Raideleveys, cm Track width, cm	Kok. heilunta, dB Total swaying, dB			Sivusuuntainen heilunta, dB Horizontal swaying, dB		
	Ajonopeus Speed			Ajonopeus Speed		
	Hidas Slow	Norm. Norm.	Nopea Fast	Hidas Slow	Norm. Norm.	Nopea Fast
164,5	120,8	127,9	130,7	118,0	126,0	128,5
175,5	124,6	129,8	131,7	122,0	127,0	129,0

non ollessa 32 % kokonaispainosta on heilunta hieman pienempää ajettaessa nelivedolla. Nelivedon ja perävedon vaikutusta heiluntaan käsitellään kappaleessa 353.

Ford 6610 -traktorin peruspaino on 3406 kg, josta etuakselilla 1174 kg eli 34,5 %. Painojakauman vaikutuksen tutkimiseksi lisättiin eteen kuusi kappaletta 40 kg:n lisäpaino-

Taulukko 6. Painojakauman vaikutus heiluntaan.

Table 6. The effect of weight distribution on swaying.

Rata Track	Nopeus Speed m/s	Summa Sum		Eteen-taakse Front to back		Sivusuunta Horizontal		Pystysuunta Vertical	
		Norm.	Etup. pois No front weights	Norm.	Etup. pois No front weights	Norm.	Etup. pois No front weights	Norm.	Etup. pois No front weights
		Norm.	Etup. pois No front weights	Norm.	Etup. pois No front weights	Norm.	Etup. pois No front weights	Norm.	Etup. pois No front weights
Belarus Progress 825									
1 Peräv. Rear-wheel drive	1,01	125,9	127,4	122,2	123,0	121,8	124,5	117,6	118,5
1 Neliv. Four-wheel drive	1,02	126,1	127,1	122,4	123,0	122,0	124,0	117,8	117,5
2 Peräv. Rear-wheel drive	0,83	126,6	127,9	123,6	124,5	122,5	124,0	117,2	119,0
2 Neliv. Four-wheel drive	0,83	126,6	127,2	123,6	124,0	122,5	123,0	117,2	118,5
Ford 6610									
1	0,80	123,5	125,1	119,3	119,0	120,2	123,0	115,3	116,5
2	0,67	123,8	123,6	120,4	120,5	119,7	119,0	114,8	115,5

ja, jolloin kokonaispaino oli 3646 kg, josta etuakselilla 1414 kg eli 38,8 %. Painojakuman muuttumisella ei näyttänyt olevan selvää vaikutusta heiluntaan. Taulukon 6 normaalisarakkeiden desibeliarvot on laskettu regressioyhtälöiden avulla.

neliveto vähentää heiluntaa selvästi eniten. Summa-arvo on kaikissa tapauksissa pienempi ajettaessa nelivedolla paitsi Valmet 802:lla radalla 1. Nelivedon vaimentava vaikutus on keskimäärin noin yksi desibeli.

### 353. Taka- ja nelivedon ero

Taka- ja nelivedon vaikutusta heiluntaan tutkittiin neljällä traktorilla (taulukko 7) molemmilla radoilla. Belarus 825 -traktorissa

### 354. Peräkärryn vaikutus

Kaikilla kuudella maataloustraktorilla ajettiin myös peräkärryn ja kuorman kanssa. Kuorman koko oli 2—4 m<sup>3</sup>. Tulokset ovat taulukossa 8.

Taulukko 7. Nelivedon ja perävedon ero heilunnan suhteen.

Table 7. The differences between four-wheel and rear-wheel drive in relation to swaying.

Traktori	Rata	Nopeus Speed	Summa Sum	Heilunta, dB Swaying, dB				Sivusuunta Horizontal		Pystysuunta Vertical	
				Neliveto Four-wheel drive	Peräveto Rear-wheel drive	Neliveto Four-wheel drive	Peräveto Rear-wheel drive	Neliveto Four-wheel drive	Peräveto Rear-wheel drive	Neliveto Four-wheel drive	Peräveto Rear-wheel drive
Belarus	1	0,99	125,6	127,5	121,9	124,0	121,4	124,0	117,4	118,0	
Progress 825	2	0,83	126,7	127,7	123,6	124,0	122,5	124,0	117,2	119,0	
Valmet	1	1,04	126,4	127,7	121,1	121,5	124,1	126,0	116,5	117,0	
604-4	2	0,95	128,5	129,4	124,6	124,5	125,4	127,0	118,2	119,0	
Valmet 802	1	1,07	127,3	126,7	121,4	121,5	125,0	124,0	118,9	118,5	
Turbo	2	0,98	128,5	129,4	124,6	124,5	125,4	127,0	118,2	119,0	
Fiat 160-90	1	0,86	122,2	122,9	116,6	117,5	118,5	120,0	116,4	116,0	
Turbo DT	2	0,80	122,4	124,1	116,1	118,5	120,2	121,5	113,8	116,5	

Taulukko 8. Peräkärryn vaikutus heiluntaan.

Table 8. The effect of the trailer on swaying.

Traktori	Rata	Nopeus m/s	Summa Sum	Heilunta, dB Swaying, dB				Sivusuunta Horizontal		Pystysuunta Vertical	
				Ei peräkärriä No trailer	Peräkärriä Trailer	Ei peräkärriä No trailer	Peräkärriä Trailer	Ei peräkärriä No trailer	Peräkärriä Trailer	Ei peräkärriä No trailer	Peräkärriä Trailer
Ford	1	0,74	122,7	123,4	118,7	117,5	119,2	121,0	114,6	115,5	
6610	2	0,60	122,7	123,1	119,7	120,0	118,5	119,0	113,7	114,0	
Massey-	1	0,85	124,4	124,1	119,0	118,5	121,6	122,0	116,0	114,5	
Ferguson 265	2	0,74	124,7	126,2	121,1	120,5	121,0	123,0	115,1	120,0	
Valmet	1	1,01	126,0	127,1	120,8	120,5	123,7	125,5	116,0	116,0	
604-4	2	0,73	124,9	124,9	121,8	121,0	121,2	122,0	114,0	114,0	
Fiat	1	0,76	120,8	121,0	115,6	116,0	116,9	118,0	115,0	113,5	
160-90	2	0,62	119,7	120,3	114,0	116,0	117,3	117,0	111,7	112,5	
Valmet	1	0,92	125,5	125,0	119,7	120,5	123,1	122,0	117,2	116,5	
802	2	0,84	126,1	124,9	121,8	120,5	121,7	121,5	120,0	117,5	
Belarus	1	0,88	123,8	124,3	120,3	120,5	119,4	120,5	116,0	116,5	
Progress 825	2	0,65	125,3	120,3	121,3	121,5	119,0	122,0	113,9	116,0	

Useimmilla traktoreilla peräkärri lisää kokonaisheiluntaa (LW). Vain Valmet 802:lla molemmilla radoilla ja Massey-Ferguson 265:lla radalla 1 peräkärri vähentää kokonaisheiluntaa. Peräkärriin vaikutus näkyy selvimmän sivusuuntaisessa heilunnassa. Yhdeksässä tapauksessa 12:sta peräkärri lisää heiluntaa. Eteen-taakse- ja pystysuunnassa ei ole havaittavissa peräkärriin vaikutussuuntaa.

### 36. Lumen vaikutus

Lumen vaikutuksen selvittämiseksi ajettiin Valmet 802 -traktorilla radalla 1 maaliskuussa 1985. Lumen vahvuus oli 40 cm ja se mitattiin 10 m:n välein keskeltä rataa 5 cm:n tarkkuudella. Lumi oli puhurilunta, toisin sanoen lämpötila ei ollut noussut 0°C:n yläpuolelle lumen ollessa maassa. Seuraavassa asetelmassa ovat samalta radalta ja samalla traktorilla kesällä ja talvella suoritettujen mittausten avulla lasketut regressioyhtälöt.

$$\begin{aligned} \text{kesä: LW(dB)} &= 12,26 \times \text{NOPEUS (m/s)} + 114,2 \\ R^2 &= 0,941, \text{KV} = 1,242 \\ \text{talvi: LW(dB)} &= 8,06 \times \text{NOPEUS (m/s)} + 110,9 \\ R^2 &= 0,979, \text{KV} = 0,3104 \end{aligned}$$

Lumi näyttää vähentävän erittäin paljon heilunnan tasoa. Esimerkiksi nopeudessa 1,0 m/s ero on todella suuri 7,50 dB.

### 37. Kuljettajien väliset erot

Kuljettajan merkitystä tutkittiin kahden kuljettajan avulla. Toisella kuljettajalla oli 20 vuoden kokemus mutta toisella vain muutamia ajokokemuksia maataloustraktorilla. Kokenut kuljettaja painoi 90 kg ja kokematon 80 kg.

Summatussa heiluntatasossa (LW) ei ollut merkittäviä eroja. Vain eteen-taakse-suunnassa oli kokenut kuljettaja selvästi parempi. Tämä johtunee siitä, että heiluvassa traktorissa hallintalaitteiden käyttö vaatii tottumusta. Kokemattomalla kuljettajalla kaasupolkimen käyttö ei ole kovin tasaista, mikä aiheuttaa nykivää ajoa eli eteen-taakse-suuntaista heiluntaa. Sivusuunnassa kokeneella kuljettajalla traktori heilui hieman enemmän. Tämä johtunee suuremmasta ajonopeudesta esteiden yli. Pystysuunnassa ei kul-

jettajan kokemuksella ollut merkittävä vaikutusta.

## 38. Tulosten vertailu ISO:n normeihin

### 381. Heilunta eri suunnissa

Horisontaalisista suunnista (x ja y) on valittu tarkasteluun sivusuunta, koska siinä heilunta on selvästi voimakkaampaa kuin eteen-taakse-suunnassa.

Taulukon 9 kokeen ajonopeus oli tutkimukseen osallistuneiden kuljettajien valitsema ajonopeus.

Nopeudet 'ajo tyhjänä' -sarakeeseen on saatu Mikkosen (1984) tutkimuksesta. DB-arvot eri nopeuksille laskettiin regressioyhtälöiden avulla. Seuraavassa asetelmassa on ISO:n standardin 2631 mukaiset alentuneen työtehon rajat (fatigue-decreased proficiency boundary).

Rasituksen kesto, h/päivä	Kaikki suunnat heilunnan taso, dB
8	110,0
4	114,5
2,5	117,0
1	121,0

Taulukko 9. Maastoradoilla mitatut heiluntatasot ja regressioyhtälöillä lasketut heiluntatasot sivusuunnassa kahdelle eri nopeudelle.

Table 9. Swaying frequencies in horizontal direction measured on field tracks and calculated with regression formulae at two different speeds.

Traktori <i>Tractor</i>	Rata <i>Track</i>	Kokeen ajonopeus <i>Speed of test</i>		Ajo peräkärriyttä, dB <i>Idling, dB</i>	
		m/s	dB	(0,75 m/s)	(0,64 m/s)
Valmet 604-4	1	1,23	126,5	120.2	
	2	0,92	126,0		119.4
Belarus 825	1	0,94	122,0	117.0	
	2	0,86	124,0		118.8
Ford 6610	1	0,79	120,5	119.4	
	2	0,71	120,5		119.1
Fiat 160-90	1	0,84	117,5	116.8	
	2	0,74	120,5		117.6
Massey-F 265	1	0,96	124,0	120.0	
	2	0,87	125,0		119.1
Valmet 802	1	1,04	126,0	120.8	
	2	1,00	125,0		118.6
Ösa 250	1	0,98	122,0	117.4	
	2	0,84	120,5		116.5
Ponsse S15	1	0,71	119,5	119.8	
	2	0,72	120,5		118.7

Taulukko 10. Maastoradoilla mitatut heiluntatasot ja regressioyhtälöillä lasketut heiluntatasot pystysuunnassa kahdella eri nopeudella.

Table 10. Swaying frequencies in vertical direction measured on field tracks and calculated with regression formulae at two different speeds.

Traktori Tractor	Rata Track	Kokeen ajonopeus Speed of test		Ajo peräkäräyttyä, dB Idling, dB	
		m/s	dB	(0.75 m/s)	(0.64 m/s)
Valmet 604-4	1	1,23	119,0	112.2	
	2	0,92	118,5		112.3
Belarus 825	1	0,94	116,0	114.3	
	2	0,86	118,5		113.7
Ford 6610	1	0,79	116,5	114.7	
	2	0,71	116,5		114.3
Fiat 160-90	1	0,84	118,5	114.8	
	2	0,74	115,0		111.9
Massey-F 265	1	0,96	118,5	114.8	
	2	0,87	117,5		113.4
Valmet 802	1	1,04	118,0	115.2	
	2	1,00	123,0		116.9
Ösa 250	1	0,98	115,5	114.8	
	2	0,84	116,5		113.2
Ponsse S15	1	0,71	115,5	115.6	
	2	0,72	114,5		112.8

Yhden tunnin raja on 121,0 dB. Maastossa kokeen ajonopeudella mitatuista arvoista yli puolet ylittää tämän rajan. Kahden ja puolen tunnin rajaa (117,0 dB) ei alita yksikään havainto. Tutkimuksessa ajetuilla nopeuksilla päivittäisen ajoajan tulisi jäädä alle yhden tunnin, mikäli halutaan ottaa huomioon alentuneen työtehon raja. Mikkosen (1984) saamien nopeuksien avulla lasketut heiluntatasot alittavat yhden tunnin tason. Kahden ja puolen tunnin taso (117,0 dB) alitettiin noin 20 %:ssa tapauksista.

Taulukossa 10 on pystysuuntaa tarkasteltu edelliseen tapaan. Ajokokeissa yhden tunnin taso (121,0 dB) ylitettiin yhdessä tapauksessa, 2,5 tunnin taso (117,0 dB) kahdeksassa tapauksessa ja neljän tunnin taso (114,5 dB) kaikissa tapauksissa (yhdessä sivutaan).

Tyhjänä ajettaessa 2,5 tunnin tasoa ei ylitetä. Neljän tunnin taso alitetaan noin puolessa tapauksista. Kahdeksan tunnin tasoa ei aliteta kertaakaan.

Terveyden vaararajan (exposure limit) arvot ovat 6 dB korkeammat kuin alentuneen työtehon rajat. Yhden tunnin raja on 127,0 dB ja sivusuunnassa sen alittavat kaikki arvot. Neljän tunnin rajan ylittää noin puolet tapauksista. Tutkimuksen nopeuksilla ajettaessa päivittäinen ajoaika tulisi jäädä alle neljän tunnin, mikäli halutaan noudat-

taa terveyden vaararajaa. Kahdeksan tunnin rajaa (116,0 dB) ei alita yksikään tapaus. Myöskään Mikkosen (1984) saamien nopeuksien avulla lasketut heilunta-arvot eivät alita kahdeksan tunnin rajaa.

Pystysuunnassa kokeen ajonopeudella ajettaessa yhden tunnin raja alitetaan yhtä tapauksista lukuun ottamatta. Kahden tunnin raja alitetaan puolessa tapauksista. Tyhjänä ajettaessa kahden tunnin rajaa ei ylitetä.

### 382. Päivittäisen kuormituksen taso maatalous- ja metsätraktorilla

Metsäkuljetukseen kuuluu tyhjänä ja kuormattuna ajon lisäksi myös muita työvaiheita. Todellisen päivittäisen heiluntaräsuksen selville saamiseksi myös nämä on otettava mukaan laskelmiin. Seuraavassa asetelmassa esitetään maataloustraktorin (Mikkonen 1984) ja metsätraktorin (Kahala 1974) ajankäyttäjakauma:

Työvaihe	Metsätraktori	Maataloustraktori
Ajo tyhjänä	10 %	11 %
Ajo kuormattuna	23 %	16 %
Kuormaus	38 %	36 %
Purkaminen	19 %	21 %
Keskeytykset	10 %	16 %
Yhteensä	100 %	100 %

Kuljetusmatkaksi on oletettu 250 m, maastoluokaksi 1, ja kuljetusvälineeksi keskikokoinen maataloustraktori ja metsätraktori, joilla ajettiin havutukkia. Keskeytysprosentti saatiin vähentämällä sadasta operatiivinen käyttöaste (84 %). Ajo kuormattuna sisältää myös kuormausajan ja ajon valmisteluajan.

Seuraavassa asetelmassa ovat nopeudet ensimmäisessä maastoluokassa:

Työvaihe	Metsätraktori	Maataloustraktori
	Nopeus m/s	
Ajo tyhjänä	0,86	0,75
Ajo kuormattuna	0,53	0,63

Maataloustraktorilla kuormauksen heiluntatasoksi otettiin 112,0 ja purkamisen heiluntatasoksi 110,0 dB. Edellä mainitut arvot saatiin mittaamalla heiluntaa Volvo BM Valmet 805 -traktorilla metsätyömaalla talvioloissa. Metsätraktorilla kuormauksen heiluntataso oli 111,0 dB ja purkamisen heiluntataso 111,5 dB. Metsätraktorilla nämä arvot saatiin mittaamalla heiluntaa ÖSA 250 -met-

sätraktorilla metsätyömaalla toukokuussa 1985.

Seuraavalla kaavalla on laskettu metsä- ja maataloustraktorin kuljettajalle päivittäinen sivusuuntainen heiluntataso:

$$LW(eq) = 10 \log \left( \frac{1}{T} \sum_i (10^{Lw(i)/10} \cdot t_i) \right)$$

LW = heiluntataso

T = kokonaistyöaika

Lw = työvaiheen heiluntataso, joka on keskeytysten aikana 0 dB.

Eri traktoreille saadaan seuraavat lukemat:

Traktori	Sivuheiluntataso, dB
Valmet 604-4	114,9
Belarus Progress 825	112,6
Fiat 160-90 Turbo	112,6
Valmet 802 Turbo	115,4
Ford 6610	114,2
Massey-Ferguson 265	114,7
Ösa 250	113,3
Ponsse S15	115,0

ISO:n standardin 2631 alentuneen työtehon raja kahdeksalle tunnille on 110,0 dB ja neljälle tunnille 114,5 dB. Jos otetaan huomioon alentuneen työtehon raja niin vain neljällä traktorilla voitaisiin työskennellä neljä tuntia. Kahdeksan tunnin terveyden vaararaja on 116,0 dB. Reilut kahdeksan

tuntia voidaan työskennellä jos otetaan huomioon terveyden vaararaja.

Kun päivittäistä heiluntatasoa tarkastellaan eri suuntien summan avulla, saadaan eri traktoreille seuraavat arvot:

Traktori	Heiluntataso (summa), dB
Valmet 604-4	116,9
Belarus Progress 825	116,0
Fiat 160-90 Turbo	115,2
Valmet 802 Turbo	117,5
Ford 6610	117,0
Massey-Ferguson 265	117,2
Ösa 250	116,0
Ponsse S15	116,8

Raskaammilla traktoreilla on heilunta hieman pienempää. ISO:n standardin 2631 mukainen 2,5 tunnin alentuneen työtehon rajapystysuunnalle on 117,0 dB. Sen alittaa viiden traktorin summa-arvo. Kahdeksan tunnin terveyden vaararaja on 116,0 dB. Vain kahdella traktorilla voidaan työskennellä kahdeksan tuntia vaarantamatta terveyttä, mikäli kriteerinä käytetään summa-arvoja ja kyseisiä ajonopeuksia. Kun tarkastellaan päivittäisen kuormituksen tasoa maatalous- ja metsätraktorilla, näiden välillä ei ole selvää eroa tässä kappaleessa esitettyjen oletusten ollessa voimassa.

## 4. TULOSTEN TARKASTELUA

Ajonopeuden vaikutus heiluntaan on hyvin suuri. Samansuuntaisia tuloksia ovat saaneet Hahlman (1977), Sirén ym. (1979) ja Aho ja Kättö (1971b). Toisaalta Hansson ja Wikström (1974) toteavat, että heilunnan ja ajonopeuden välillä ei ole lineaarista yhteyttä.

Maaston vaikeutuminen lisää myös heiluntaa. Tätä tukee Sirénin ym. (1979) ja Harselan ja Sauvalan (1977) saamat tulokset. Tämän tutkimuksen mukaan maataloustraktorin maastoluokan muuttuminen luokasta II luokkaan III lisää heiluntaa noin yhden desibelin.

Verrattaessa teoreettisia laskelmia (taulukko 3) ja ratakokeiden tuloksia (kuvat 7 ja 8) on järein maataloustraktori parhaiden

joukossa sekä em. laskelmissa että empiirisissä kokeissa. Muiden traktoreiden kohdalla sen sijaan ei ole havaittavissa yhtä selvää tulosten samansuuntaisuutta. Tämän tutkimuksen perusteella ei staattisten siirtymälaskelmien avulla voida ennustaa traktoreiden järjestystä maastoajon heilunnan suhteen. Tästä poikkeavia tuloksia on esittänyt Kättö (1971), jonka mukaan rungon sivukiihtyvyyksien ja lasketun sivusiirtymän välillä on hyvä korrelaatio, pystysuureiden välillä sen sijaan ei.

Verrattaessa istuimia summakäyrien avulla, parhaimmiksi osoittautuivat Grammer 85 H3 ja Bostrom Viking 303. Suurin heilunta oli Bostrom Viking 303 -tasovaimentimella. Pystysuunnassa toimi parhaiten Grammer



LS 95H -istuun. Toisaalta sivusuunnassa sama istuin oli huonoin. Matalataajuiset sivusuuntaiset heilahtelut ovat terveyden kannalta kaikkein vaarallisimpia, joten istuinten ja ohjaamoiden kehittelyä tulisi keskittää entistä enemmän sivuheilahdusten vähentämiseen. Istuimet eivät muutenkaan olleet tyydyttäviä, koska ne useimmiten eivät vaimenna vaan lisäävät heiluntaa tärkeillä taajuusalueilla.

Teoreettisten laskelmien mukaan takaraidelleveiden kasvattaminen vähentää selvästi sivuheilauksia. Tulosta tukee Hahlmanin (1977) tutkimus. Tässä tutkimuksessa raideleveyden kasvattaminen kuitenkin lisäsi sekä sivu- että kokonaisheiluntaa. Tämä johtunee siitä, että koeradalla ajettaessa ei pyritty kiertämään esteitä vaan traktori noudatti aina samaa ajolinjaa ja radan sivustoilla maasto oli hieman epätasaisempaa kuin itse radalla.

Tutkimuksen mukaan peräkärri lisää kokonaisheiluntaa useimmilla traktoreilla. Suurimmat erot ovat sivusuunnassa. Hahlmanin (1977) mukaan peräkärri lisää radalla eteen-taakse- ja pystysuuntaista heiluntaa.

Tämän tutkimuksen mukaan lumen heiluntaa vähentävä vaikutus oli erittäin suuri. Tutkitulla traktorilla oli kesäajon ja talvi-ajon ero 7,5 dB. Puutavaran lähikuljetuksessa ero on todennäköisesti pienempi sillä useiden ajokertojen jälkeen lumen vaikutus vähenee.

Päivittäistä heiluntaa tarkasteltaessa sivusuunnan avulla vain neljällä traktorilla voi-

daan työskennellä neljä tuntia otettaessa huomioon ISO:n standardin alentuneen työtehon raja. Samaa rajaa noudatettaessa Hanssonin ja Wikströmin (1977) mukaan päivittäinen ajoaika jää 1,5—5 tuntiin.

Otettaessa huomioon terveyden vaararaja kaikilla tutkituilla traktoreilla voidaan työskennellä reilut kahdeksan tuntia. Kätön ja Salmisen (1973) mukaan noin kahden tunnin maastoajo silloisella metsätraktorilla johti terveyden vaararajan ylittämiseen. On kuitenkin huomattava, että päivittäisen "heilunta-annoksen" laskemisessa käytettiin kirjallisuustietoja ja oletuksia, joiden relevanttiutta ei voida kaikilta osin varmistaa, joten tuloksiin on suhtauduttava varauksin.

Summa-arvoilla tarkasteltaessa on raskeilla traktoreilla heilunta selvästi pienempää. Kahden ja puolen tunnin alentuneen työtehon rajan alittaa viisi traktoria. Terveyden vaararajaa noudatettaessa vain kahdella traktorilla voidaan työskennellä kahdeksan tuntia.

Yleisimmin käytetyillä ajonopeuksilla 0,6—0,8 m/s (vrt. Mikkonen 1984, Kahala 1974) metsätraktorit ja järein maataloustraktori (oma paino yli 6600 kg) erottuivat muista vähemmän heiluvina varsinkin vaikeammalla maastoradalla. Helpommalla maastoradalla tavanomaisella maataloustraktorilla pitäisi ajaa n. 0,15 m/s ja vaikeammalla n. 0,20 m/s hitaammin kuin näillä järeillä traktoreilla saman heiluntatason saavuttamiseksi.

## KIRJALLISUUS—REFERENCES

- Aho, K. 1970. Från värdering av skakning på skogs-  
traktoren. Det norske skogforsøksvesen Vollebekk,  
driftsteknisk rapport n:o 9: 87—96.
- & Kättö, J. 1971a. Traktorityö ja työterveys. Vako-  
lan tiedote 17: 1—12.
- & Kättö, J. 1971b. Experiment for developing a  
method how to measure and evaluate the rocking of  
forest tractor. Vakola. Tutkimusselestus 9.
- Hahlman, A. 1977. Maataloustraktorin tärinänmittaus-  
menetelmän kehittäminen. Diplomityö. Teknillinen  
korkeakoulu. 85 s.
- Hansson, J-E & Wikström, B-O. 1974. Vibrationsbe-  
lastning på skogsmaskinförare. Summary: Vibration  
stress on forestry drivers. Skogshögskolan, rapporter  
och uppsatser 67.
- Harstela, P. & Sauvala, K. 1977. Low-frequency vib-  
ration in small tractors used in the harvesting of  
logging residues or small trees. Discussion paper.  
XVI IUFRO World Congress. 5 s.
- International standard ISO 2631. 1978. Guide for the  
evaluation of human exposure to whole-body vibra-  
tion. 15 s.

Kahala, M. 1974. Erikokoisten kuormatraktoreiden tuotostaso. Summary: The output level of forwarders of different sizes. *Metsätehon tiedotus* 334, 16 s.

Kättö, J. 1971. Metsätraktorin rakenteen vaikutus ajaan ja kuorman heilumiseen. Diplomityö. Teknillinen korkeakoulu. 97 s.

— & Salminen, H. 1973. Metsätraktoreiden melu, tärinä ja heilunta. *Vakolan tutkimuslaskelma* 10: 1—35.

Mikkonen, E. 1984. Maataloustraktori metsäkuljetuksessa. *Koneurakoitsija* 6: 24—27.

Rengasnormit. 1983. The Scandinavian tire and rim organisation.

Sireň, M., Vuorinen, H. & Sauvala, K. 1979. Pien-traktoreiden heilunta. Summary: Low frequency vibration in small tractors. *Folia For.* 383: 1—12.

*Total of 13 references*

## SUMMARY

### Whole-body vibration in farm tractors driven in the forest

The swaying of farm tractors was studied in connection with the NSR project "The work environment of the self-employed forest owner" at the Finnish Forest Research Institute.

Swaying is the most difficult ergonomic problem in forest hauling in the respect that no truly good solutions for its alleviation exist at present. Swaying was tested in six different types of farm tractors and, for comparison, in two medium-weight forwarders. There was no comparison of particular makes in question, only of different types of tractors and different kinds of technical designs. In addition, the most common types of tractor seats were tested. Attempts were made to standardize the conditions as well as possible, for which reasons two different field test tracks on hard and unused ground were chosen. In addition, attempts were made to maintain the character of the forest.

Norms drawn up by the International Standards Association (ISO 2631) were used as the criterion.

Driving speed and terrain had the greatest effect on the swaying. With the increase of driving speed from 0,5 m/second to 1,0 m/s, the acceptable driving time in accordance with ISO standards decreases from eight to two and a half hours. The tractors which were tested were divided into three groups according to weight: under 3000 kg, 3000—4000 kg, and over 4000 kg. Both rear- and four-wheel drive tractors were represented in the first two groups, but only four-wheel drive tractors in the over 4000 kg group. The differences between the different types of tractor were most affected by the tractor's weight. Heavier tractors swayed the least. Four-wheel drive also reduced swaying clearly. A trailer, on the other hand, increased swaying in many cases.

A limited testing of seats was done in conjunction with the study. The seats were in general unsatisfactory, because they more often than not increased swaying, nor did they check swaying on important frequencies as

far as health is concerned. The problem with all the seats were the strong and unchecked sideways sways. Sideways sways of a low frequency are the most dangerous with regard to health, in which case the development of seats and cabs should place more attention than ever before on the decrease of sideways swaying.

The effect of the driver's experience on swaying was also studied. The same tractor swayed just as much when driven by a very inexperienced driver as when driven by a very experienced driver.

The effect of snow was tested by driving the same tractor along the same track in both summer and winter. Powder snow which is about 40 cm deep has a great checking effect on swaying.

The maximum length of a working day was calculated if the exposure limit of the ISO standard is observed. If the exposure limit of the ISO standard is upheld, it is possible to work for eight hours on only two tractors. One of these tractors was a forwarder and the other was a sturdy four-wheel drive farm tractor. The real work day is in question here as different work phases, including interruptions, were taken into consideration in the calculations. The calculations apply only to summer conditions; the work day may be considerably longer in snowy conditions.

When driving at the most common speed of 0,6—0,8 m/s the forwarders and the sturdiest farm tractor (tare weight over 6600 kg) were distinguished from the rest by swaying less, especially on a more difficult field test track.

In order to achieve the same level of swaying as with these sturdy tractors, it was necessary to drive 0,15 m/s slower on an easier field test track and 0,20 m/s slower on a more difficult one with an ordinary farm tractor. In practice this means that when driving small and medium-sized farm tractors one should drive in one gear lower than usual.

ODC 304 + 307 + 377.44  
ISBN 951-40-0739-5  
ISSN 0015-5543

MÄKINEN, P. 1986. Kokokehon tärinä ajettaessa maataloustraktorilla metsässä. Summary: Whole-body vibration in farm tractors driven in the forest. *Folia For.* 656. 24 p.

Whole-body vibration was tested on two field test tracks in six different makes of farm tractors and two forwarders. Comparison of particular makes was not in question, rather various tractor types and different kinds of technical designs. In addition, the most common tractor seats were tested. At the most commonly used speed of 0,6—0,8 m/s the forwarders and the sturdiest farm tractor were distinguished from the rest by swaying less, especially on more difficult terrain.

Author's address: The Finnish Forest Research Institute, Suonenjoki Research Station, SF-77600 Suonenjoki, Finland.

ODC 304 + 307 + 377.44  
ISBN 951-40-0739-5  
ISSN 0015-5543

MÄKINEN, P. 1986. Kokokehon tärinä ajettaessa maataloustraktorilla metsässä. Summary: Whole-body vibration in farm tractors driven in the forest. *Folia For.* 656. 24 p.

Whole-body vibration was tested on two field test tracks in six different makes of farm tractors and two forwarders. Comparison of particular makes was not in question, rather various tractor types and different kinds of technical designs. In addition, the most common tractor seats were tested. At the most commonly used speed of 0,6—0,8 m/s the forwarders and the sturdiest farm tractor were distinguished from the rest by swaying less, especially on more difficult terrain.

Author's address: The Finnish Forest Research Institute, Suonenjoki Research Station, SF-77600 Suonenjoki, Finland.

Tilaan kortin kääntöpuolelle merkitsemäni julkaisut (julkaisun numero mainittava).

*Please send me the following publications (put number of the publication on the back of the card).*

Nimi  
Name \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

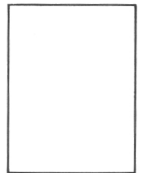
Osoite  
Address \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Metsäntutkimuslaitos  
Kirjasto/Library  
Unioninkatu 40 A  
SF-00170 Helsinki 17  
FINLAND



Folia Forestalia \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Communications Instituti Forestalis Fenniae \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Huomautuksia

Remarks \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

# METSÄNTUTKIMUSLAITOS

## THE FINNISH FOREST RESEARCH INSTITUTE

### Tutkimusosastot — *Research Departments*

Maantutkimusosasto  
*Department of Soil Science*

Suontutkimusosasto  
*Department of Peatland Forestry*

Metsänhoidon tutkimusosasto  
*Department of Silviculture*

Metsänjalostuksen tutkimusosasto  
*Department of Forest Genetics*

Metsänsuojelun tutkimusosasto  
*Department of Forest Protection*

Metsäteknologian tutkimusosasto  
*Department of Forest Technology*

Metsänarvioimisen tutkimusosasto  
*Department of Forest Inventory and Yield*

Metsäekonomian tutkimusosasto  
*Department of Forest Economics*

Matemaattinen osasto  
*Department of Mathematics*

### Metsäntutkimusasemat — *Research Stations*

Parkanon tutkimusasema  
*Parkano Research Station*  
Os. — *Address:* 39700 Parkano, Finland  
Puh. — *Phone:* (933) 2912

Muhoksen tutkimusasema  
*Muhos Research Station*  
Os. — *Address:* Kirkkosaarentie, 91500 Muhos, Finland  
Puh. — *Phone:* (981) 431 404

Suonenjoen tutkimusasema  
*Suonenjoki Research Station*  
Os. — *Address:* 77600 Suonenjoki, Finland  
Puh. — *Phone:* (979) 11 741

Punkaharjun jalostuskoegasema  
*Punkaharju Tree Breeding Station*  
Os. — *Address:* 58450 Punkaharju, Finland  
Puh. — *Phone:* (957) 314 241

Ojajoen koegasema  
*Ojajoki Experimental Station*  
Os. — *Address:* 12700 Loppi, Finland  
Puh. — *Phone:* (914) 40 356

Kolarin tutkimusasema  
*Kolari Research Station*  
Os. — *Address:* 95900 Kolari, Finland  
Puh. — *Phone:* (9695) 61 401

Rovaniemen tutkimusasema  
*Rovaniemi Research Station*  
Os. — *Address:* Eteläranta 55  
96300 Rovaniemi, Finland  
Puh. — *Phone:* (960) 15 721

Joensuun tutkimusasema  
*Joensuu Research Station*  
Os. — *Address:* PL 68  
80101 Joensuu, Finland  
Puh. — *Phone:* (973) 28 331

Kannuksen tutkimusasema  
*Kannus Research Station*  
Os. — *Address:* PL 44  
69101 Kannus, Finland  
Puh. — *Phone:* (968) 71 161

Ruotsinkylän jalostuskoegasema  
*Ruotsinkylä Tree Breeding Station*  
Os. — *Address:* 01590 Maisala, Finland  
Puh. — *Phone:* (90) 824 420

- No 636 Vuokila, Yrjö: Puuston määrän vaikutus istutuskuusikon kehitykseen, kasvuun ja tuotokseen.  
The effect of growing stock level on the development, growth and yield of spruce plantations in Finland.
- No 637 Räsänen, Pentti K., Pohtila, Eljas, Laitinen, Esko, Peltonen, Antti & Rautiainen, Olavi: Metsien uudistaminen kuuden eteläisimmän piirimetsälautakunnan alueella. Vuosien 1978—1979 inventointitulokset.  
Forest regeneration in the six southernmost forestry board districts of Finland. Results from the inventories in 1978—1979.
- No 638 Ihalainen, Ritva: Opintojen keskeyttäminen metsäalan ammatillisessa koulutuksessa.  
The abandonment of studies in vocational training in forestry.
- No 639 Uotila, Antti: Siemenen siirron vaikutuksesta männyn versosyöpäalttiuteen Etelä- ja Keski-Suomessa.  
On the effect of seed transfer on the susceptibility of Scots pine to *Ascochyta abietina* in southern and central Finland.
- No 640 Repo, Seppo: Suomen puunkäyttö, poistuma ja metsätase 1983—1985.  
Wood consumption, total drain and forest balance in Finland, 1983—1985.
- No 641 Ferm, Ari: Jätevedellä kasteltujen lehtipuiden alkukehitys ja biomassatuotos kaatopaikalla.  
Early growth and biomass production of some hardwoods grown on sanitary landfill and irrigated with leachate waste-water.
- 1986
- No 642 Rikala, Risto & Petäistö, Raija-Liisa: Lannoituksen vaikutus koulittujen rauduskoivun taimien ravinnepitoisuuteen, kasvuun ja versolaikkaisuuteen.  
Effect of fertilization on the nutrient concentration, growth and incidence of stem spotting in bare-rooted birch transplants.
- No 643 Juntunen, Marja-Liisa: Metsäalan toimihenkilöiden ajankäyttö ja työtehtävät. NSR:n yhteispohjoismaisen projektin "Metsätalouden työorganisaatio" osatutkimus.  
The time expenditure and work tasks of forest functionaries. A part study of joint Nordic NSR project "The organization of work in forestry".
- No 644 Saksä, Timo: Männyn taimikoiden kehitys muokatuilla viljelyaloilla Lieksan ja Rautavaaran hoitoalueissa.  
The development of Scots pine plantations on prepared reforestation areas in northern Karelia in Finland.
- No 645 Sirén, Matti: Puuston vaurioituminen karsimattomien puiden ja puunosien korjuussa.  
Stand damage in logging of undelimited trees and tree parts.
- No 646 Kaunisto, Seppo & Tukeva, Jorma: Kasvatustiheyden vaikutus männyn istutustaimikoiden kehitykseen turvemailla.  
Effect of tree spacing on the development of pine plantations on peat.
- No 647 Ikäheimo, Erkki & Norokorpi, Yrjö: Perkauksen vaikutus männyn istutustaimikoiden kehitykseen, laatuun ja tuhoihin Pohjois-Suomessa.  
The effect of cleaning on the incidence of damage and the development and quality of Scots pine plantations in northern Finland.
- No 648 Kortesharju, Jouko: Hillan sato ja kukinta lannoitus- ja olkikatekokeissa Rovaniemen maalaiskunnassa.  
The yield and flowering of the cloudberry (*Rubus chamaemorus*) in fertilizer and straw mulch experiments at Rovaniemi, northern Finland.
- No 649 Valtanen, Jukka, Kuusela, Juha, Marjakangas, Arto & Huurinainen, Seppo: Eri ajankohtina istutettujen männyn ja lehtikuusen kennonaimien alkukehitys.  
Initial development of Scots pine and Siberian larch paperpot seedlings planted at various times.
- No 650 Ovaskainen, Ville: Funktionaalinen tulojako metsäteollisuudessa 1955—1983.  
Factor shares in the Finnish forest industries, 1955—1983.
- No 651 Teivainen, Terttu, Jukola-Sulonen, Eeva-Liisa & Mäenpää, Elina: Pintakasvillisuuden kemiallisen torjunnan vaikutus peltomyyräpopulaation kehitykseen.  
The effect of ground-vegetation suppression using herbicide on the field vole, *Microtus agrestis* (L.), population.
- No 652 Varmola, Martti & Vuokila, Erkki: Pienten mäntyjen tilavuusyhtälöt ja -taulukot.  
Tree volume functions and tables for small-sized pines.
- No 653 Hytönen, Jyrki: Fosforilannoitelajin vaikutus vesipajun biomassatuotokseen ja ravinteiden käyttöön turpeenostosta vapautuneella suolla.  
Effect of some phosphorus fertilizers on the biomass production and nutrient uptake of *Salix 'Aquatika'* in a peat cut-away area.
- No 654 Nieppola, Jari: Cajanderin metsätyyppteoria. Kirjallisuuteen perustuva tarkastelu.  
Cajander's theory of forest site types. Literature review.
- No 655 Kuusela, Kullervo, Mattila, Eero & Salminen, Sakari: Metsävarat piirimetsälautakunnittain Pohjois-Suomessa 1982—84.  
Forest resources in North Finland by Forestry Board Districts, 1982 to 1984.
- No 656 Mäkinen, Pekka: Kokokehon värinä ajettaessa maataloustraktorilla metsässä.  
Whole-body vibration in farm tractors driven in the forest.

Metsäntutkimuslaitoksen julkaisusarjoja, Communicationes Instituti Forestalis Fenniae ja Folia Forestalia, koskevat yksittäiskappaletilaukset ja vaihtotarjoukset osoitetaan laitoksen kirjastolle. Tiedonantomisteita koskevat pyynnöt osoitetaan ao. tutkimusosastolle tai -asemalle.

Subscriptions concerning single copies of the publications, as well as exchange offers, can be addressed to the Library of the Institute.

Myynti: Valtion painatuskeskus, Annankatu 44, 00100 Helsinki 10, puh. (90) 17341

ISBN 951-40-0739-5  
ISSN 0015-5543