



VAKOLA

03450 OLKKALA
913-46211

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

TUTKIMUSSELOSTUS No. 27

RISTO SALMINEN - KAUKO TURTIAINEN

METSATRAKTORIN HEILUNNAN MITTAUS-
MENETELMÄN KEHITTÄMINEN

VIHTI 1982

TUTKIMUSSELOSTUS No 27

RISTO SALMINEN - KAUKO TURTTAINEN

METSÄTRAKTORIN HEILUNNAN MITTAUS-
MENETELMÄN KEHITTÄMINEN

VIHTI 1982

SISÄLLYSLUETTELO

1.	JOHDANTO	1
1.1	Heilunnan vaimentaminen	2
1.2	Metsätraktorin heiluntaan vaikuttavat tekijät	4
1.2.1	Ajorata	5
1.2.2	Ajonopeus	7
1.2.3	Traktorin rakenne	8
1.2.3.1	Renkaat	8
1.2.3.2	Kuljettajan sijainti	9
1.2.3.3	Akselistorakenteet	10
2.	TUTKIMUSMENETELMÄT JA AINEISTO	11
2.1	Menetelmä	11
2.2	Mitatut traktorit	12
3.	TULOKSET JA NIIDEN TARKASTELUA	13
3.1	Tehollisarvot	13
3.2	Taajuusjakautumat	14
4.	JOHTOPÄÄTÖKSET	19
	TIIVISTELMÄ	22
	SAMMANFATNING	23
	SUMMARY	24
	LÄHDEKIRJALLISUUS	25
	LIITTEET	

ALKULAUSE

Metsätraktorin heilunta on nykyisin pahimpia sen kuljetajaan kohdistuvista haittatekijöistä. Tämä tutkimus on tehty heiluntamittauksen standardimenetelmän kehittämiseksi.

Tutkimuksen on rahoittanut Työsuojelurahasto.

Käytännön mittaukset tehtiin neljällä traktorilla Enon kunnassa, Enso-Gutzeit Oy:n alueilla syksyllä 1981.

Ponsse Oy toimitti Ponsse S20 - traktorin korvauksetta käytettäväksi. Valmet Oy osallistui Valmet 862 K - traktorin käyttökuluihin. Lisäksi Kockums Industri Oy luovutti korvauksetta tutkimuksessa käytettäväksi Kockums 850 - traktorin.

Viidissä, helmikuussa 1982

Risto Salminen

Kauko Turtiainen

1. JOHDANTO

Työkoneiden heilunnaksi käsitetään yleensä matalataajuisista alle 20 Hz tärinää. Tärinän tarkka määrittely vaatii useita suureita

- tärinän vaikutusalue (vartalo tai käsi)
- vaikutussuunta
- tärinän taajuus
- tärinän voimakkuus/energia
- tärinän kestoaika.

Matalataajuisella tärinällä on haittavaikutuksia. Nämä eivät kuitenkaan ole niin selkeitä kuten esimerkiksi melun aiheuttamat haitat. Tämä johtuu siitä, ettei ihmisellä ole erityistä tärinääistia. Näinollen tärinän sietokyky vaihtelee suuresti eri ihmisillä. Selän suhteen näyttää siltä, että tärinä nopeuttaa kulumamuutosten syntyä. Samoin vatsahaavan ja muiden ruoansulatuselinten sairauksien ja pitkällisen tärinääitistuksen välillä näyttää olevan syy-yhteys. Lisäksi tärinällä on vaikutuksia työtehoon ja psyykkiseen hyvinvointiin. /8/

Maastossa liikkuvan työkoneen matalataajuinen tärinä aiheutuu lähes pääsääntöisesti maaston epätasaisuuksista. Osa koneen työvaiheista, esimerkiksi kuorman tekeminen ja purkaminen, aiheuttaa myös heiluntaa, mutta sen voimakkuus jää melko pieneksi.

Traktorin ja kuljettajan heilunnan suuruudella on tärkeä merkitys työkoneen ajonopeuden säätöjärjestelmässä. Eriytyisesti ilman kuormaa liikkuvan metsätraktorin ajonopeuden säätö tapahtuu varsin pitkälle kuljettajaan kohdistuvan heilunnan perusteella. Poikkeavasti esimerkiksi henkilöauton nopeuden säätösuureena - varsinaisten nopeusrajoitusten ja mittarilukeman lisäksi - on usein auton

melutaso sekä huonommissa olosuhteissa tarvittavan ohjaustarkkuuden ja auto - kuljettaja -järjestelmän reaktioajan suhde.

1.1 Heilunnan vaimentaminen

Tärinän vaimentamiseen käytetään yleensä halutun osan eristämistä muusta värähtelyjärjestelmästä tai herättees-tä jousen ja viskoosivaimentimen välityksellä, kuva 1 . Järjestelmän vaimennuskyky riippuu vaimentimesta sekä he-rätteen ja massan ominaistuuksien suhteesta. Kuvassa on esitetty ns. siirtofunktio /2/

$$|H| = \ddot{X}_m / \ddot{X}_{in} \quad (1)$$

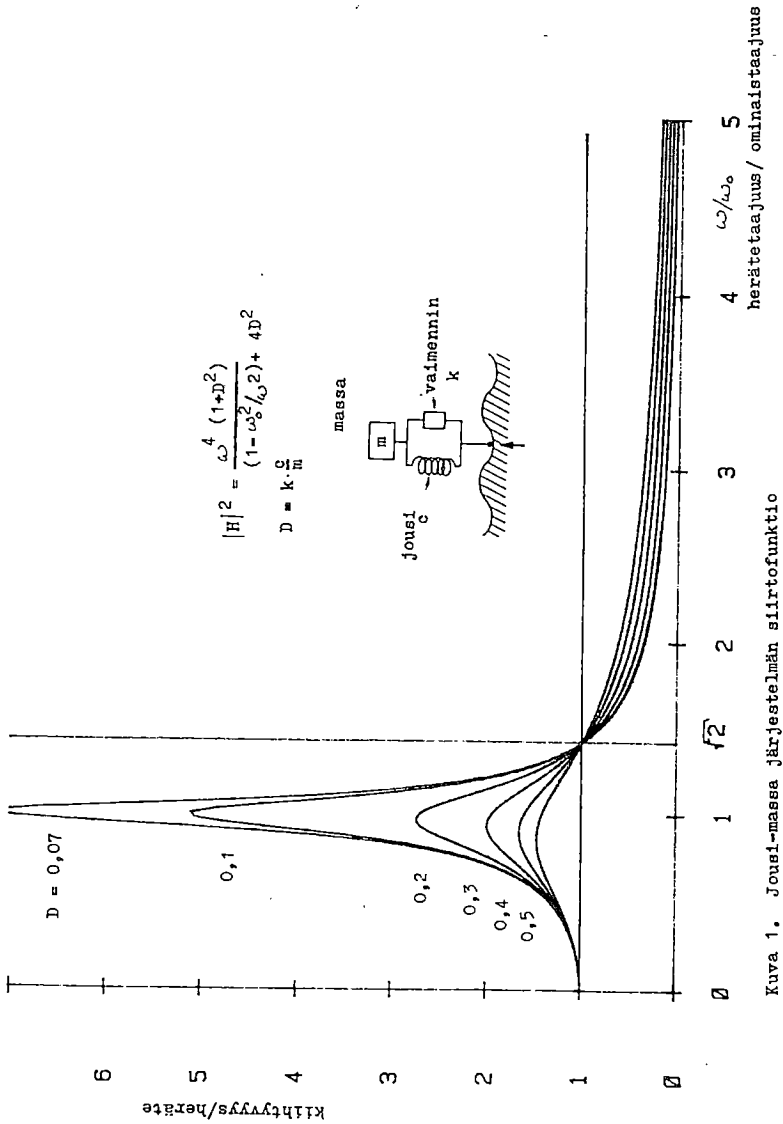
missä \ddot{X}_m = massan kiihtyvyys (m/s²)
 \ddot{X}_{in} = alustan kiihtyvyys (m/s²)

Kuvasta havaitaan, että vaimentimesta riippumatta tärinän vaimenemista tapahtuu vasta, kun herätteen taajuus f on suurempi kuin 2 (1,4) kertaa järjestelmän ominais-taajuus f_0 . Tämän järjestelmän ominaistuuksia voidaan laskea yhtälöllä (2)

$$f_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{c}{m}(1-D^2)} \quad (2)$$

missä c = jousivakio (N/m)
 m = värähtelevä massa (kg)
 D = suhteellinen vaimennus

Likimääräisyhtälöksi ominaistuuksien ja jousen staattisen painuman välille saadaan (3)



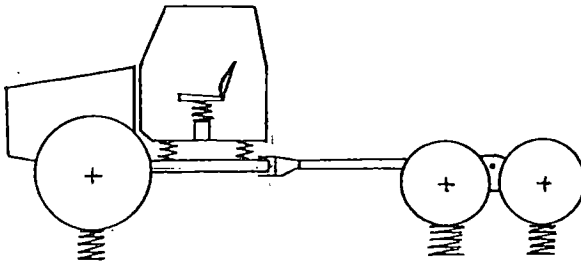
$$f_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{10}{\delta}} \quad (3)$$

missä δ = staattinen painuma (m)

Metsätraktorin rungon pystyheilahtelun ominaistaaajuus on noin 2 Hz. Mikäli tätä halutaan vaimentaa istuimella, on istuimen ominaistaaajuuden oltava alle 1,4 Hz ja staattisen painuman noin 140 mm. Mikäli istuimen ominaistaaajuus on tätä suurempi vahvistaa se heiluntaa koska suhde f/f_0 on pienempi kuin $\sqrt{2}$. Vaimennuksen/vahvistuksen suuruuteen taas vaikuttaa vaimennussuhteen D suuruus. Istuimella tämän arvo on noin 0,4 eli heilunnan vahvistus on korkeintaan noin 75 %, mutta traktorin renkailla, joiden vaimennus on melko pieni $D = 0,07 - 0,09$ /6/ heilunnan suureneminen järjestelmän resonanssitaajuudella f_0 on 6 - 7 kertaista.

1.2 Metsätraktorin heiluntaan vaikuttavat tekijät

Metsätraktoria voidaan kuvata yksinkertaistettuna jousimassa -järjestelminä kuvan 2 mukaan



Kuva 2. Metsätraktorin värähtelymalli

Sen pystyheilahtelujen ominaistaaajuudet voidaan laskea yhtälön (1) mukaan. Traktorista riippuen tämä on noin 2-3 Hz. Sivuheilahtelun ominaistaaajuudet voidaan teoreettisesti laskea yhtälöistä (4) ja (5) /6/

$$f_{rot1} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{c b^2}{2 J}} \quad (4)$$

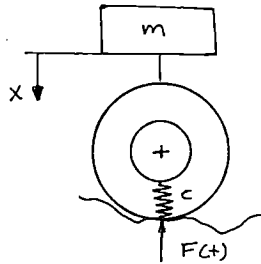
$$f_{rot2} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{c b^2}{(J+m i^2)}} \quad (5)$$

missä	f_{rot1}	=	painopisteen ympäri tapahtuvan heilunnan ominaistajuus
	f_{rot2}	=	renkaan ja maan kosketuspisteen ympäri tapahtuvan heilunnan ominaistajuus
	c	=	renkaan jousivakio
	b	=	raideväli
	J	=	heilahtelevan osan hitausmomentti
	m	=	heilahtelevan osan massa
	i	=	massan hitaussäde

Käytännössä näiden laskeminen on hankalaa johtuen osittain hitausmomentin määrittämisestä. Pysty-, sivu- ja rotaatioheilauksien keskinäisiä kytkentöjä ei ole otettu huomioon. Niinpä käytännössä matalataajuisempi f_{rot2} tapahtuukin kuvitellun heilahteluakselin ympäri. Tämä akseli sijaitsee traktorin keskiviivalla noin 0,3 - 1 metrin syvyydessä maanpinnan alla. Kockums 850 -meträtraktorille on saatu mittaamalla ominaistajuuksiksi $f_{rot1} = 4$ Hz ja $f_{rot2} = 1$ Hz.

1.2.1 Ajourata

Traktorin liikkeessa maastossa siihen kohdistuu renkaiden välityksellä ajoalustan epätasaisuuksista aiheutuva, ajasta riippuva voima $F(t)$.



$$m\ddot{x} + cx = F(t)$$

Herätevoima $F(t)$ on riippuvainen erityisesti maaston muodosta ja ajonopeudesta, mutta myös renkaiden koosta ja maaston joustavuudesta.

Värähtelyjen kannalta oleellisia suureita herätevoimassa ovat sen säännönmukainen toistuvuus, eli taajuusjakautuma ja voiman suuruus, eli esteen korkeus.

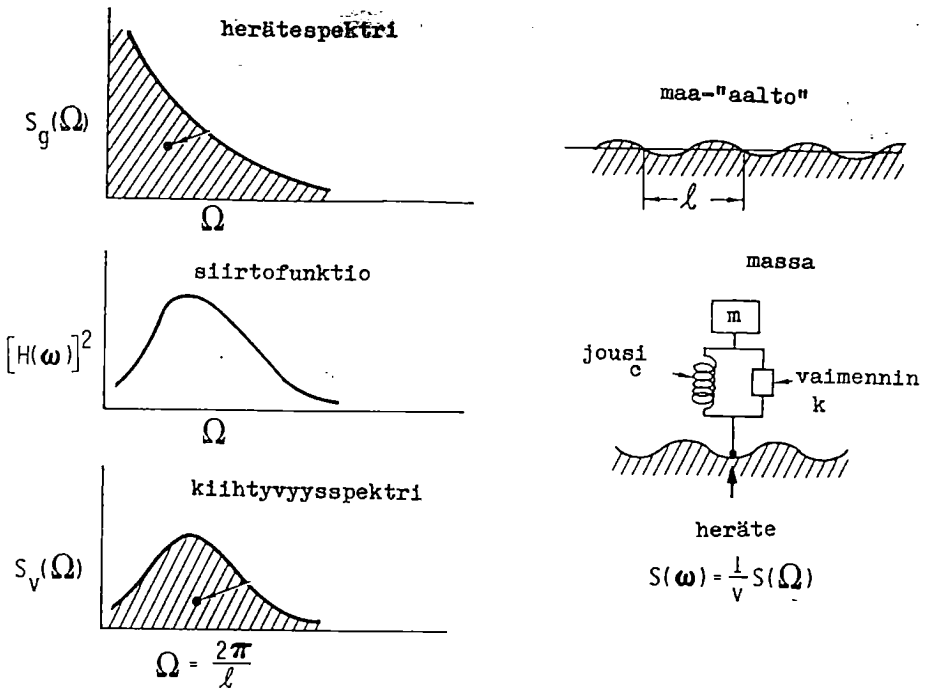
Ajoradan antamaa herätettä voidaan kuvata maaston tehospektritiheydellä /2,6/. Siinä maaston epätasaisuudet hajoitetaan säännöllisiksi sini- ja kosinifunktioiksi ja näiden tehollisarvo kutakin analysointikaistaa kohden kuvaa epätasaisuuden energiasisältöä. Kuva 3 a.

Tästä saadaan traktorin kohdistuva heräte ottamalla huomioon ajonopeuden ja herätetaajuuden riippuvuus:

$$S(\omega) = \frac{1}{v} S(\Omega)$$

Kun tunnetaan traktorin suurennuskerroin, $H(\omega) = \ddot{X}(\omega)/\dot{X}$, saadaan tästä selville traktorin kiihtyvyysspektri, kuva 3 c, d.

$$S_t(\omega) = H(\omega) \cdot S_m(\omega)$$

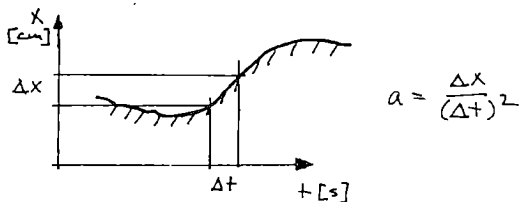


Kuva 3. Maaston ja ajoneuvon kiihtyvyyksien spektrit

1.2.2 Ajonopeus

Ajonopeudella on teoriassa kaksi merkitystä.

Estettä ylitettäessä kohdistuu pyörään kiihtyvyyksiä kuvan perusteella.



Maaston pysyessä samana, eli Δx :n vakiona, kiihtyvyys kasvaa verrannollisena ajonopeuden toiseen potenssiin, koska Δt pienenee.

Todellisuudessa maaston joustaminen suurempaan kiihtyvyyteen tarvittavien suurempien herätevoimien ansiosta kasvaa, eikä kiihtyvyyksien nousu ole näin voimakasta.

Ajonopeuden kasvaessa myös herätetaajuudet muuttuvat verrannollisina nopeuteen, kuva 4. /6/

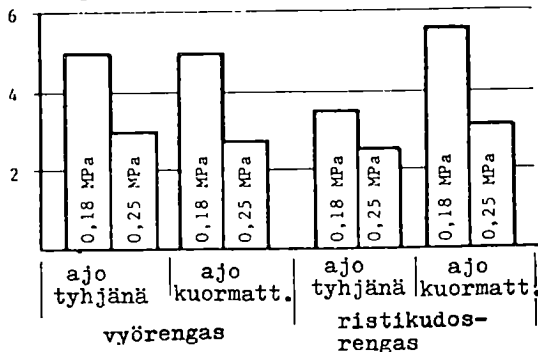
1.2.3 Traktorin rakenne

1.2.3.1 Renkaat

Kuten kuvasta 5 ja yhtälöstä (2) havaitaan, on traktorin renkailla varsin suuri vaikutus sen värähtelyominaisuuksiin. Suurilla ja pehmeillä renkailla, eli renkailla joiden jousivakio on pieni, voidaan traktorin ominaistajuuksia alentaa ja myös osin pienentää maaston epätasaisuuksista aiheutuvaa herätettä.

Renkaiden jousivakioita voidaan muuttaa niiden ilmanpainetta muuttamalla. Pienempipaineinen rengas kykenee muotoutumaan enemmän maaston epätasaisuuksiin ja tämä vaikutus voidaan havaita myös heiluntamittauksilla, kuva 5.

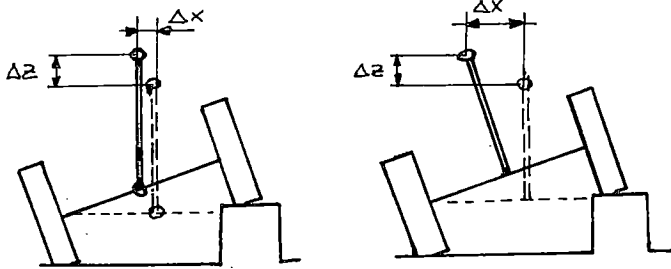
suurin sallittu altistus-
aika ISO 2631 FDP mukaan
tuntia/päivä



Kuva 5. Rengaspaineen vaikutus kuljettajan heiluntaan /4/

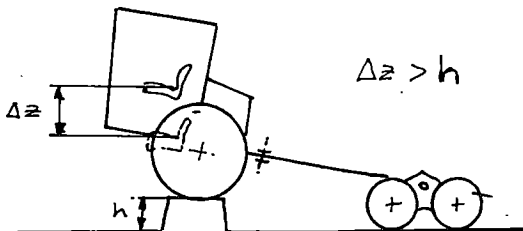
1.2.3.2 Kuljettajan sijainti

Ohjaamon sijoituksella on myös vaikutusta kuljettajan heiluntaan. Sivuheilunnan ja kuljettajan staattisen siirtymän estettä ylitettäessä välillä on vahva riippuvuus KÄTÖN /6/ mukaan.



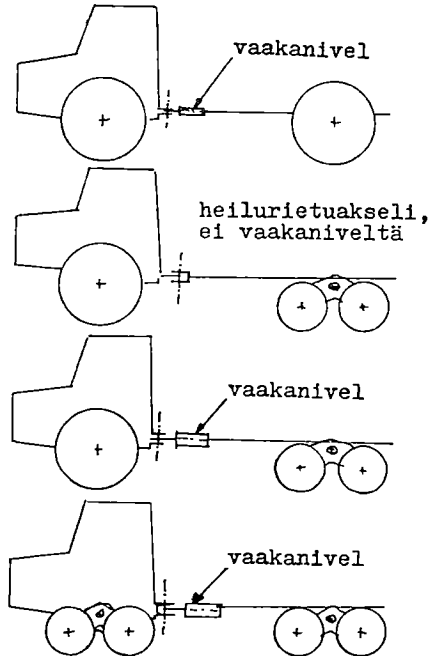
Näin sivuheiluntaa voidaan pienentää rakenteilla, joissa ohjaamon sivuheiluntaheräte tulee teliakseliston välityksellä. Heilurietuakselilla varustetulla traktorilla sivuheiluntaheräte tulee takapäin teliakseliston kautta. Näin heilurietuakselilla voidaan vähentää kiertoteitse sivuheiluntaa. Luonnollisesti istuimen korkeus maasta vaikuttaa sivusiirtymään ja siten myös heiluntaan.

Samoin pystyheilunnon voimakkuus on jossain määrin riippuvainen esteen ylityksessä tapahtuvasta siirtymästä. Epäedullinen ratkaisu tässä mielessä on kuvan 6 mukainen rakenne. Suuren staattisen siirtymänsä lisäksi tällä rakenteella on epäedullinen suurennuskerroin /1,6/. Myös käytännön mittauksissa tämä on havaittu /4/.



1.2.3.3 Akselistorakenteet

Nykyisin metsätraktoreissa käytetään neljää eri rakennetta, kuva 7.



Kuva 7. Traktoreiden perusrakenteet

Runkorakenteiden, eli vaakanivelen ja heiluriakselin osalta tarkastelu voidaan suorittaa edellisen kohdan siirtymäperiaatteiden mukaisesti.

Telin aiheuttamat muutokset riippuvat maastosta ja telin rakenteesta. Lyhyen yksittäisesteen ylityksessä teli pienentää heilahdusamplitudin puoleen ja herätteitä tulee vastaavasti kaksi. Maastossa, missä esteiden väli on tilastollinen funktio, telin amplitudien pienentävä vaikutus lienee noin 25 - 40 prosenttia. Korkeiden ja lyhyiden yksittäisesteen ylityksessä teli luonnollisesti pienentää amplitudin puoleen.

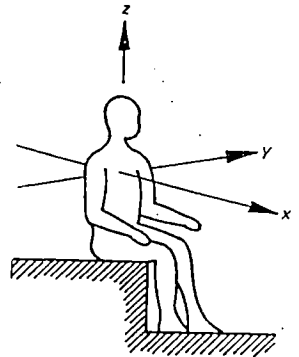
Akseliston ominaistaajuus yleensä muuttuu, mikäli siihen vaihdetaan teliakselisto. Telin kokonaisjousivakio on renkaiden jousivakioiden summa. Koska renkaan jousivakio ei pienene puoleen pienennettäessä pyöräkokoja normaali-koosta telipyöräkokoon tämä merkitsee akseliston ominaistaajuuden kasvamista.

2. TUTKIMUSMENETELMÄT JA AINEISTO

2.1 Menetelmä

Kaikista mitatuista traktoreista mitattiin yli 0,3 Hz:n taajuiset heiluntakiihtyvyydet istuimelta samanaikaisesti kaikista suunnista, x, y ja z, kuva 8 sekä myös eri ajokerroilla ohjaamon rungon kiihtyvyydet poikittais- ja pystysuunnissa.

Mittaukset tehtiin pääosin helppossa metsämaastossa Enon kunnassa. Mitattavia traktoreita oli neljä ja kaikilla ajettiin samaa ajouraa. Mittausten aikana ajorata kuitenkin pehmeni ja muuttui, eivätkä tulokset siis ole suoraan vertailukelpoisia. Ajonopeuksina olivat 1 m/s (3,6 km/h) ja 1,6 m/s (6 km/h) tyhjällä traktorilla sekä 1 m/s kuormatulla traktorilla. Nopeudet pyrittiin pitämään vakiona ajamalla muuttumattomalla moottorin käyntinopeudella. Traktoreiden vaihteistoista johtuen kulkunopeus ei tällöin ole täysin vakio, vaan muuttuu esteen ylityksessä ja mäessä.



Kuva 8.
Mittaussuunnat

Näiden mittausten lisäksi tehtiin vertailtavia mittauksia yhdellä traktorilla eri ajonopeuksilla ISO 5008 -standardisoidulla testiradalla ja helpohkossa metsämaastossa.

Kaikissa mittauksissa kuljettajana oli sama henkilö.

Mittaustulokset nauhoitettiin Brüel & Kjaer 7003 nauhurille ja analysoitiin pääasiassa Hewlett Packard 85 pöytä tietokoneella sen Data Logging 3489 -laitteiston avulla. Nauhoitetusta signaalista otettiin näytteitä tietokoneelle nopeudella 20 näytettä sekunnissa. Kunkin otoksen pituus oli 12,8 sekuntia, ja otoksia otettiin 5 - 10 kappaletta ajoa kohden. Kustakin otoksesta laskettiin sen tehollisarvo sekä määritettiin signaalin taajuusjakautuma Fourier-muunnoksella. Lisäksi kapeakaistaisestä Fourier-spektristä tehtiin 1/3 oktaavi-spektri. Osa mittauksista analysoitiin myös Brüel & Kjaer 2031 FFT-analysointilaitteella. Analysointitulosten välillä ei ollut laitteistosta johtuvia eroja.

Tarkempi, sekä mittaus- että analysointilaitteistojen kuvaus on liitteessä 1.

2.2 Mitatut traktorit

Samalla, joskin ajojen aikana muuttuneella ajoradalla mitattiin traktorit eri päivinä:

5.10.	Lokomo 919, ollut käytössä 1,5 v	
6.10.	Lokomo 919 T, "	1 kk
8.10.	Valmet 862 K*), "	3 kk
9.10.	Ponsse S 20, uusi	

*) Valmetin mittauksista onnistuivat vain ensimmäiset, pienellä ajonopeudella tehdyt mittaukset. Muissa mittauksissa nauhurin vahvistusaste oli muuttunut ilmeisesti liiaksi alentuneesta käyttöjännitteestä johtuen.

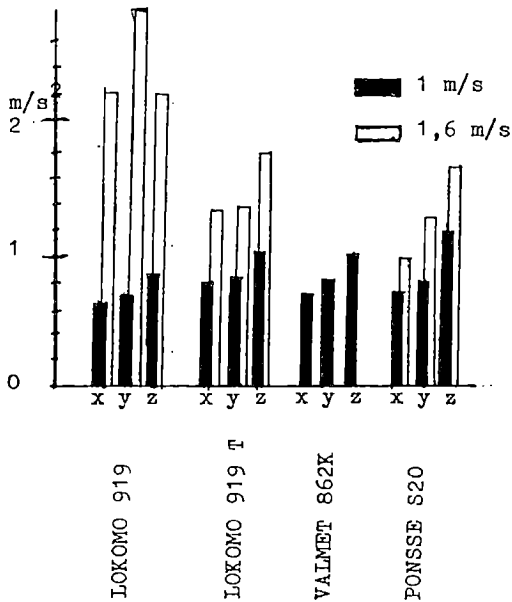
Standardisoidulla testiradalla tehtiin mittauksia noin 8000 tuntia ajetulla Kockums 850 -traktorilla.

Traktoreiden päämitat liitteenä 2.

3. TULOKSET JA NIIDEN TARKASTELUA

3.1 Tehollisarvot

Eri traktoreiden samassa metsämaastossa suoritettujen ajojen heiluntojen tehollisarvot on esitetty kuvassa 9.



Pienellä ajonopeudella, 1 m/s (3,6 km/h), heiluntataso on kaikilla traktoreilla kymmenen prosentin tarkkuudella sama. Heiluntataso sallii noin neljän tunnin päivittäisen työajan arvosteltuna ISO 2631 standardin "väsyminen, vähentynyt työteho" (FDP) -rajan mukaan.

Huomattavaa on, että traktoreiden vakituiset kuljettajat ajoivat radan huomattavasti nopeammin, eli ylittivät oleellisesti neljän tunnin altistusajan.

Nopeuden noustessa 1,6 metriin sekunnissa heilunta voimistuu nopeasti. Lokomo 919 T:llä ja Ponsse S 20:llä tämä voimistuminen on noin 1,4 - 1,6 kertaista, mutta Lokomo 919 -traktorilla 2,6 - 4 kertaista. Valmet 862 K:n nopean ajon mittaukset epäonnistuivat.

Lokomo 919 -traktorin heilunnan suuri voimistuminen johtuneen suurimmalta osin maaston muotoutumisesta. Ensimmäinen traktori radalla oli Lokomo 919 ja sen nopeusvertailumittaukset tehtiin vain muutaman kerran ajotulla ajorullalla. Näiden mittausten jälkeen traktorilla ajettiin sama rata neljästi traktori kuormattuna, jolloin ajorata muuttui oleellisesti helpommaksi.

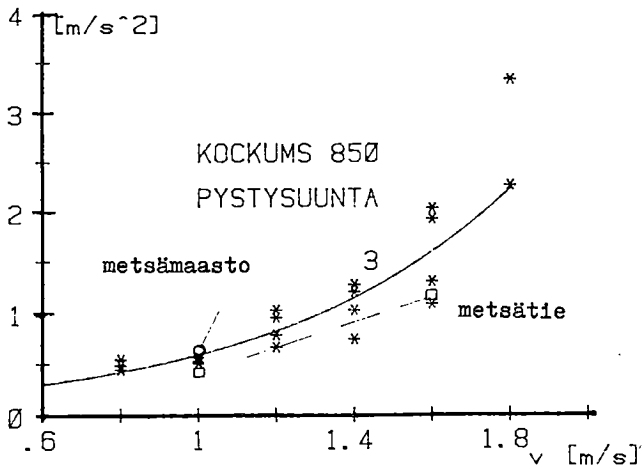
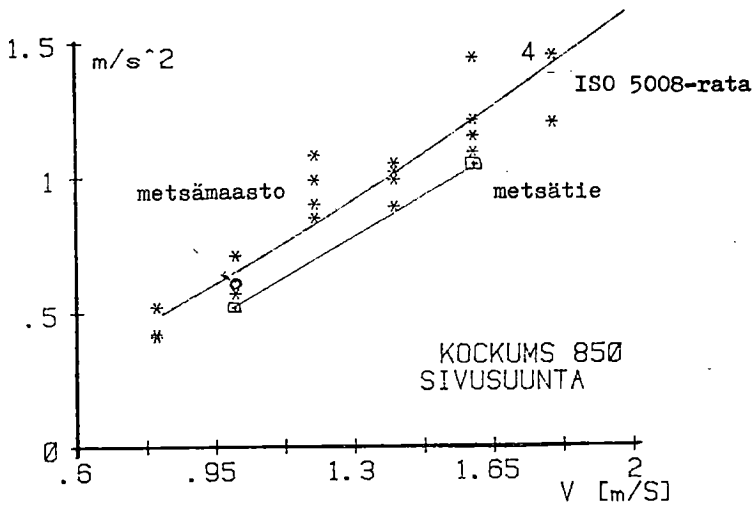
Toinen syy Lokomo 919:n heilunnan nopeuserkkyyteen saattaa olla traktorin muita suurempi ikä. Tämä näkyi etenkin ohjaamon kiinnityksen kumityynyistä, jotka öljyyntyneinä olivat pehmenneet. Näin ohjaamoon kohdistui voimakkaita iskuja suoraan traktorin rungosta. Näiden vaikutusta ei kuitenkaan voida selvittää eikä edes arvioida. Samoin käytetyn istuimen muuttuneilla jousto- ja valmennusominaisuuksilla lienee vaikutusta asiaan.

Nopeuden vaikutus heiluntatasoon näkyy selvästi myös Kockums 850 -traktorilla tehdyistä mittauksista, kuva 10. Pystyheilunnan voimistuminen näyttää olevan voimakkaampaa kuin sivuheilunnan voimistuminen ainakin helpohkossa maastossa.

3.2 Taajuusjakautumat

Taajuusanalyysit tehtiin lähinnä tärkeimmiksi katsotuille sivu- ja pystysuuntaiselle heilunnalle.

Traktoreiden heilahtelujen ominaistajajuudet selviävät seuraavasta taulukosta, s. 16.



Kuva 10. Kockums 850-traktorin heilunnan tehollisarvot nopeuden funktiona.

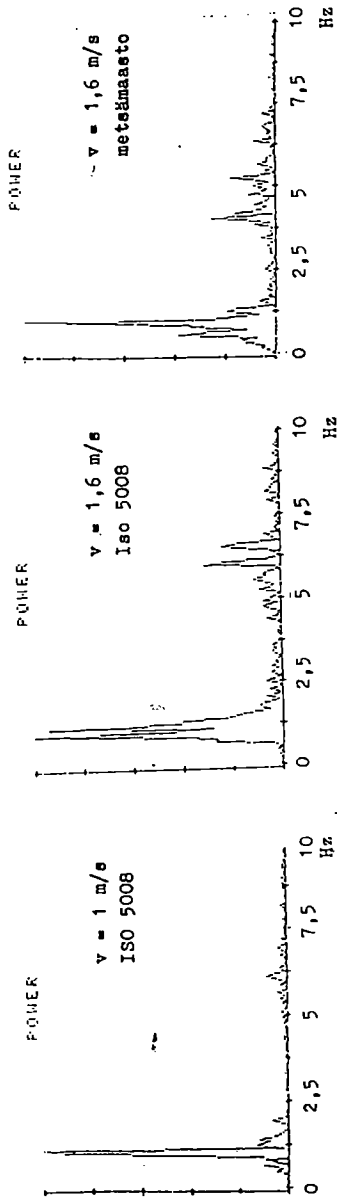
	sivu (Hz)	pysty (Hz)	f _{1st} <
Kockums 850	1,0	2,2	1,5
Lokomo 919	1,0	1,7	1,2
Lokomo 919 T	1,2	2,9	2,0
Ponsse S 20	1,1	2,5	1,7
Valmet 862 K	1,1	n. 3	2,1

Taulukko 2. Traktoreiden ominaistaaajuudet ja istuimen suurin sallittu ominaistaaajuus

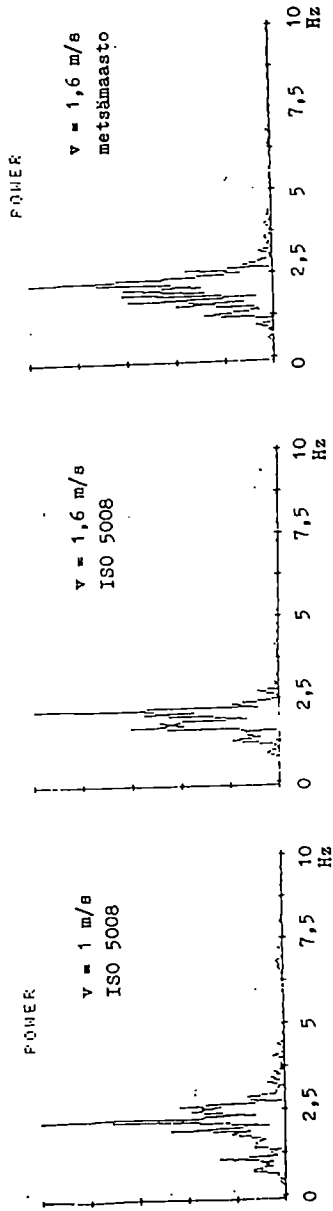
Taulukossa on myös esitetty suurin istuimen ominaistaaajuus, millä vielä tapahtuu traktorin ominaistaaajuudellaan tapahtuvan pystyheilun vaimenemista.

Ominaistaaajuudet ovat heilunnassa hallitsevat komponentit. Ajonopeuden tai ajoalustan muuttaminen ei näytä oleellisesti muuttavan taajuusspektriä. Kuva 11. Myös AHO ja KÄTTÖ /1/ ovat tutkimuksessaan todenneet ominaistaaajuuden voimakkaan esiintymisen. Tämä on varsin luonnollista, sillä tasapainostaan poikkeutettu värähtelyjärjestelmä pyrkii palautumaan siihen heilahtelemalla ominaistaaajuudellaan. Näin tapahtuu riippumatta siitä, minkälaisella herätteellä poikkeutus on tapahtunut. Metsätraktori saa ajossaan korkeiden esteiden ylityksistä jatkuvasti yksittäisherätteitä, ja näiden aiheuttama heilahtelu kestää pitkään johtuen renkaiden huonoista vaimennusominaisuuksista.

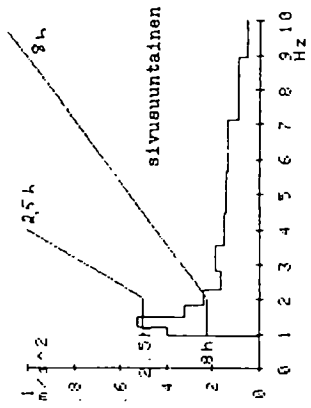
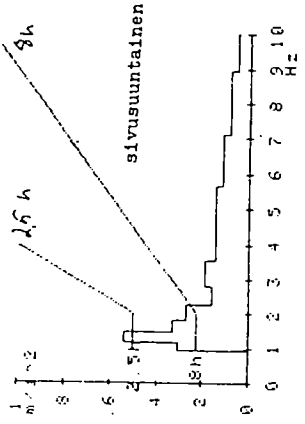
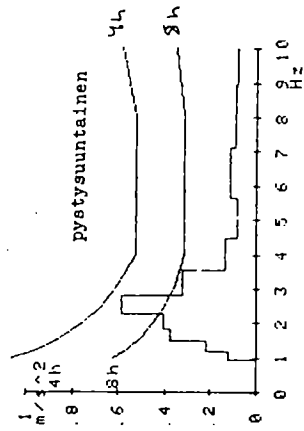
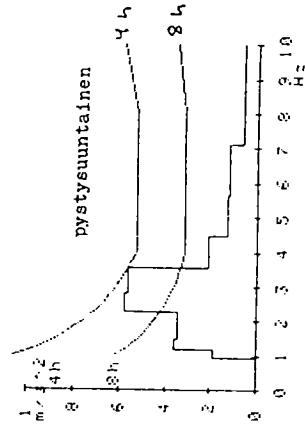
Myös mikäli heiluntaa arvioidaan ISO 2631 -standardin 1/3 oktaavirajojen mukaan, havaitaan, että kaikissa tapauksissa vaararajojen ylittyminen tapahtuu traktorin ominaistaaajuuskaistalla. Kuva 12.



Kockums 850- traktorin sivusuuntainen heilunta eri ajoalustoilla ja ajonopeuksilla



Kockums 850, pystyheilunta eri ajoalustoilla ja ajonopeuksilla
Kuva 11.



Lokomo 919 T
 $v = 1,6 \text{ m/s}$
 metsämaasto

Ponsse S 20
 $v = 1,6 \text{ m/s}$
 metsämaasto

Kuva 12. Eri sijojen terssispektrit ja ISO 2631:n vähentyneen työkyvyn rajat 4 tunnin ja 8 tunnin altistukselle

Traktorikohtaisia eroavaisuuksia ei näiden mittausten perusteella voida todeta. Maaston tasoituminen mittausten aikana ja siitä johtuva herätteen pieneneminen on vaikuttanut tuloksiin oleellisesti.

4. JOHTOPÄÄTÖKSET

Kehitettäessä metsätraktoreiden heiluntaominaisuuksien mittaamisen menetelmää, on syytä ottaa huomioon seuraavat seikat

1. Traktorin heilunta on vaarallisinta sivusuunnassa ja on siinä verrannollinen istuimen staattisluonteiseen siirtymään, mikä tapahtuu estettä ylitettäessä. Edullisia ratkaisuja tässä mielessä ovat rakenteet, joissa kuljettajan istuin saa sivuttaisheiluntaherätteensä teliakseliston välityksellä. Raidevälin kasvattaminen ja istuimen sijoituksen madaltaminen luonnollisesti parantavat sivuheiluntaominaisuuksia.
2. Arvosteltaessa heilunnan voimakkuutta ISO 2631 -standardin mukaan, määräävät taajuudet ovat samat kuin traktorin ominaistajuudet; 2-3 Hz pystysuunnassa ja ~ 1 Hz sivusuunnassa. Maaston tai ajonopeuden muuttuminen ei vaikuta tähän. Ominaistajuuksiin voidaan vaikuttaa renkaiden kokoa ja ilmanpainetta muuttamalla kuin myös traktorin painoa/painojakautumaa muuttamalla.
3. Kuljettajan pystyheilahteluun voidaan vaikuttaa istuimen ominaistajuuden valinnalla. Istuimen ominaistajuuden tulee olla alle 70 % traktorin rungon heilunnan ominaistajuudesta, jotta se vaimentaisi heiluntaa. Käytännössä tämä merkitsee 2,5 Hz:n rungolle alle 1,7 Hz:n ominaistajuista

istuinta. Erityisen paha on tilanne, mikäli se-
kä istuimen että rungon ominaistaaajuudet ovat
lähes samansuuruiset. Istuimen vaikutus tulee
erottaa koko järjestelmästä esimerkiksi määrää-
mällä sen siirtofunktio.

4. Vaakasuuntaisen heilunnan vaimentaminen on jos-
sain määrin vaikeata käyttämällä normaalia jou-
situsta. Tasaisella alustalla ajettaessa voi-
daan käyttää vaakajousitusta, mutta ajo kalte-
valla alustalla tekee vaakajousituksen edut
kyseenalaisiksi.

5. Värähtelevien järjestelmien testaamiseen käyte-
tään yleensä joko jatkuvaa herätettä tai yksik-
köherätettä. Yksikköherätteellä saadaan selvil-
le vain järjestelmän käyttäytyminen ominaistaa-
juudellaan, mutta jatkuvalla herätteellä, mikä
käsittää laajan kaistan herätetaajuuksia, saa-
daan selville myös ominaisuudet muilla taajuuk-
silla. Koska metsätraktorin heilunta tapahtuu
lähes ajonopeudesta ja ajoradasta riippumatta
ominaistaaajuuksillaan, näyttäisi siltä, että
sen heiluntaominaisuudet voidaan testata yksik-
köherätteellä. Asia vaatii kuitenkin lisäselvi-
tyksiä. Samoin käytettävän herätteen voimakkuu-
den selvittäminen ja jatkuvan herätteen kysees-
sä ollessa myös sen taajuusjakautuman selvittä-
minen, vaativat lisätutkimuksia.

6. Kuljettaja - metsätraktori -järjestelmän nopeuden säätösuureena, etenkin ajettaessa tyhjällä traktorilla, on kuljettajaan kohdistuvan heilunnan voimakkuus. Kuljettajan heiluntaa voidaan tällöin pienentää joko muuttamalla kuljettajan omaksumaa säätöfunktioita, totuttamalla hänet pienempään heiluntaan tai muuttamalla säätöjärjestelmää siten, että nopeuden säätöön tarvittava informaatio tulee muuta kautta - esimerkiksi näköaistin avulla.

TIIVISTELMÄ

Metsätraktoreiden kuljettajien heiluntatasot ovat varsin suuret. Suuren heilunnan ja kuljettajan terveyden heikkenemisen välillä on syy-yhteys.

Metsätraktorin heilunta aiheutuu maaston epätasaisuuksista. Ajoissa tapahtuvan heilunnan voimakkuus on todettu jossain määrin verrannolliseksi yksittäisesteen ylityksessä tapahtuvaan kuljettajan siirtymään. Heilunta tapahtuu pääasiassa traktorin ominaistajuuksilla, eli sivusuunnassa noin 1 Hz:n ja pystysuunnassa 2-3 Hz:n taajuuksilla. Ajoalustan tai ajonopeuden muutokset eivät juuri vaikuta heilunnan taajuusspektriin. Nopeudella on hyvin voimakas vaikutus heilunnan voimakkuuteen.

Heilunnan testausmenetelminä voidaan käyttää joko jatkuvan herätteen tai yksittäisherätteen testausta. Ensiksimainitulla saadaan selville traktorin käyttäytyminen halutulla taajuusalueella mutta jälkimmäisellä vain sen ominaistajuudella.

SAMMANFATTNING

Skogstraktorernas förare utsätts för tämligen kraftiga helkropps vibrationer. Det finns samband mellan de kraftiga helkropps vibrationerna och förarnas nedsatta hälsotillstånd.

Skogstraktorns helkropps vibrationer förorsakas av terrängens ojämnheter. Nivån av helkropps vibrationerna vid körning i terräng har konstaterats att i någon mån vara proportionell mot förarens förflyttning vid körning över enstaka hinder. Helkropps vibrationerna sker huvudsakligen vid traktorns egenfrekvens, dvs. vid 1 Hz i sidled och 2...3 Hz vertikalt. Ändringar i terrängprofilen eller körhastigheten inverkar knappast alls på frekvensspektrat. Körhastigheten inverkar mycket kraftigt på helkropps vibrationernas amplitud.

Lämplig provningsmetod för helkropps vibrationer är mätning av inverkan av en kontinuerlig impuls eller en enstaka impuls. Med en kontinuerlig impuls får man reda på traktorns beteende på ett önskat frekvensområde och med en enstaka impuls endast vid egenfrekvensen.

SUMMARY

The vibration levels of the drivers of forest tractors are quite high. There is a high correlation between the high vibration levels and the weakening of the driver's health.

The low-frequency vibration of the forest tractor is caused by the convenesses of the terrain profile. The intensities of the vibrations during driving have been found to be equal to the movements of the driver, that occur when driving over an obstacle. The vibrations of the tractor happen at its natural frequencies; in the transversal direction of about 1 Hz and in the vertical direction at 2 to 3 Hz frequencies. Changes in driving track or driving speeds have no significant effects on the vibration spectra. The driving speed has a great effect on the intensity of vibration.

A test method for the measuring of vibrations can be either a continuous input test method or a single-step test method. Using the first method we can clear up tractor's vibrational properties of some frequency band but using the latter one only of its natural frequencies.

LÄHDELUETTELO

1. Aho, K., Kättö, J., Experiment for developing a method how to measure and evaluate the rocking of the forest tractor. Helsinki 1971. Vakolan tutkimusselostus 6. 41 s.
2. Bekker, M. G., Introduction to terrain-vehicle system. The University of Michigan Press, Ann Arbor 1969, 846 s.
3. Börjesson, T., Falck, I., Kartläggning av maskin- och terränberoende faktorer som påverkar vibrationsbelastning på skogsmaskinförare vid terränkörning. 193 s.
4. Hansson, J-E., et al. Skogsmaskin som arbetsplats 1977. Södertälje 1977. Skogsarbeten regörelse 6/1978. 23 s.
5. ISO 2631, Guide for the evaluation of human exposure to whole-body vibration. 1974, 15 s.
6. Kättö, J., Metsätraktorin rakenteen vaikutus ajajan ja kuorman heilumiseen. Diplomityö. Teknillinen korkeakoulu. Helsinki 1970. 92 s.
7. Sirén, M., et al, Pientraktorien heilunta. Folia Forestalia 383. Helsinki 1979.
8. Soininen, H., Koko kehon värinä, kirjallisuus-katsaus. Helsinki 1975. Työterveyslaitoksen tutkimuksia 116. 36 s.

9. Wuolijoki, E., Effects of simulated vibration on the psycho-physiological and mechanical functions of the driver. Helsinki 1981. Työtehoseuran julkaisuja 234. 53 s.

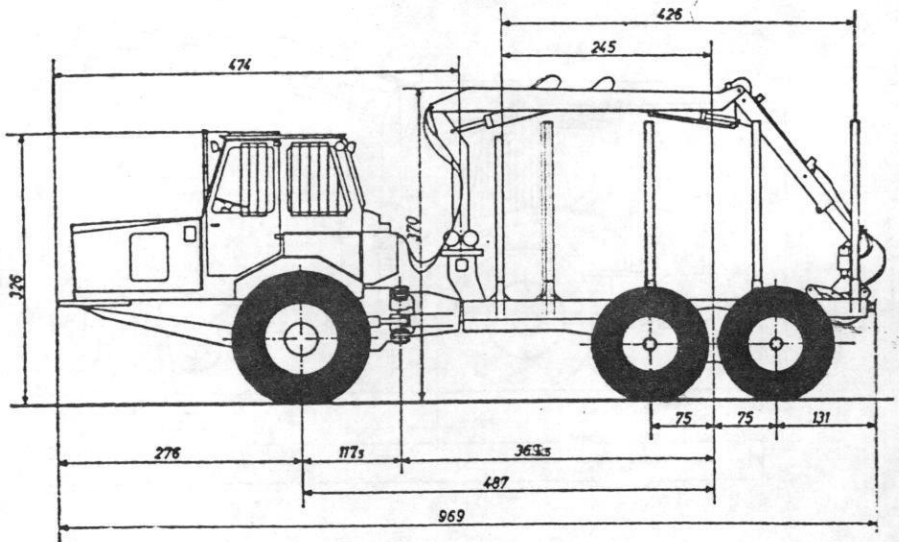
10. Zylberstein, M., Helkroppsvibrationer i skotare. Södertälje 1980. Skogsarbeten redogörelse 4/1980. 11 s.

MITTAUSLAITTEISTO

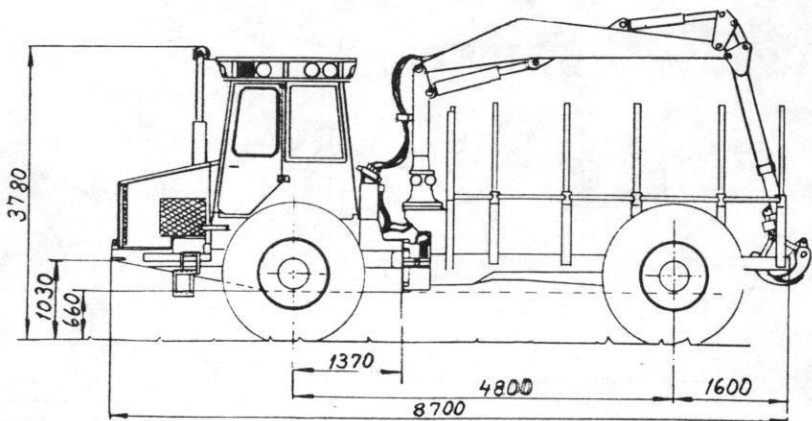
Kiihtyvyyssanturi	Bruel & Kjaer 4321 3-akselialinen
Vahvistin	Wärtsilä 1078-3 taajuusalue 0,3 - 10 000 Hz käytetty mittausalue 0,01 - 100 m/s ²
Nauhuri	Bruel & Kjaer 7003 nauhanopeudet 1,5, 7,5, 15 "/s taajuusalue 15 11/s nopeudella 0-5 kHz huojunta alle 0,18 % (DIN 45507) nauhoitus joko suoraan tai taajuus- moduloituna dynamiikka 39 dB
Analysointi	Hewlett Packard 85 - pöytä tietokone, Data Logging HP 3489 - tiedonkeruu- laitteisto "Waveform analysis" - ohjelmisto HP 00085 - 13035 PAC

TRAKTOREIDEN MITTATIEDOT

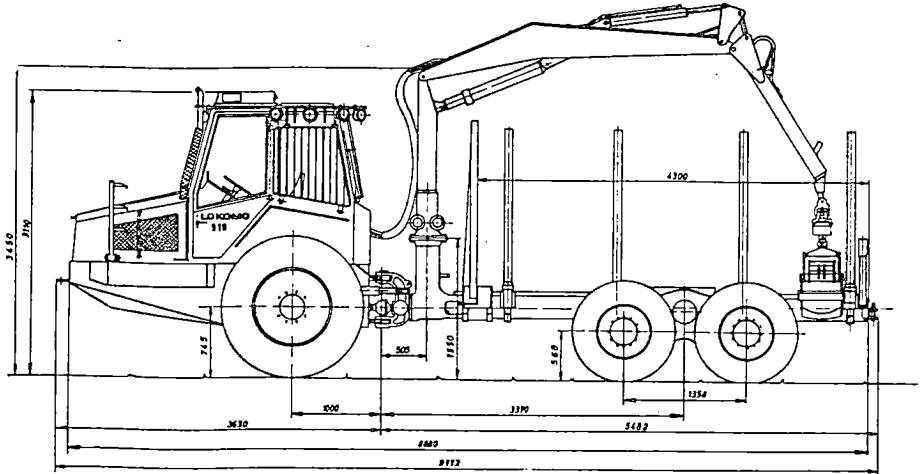
	Kokkums	Lokomo	Lokomo	Lokomo	Ponsse	Valmet
	850	919T	919	520	862	
Akseliväli mm	4870	4770	4370	4800	4357	
Raideväli "	2175	2100	2022	2070	2034	
Renkaat						
- edessä	23.5-25	500-22.5	23.1-26	23.1-34	18.4-34	
- takana	17.5-25	500-22.5	500-22.5	23.1-34	17.5-25	
Kokonaispaino kg	14470	12750	12200	11700	12030	
Etuakselipaino "	7665	7960	7120	7650	6700	
Taka-akselipaino "	6805	4790	5080	4050	5330	
Teliväli mm	1500	1360	1360	-	1468	



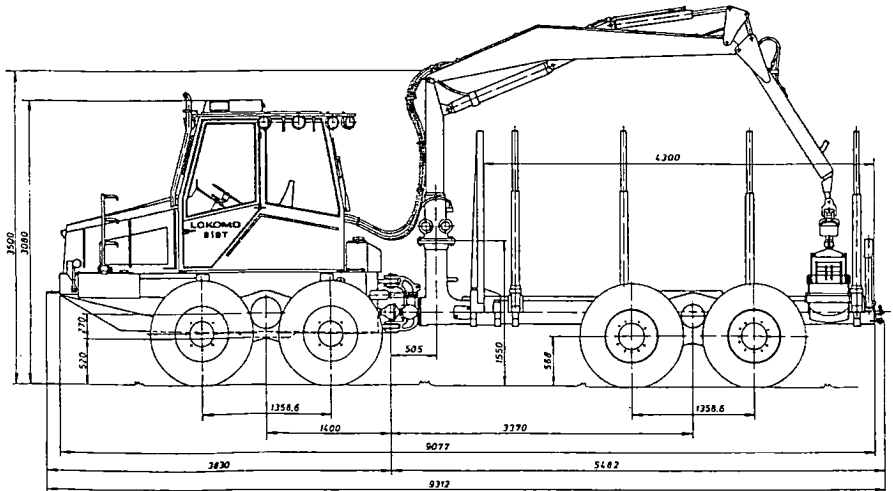
KOCKUMS 850 mittapiirros



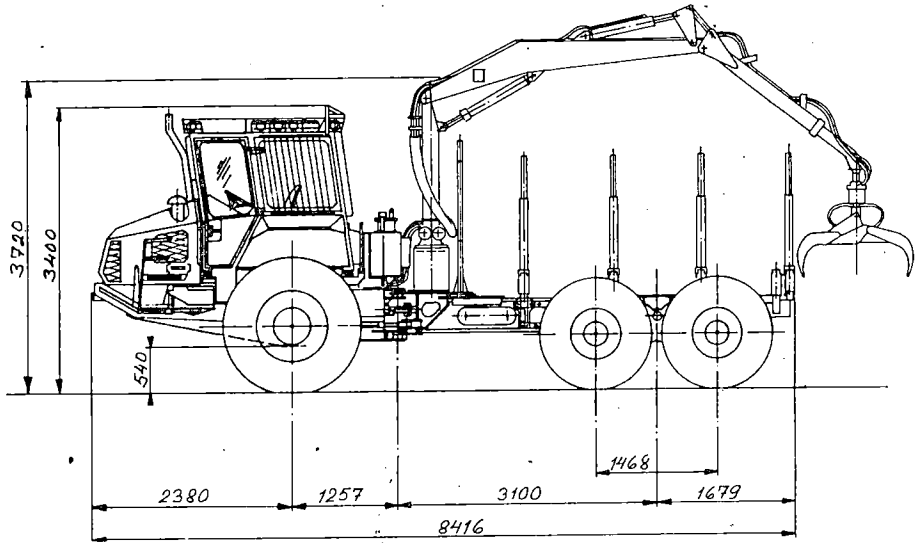
PONSSE S 20 mittapiirros



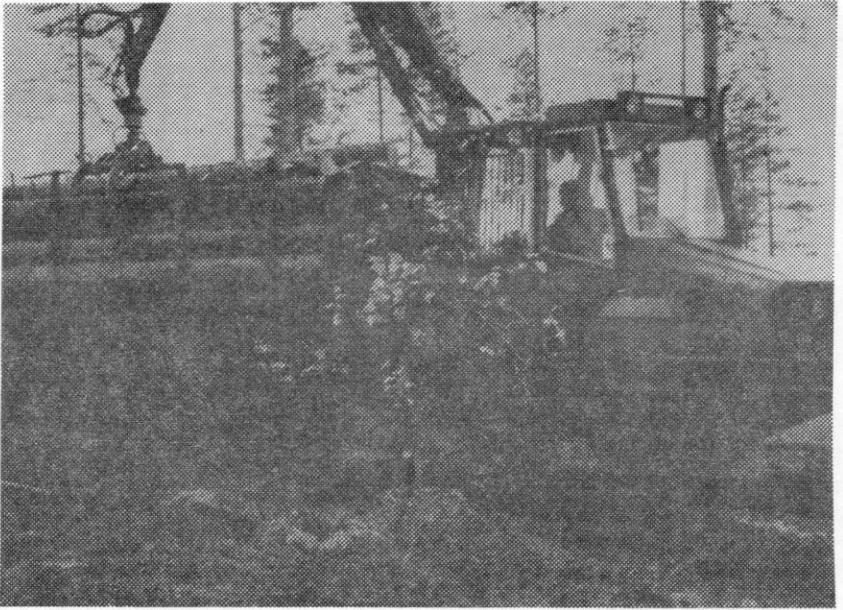
LOKOMO 919 mittapiirros



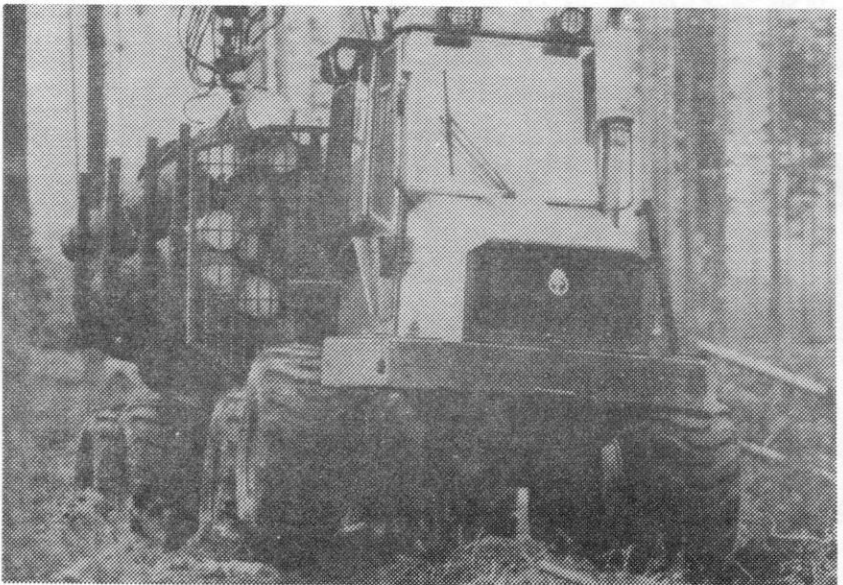
LOKOMO 919 T mittapiirros



VALMET 862 K mittapiirros



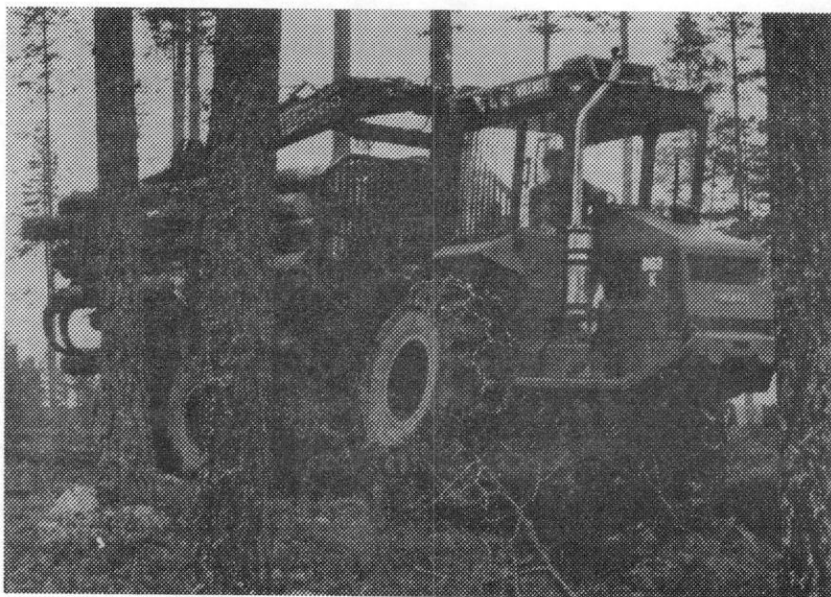
LOKOMO 919



LOKOMO 919 T



PONSSE S 20



VALMET 862 K

VAKOLAN TUTKIMUSSELOSTUKSIA

- | No | Nimi |
|----|--|
| 8 | Aho K. Menetelmä moottorisahan tärinän mittaamiseksi ja tulosten arvostelemiseksi. 1971. |
| 9 | Aho K., Kättö J. Experiment for developing a method how to measure and evaluate the rocking of the forest tractor. 1971. |
| 10 | Kättö J., Salminen H. Metsätraktorin melu, tärinä ja heilunta. Noise, vibration and rocking of forest tractors. 1973. |
| 11 | Turtiainen K. Chain saw operator's opinions of chain saw vibration. 1974. |
| 12 | Turtiainen K. Chain saw vibration and vibration measurements. 1974. |
| 13 | Turtiainen K. Preliminary survey of the back complains of men who have driven tractors in forest work. 1974. |
| 14 | Ahokas J., Altonen M. Tutkimus maataloustraktorin vetovoimasta. 1975. |
| 15 | Hahlman A., Ahokas J. Tutkimus maataloustraktorin tärinästä ja heilunnasta. 1978. |
| 16 | Hyvärinen H., Ahokas J. Runko-ohjattavien metsäkoneiden stabilisuus. 1978. |
| 17 | Turtiainen K. Kyselytutkimus monitoimikoneen kuljettajien työn rasittavuudesta ja työviihtyvyydestä. 1978. |

- 18 Turtiainen K. Vertailututkimus metsurin työhousujen viiltosuojausten kestävyystutkimuksissa käytetyistä tutkimusmenetelmistä. 1979.
- 19 Piltti M. Energian säästö ja kotimaisten polttoaineiden käyttö viljan kuivauksessa. 1979.
- 20 Kara O., Räisänen L. Maanmuokkauksen minimointi ja kylvö- ja lannoitusvantaiden soveltuvuus kyntämättömään maahan. 1979.
- 21 Ketola T. Kotimaiset polttoaineet, kattilat ja kattiloiden koetusmenetelmä. 1979.
- 22 Parmala S-P. Puukaasu moottoriajoneuvojen polttoaineena. 1980.
- 23 Kiviniemi J., Pokki J., Oksanen E.H., Turkkila K. Nurmi-säilörehun valmistuksen ja käsittelyn tekniikka. 1980.
- 24 - Parmala S-P. Polttomoottorien varustaminen kotimaisten polttoaineiden käyttöön soveltuviksi. 1980.
- 25 Kara O., Heikkilä H. Itujen vaurioituminen idätetyn perunan koneellisessa istutuksessa. 1982.
- 26 Ahokas J., Salminen R. Agricultural Tractor Hitch-hook loading and location. 1981.