



VAKOLA



Rukilla
00001 Helsinki 100
Helsinki 53 41 61
Pitäjänmäki

VALTION MAATALOUSKONEIDEN TUTKIMUSLAITOS

Finnish Research Institute of Engineering in Agriculture and Forestry

1973

Tutkimusselostus

10

Study report

**METSÄTRAKTORIEN MELU, TÄRINÄ
JA HEILUNTA**

**NOISE, VIBRATION AND ROCKING
OF FOREST TRACTORS**

JUHA KÄTTÖ — HANNU SALMINEN

HELSINKI 1973

Tiivistelmä

Tässä tutkimuksessa on esitetty metsätraktorien melun, tärinän ja heilunnan mittausten menetelmiä, kenttämittausten tuloksia sekä arvosteluperusteita.

Melun voimakkuutta mitattiin useimpien markkinoillamme olevien metsätraktorien ohjaamoista. Mittauksia suoritettiin metsämaastossa ja teillä normaaleissa työoloissa (5 traktoria) sekä traktorin seisossa paikallaan moottorin nopeuden vaihdella joutokäynnistä suurimpaan arvoon (21 traktoria).

Eri työvaiheiden meluisuusjärjestys oli hiljaisimmasta meluisimpaan: kuormaus, ajo metsämaastossa, ajo metsäautoteillä ja ajo maantiellä. Melu, jolle kuljettaja keskimäärin päivittäin joutuu alttiiksi, vaihteli traktoreittain 86...99 dB(A) keskiarvon ollessa 93 dB(A). Tulosten vertaaminen melun haitallisuuden arvosteluohjeeseen ISO R 1999 osoitti, että kuulon huonontumisen riski ajettaessa traktoria ammattimaisesti 5 vuoden ajan on 1...12 % ja 30 vuoden ajan 8...44 % traktorista ja työstä riippuen. Kuulonsuojainten käyttö on tarpeen kaikissa nykyisissä traktoreissa. Käyttämättä kuulonsuojaimia voidaan ilman kuulovaurion vaaraa ajaa keskiarvotraktoria n. 7 tuntia viikossa.

Moottorin synnyttämää tärinää mitattiin 17 traktorin ohjaamosta. Tärinän kiihtyvyyttä mitattiin ohjauspyörästä, hallintalaitteista, istuimesta ja lattiasta.

Ohjauspyörän tärinän haitallisuutta arvosteltiin käyttäen ISO:n arvosteluehdotusluonnosta. Hydraulisella ohjauksella varustettujen traktoreiden suurimmat tärinäarvot asettuivat keskimäärin alueelle, jolla edellytetään yhdestä kahteen yli 10 min taukoa tunnissa.

Suurimmat tärinäarvot esiintyivät yleensä vain kapealla moottorin nopeusalueella, jonka vaikutusaika päivittäin saattaa olla lyhyt. Mekaanisella ohjauksella varustettujen 2 traktorin ohjauspyörien tärinät ylittivät arvosteluehdotuksen mukaisen vaarallisen tärinän rajan.

Istuimen, lattian ja hallintalaitteiden tärinä oli keskimäärin vähäistä. Joissakin traktoreissa esiintyi kuitenkin melko voimakasta resonanssivärähtelyä.

Heilunnan mittaukset suoritettiin käytännön työoloissa ajajan pysty- ja sivusuuntaisesta heilunnasta. Mittauksia suoritettiin sekä

maastossa että metsäautotiellä 5 kuormatraktorista, joista kaksi oli telakonetta.

Metsämaastossa sekä pysty- että sivusuuntaisen heilunnan kiihtyvyydet kasvavat likimain suorassa suhteessa ajonopeuteen, samoin pystyheilunnan kiihtyvyydet metsäautotiellä. Sen sijaan sivuttaisheilunnan kiihtyvyys ei metsäautotiellä suurene ajonopeuden ylitettyä 3 m/s.

Terveydelle vaaraton ajoaika metsämaastossa käytetyillä ajonopeuksilla (n. 1 m/s) on ISO:n standardiehdotuksen mukaan keskimäärin n. 1,7 tuntia päivässä. Rajoittavana tekijänä on pystyheiluntaa vaarallisempi ja maastossa usein myös voimakkaampi sivuheilunta. Metsäautotiellä nopeuksilla 2...5 m/s vastaava aika on n. 3,3 h päivässä heilunnan pysty- ja sivusuunnassa ollessa likimain yhtä vaarallista.

Summary

This is a research presenting testing methods, measuring results and evaluation principles of the noise, the vibration and the rocking of forest tractors.

The noise levels were measured in the cabs of most forest tractor models in Finland. Measures were carried out both in forest terrain and on road in normal working conditions (5 tractors) and when the tractor stood still and the speed of the engine varied from idlerun to the greatest speed (21 tractors).

The order of noisiness in different working-phases was from the quietest to the noisiest: loading, driving in forest terrain, driving on forest road and driving on tarmac road. The intensity of noise that the driver on the average has to endure during a day varied in different tractors 86...99 dB(A) the average being 93 dB(A). When the results were compared with the ISO Recommendation for assessment of occupational noise exposure for hearing conservation purposes it was seen that the risk of hearing impairment when driving a tractor professionally for 5 years is 1...12 % and for 30 years 8...44 % depending on the tractor and the work. It is necessary to wear ear protectors in all tractors of today. Without protection one can drive an average tractor without danger for impaired hearing for approx. 7 hours per week.

The vibration caused by the engine was measured in the cabs of 17 tractors. The acceleration value of the vibration was measured from the steering wheel, the control devices, the seat and the floor.

The injuriousness of the vibration of the steering wheel was evaluated using an ISO Working Group's draft proposal Guide for the Evaluation of Human Exposure to Hand-Transmitted Vibration. The greatest vibration values of the tractors equipped with hydraulic steering were on the average within the limits where it is provided that the driver has one to two over 10 min breaks hourly. The greatest vibration was in general only in a narrow speedrange of the engine. The appearance of this range can be short daily. The vibration of the steering wheel of two tractors with mechanical steering was over the danger limit given in the mentioned draft proposal.

The vibration of the seat, the floor and the control devices was small on the average. In some tractors there occurred, however, quite strong resonance.

The rocking was measured in working conditions from the vertical and the lateral rocking of the driver. Measurements were carried out in terrain and on forest roads from 5 forwardes, from which 2 were crawlers.

In the forest terrain the acceleration values of the vertical and the lateral rocking grow nearly linearly to the driving speed, so do the accelerations of the vertical rocking on a forest road. Unlike that the acceleration of the lateral rocking does not on a forest road get bigger after the driving speed is over 3 m/s.

The driving time that is harmless to the health with speeds used in forest terrain measurements (approx. 1 m/s) is according to the ISO Draft International Standard Guide for the Evaluation of Human Exposure to Whole-Body Vibration approximately 1,7 hours per day. The limiting factor is the lateral rocking, which is more dangerous and often also stronger than the vertical rocking. On forest roads at speeds 2...5 m/s the corresponding time is approx. 3,3 hours per day, the vertical rocking being as dangerous as the lateral rocking.

Esipuhe

Tämän tutkimuksen melua käsittelevä osa liittyy yhteispohjoismaiseen mies ja kone -nimiseen tutkimukseen, jonka puitteissa H. Salminen suoritti diplomityönsä ”Tutkimus metsätraktorien melunmittausmenetelmän kehittämiseksi”. Tärinän ja heilunnan tutkimukset suoritti J. Kättö.

Metsätraktoreiden valmistajien ja maahantuojien myötämielinen suhtautuminen mittauksiin sekä tutkimuksessa mainittujen traktori-merkkien saaminen kenttäkokeisiin mahdollisti osaltaan tutkimusohjelman läpiviemisen.

Tutkimusselostuksen on englannin kielelle kääntänyt Liisa Sissonen.

Helsingissä toukokuussa 1973

Juha Kättö

Hannu Salminen

Foreword

The part that deals with noise in this study belongs to the Nordic research project ”Man and Machine”. Mr. H. Salminen has completed his diploma work ”The Study for developing a method how to measure the noise of forest tractors” within the bounds of his study. The vibration and rocking studies are completed by Mr. J. Kättö.

The favourable attitude of the producers and importers of tractors, mentioned in the study, made it possible to complete the study program.

The study report has been translated into English by Mrs. Liisa Sissonen.

Helsinki, May 1973

Juha Kättö

Hannu Salminen

METSÄTRAKTORIEN MELU, TÄRINÄ JA HEILUNTA

Johdanto

Raskasta metsätyötä on pyritty koneellistamalla keventämään. Seurauksena on entisten ongelmien tilalle tullut uusia, kuten melu, värinä ja heilunta. Näiden ergonomisten epäkohtien esiintuleminen ja yleinen tiedostuminen vaativat toimenpiteitä, lähinnä työsuojeluviranomaisten ja koneiden toimittajien taholta.

Ensin on kuitenkin selvitettävä ongelmien vakavuus. Tarvitaan tietoja melun, värinän ja heilunnan esiintymisestä ja voimakkuudesta, haitallisuudesta sekä vaimennusmahdollisuuksista. Mittaukset edellyttävät luotettavia mittausten menetelmiä ja haitallisuuden arviointi arvos-
teluohjeita.

Yleisen mielenkiinnon kohteeksi viime aikoina tulleen melun voimakkuuden mittaustavat, haitallisuuden arvosteluperusteet sekä vaimentamisen mahdollisuudet ovat jo melko tunnetut. Traktorinohjaamoiden melu on kaiken aikaa pienenemässä. Nykyiset kuulonsuojaimet ovat lisäksi ratkaisevana apuna ongelmatapauksissa. Eri asia on, koe-
taanko niiden käyttö vastenmieliseksi.

Värinän ja heilunnan mittausten menetelmät ovat toistaiseksi vakiintumattomia ja kehittelyn alaisia. Haitallisuuden arvosteluohjeet ovat osittain vasta luonnosasteella. Värinän ja heilunnan haittavaikutukset ilmenevät ennen koneenosien särkymisinä. Nykyisin on ihminen usein mies-kone-yhdistelmän heikoin kohta, sillä koneet on kyetty rakentamaan entistä kestävämmiksi. On syytä kiinnittää entistä enemmän huomiota värinälle ja heilunnalle alttiina olevaan traktorin kuljettajaan, jonka terveys on selvästi vaarassa.

1. MELU

1.1 Mittausmenetelmät

Maatalouskoneiden tutkimuslaitoksella metsätraktorien melu on mitattu koetuksen yhteydessä seuraavissa tilanteissa: ajettaessa kestopäällysteisellä tiellä tasaisella ja ylämäessä sekä ilman kuormaa että kuormattuna. Lisäksi on mitattu kuormauksen aikana vallitseva melu. Melu on nauhoitettu ja siitä on tehty taajuusanalyysi. Koetusselostuksessa on mainittu kunkin tilanteen melun dB(A)-, N- ja soniarvot.

Ruotsissa metsätraktorien melu mitataan virallisesti soveltaen maataloustraktorien koetuksissa ja turvallisuustarkastuksissa käytettävää kansainvälistä O.E.C.D.-mittausohjetta /1/. Menetelmä ei kuvaa kovin hyvin metsätraktorin kuljettajan todellista meluallistusta.

Maatalouskoneiden tutkimuslaitos on vuonna 1972 epävirallisessa alustavassa tutkimuksessa mitannut 21:sta markkinoillamme olevasta kuormatraktorista melun traktorin seisossa paikallaan ja moottorin nopeuden vaihdella joutokäyntiarvosta suurimpaan arvoon. Tuloksia ei ole julkaistu traktorimalleittain.

Metsätraktorien melun mittausmenetelmän kehittämiseksi on tutkimuslaitoksella tehty tutkimus /2/. Tuloksena syntyneen ehdotuksen mukaan melu mitataan kolmessa tarkoin määritellyssä tilanteessa:

- traktorin seisossa paikallaan moottorin käydessä suurimmalla nopeudella,
- kuormausta jäljittelevässä tilanteessa moottorin nopeuden ollessa 70 % suurinta tehoa vastaavasta nopeudesta tai kuormaimen nostonopeutta 1,2 m/s vastaava,
- ajettaessa tasaisella vaakasuoralla kestopäällysteisellä ajoalustalla ilman kuormaa suurimmalla nopeudella.

Mitattaessa käytetään pelkästään A-suodatettua melun kokonaisvoimakkuutta dB(A), jonka on todettu melko hyvin kuvaavan melun kuulolle vaarallista vaikutusta. Melua ei näin ollen tarvitse nauhoittaa eikä tehdä taajuusanalyysejä. Eri mittaustilanteiden melutasoista laskeaan keskiarvo. Tämä keskiarvo vastaa likimain kuljettajan päivittäistä meluallistusta, ns. ekvivalenttista melutasoa.

Tässä tutkimuksessa on käytetty traktorin seisossa paikallaan mitattuja meluarvoja sekä melun mittausmenetelmän kehittämisen yhteydessä käytännön työssä saatuja meluarvoja.

Mittausvälineistön muodostivat seuraavat laitteet:

- mikrofoni Brüel & Kjaer 4131 + 2630
- äänentasomittari Brüel & Kjaer 2203
- nauhuri Revox G 36
- taajuusanalysointilaite Brüel & Kjaer 2112
- piirturi Brüel & Kjaer 2305

1.2 Melun voimakkuus ohjaamoissa

Nokialla kesällä 1972 käytännön työssä mitattujen viiden kuorma-traktorin¹⁾ melutasojen keskiarvot eri tilanteissa on esitetty taulukossa 1. Melun voimakkuus vaihtelee kuormauksesta maantiecäjoon keskimäärin n. 6 dB(A).

¹⁾ BM Volvo SM 868, MF Kärppä, Teli-Lokkeri, Valmet 810, Valmet 870 CK.

Taulukko 1. 5 kuormatraktorin melutasojen keskiarvot

Tilanne	Melutaso dB(A)
Kuormaus	91,0
Metsämaasto, kuormattuna ajo	93,3
Metsämaasto, ilman kuormaa ajo	93,7
Metsäautotie, kuormattuna ajo	96,2
Metsäautotie, ilman kuormaa ajo	96,2
Maantie, ilman kuormaa ajo	97,2
Moottorin suurin nopeus traktorin seisoessa	95,5

Taulukossa 2 on esitetty mitattujen 5 traktorin ekvivalenttiset melutasot normaalisti työskenneltäessä, kun ajomatka on n. 500 m. Ajomatkan ollessa lyhyempi ekvivalenttiset melutasot ovat yleensä hieman alhaisemmat.

Taulukko 2. 5 kuormatraktorin ekvivalenttiset melutasot

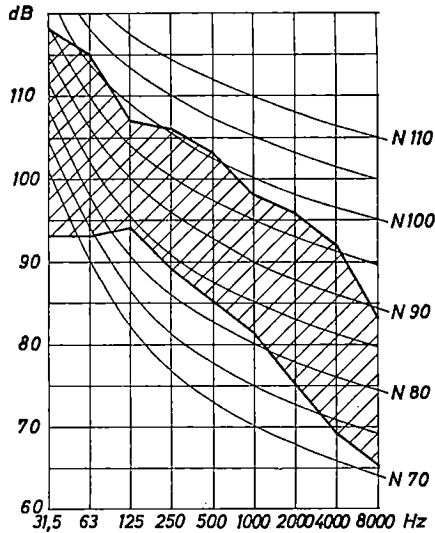
Traktori n:o	Ekvivalenttinen melutaso dB(A)
1	86,5
2	91,1
3	92,2
4	93,4
5	99,1

Ekvivalenttiset melutasot vaihtelivat välillä n. 86...99 dB(A) keskiarvon ollessa 92,5 dB(A).

Paikallaan mitattujen 21 kuormatraktorin korkeimmat melutasot vaihtelivat välillä 91...102 dB(A) ja välillä N 90...N 101 keskiarvojen ollessa 96 dB(A) ja N 96,5. Suurin melu esiintyi yleensä moottorin suurimman nopeuden tuntumassa. Kuvassa 1 on esitetty vastaavien meluspektrien vaihtelualue.

Melun mittaussuomenetelmän kehittämisen yhteydessä tehtyjen tutkimusten mukaan paikallaan mitatut korkeimmat melutasot ovat n. 3 dB(A) suurempia kuin ekvivalenttinen melutaso. Tähän perustuen saadaan em. 21 traktorin ekvivalenttisten melutasojen vaihtelualueeksi n. 88...99 dB(A) ja keskiarvoksi n. 93 dB(A).

Molemmat edelliset tutkimukset huomioon ottaen kuljettajan päivittäinen meluallistus on 86...99 dB(A) traktorista riippuen. Keskimääräinen arvo on n. 93 dB(A).



Kuva 1. Paikallaan mitattujen 21 metsätraktorin korkeimpia melutasoja vastaavien meluspektrien vaihtelualue.

Fig. 1. The variation range of the noise spectra corresponding to the highest noise levels of 21 forest tractors measured standing.

1.3 Melutasojen tarkastelua suositusten valossa

ISO:n suositus R 1999 /3/ pitää 80 dB(A) rajana, jota alhaisempien melutasojen ei katsota aiheuttavan kuulon huonontumista, oltiinpa melussa kuinka monta työtuntia ja -päivää tahansa. Tältä pohjalta tarkastellen kaikki markkinoilla olevat traktorit aiheuttavat kuulon huonontumisen vaaran jatkuvasti työskennellessä.

Alttius kuulon huonontumiselle on yksilöllistä. Riski kasvaa melun voimistuessa ja melussaoloajan pidetessä (taulukko 3). Myös iän mukanaan tuoma kuulon huonontumisen riski on huomattava, esimerkiksi 50-vuotiailla 15 %.

Paljon käytetty turvarajan arvo on 85 dB(A) jatkuvassa työssä. Em. ISO-suosituksesta saadaan pisimmät melussaoloajat, jos 85 dB(A) voidaan katsoa sallittavan jatkuvasti 40 h/viikko (taulukko 4).

Taulukkoja 2 ja 4 vertaamalla nähdään, että meluisimmilla traktoreilla työskennellessä pisin suositeltava työaika on alle 1,5 tuntia viikossa. Traktorien ekvivalenttien melutasojen keskiarvoa 93 dB(A) vastaava pisin suosituksen mukainen työaika on n. 7 tuntia viikossa.

Taulukko 3. Melun aiheuttama kuulon huonontuminen ISO R 1999:n arvosteluohjeen mukaan

Ekvivalenttinen melutaso dB(A)	Kuulon huonontumisen riski % ¹⁾			
	Melussaoloaika (8 h/työpäivä) vuosina			
	5	10	20	30
80	0	0	0	0
85	1	3	6	8
90	4	10	16	18
95	7	17	28	31
100	12	29	42	44

¹⁾ Kuulon huonontumisen rajana pidetään yleisesti kuulokynnyksen pysyvää nousua keskimäärin 25 dB taajuusalueilla 500, 1 000 ja 2 000 Hz.

Taulukko 4. Pisin suosituksen mukainen melussaoloaika (turvarajana pidetty 85 dB(A) jatkuvassa työssä)

Melutaso dB(A)	Kestoaika tuntia viikossa
85	40
90	12
95	4
100	1,2
105	0,4

Hiljaisimmilla traktoreilla voidaan työskennellä vaaratta n. 20...30 tuntia viikossa.

Ruotsalainen standardi Svensk standard SEN 590111 /4/ ilmoittaa N-käyriä muistuttavien rajakäyrien muodossa eri altistusajkojen sallitut oktaaveittain analysoidut melutasot. Näiden käyrien perusteella tässä tutkimuksessa mitatuilla hiljaisimmilla traktoreilla voidaan ajaa vaaratta jatkuvasti ja meluisimmilla n. 2 tuntia viikossa. Tässä yhteydessä on otettava huomioon, että kuvan 1 meluspektrit ovat paikallaan mitatun melun maksimiarvoja keskimääräisen meluallistuksen jäädessä käytännössä n. 3 dB(A) pienemmäksi.

1.4 Yhdistelmä

Mittaustulosten ja suositusten perusteella kuulon huonontumisen riski on ajattaessa traktoria ammattimaisesti 5 vuoden ajan 1...12 %

ja 30 vuoden ajan 8...44 % traktorista ja työstä riippuen. Käytännöllisesti katsoen riskittä voidaan meluisimmilla traktoreilla ajaa vain n. 1,5 tuntia viikossa ja keskiarvotraktoreilla n. 7 tuntia viikossa.

Kuppimallisten kuulonsuojaimien käyttöä voidaan näin ollen pitää suositeltavana metsätraktoria ammattimaisesti ajtaessa. Kuulonsuojaimia käyttämällä voidaan kuulovaurioriskin pienentämisen lisäksi vähentää melun keskittymiskykyä huonontavaa vaikutusta.

2. TÄRINÄ

2.1 Mittausmenetelmät

Ohjaamossa kuljettajaan kohdistuvaa moottorin aiheuttamaa nopeajaksoista (yli 10 Hz) tärinää on tutkittu mittaamalla tärinän kiihtyvyys kolmessa toisiaan vastaan kohtisuorassa suunnassa. Kiihtyvyyden mittaamisen lisäksi suositellaan myös tärinävoiman mittaamista ihmiseen kohdistuvaa tärinää tutkittaessa. Voimaa on kuitenkin käytännössä hankala luotettavasti mitata, joten tutkimuslaitoksella on päädytty ainoastaan kiihtyvyyden mittaamiseen. Laitteiston muodostivat:

- kiihtyvyyssanturi Brüel & Kjaer 4340
- esivahvistin Brüel & Kjaer 2623
- vahvistin Bell & Howell, Datatran 1-808
- oskilloskooppi Tektronix 564 B
- taajuusanalysaattori Brüel & Kjaer 2112
- nauhuri Telefunken MAS 54
- piirturi Brüel & Kjaer 2305
- kalibroitilaitte Brüel & Kjaer 4291

Kiihtyvyyssanturi kiinnitettiin ohjauspyörään, istuimeen, lattiaan ym. kohteisiin ruuvein kiristettävää kiinnityskappaletta tai magneettia käyttäen. Kalibrointi tapahtui kalibroitilaitteen 80 Hz:n taajuisten 1 g:n suuruisen sinimuotoisen värähtelyn avulla.

Tärinän mittaukset suoritettiin moottorin seisossa paikallaan. Kuormittamattoman traktorin seisossa paikallaan.

Mittaukset nauhoitettiin laboratoriossa tapahtuvaa analysointia varten. Nauhoitettavaa ilmiötä tarkkailtiin oskilloskoopista. Tärinästä tehtiin taajuusanalyysi oktaaveittain taajuusalueilta 31,5, 63, 125, 250, 500 ja 1 000 Hz. Tärinän kiihtyvyyssamplitudin tehollinen keskiarvo (rms-arvo) voitiin lukea piirturin paperin logaritmiselta (dB-) asteikolta. Paperin nopeus oli 3 mm/s ja piirtonopeus 200 mm/s.

Tärinää voidaan mitata myös kytkemällä anturi ilman välivahvistimia suoraan taajuussuodatinosalla varustettuun normaaliin äänentasomittariin. Arvot voidaan lukea mittarista suoraan tai nauhoittaa. On

huomattava, että yhdellä mittarilla voidaan tutkia vain yhden suuntaista värähtelyä kerrallaan. Tällaisen mittausjärjestelmän liikuteltavuus on hyvä.

2.2 Tärinän voimakkuus ohjaamoissa

Tärinän voimakkuutta on arvosteltu kolmessa toisiaan vastaan kohtisuorassa suunnassa mitatuista tärinän kiihtyvyyksistä suurimman mukaan /5/.

Tutkimuksessa käytetyt suurimmat moottorin koko nopeusalueelta löytyneet tärinäarvot esiintyvät usein vain kapealla nopeusalueella, joten keskimääräinen päivittäinen tärinäaltistus saattaa jäädä ilmoitettuja arvoja paljonkin pienemmäksi. Keskimääräisen tärinän laskemiseksi tarvittaisiin tietoja moottorin nopeuden jakautumisesta työssä.

Ohjauspyörän tärinän tavallinen resonanssialue oli 31,5 Hz:n oktaavilla vastaten moottorin nopeuksia 1 350 ... 2 700 r/min. Useissa tapauksissa pahin tärinä, verrattuna ISO:n työryhmän tekemään arvosteluehdotusluonnokseen /5/, esiintyi kuitenkin 63 Hz:n taajuusalueella, mikä vastaa 4-sylinterisen 4-tahtimoottorin syyttymistajuutta em. nopeusalueella.

Taulukossa 5 on esitetty taajuusalueilla 31,5 ja 63 Hz tärinän tehollisen kiihtyvyyssamplitudin neliöllinen keskiarvo edullisimmasta, keskiarvo- ja epäedullisimmasta traktorista. Traktoreiden välillä on tuntuvia eroja. Varsinaisissa metsätraktoreissa tärinä ei keskimäärin ole läheskään yhtä voimakasta kuin metsäajossakin paljon käytetyissä maataloustraktoreissa (kuva 2). Metsätraktoreissa yleinen hydraulinen runko-ohjaus on selvästi mekaanista edullisempi.

Taulukko 5. Ohjauspyörän tärinä

	Kiihtyvyyssamplitudien tehollinen arvo m/s^2	
	31,5 Hz pienin-keski-suurin	63 Hz pienin-keski-suurin
17 metsätraktoria	1— 6—15	1—18—60
15 hydraulisella ohjauksella varustettua	1— 5—13	1—13—28
2 mekaanisella ohjauksella varustettua	7—11—15	50—55—60
(37 maataloustraktoria)	(2— 9—30)	(2—29—70)

Istuimen tärinäarvot istuinosan ja selkätuen pehmusteiden alta mitattuna olivat alle $10 m/s^2$ (63 Hz). Istuintyynty vaimentaa nopea-

jaksoista tärinää vielä tehokkaasti. Muutamista metsätraktoreista on kuitenkin mitattu varsin suuria tärinäarvoja, jotka ovat aiheutuneet ilmeisesti istuimen epäedullisesta kiinnitystavasta.

Ohjaamon lattian tärinän keskimääräiset arvot mitatuissa traktoreissa olivat $1,9 \text{ m/s}^2$ (31,5 Hz) ja $4,6 \text{ m/s}^2$ (63 Hz). Arvoja voidaan pitää melko vähäisinä, joskaan erityisesti jalkoihin kohdistuvan tärinän arvosteluohjetta ei liene olemassa.

Moottorin nopeuden käsiasäätimessä esiintyvä tärinä on yleensä vähäistä. Suurimmat mitatut arvot olivat kuitenkin jopa 30 m/s^2 (63 Hz).

Moottorin nopeuden jalkasäätimen tärinäarvot olivat yleensä $5 \dots 20 \text{ m/s}^2$ (63 Hz).

Muissa hallintalaitteissa saattaa esiintyä voimakastaakin resonssivärähtelyä. Se yleensä kuitenkin vaimenee niihin koskettaessa, sitä tehokkaammin mitä pienempi ko. vivun tms. paino on.

2.3 Tärinän arvostelemisesta

Tärinän haitallisuuden arvostelemiseksi on olemassa paljon keskenään hyvinkin erilaisiin tutkimustuloksiin perustuvia ehdotuksia. Kansainväliset suositukset ovat vasta luonnosasteella.

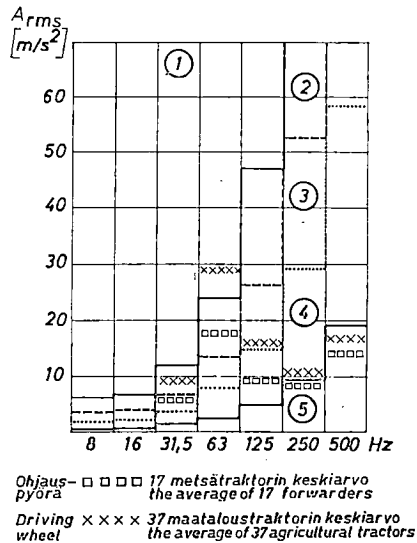
Käsiin kohdistuvan värähtelyn arvostelukäyriä ISO:n työryhmän tekemän ehdotuksen /5/ mukaan nähdään kuvassa 2. Korkeimman rajan yläpuolelle ei ammattimaisesti käytetyn käsityökalun tärinä saisi lainkaan joutua. Kolmella alemmalla alueella edellytetään säännöllisiä taukoja.

Koko vartaloon kohdistuvan värähtelyn arvostelukäyriä ISO:n standardiehdotuksen /7/ mukaan on esitetty kuvassa 5.

Tärinän arvosteluohjeiden soveltamista käytäntöön vaikeuttaa niiden tekijöiden paljous, joista tärinän haitallisuus riippuu. Tärkeimmät tekijät tärinävoimakkuuden (kiihtyvyyden, nopeuden, poikkeaman, voiman tai energian) lisäksi ovat värähtelyn taajuus, suunta, kesto-aika ja tauotus. Käsiin kohdistuvaa tärinää arvosteltaessa on lisäksi otettava huomioon kädensijojen laatu, käsien puristusvoima ja kannattava paino. Tärinän suunnalla ei sen sijaan katsota olevan merkitystä.

Oletettavasti tärinä ohjauspyörässä on vaarattomampaa kuin esimerkiksi moottorisahan kädensijoissa, joista joudutaan kannattelemaan sahaa ja puristamaan. Ohjauspyörän tärinää mitattiin ilman käsiotetta. Käden puristus pienensi tärinäarvot puoleen ja voimakas puristus jopa kolmasosaan alkuperäisestä.

Suomessa on viime vuosina tutkittu lukuisia moottorisahan tärinän



Kuva 2. Käsiin kohdistuvan värähtelyn arvostelukäyrät ISO:n työryhmän tekemän ehdotuksen /5/ mukaan:

- 1-alueelle ammattimaisesti käytetyn käsityökalun tärinä ei saisi lainkaan joutua.
 2-alueella edellytetään yli 2 yli 10 min tärinätöntä jaksoa tunnissa.
 3-alueella edellytetään 1...2 yli 10 min tärinätöntä jaksoa tunnissa.
 4-alueella edellytetään 1 yli 10 min tärinätön jakso tunnissa.
 5-alueella tärinää voidaan sallia 8 tuntia päivässä ilman taukoja.

Fig. 2. Curves for evaluating hand transmitted vibration according to the ISO Working Group's draft proposal /5/:

- 1-range: the area where the vibration of a hand held tool should not fall in professional work.
 2-range provides more than 2 over 10 min breaks per hour without vibration.
 3-range provides 1...2 over 10 min breaks per hour without vibration.
 4-range provides 1 over 10 min break per hour without vibration.
 5-range: the area where the vibration can be allowed for 8 hours per day without breaks.

aiheuttamia vauriotapauksia, mutta traktorinkuljettajia tuskin lainkaan. Kuljettajat ovat kuitenkin valittaneet mm. raajojen puutumista, huonoa oloa ja tärinän käymistä hermoille. Tämä onkin ymmärrettävää, sillä tärinän haittavaikutukset esiintyvät verisuonistossa, sisäelimeissä, niveliissä, luustossa sekä erityisesti myös hermokudoksissa ja yleensä hermostossa. Verenkiertohäiriöt vuorostaan laajentavat vammaa muihin kudoksiin ja elimiin.

2.4 Yhdistelmä

Metsätraktorien ohjauspyörien suurimmat värinäarvot jäävät keskimäärin vaararajan /5/ alapuolelle. Ohjauspyörän värinä on hydraulisten ohjausjärjestelmien ansiosta metsätraktoreissa vähäisempää kuin maataloustraktoreissa. Kahden mekaanisella ohjauksella varustetun metsätraktorin ohjauspyörän värinä ylitti 63 Hz:n taajuusalueella moninkertaisesti vaararajan.

Hallintalaitteissa ilmenee melko yleisesti epämiellyttävää resonanssi-värähtelyä.

Istuimen värinä on keskimäärin vähäistä, mutta voi eräissä metsätraktoreissa johtaa jo muutaman tunnin työskentelyn jälkeen terveydellisen vaararajan ylittämiseen.

Lattian värinä on yleensä vähäistä.

Työskenneltäessä jatkuvasti pahinta värinää vastaavaa moottorin nopeutta käyttäen olisi useimmissa tapauksissa jo yksistään ohjauspyörän värinän vuoksi syytä sisällyttää työhön yhdestä kahteen n. 10 minuutin pituista värinätorontä jaksoa tunnissa.

3. HEILUNTA

3.1 Mittausmenetelmät

Maaston epätasaisuuden aiheuttamaa pienijaksoista (alle 10 Hz) metsätraktorin kuljettajaan kohdistuvaa heiluntaa on tutkimuslaitoksella selvitelty mm. yhteispohjoismaisen tutkimustyön puitteissa viime vuosien aikana.

Tutkimusselostuksessa 9 /6/ on esitetty ehdotus metsätraktorin heilumisen mittaus- ja arvostelumenetelmäksi. Ehdotuksen mukaan mitaus tapahtuu kahdella tietynlaatuisella radalla ajonopeuden ollessa 1 m/s maastoa vastaavalla radalla ja 3 m/s metsäautotietä vastaavalla radalla. Heilunnan kiihtyvyys on ehdotettu mitattavan kahdesta kohdasta: istuimen kiinnityskohdasta rungosta sekä kuljettajan ja istuintyyntyn välistä. Kummastakin paikasta mitataan sivu- ja pystysuuntaiset kiihtyvyydet. Näin saadaan selville istuimen vaimennusominaisuudet.

Tässä tutkimuksessa metsätraktorin heiluntaa mitattiin normaaleissa työoloissa metsässä. Mittauksia suoritettiin sekä maastossa että metsäautotielle eri nopeuksin ajettaessa. Maasto oli helpohkoa metsämaastoa (kuva 3). Metsäautotiet olivat runsaasti käytettyjä kovapintaisia soraiteita.

Kiihtyvyysantureita oli käytössä kolme, joista yhdellä mitattiin pystykiihtyvyyttä istuimen kiinnityskohdasta rungosta ja kahdella pysty- ja sivuttaiskiihtyvyyksiä kuljettajan ja istuintyyntyn välistä. Mit-



Kuva 3. Heilunnan mittauksissa käytetty maastoajorata.
Fig. 3. The terrain track used for measuring rocking.

taustulokset nauhoitettiin. Mittauksiin ja analysointiin käytettiin seuraavia laitteita:

— kiihtyvyyssanturi Consolidated Electrodynamics Corporation 4-202 (2 kpl)

— kiihtyvyyssanturi Hottinger Baldwin Messtechnik GMBH B 1/250-5

— mittasilta Hottinger Baldwin Messtechnik GMBH KWS/T-5

— vahvistin Bell & Howell, Datatran 3-802 & 1-808

— nauhuri Telefunken, Nagra III & MAS 54

— oskilloskooppi Tektronix 564 B

— taajuusanalysointilaite Brüel & Kjaer 2112

— piirturi Brüel & Kjaer 2305

— luokittelijalaite Hottinger Baldwin Messtechnik GMBH KS 10-KS 10 V

— piirturi Consolidated Electrodynamics Corporation 5-124

Virtalähteenä käytettiin mittausautoon sijoitettua polttomoottori-käyttöistä generaattoria. Mittausjärjestelmän kalibrointi suoritettiin kääntämällä antureita 90° ja 180° , jolloin saatiin 1 ja 2 g:n kiihtyvyyksiä vastaavat arvot.

Tehtäessä mitatuista heilunnan kiihtyvyyksistä taajuusanalyysiä käytettiin nauhurissa 16-kertaista toistonopeutta verrattuna nauhoitusnopeuteen, jolloin pienimmän, 25 Hz:n $1/3$ -oktaavialueen sijasta pääs-

tiin 1,56 Hz:n taajuuteen. Käyttämällä uudelleen nauhoitusta nauhurista toiseen päästiin jopa 0,5 Hz:iin asti.

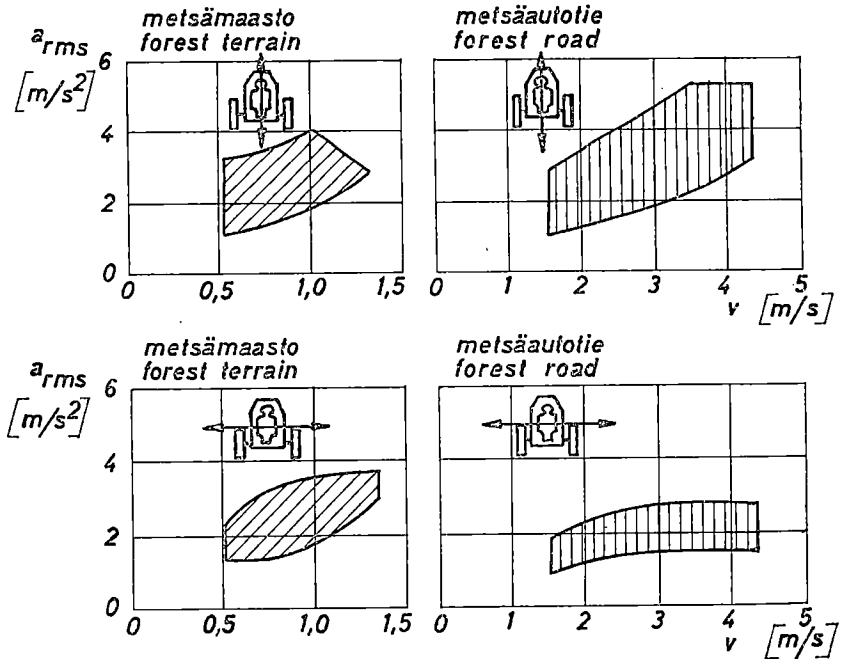
Luokittelulaitteella otettiin näyte jatkuvasti muuttuvasta kiihtyvyydestä 50 kertaa sekunnissa. Näytteet jaettiin 10 ryhmään, joiden perusteella laskettiin kiihtyvyyden tehollinen keskiarvo (rms).

Mitatut kiihtyvyydet tulostettiin vielä galvanometripiirturilla valoherkälle paperille, jolta voitiin tarkkailla kiihtyvyyden vaihtelua, resonanssitaajuuksia, kiihtyvyyden suurimpia arvoja jne.

3.2 Kuljettajan heilunta

Traktorinkuljettajan heilumisen voimakkuuteen vaikuttavat ajoradan pinnan muoto, ajonopeus ja traktorin rakenne.

Luokittelulaitteen avulla määritetyt kuljettajan heilunnon kiihtyvyyden teholliset keskiarvot vaihtelivat ajoradasta ja -nopeudesta riippuen kuvassa 4 esitetyillä alueilla. Maastoradalla sekä pysty- että sivu-



Kuva 4. Kuljettajan heilunnon voimakkuus käytetyillä ajoradoilla.

Fig. 4. The intensity of the operator's rocking on the used driving tracks.

heilunnan kiihtyvyydet ovat likimain suorassa suhteessa ajonopeuteen, samoin pystyheilunnan kiihtyvyydet metsäautotiellä. Siis ajonopeuden kaksinkertaistaminen johtaa heilunnan voimakkuuden kaksinkertaistamiseen. Sen sijaan sivuttainen heilunta metsäautotiellä ei näytä enää voimistuvan ajonopeuden ylitettyä 3 m/s.

1/3-oktaaveittain analysoiduista tehollisista kiihtyvyyssamplitudeista piirrettiin taajuusjakautumat. Kuvaan 5 on koottu tutkimuksessa /6/ ehdotettuja ajonopeuksia 1 m/s (metsämaasto) ja 3 m/s (metsäautotie) lähinnä olevilla nopeuksilla ilman kuormaa ajettaessa saadut kiihtyvyysspektrit eri traktoreista.

Traktorin rakenteen vaikutusta ajajan heiluntaan on vaikeata selvittää maastomittauksin kokeellisesti, koska hetkelliset ajonopeuden muutokset sekä poikkeamiset merkitystä radasta vaikuttavat tuloksiin. Tämä seikka on otettava huomioon verrattaessa kuvassa 5 esitettyjä mittaustuloksia keskenään. Teoreettisesti on traktorin rakenteen vaikutusta heiluntaan tutkittu esim. lähteessä /6/.

Galvanometripiirturilla ajan funktiona piirretyistä jatkuvista kiihtyvyysskäyristä löydettiin merkittävimmät resonanssitaajuudet: pystysuunnassa 1,5 ... 3,0 Hz ja sivusuunnassa 1,0 ... 1,5 Hz. Kuvan 5 kiihtyvyysspektrit osoittavat suurimpien kiihtyvyyksien keskittyvän juuri näille alueille.

3.3 Kuljettajan heilunnan terveydelliset vaararajat

Koko vartaloon kohdistuvan värähtelyn terveydelliset vaararajat ISO:n standardiehdotuksen /7/ mukaan nähdään kuvassa 5. Ehdotus sisältää pysty- ja vaakasuuntaisen värähtelyn kiihtyvyyssarvot päivittäisen altistusajan vaihdellessa 16 min ... 8 h.

”Väsämykseen ja alentuneeseen työtehoon” johtavat kiihtyvyyssarvot ovat puolet vaararajojen arvoista. ”Vähentyneen mukavuuden” rajat saadaan jakamalla vaararajojen kiihtyvyydet 6,3:lla.

Pystyheilunta on vaarallisinta taajuusalueella 4 ... 8 Hz. Suurimmat pystykiihtyvyydet sekä maastossa että metsäautotiellä ajettaessa esiintyivät pienemmillä, 1,5 ... 3 Hz:n, taajuuksilla. Sivuheilunnan vaarallisin taajuusalue on 2 Hz:n alapuolella, jolla alueella todettiin myös suurimmat sivusuuntaiset kiihtyvyydet. Sivusuunnassa ajajaan kohdistuvat kiihtyvyydet ovat likimain kaksi kertaa niin vaarallisia kuin pystysuunnassa.

Metsäautotiellä pystykiihtyvyydet olivat varsinkin suurilla nopeuksilla ajettaessa huomattavastikin suurempia kuin sivukiihtyvyydet. Vaararajat huomioon otettaessa heilunta näissä kahdessa suunnassa on liki-

main yhtä vaarallista. Maastossa ajettaessa sitä vastoin sivukiihtyvyydet olivat suurempia tai suunnilleen yhtä suuria kuin pystykiihtyvyydet, joten sivuheilunta on maastossa katsottava määrääväksi tekijäksi terveydellisiä haittoja arvioitaessa.

Mitattujen 45 ajotilanteen kiihtyvyysspektreistä määritettiin vaararajaa vastaavat altistusajat. Näiden keskiarvot on esitetty taulukossa 6.

Taulukko 6. Vaarallisen heilunnan rajaa vastaavien altistusaikojen keskiarvot

45 ajotilannetta	Vaararajaa ¹⁾ vastaava altistusaika h/päivä	
	Pystysuunta	Sivusuunta
Metsämaasto	4,2	1,7
Metsäautotie	3,6	3,3

¹⁾ Kuva 5. Fig. 5.

Kuva 5. Kuljettajan heilunnan kiihtyvyysspektrit käytetyillä ajoradoilla ilman kuormaa ajettaessa traktoreittain.

Vaarallisen heilunnan rajat ISO:n standardiehdotuksen /7/ mukaan päivittäisen altistusajan ollessa

8 h	käyrä 1 (ylimmät 2 kuvaa)
4 h	” 2 (”)
2,5 h	” 3 (”)
1 h	” 4 (”)
25 min	” 5 (”)
16 min	” 6 (”)

Fig. 5. The acceleration spectra of the operator's rocking on the used driving tracks when driving without load by each tractor.

The exposure limits of rocking according to the ISO Draft /7/, when the daily exposure time is

8 h	curve 1 (the two figures highest up)
4 h	” 2 (”)
2,5 h	” 3 (”)
1 h	” 4 (”)
25 min	” 5 (”)
16 min	” 6 (”)

¹⁾ kuormattuna ajo.
driving loaded.

3.4 Yhdistelmä

Metsätraktorin kuljettajaan kohdistuu voimakasta heiluntaa joutuessa maaston epätasaisuudesta ja ajonopeudesta, joka varsinkin ilman kuormaa ajettaessa on usein liian suuri. Tutkimuksessa mukana olleilla metsätraktoreilla ajettaessa päivittäin keskimäärin n. 2 tunnin maastoajo tai n. 3 tunnin ajo metsäautotiellä johti terveydellisen vaararajan ylittämiseen.

Rakenteellisin keinoin ei metsätraktorin kuljettajaan kohdistuvaa heiluntaa ole pystytty rajoittamaan riittävässä määrin. Pystyheiluntaa voidaan tosin vaimentaa tehokkaasti tarkoituksenmukaisella istuimella, mutta pystysuuntaista vaarallisemman ja usein voimakkaamman sivusuuntaisen heilunnan vaimentaminen on vaikeaa.

Terveys ja työkyky voidaan metsäajossa säilyttää vain ajamalla riittävän hitaasti. Ajoalustan epätasaisuudesta riippuen olisi metsämaastossa ajonopeudet rajoitettava yleensä 3...4 km/h:iin ja metsäautotiellä vältettävä voimakkaaseen resonanssiheiluntaan johtavia ajonopeuksia.

Lähdeluettelo — References

- /1/ O.E.C.D. Standard Code for the Official Testing of Agricultural Tractors. Paris 1970.
- /2/ Salminen, H: Tutkimus metsätraktorien melunmittausmenetelmän kehittämiseksi. Julkaisematon diplomityö, teknillinen korkeakoulu. Helsinki 1973.
- /3/ ISO Recommendation R 1999: Assessment of Occupational Noise Exposure for Hearing Conservation Purposes. 1st edition. May 1971.
- /4/ Svensk standard SEN 590111: Bedömning av risk för hörselskada vid bullerexponering. Stockholm 1972.
- /5/ ISO/TC 108/WG 7: Guide for the evaluation of human exposure to hand-transmitted vibration. Draft proposal. June 1971.
- /6/ Aho, K—Kättö J: Experiment for Developing a Method how to Measure and Evaluate the Rocking of the Forest Tractor, study report Nr. 9 Finnish Research Institute of Engineering in Agriculture and Forestry. Helsinki 1971.
- /7/ Draft International Standard ISO/DIS 2631: Guide for the Evaluation of Human Exposure to Whole-Body Vibration. April 1972.

NOISE, VIBRATION AND ROCKING OF FOREST TRACTORS

Introduction

The mechanization has no doubt made the forest work lighter. But in place of the previous problems we have received new ones, like noise, vibration and rocking. The appearing and general understanding of these ergonomical drawbacks demand measures, in the first hand from the authorities on occupational safety and health and from the producers of the machines.

First, however, the seriousness of the problems must be made clear. Information on the appearance, strength, harmfulness and moderation possibilities of noise, vibration and rocking is needed. The measurements provide reliable measuring methods and the assessment of harmfulness provides evaluation instructions.

The noise has become the object of public interest. It is already rather well known, how to measure, evaluate and moderate it. The noise in tractor cabs is growing less all the time. In addition to this the ear protectors of today are a conclusive help in problematic cases. However, the use of them is often found disagreeable.

The methods for vibration and rocking measurements are for the present not established but still under development. The instructions for evaluating their harmfulness are partly only proposals or drafts.

The effects of vibration and rocking formerly appeared as breaking down of machine parts. Nowadays the operator is often the weakest part of the man-machine combination, for the machines have become stronger than before. We must fix our attention to the operator, who is exposed to vibration and rocking and who's health is clearly in danger.

1. NOISE

1.1 Methods of measuring

At the Finnish Research Institute of Engineering in Agriculture and Forestry the noise of forest tractors has been measured, while testing the machine, in the following circumstances: while driven on tarmac road both on level ground and uphill without load and loaded.

In addition to this the noise during loading was measured. The noise has been recorded and a frequency analysis has been made out of the recording. The dB(A)-values, N-curves and sones of each circumstance have been mentioned in the study reports.

In Sweden the noise is officially measured applying the International O.E.C.D. Recommendation for measuring /1/ used in tests and safety inspections of agricultural tractors. This method does not very well describe the forest tractor operator's real exposure to noise.

The Finnish Research Institute of Engineering in Agriculture and Forestry has in 1972 in an unofficial preliminary study measured noise from 21 forwarders, for sale in Finland, while the tractors stood still and the speed of the engine varied from idlerun to the greatest speed. The results of each tractor model have not been published separately.

For developing a method of measuring the noise of forest tractors a study /2/ has been made by the Research Institute. According to the recommendation that resulted, noise is measured in three precisely determined situations:

- while the tractor is standing still and the speed of the engine is at its greatest,
- in a situation that imitates loading and the speed of the engine is 70 % from the greatest speed or corresponding the lifting speed of the loader 1,2 m/s,
- while driven on an even horizontal tarmac road without load at the greatest speed.

When measuring, only the A-weighted sound level dB(A) is used. This has been found to describe rather well the dangerous effect of noise to hearing.

Thus there is neither a need for the noise to be recorded nor a frequency analysis to be made. An average is calculated from the different measuring situations. This average corresponds approximately to the operator's exposure to noise during a day, which is called the equivalent (continuous) sound level.

This study makes use of noise values measured from a tractor standing still and noise values that were received in practical work in connection with the development of the mentioned noise measuring methods.

The measuring apparatus consisted of the following devices:

- Microphone, Brüel & Kjaer 4131 + 2630
- Sound level meter, Brüel & Kjaer 2203
- Tape recorder, Revox G 36
- Frequency analyzer, Brüel & Kjaer 2112
- Recorder, Brüel & Kjaer 2305

1.2 The noise level in tractor cabs

The noise level averages of the five forwarders¹⁾ measured in the summer 1972 at Nokia in practical work in different working situations are presented in table 1. The noise level varies from loading into driving on tarmac road approx. 6 dB(A).

Table 1. The averages of the noise levels of 5 forwarders

Working situation	Noise level dB(A)
Loading	91,0
Forest terrain, driving loaded	93,3
Forest terrain, driving without load	93,7
Forest road, driving loaded	96,2
Forest road, driving without load	96,2
Tarmac road, driving without load	97,2
Engine max rpm while the tractor is standing	95,5

The equivalent noise levels of the measured 5 forwarders have been presented in table 2. The forwarders were at normal work and the driving distance was approx. 500 m. When the driving distance is shorter the equivalent noise level is usually a little lower.

Table 2. The equivalent noise levels of 5 forwarders

Tractor nr.	Equivalent noise level dB(A)
1	86,5
2	91,1
3	92,2
4	93,4
5	99,1

The equivalent noise levels varied between approx. 86...99 dB(A) the average being 92,5 dB(A).

The greatest noise levels from the 21 standing forwarders varied between 91...102 dB(A) and between N 90...N 101 curves the averages being 96 dB(A) and N 96,5 curve. The greatest noise level occurred usually near the greatest speed of the engine. In figure 1 there is the variation range of the corresponding noise spectra.

¹⁾ BM Volvo SM 868, MF Kärppä, Teli-Lokkeri, Valmet 810, Valmet 870 CK.

According to the studies made while developing the method for noise measuring, the greatest noise levels from standing forwarders were approx. 3 dB(A) bigger than the equivalent noise level. Based on this fact we find the variation range of the equivalent noise levels of the aforementioned 21 forwarders to be between 88...99 dB(A) and the average to be approx. 93 dB(A).

When taking into account both the studies before the driver's daily exposure to noise is between 86...99 dB(A) depending on tractor. The average value is approx. 93 dB(A).

1.3 Surveying noise levels according to recommendations

According to the ISO Recommendation R 1999 /3/ the noise levels lower than 80 dB(A) are not considered to cause impairment of hearing, no matter how many working hours or days one is exposed to the noise. According to this all tractors for sale cause danger of impairment of hearing when the daily work is uninterrupted.

The liability to impairment of hearing is individual. The risk grows as the noise gets stronger and the time of exposure gets longer (table 3). Also the risk of hearing impairment caused by the effects of age is considerable, for example for 50-year olds it is 15 %.

Table 3. Noise-induced hearing impairment according to the ISO-Recommendation 1999.

Equivalent continuous sound level dB(A)	Risk of hearing impairment % ¹⁾			
	Years of exposure (8 h/day)			
	5	10	20	30
80	0	0	0	0
85	1	3	6	8
90	4	10	16	18
95	7	17	28	31
100	12	29	42	44

¹⁾ The hearing is generally considered impaired if the arithmetical average of the permanent threshold shifts for the three frequencies 500, 1000 and 2000 Hz is 25 dB or more.

The safety limit that has much been used is 85 dB(A) in continuous work. The longest times of exposure can be taken from the

aforementioned ISO-Recommendation, if 85 dB(A) can be allowed continuously 40 h/week (table 4).

When comparing tables 2 and 4 one can see that while working with the noisiest forwarders the longest recommended working time is less than 1,5 h/week. The longest recommended working time corresponding to the average of the forwarders' equivalent noise levels 93 dB(A) is approx. 7 h/week. With the least noisy forwarders one can work without danger for approx. 20...30 h/week.

Table 4. Recommended maximum duration of noise exposure according to ISO R 1999 (when the limit of safety is 85 dB(A) in continuous work).

Noise level dB(A)	Duration hours per week
85	40
90	12
95	4
100	1,2
105	0,4

The swedish standard Svensk standard SEN 590111 /4/ gives the allowed exposure times, using limit curves that resemble N-curves. Based on these curves one can drive the least noisy tractor measured in this study, continuously without danger, and the noisiest tractors approx. 2 h/week. In this connection it must be taken into consideration that the noise spectra in figure 1 are maximum values of the noise measured standing the noise exposure in practice being approx. 3 dB(A) smaller.

1.4 Summary

According to the measuring results and recommendations the risk of hearing impairment when driving a tractor professionally for 5 years is 1...12 % and for 30 years 8...44 % depending on the tractor and the work. Practically without risk one can drive the noisiest tractors only approx. 1,5 h/week and the average tractor approx. 7 h/week.

The use of ear mufflers can thus be recommended when driving a forest tractor professionally. Besides lessening the risk of hearing impairment one can lessen the impairing effect of noise on concentration by using ear protectors.

2. VIBRATION

2.1 Methods of measuring

The vibration of over approx. 10 Hz, caused by the engine, directed to the driver in the cab has been studied by measuring the acceleration of vibration in three directions all at right angles to each other. In addition to measuring acceleration it is also recommended to measure the vibration power when studying vibration directed to a human body. It is, however, difficult to measure the power reliably, so that at the Research Institute it has been decided to measure only the acceleration. The apparatus consisted of:

- Accelerometer, Brüel & Kjaer 4340
- Preamplifier, Brüel & Kjaer 2623
- Amplifier, Bell & Howell, Datatran 1—808
- Oscilloscope, Tektronix 564 B
- Frequency analyzer, Brüel & Kjaer 2112
- Tape recorder, Telefunken MAS 54
- Recorder, Brüel & Kjaer 2305
- Calibration device, Brüel & Kjaer 4291

The acceleration gauge was fastened on the steering wheel, the seat, the floor and other places using either a screw fastening piece or a magnet.

The calibration was done with 80 Hz frequency, 1 g. sinusoidal vibration of the calibration device.

The measuring was done in the whole speed range of the engine with a standing unloaded tractor.

The measurements were recorded for analyzation in a laboratory. The recorded phenomenon was watched through an oscilloscope. A frequency analysis of vibration was made in octaves between 31,5 and 1 000 Hz. The effective average of the acceleration amplitude of vibration (rms-value) could be read from the logarithmic (dB) scale paper of the recorder. The speed of the paper was 3 mm/s and the drawing speed 200 mm/s.

Vibration can also be measured by fastening the gauge without preamplifier directly to a normal sound level meter equipped with a frequency filter. The values can be read directly from the meter or they can be recorded. It must be noted that with one meter vibration can only be measured in one direction at a time. The mobility of this kind of measuring system is good.

2.2 The strength of vibration in tractor cabs

The strength of vibration has been estimated according to the greatest acceleration of vibration from three vibrations measured at right angles /5/.

The greatest vibration values found from the whole speed range of the engine in many cases only occurred within a narrow speed range, so that the average daily vibration exposure may be much smaller than the values given in this study. To estimate the vibration average information of the division of the engine speed at work would be needed.

A usual resonance point of the vibration of the steering wheel was at the 31,5 Hz octave band corresponding to engine speeds 1 350...2 700 r/min. In many cases the worst vibration, compared with the ISO Working Group's draft proposal for assesment /5/, occurred, however, at the 63 Hz octave band, which corresponds to the ignition frequency of a 4-cylinder 4-cycle engine at speeds above. Table 5 presents in octave bands 31,5 and 63 Hz the rms-values of the acceleration amplitudes from the most advantageous, the average and the most unadvantageous forwarder. There are considerable differences between the tractors. The vibration in the actual forest tractors is not on the average nearly so powerful as in agricultural tractors, which also are widely used for driving in the forest (figure 2). The hydraulic steering systems general in forest tractors are clearly more advantageous than the mechanical steering.

Table 5. Vibration of steering wheel

	rms value of acceleration amplitudes m/s ²	
	31,5 Hz smallest-average- biggest	63 Hz smallest-average- biggest
17 forest tractors	1— 6—15	1—18—60
15 tractors equipped with hydraulic steering	1— 5—13	1—13—28
2 tractors equipped with mechanical steering	7—11—15	50—55—60
(37 agricultural tractors)	(2— 9—30)	(2—29—70)

The vibration values of the seat measured under the cushion of the seat and the back support were less than 10 m/s² (63 Hz). The seat cushion is effective in lessening this vibration. From some forest

tractors, however, rather big vibration values have been measured. These are apparently due to the unadvantageous fastening of the seat.

The average vibration values from the floor of the cab in the measured tractors were $1,9 \text{ m/s}^2$ (31,5 Hz) and $4,6 \text{ m/s}^2$ (63 Hz). These values can be considered rather small, although there is no recommendation for assessing the vibration that is especially directed to feet.

The vibration of the hand throttle is usually small. The greatest measured values were, however, as high as 30 m/s^2 (63 Hz).

The vibration values in the accelerator were generally $5 \dots 20 \text{ m/s}^2$ (63 Hz).

Strong resonance may also occur in other operating apparatus. However, when the apparatus is touched it usually grows the less the smaller the weight of the lever or any other apparatus in question is.

2.3 Evaluating the vibration

To evaluate the harmfulness of vibration there are quite a number of proposals based on very different kinds of studies. International recommendations are also only draft proposals this far.

The evaluation curves of the ISO Working group's draft proposal /5/, of the hand-transmitted vibration can be seen in figure 2. The vibration of a hand held tool used professionally must never be over the maximum value. Within the three lower ranges regular breaks are assumed.

The evaluation curves of the ISO Draft International Standard /7/ of the vibration directed to the whole body can be seen in figure 5.

The adaption of the evaluation recommendations of vibration is made difficult by the great number of factors of which the harmfulness of vibration is due to. The most important factors in addition to the vibration magnitude (acceleration, speed, amplitude, power or energy) are the frequency, direction, time and breakage of vibration. When evaluating the vibration directed to hands one must also take into consideration the shape of the handles, the gripping force of hands and the weight that must be supported. On the other hand the direction of vibration is not considered significant.

It is assumed that the vibration in the steering wheel is less harmful than the vibration for instance in the handles of a chain saw, with which one has to support the saw and which have to be squeezed. The vibration of the steering wheel was measured without grip.

The grip decreased the acceleration values into a half and a powerful grip as much as to a third of the original.

In Finland in the last few years numerous damages caused by the vibration of the chain saw have been studied, but hardly any tractor operators. The operators have, however, complained of arms and legs growing numb, of indisposition and of the vibration getting on their nerves. This is quite understandable, as the damages of vibration occur in the system of blood vessels, inner organs, joints, bones and especially also in nerve tissues and the nervous system in general. The disturbances in the blood vessels in their turn expand the defect to other tissues and organs.

2.4 Summary

The greatest vibration values of the steering wheel of forest tractors are on the average lower than the exposure limit /5/. Because of the hydraulic steering system the vibration of the steering wheel is less in forest tractors than in agricultural tractors. In two forest tractors, equipped with mechanical steering, the vibration of the steering wheel was, at the 63 Hz octave band, richly over the exposure limit.

In the controls there is often quite unpleasant resonance.

The vibration of the seat is small, but in some forest tractors it can after a few hours' work be over the exposure limit.

The vibration of the floor is small.

While working continuously using the engine speed that gives the greatest vibration, it would be advisable in most cases, even alone because of the vibration of the steering wheel, to include one to two 10-minute breaks or other work without vibration per hour.

3. ROCKING

3.1 Methods of measuring

The rocking (vibration under 10 Hz) caused by rough terrain and directed to the operator of a forest tractor has been studied at the Research Institute within the Scandinavian joint work during the last few years.

In the study report 9 /6/ a proposal is presented for measuring and evaluating the rocking of the forest tractor. According to the proposal the measuring is done on two tracks of a certain degree. The driving speed is 1 m/s on the track corresponding forest terrain

and 3 m/s on the track corresponding forest road. The acceleration of rocking has been recommended to be measured from two places: the mounting point of the seat and between the seat and the operator. In both places both vertical and lateral accelerations are measured. This makes it possible to find out the moderation qualities of the seat.

In this study the rocking of the forest tractor was measured in normal working conditions in the forest. The measurements were carried out both in forest terrain and on forest roads at different speeds. The terrain was fairly easy forest terrain (figure 3). The forest roads were much used hard surfaced gravel roads.

There were three acceleration gauges in use. One of them was used to measure the vertical acceleration at the mounting point of the seat and the two others to measure the vertical and lateral accelerations of the driver between the operator and the seat cushion. The measuring results were recorded. In the measuring and analyzing following apparatus was used:

- Acceleration gauges (2 pieces), Consolidated Electrodynamics Corporation 4-202
- Acceleration gauge, Hottinger Baldwin Messtechnik GMBH B 1/250-5
- Measuring bridge, Hottinger Baldwin Messtechnik GMBH KWS/T-5
- Amplifier, Bell & Howell, Datatran 3-802 & 1-808
- Tape recorder, Telefunken, Nagra III & MAS 54
- Oscilloscope, Tektronix 564 B
- Frequency analyzer, Brüel & Kjaer 2112
- Recorder, Brüel & Kjaer 2305
- Classifier, Hottinger Baldwin Messtechnik GMBH KS 10—10 V
- Recorder, Consolidated Electrodynamics Corporation 5-124

An internal combustion engine worked generator mounted on the measuring car was used as the source of current. The calibration of the measuring system was done by turning the gauges 90° and 180°. This gave the values corresponding to 1 and 2 g accelerations.

When the frequency analysis of the measured accelerations was made we used a repetition speed that was 16 times the recording speed. This made it possible to reach a frequency of 1,56 Hz instead of the smallest, 25 Hz, 1/3 octave band range of the analyzer. By using repeated recording from one recorder to another we reached even 0,5 Hz.

With the classifying device a sample was taken 50 times per second from the constantly changing acceleration. The samples were

divided into 10 groups, on account of which the effective average of acceleration (rms) was calculated.

The measured accelerations were also analyzed with a galvanometric recorder on a paper sensitive to light. So it was possible to observe the changes in acceleration, resonance frequencies, greatest values of acceleration etc.

3.2 The rocking of the operator

The shape of the track surface, driving speed and the construction of the tractor affect the magnitude of the rocking of the operator.

The effective averages (rms) of the operator's acceleration, which were estimated by means of the classifying device, differed according to the driving track and speed on the ranges that appear in figure 4. On the terrain track the accelerations in vertical and horizontal directions are nearly directly comparable with the driving speed. So are the accelerations of vertical rocking on the forest road. This means that doubling the driving speed leads to the doubling of acceleration. Unlike this the horizontal rocking on the forest road does not seem to get stronger when the driving speed exceeds 3 m/s.

The frequency spectra were made of the effective acceleration amplitudes analyzed in 1/3 octaves. The acceleration spectra of different tractors have been assembled in figure 5. The spectra correspond approximately to speeds 1 m/s (forest terrain) and 3 m/s (forest road) when driven without load. These speeds were recommended in the study /6/.

It is difficult to make clear the effect of the construction of the tractor on the rocking of the operator using terrain measurements, because the temporary changes in the driving speed and deviations from the marked track have effect on the results. This fact has to be taken into consideration when the results in figure 5 are compared with each other. The effect of the construction of the tractor on the rocking has theoretically been studied for instance in reference /6/.

The most remarkable resonances were found from the continuing acceleration curves drawn by the galvanometric recorder as the function of time. They were vertically 1,5...3,0 Hz and laterally 1,0...1,5 Hz. The acceleration spectra in figure 5 show that the greatest accelerations concentrate just on these ranges.

3.3 The exposure limits of the rocking for the operator's health

The exposure limits of the rocking directed to the whole body according to the ISO Draft International Standard /7/ are seen in

figure 5. The proposal includes the acceleration values of vertical and lateral vibration when the exposure time per day is 16 min . . . 8 h.

The acceleration values leading to "fatigue and decreased performance" are half of the values of the exposure limit. The limits for "decreased comfort" are got by deviding the accelerations of the exposure limits by 6,3. The vertical rocking is most dangerous within the frequency range 4 . . . 8 Hz. The greatest vertical accelerations when driven both in the terrain and on the forest road occur within smaller, 1,5 . . . 3 Hz, frequencies. The most dangerous frequency range of the lateral rocking is below 2 Hz. Within this range also the greatest lateral accelerations were recognized. The accelerations directed to the operator in lateral direction are about twice as dangerous as the vertical ones.

When driven on the forest road the vertical accelerations, especially when driven at great speeds, were considerably greater than the lateral accelerations. Taking the danger limits into consideration the rocking in these two directions is about equally dangerous. When, on the other hand, driven in the terrain the lateral accelerations were greater or approx. as great as the vertical accelerations. This means that the lateral rocking must be considered as the determining factor in terrain when the injuries to health are evaluated.

Exposure times corresponding to the exposure limit were calculated from the acceleration spectra of 45 driving situations. The averages of these are presented in table 6.

Table 6. The averages of the exposure times corresponding to the exposure limit for rocking

45 drives in terrain and forest roads	Exposure time corresponding to the exposure limit ¹⁾ h/day	
	Vertical direction	Lateral direction
Forest terrain	4,2	1,7
Forest road	3,6	3,3

¹⁾ Fig. 5.

3.4 Summary

A powerful rocking is directed to the operator of the forest tractor due to the roughness of terrain and driving speed, which is often too high, especially when driven unloaded. When driving the tractors of

the study approx. a 2 hours' drive in terrain and a 3 hours' drive on forest road lead to exceeding of the daily exposure limit.

It has not been succesful to limit sufficiently the rocking directed to the operator with structural means. The vertical rocking can, however, efficiently be made less with a suitable seat, but it is difficult to lessen the more dangerous and often stronger lateral rocking.

Health and working ability can in forest driving be preserved only by driving slowly enough. Depending on the roughness of the driving surface the driving speeds in forest terrain should generally be limited to 3...4 km/h, and on forest roads one should avoid driving on speeds that lead to powerful resonance.