

METSÄNTUTKIMUSLAITOS

Metsäteknologian tutkimusosasto

10/1977

MAKERIN HEILUNTA

HEIKKI VUORINEN JA KARI SAUVALA

HELSINKI 1977-12-21

**METSÄNTUTKIMUSLAITOS**  
Kirjasto



## SISÄLLYSLUETTELO

	sivu
1. Johdanto	1
11. Tutkimuksen tarkoitus	1
12. Tutkittu kone	1
13. Heilunnan vaarallisuus	2
2. Tulokset	4
3. Tarkastelu	9

## 1. Johdanto

### 11. Tutkimuksen tarkoitus

Tämä työ on osa pientraktoreiden heiluntaominaisuuksia käsittelevästä laajemmasta tutkimuksesta, jossa verrataan rakenneratkaisujen vaikutusta heiluntatasoon. Tulokset Makerin osalta katsottiin tarkoituksenmukaiseksi julkaista myös omana osanaan mahdollisimman pian.

### 12. Tutkittu kone

Makeri on raumalaisen kommandiittiyhtiö M LAINEEN valmistama pientraktori harvennushakkuisiin. Kone voidaan varustaa joko TTS-kaatokasauslaitteella tai kuormajuontoa varten peräkärrollä ja kourakuormaimella. Kaatolaitteella varustettuna Makerin paino on 2570 kg, pituus 3600 mm ja leveys 1600 mm. Koneen maavara on 450 mm ja telojen leveys 220 mm.

Tutkittu kone oli varustettu kaatolaitteella ja sen työskentelyä seurattiin Enso-Gutzeit Osakeyhtiön leimikossa. Leimikko oli ensiharvennusvaiheessa oleva I maastoluokan männikkö, jossa poistettavan puun keskikoko oli <50 l. Ajonopeuden ja maastoluokan vaikutuksen selvittämiseksi heiluntaa mitattiin myös 2. maastoluokassa, joka on ko. koneen normaalin käyttöalueen ulkopuolella. Mittaukset suoritettiin mahdollisimman tarkasti ISON standardin 2631 ohjeiden mukaan. Tuloksia ei voida soveltaa muilla korjuun apuvälineillä varustettuun Makeriin ja

tulosten yleistämisessäkin on oltava varovainen, sillä ilmeisesti kuljettaja voi vaikuttaa ajoneuvonsa heiluntaominaisuuksiin työolosuhteissa.

Pienessä metsätraktorissa on isoon kuormatraktoriin verrattuna heilunnan kannalta sekä hyviä että huonoja puolia. Kapea raideväli, pieni rengaskoko ja keinuvan akselin puute lisäävät heiluntaa, kun mm. istuimen sijainti suhteellisen alhaalla akselien välissä vähentää sitä.

### 13. Heilunnan vaarallisuus

Heilunnan haitallisuus on laaja-alaista. Sen on todettu heikentävän työskentelykykyä ja myös vaarantavan kuljettajan terveyttä.

Visuaalisen informaation saanti vaikeutuu heilunnan vaikutuksesta, sillä silmien kohdistamiskyky on huonoimmillaan pystyheilunnassa taajuuden ollessa 3-5 Hz (GUIGNARD ja IRWING 1962). Näkökyvyn heikkeneminen voi johtua myös pään kudosten resonanssivärähtelystä (RUBINSTEIN ja KAPLAN 1968).

Hallintalaitteiden käyttö vaikeutuu, koska ajajan on pitääksensä otteensa muuttumattoma kompensoitava vipujen ja istuimen heilunta-amplitudien ja taajuuksien ero (WUOLIJOKI 1976). Isotonisesti ohjattavien vipujen käyttötarkkuus heikkenee heilunnan vaikutuksesta enemmän kuin isometrisesti käytettävien laitteiden (LEWIS ja GRIFFIN 1976).

Kuljettaja voidaan kuvitella massoista, jousista ja vaimentimista kootuksi järjestelmäksi. Kullakin jäsenellä on oma ominaistaajuutensa, jolloin heilunnan suurennuskerroin on suurimmillaan (HASAN 1970). Kehon eri osien ominaistaajuudet ovat 0,5 ja 6 Hz välissä, jolloin heilunta on siis vaarallisinta. ISO:n standardin mukaan pystyheilunta on vaarallisinta 4-8 Hz:n ja sivu- sekä pituussuuntainen alle 2 Hz:n taajuudella.

Heilunnan on todettu lisäävän hengitystä ja kiihdyttävän verenkiertoa. Se voi toimia myös psyykkisenä stressitekijänä, joka lisää katekoliamiinien eritystä. Heilunta voi vaurioittaa sisäelimiä, koska ne pyrkivät varsinkin ominaistaajuudellaan liikkumaan. Vatsa- ja rintakivut, yleinen pahoinvointi, päänsärky sekä selkäsairaudet liittyvät olennaisesti pitkäaikaiseen heilunta-altistukseen. Samanaikainen pysty- ja sivusuuntainen heilunta on selälle erittäin vaarallista, koska pystysuuntaisen heilunnan voima kohdistuu nikaman toiseen laitaan.

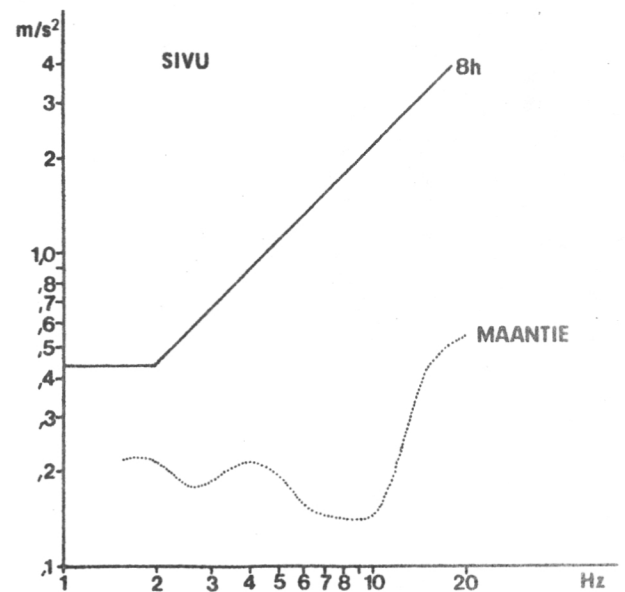
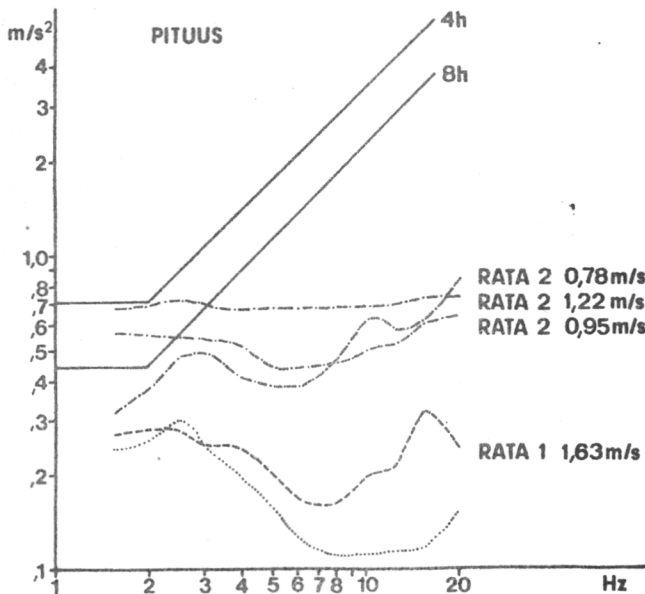
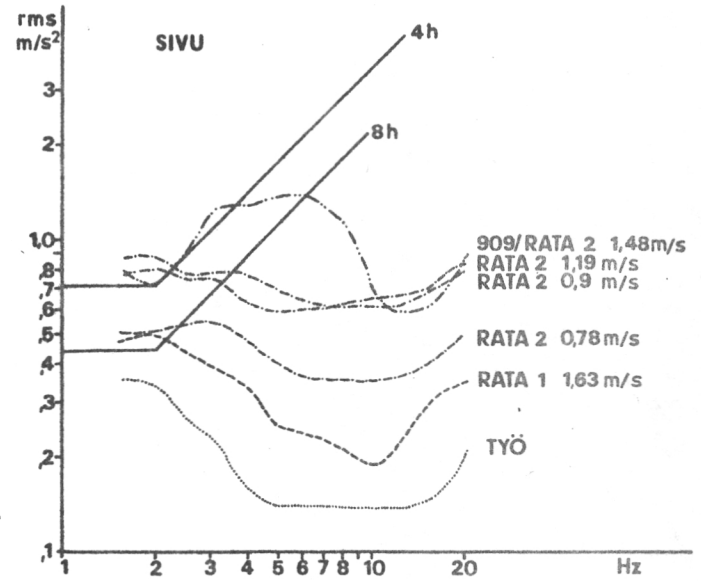
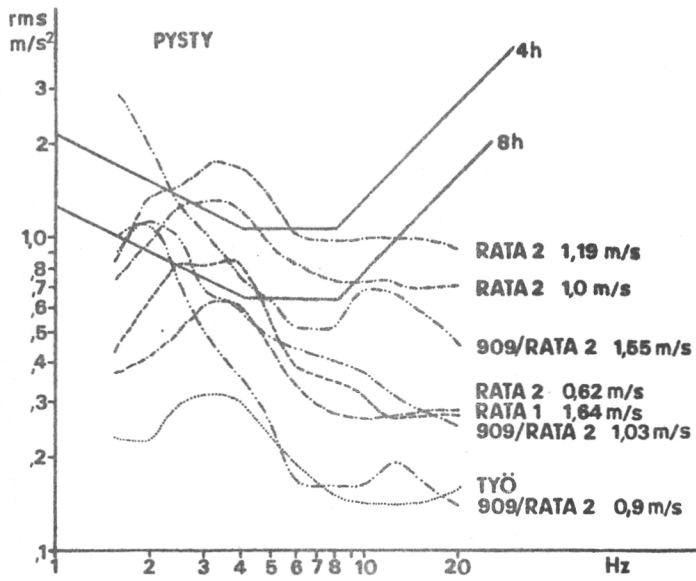
Heilunnan ohjaustoimintoja heikentävä vaikutuksen ehkäisy vaatii lihasten jatkuvaa jännittämistä, joka huonontaa kapillaarista verenkiertoa. Lihasten pitkäaikainen jännittäminen voi myös tuntua myöhemmin lihaskipuna.

## 2. Tulokset

Heilunnan rms-kiihtyvyydet ovat kuvassa 1 esitetty taajuuden funktiona. Analysoinnissa on käytetty 20 s. aikavakiota (ns. SLOW). Samassa koordinaatistossa ovat kaikki tietyn suunnan mittaustulokset: molemmat maastokoeradat ja työstä mitattu koe. Koordinaatistoon merkityt altistusajat ovat ISO:n standardin 2631 mukaiset "terveyden vaararajan" käyrät.

Työssä heilunta on jäänyt huomattavasti alle kahdeksan tunnin vaararajan jokaisessa mittaussuunnassa. Myös I maastoluokan radalla (rata 1) heilunta jäi huomattavasti pienemmäksi kuin 2. maastoluokassa (rata 2), vaikka nopeus radalla 1 oli n. 36 % suurempi kuin radalla 2. Radalla 1 kuljettajan "normaalinopeus" vastasi koneen maksiminopeutta ja 8 tunnin vaararaja ylittyi hieman sivu- ja pystysuunnassa.

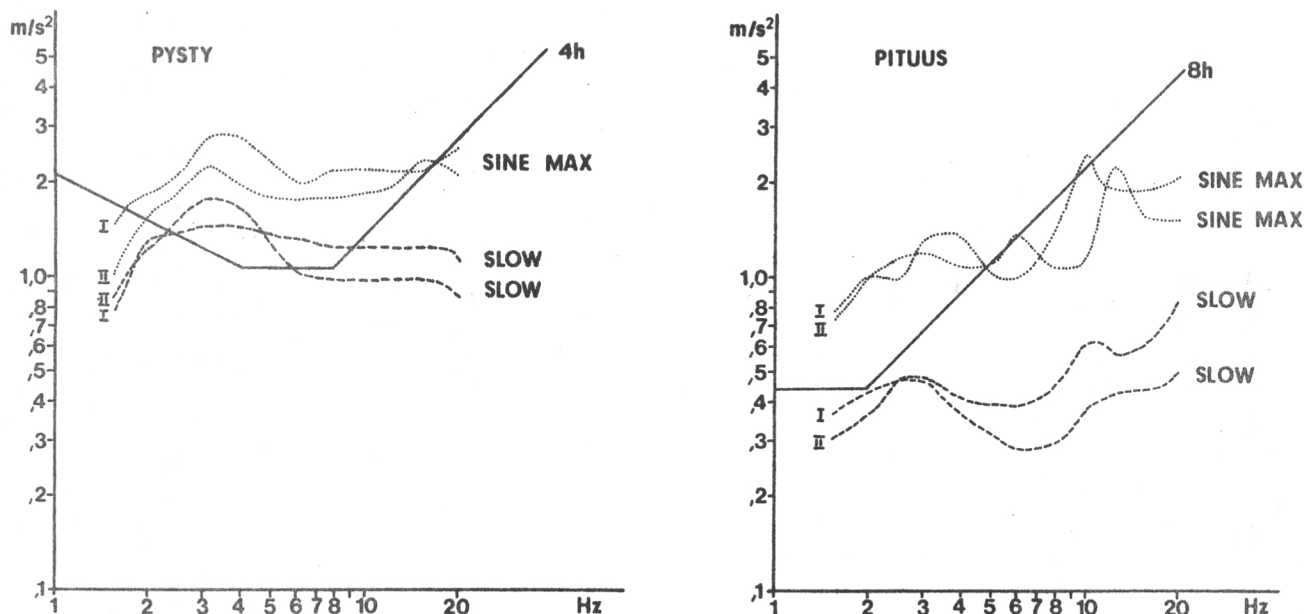
Rata 2 vastasi ajon maastoluokkaa II lähinnä kivisyydeltään, mutta myös ajonopeuteen vaikuttavia kaltevuuksia esiintyi. Maastoluokan heikkeneminen nosti heiluntatasoa huomattavasti, sillä normaalia hitaammalla nopeudella, joka oli eri kokeissa korkeintaan 50 % radan 1 normaalista nopeudesta, sivusuuntaisessa heilunnassa 8 tunnin vaararaja ylittyi. Sivuheilunnassa, jonka eräissä tutkimuksissa todettiin olevan terveydelle vaaratonta ajoaikaa rajoittavan tekijän (KÄTTÖ ja SALMINEN 1973), on ylittynyt jopa 4 tunnin vaararaja normaalilla nopeudella. Ajonopeuden kasvu on selvimmin lisännyt heilunnan kiihtyvyyttä pystysuunnassa.



Kuva 1. Kaatolaitteella varustetun MAKERin heilunnan teholliset kiihtyvyydet maastoradoilla, työssä ja maantiellä mitattuna kuljettajan istuimesta, ja ISO:n (2631) standardin mukaiset terveyden vaararajan päivittäiset altistusajat.

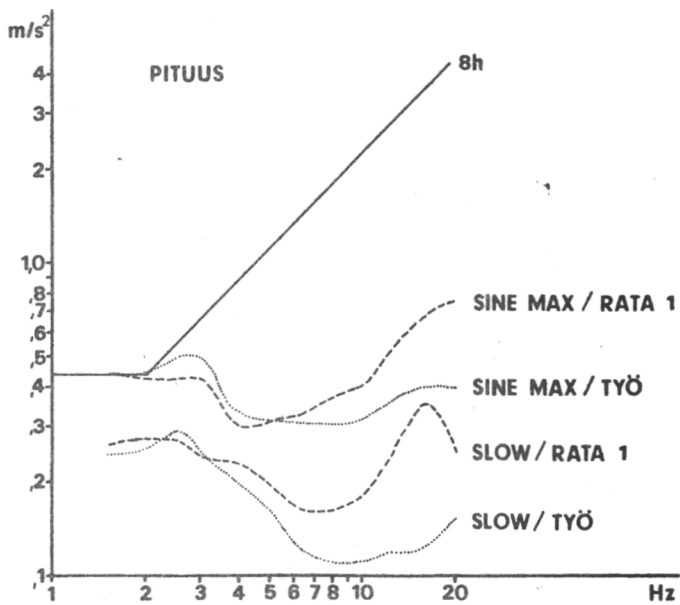
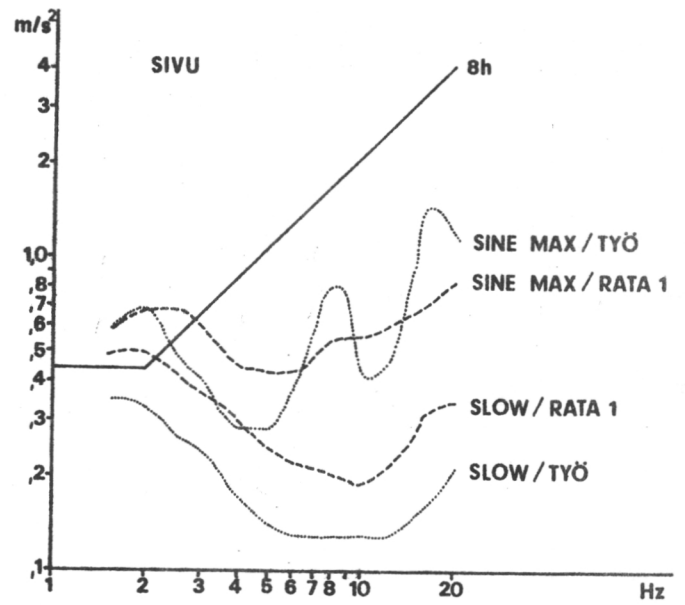
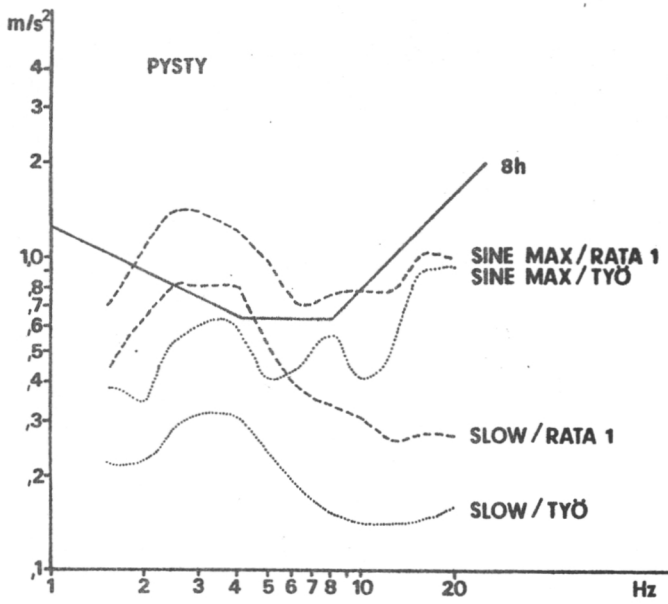
Tutkimuksen kuluessa tarjoutui myös mahdollisuus mitata heiluntaa maantieajossa. Koska kerralla voitiin mitata vain yhtä heiluntasuuntaa, päädyttiin sivuheilunnan seuraamiseen sen ajoaikaa rajoittavan vaarallisuuden vuoksi. Heilunta jäi selvästi alle 8 tunnin vaararajan (kuva 1).

Analysointitapa vaikuttaa huomattavasti mittaustuloksiin (kuva 2). SINE MAX -menetelmä tulostaa suurimman mitatun kiihtyvyyden arvon 1/3 oktaavi-analyysissä kullakin keskitaajudella, mutta on altis mahdollisten häiriöiden aiheuttamille tason nousuille. SLOW-analyysissä aikavakio on 20 s. taajuudesta riippumatta ja sen voidaan katsoa kuvaavan parhaiten heilunnan keskimääräistä tasoa, sillä lyhytkestoiset ja satunnaiset piikit eivät mahdolliset lyhyet häiriöt ehdi varata integraatiopiirejä. Kahteen kertaan suoritettiin mittaukset nopealla nopeudella pystysuunnassa ja hitaalla nopeudella pituussuunnassa ja varsinkin jälkimmäisessä (kuva 2) voidaan todeta eri kokeiden SLOW-analyysin vastaavan toisiaan paremmin. Eri kohteet eivät kuitenkaan anna aivan samoja tuloksia, joten kuvassa 1 esitetyt kiihtyvyyden arvoja onkin pidettävä vain likiarvoina. Maksimaalinen kiihtyvyyden taso on selvästi suurempi kuin keskimääräinen, mutta koska ISON standardi ei anna selvää ohjetta käytettävästä aikavakiosta, on tässä tutkimuksessa käytetty 20 s. aikavakiota luotettavimpana heilunnan tason kuvaajana.



Kuva 2. Heilunnan tehollisen kiihtyvyyden maksimaalinen taso ja 20 s aikavakiolla saatu taso nopealla nopeudella pystysuunnassa ja hitaalla nopeudella pituussuunnassa kahdella eri mittauskerralla

Kuvassa 3 on heiluntasuuntien kiihtyvyydet työssä ja radalla 1, kun aikavakiona on 20 s. (SLOW), ja kun analyysi tulostaa mittauksessa havaitun maksimaalisen kiihtyvyyden (SINE MAX). Maksimitasoanalyysissä havaitaan pysty- ja sivuheilunnassa selvät maksimit 8 ja 16 Hz:n taajuudella, mutta vain työstä tehdyissä mittauksissa. Maksimit eivät tule esille SLOW-analyysissä, koska ne ovat kestoltaan liian lyhyitä varataakseen integraatiopiirejä. Mielenkiintoista on, että vastaavia huippuja ei ole pituussuuntaisessa heilunnassa eikä samassa maastossa suoritetussa rata-ajossa. Tämä antaa aiheen olettaa,



Kuva 3. SLOW- ja SINE MAX - analyysit eri mittaussuunnissa työstä ja radalta 1.

että kaatolaitteessa katkaistuna olleet rungot ovat vipuvartena lisänneet heiluntaa. Hypoteesiä tukee se, että kiihtyvyyden on ollut sivusuunnassa suurempi kuin pystysuunnassa. Koneen suuri pituus verrattuna leveyteen, telat sekä kaatolaitteen ja koneen välissä olevat hydraulisylinterit selittäisivät vastaavien huippujen puuttumisen pituussuuntaisessa heilunnassa.

### 3. Tarkastelu

Työssä mitatut heilunnan kiihtyvyyden teholliset arvot jäävät selvästi alemmiksi kuin BOBCAT-tutkimuksessa (HARSTELA ja SAUVALA 1975) ja alittavat terveyden vaararajan 8 tunnin päivittäisen altistusajan. Tosin vertailu BOBCATIin on hieman kyseenalaista, koska mittausmenetelmä on ko. tutkimuksen jälkeen kehittynyt ja anturin kiinnityskohta on muuttunut. Heilunta ei silti ole vaaratonta, sillä tietty riski terveyden menettämiseen on jo ko. rajan alapuolella ja työssä mitatut teholliset kiihtyvyydet ylittävät joka mittauksessa 8 tunnin "väsymyksen ja alentuneen työtehon" altistusajan, joka saadaan jakamalla "terveyden vaararaja"-kiihtyvyydet 2:lla.

Sekä maastoluokan heikkeneminen että nopeuden nousu II maastoluokassa lisäsivät heilunnan kiihtyvyyttä. Ajonopeus I maastoluokan radalla oli samanaikaisesti koneen maksiminopeus ja "normaali" kuljettaja arvion mukaan. Kiihtyvyydet jäivät selvästi radan 2 arvoja pienemmäksi, lukuunottamatta pystysuuntaa, jossa ylittyi jopa 8 tunnin vaararaja. Rata tosin muuttui

kokeen aikana epätasaisemmaksi kuin mitä se oli työssä. Kun kiihtyvyydet työssä olivat selvästi alle radan 1 arvojen käytettäessä 20 s aikavakiota, voidaan olettaa, että ajonopeus ei ratkaisevasti vaikuta heilunnan keskimääräiseen tasoon työskenneltäessä I. maastoluokassa. Siirryttäessä työskentelemään II maastoluokassa ajonopeuden vaikutus lienee selvä. Hitaalla nopeudella voi esteet kiertää, kun taas nopeampoinen työskentely vaatii kivien ja kantojen ylittämisen. Verrattaessa kuljettajan ajotapaa radalla 2 hitaalla ja nopealla nopeudella huomataan, että nopeudet ovat olleet erilaiset sekä radan hyvillä että "huonoilla" osuuksilla.

Maasto leimikossa, jossa heiluntaa työssä mitattiin, oli tasainen lukuunottamatta koneen telojen jälkiä. Jos hypoteesi kaatolaitteessa olevien puiden vaikutuksesta on tosi, jo pienetkin epätasaisuudet aiheuttavat selvät huiput 8 ja 16 Hz:n taajuuksilla. Tällöin maaston ja poistettavan puuston koon vaikutuksen selvittäminen vaatii lisätutkimuksia.

Tällaisten huippujen esiintyminen heilunnan kiihtyvyyden maksimiarvossa, mutta puuttuminen keskimääräisestä tasosta vaikeuttaa niiden haitallisuuden arviointia, koska ISO:n (2631) standardi ei anna ohjetta aikavakiosta.

Kuten aiemmin on todettu, SINE MAX -analyysi on altis häiriöille. Esiintyessään ne nostavat kiihtyvyytensä joka taajuudella, joten ne eivät ole syynä kuvassa 3. esiintyviin huippuihin.

Koneen tekninen rakenne ja I maastoluokan leimikoiden riittävyys ovat hidastaneet sen käyttöönottoa II maastoluokan leimikoissa. Ennen toiminnan laajentamista huonompiin maastoluokkiin olisi syytä selvittää heilunnan taso työssä, sillä pintaesteiden, joita ei voi kiertää, vaikutus heilunnan kiihtyvyyteen voi olla suuri.

Makerin tutkimusten ohella mitattiin Lokomon 909 traktorin heiluntaa radalla 2, jotta paremmin voitaisiin rinnastaa Makerin tulokset aikaisempiin isojen traktoreiden heilunnan mittauksiin. Maksimaalinen kiihtyvyytaso on Lokomon 909:llä pystysuunnassa selvästi alemmalla taajuudella (n. 2 Hz) kuin Makerilla (n.4 Hz). Lukuunottamatta matalia taajuuksia Lokomon 909:n heilunta jäi pystysuunnassa pienemmäksi kuin Makerin. Sivusuunnassa taso 2.5-10 Hz:n taajuudella on selvästi korkeampi Lokomo 909:llä kuin Makerilla, tosin myös nopeus oli suurempi. Mutta ISO-standardin mukaan vaarallisimmalla taajuusalueella myös sivuheilunta oli Makerilla hieman suurempi kuin Lokomo 909:llä.

Loppupäätelmänä voidaan todeta Makerin heilunnan maastoluokissa I-II olleen oletettua vähäisempää ja vain hieman haitallisempaa kuin varsinaisen metsätraktorin. Kuitenkin puiden kaadossa, jossa päivittäinen ajoaika on paljon pitempi kuin puutavaran ajossa, terveydellinen riski esiintyy jo II maastoluokassa.

## KIRJALLISUUTTA

- GUIGNARD, I. & IRWING. 1962. Measurements of eye movements during low frequency vibration. Aerospace VOL 33. pp. 1230-1238.
- HARSTELA, P. & SAUVALA, K. 1975. Low-frequency vibration in small tractors used in the harvesting of logging residues on small trees. XVI IUFRO WORLD CONGRESS. Discussion Paper. pp. 1-9.
- HASAN, J. 1970. Biomedical aspects low-frequency vibration. A selective review. Work- Enviroment -- Health. VOL 6. No. 1. pp. 19-45.
- ISO 2631-1974 (E) Guide for the evaluation of human exposure to whole-body vibration.
- KÄTTÖ, J. & SALMINEN, H. 1973. Metsätraktorien melu, tärinä ja heilunta. Vakolan tutkimusselostus 10. 1-35.
- LEWIS, C. & GRIFFIN, M. 1976. The effect of vibration on manual control performance. Ergonomics. VOL 19. No 2. pp. 203-216.
- RUBINSTEIN, L. & KAPLAN. 1968. Some effects of Y-axis vibration on visual acuity. Aerospace Medical Research Laboratories. Technical Report. VOL 19. Ohio.
- WUOLIJOKI, E. 1976. Metsäkoneiden heilunnan ergonomiset haitat. Silva Fennica VOL 10 No 2 pp. 87-93.



