



VAKOLA



Rukkila
Helsinki 100



Helsinki 43 41 61



Pitäjämäki

VALTION MAATALOUSKONEIDEN TUTKIMUSLAITOS
Finnish Research Institute of Engineering in Agriculture and Forestry

1971

Tutkimusselostus

8

Study report

**MENETELMÄ MOOTTORISAHAN TÄRINÄN
MITTAAMISEKSI JA TULOSTEN ARVOS-
TELEMISEKSI**

**METHOD OF MEASURING THE VIBRATION
OF CHAIN SAWS AND EVALUATING
THE RESULTS**

KAUKO AHO

HELSINKI 1971

Tiivistelmä

Tässä tutkimuksessa on mitattu kolmen tärinänvaimentimella varustetun sahan tärinä käytännön työvaiheissa: kaadossa, karsinnassa ja katkonnassa. Tärinä mitattiin erikseen etu- ja takakädensijasta, samanaikaisesti kolmessa toisiaan vastaan kohtisuorassa suunnassa. Mittaustulokset rekisteröitiin mittaussmagnetofonilla. Näytteistä tehtiin taajuusanalyysi sekä $\frac{1}{3}$ - että $\frac{1}{1}$ -oktaaveittain. Muuttuvasta amplitudista otettiin näyte 10 kertaa sekunnissa. Näytteet ryhmiteltiin 10 ryhmään, joiden perusteella laskettiin tehollisen kiihtyvyydsamplitudin neliöllinen keskiarvo. Samoista näytteistä saatiin myös eri taajuuksilla ilmenevän tärinän suhteellinen kestoaika kaadon ja karsinnan sekä katkonnän aikana.

Etu- ja takakädensijoista epäedullisimmissa suunnissa todetut kiihtyvyydet on esitetty piirroksissa, joihin on vedetty tšehkoslovakialaisen tärisevien työkalujen käyttöä koskevien ohjeiden mukaiset rajaviivat.

Tutkimuksen ja em. rajaviivojen perusteella voidaan päätellä, että yhtä tutkituista sahoista voidaan käyttää n. 45 min työjaksoissa, toista n. 30 min työjaksoissa ja kolmas tuskin sopisi etukädensijassa ilmeneen voimakkaan tärinän vuoksi ammattimaiseen käyttöön.

Mittaustulokset poikkesivat toisistaan koetta uusittaessa $0 \dots \pm 14 \%$.

Sahoja, joissa tärinä on parhaiten vaimennettu on tämän tutkimuksen ja em. ohjeen perusteella mahdollista käyttää nykyisin lähes yleistä tauotusta noudattaen. Sen sijaan kaikki tärinän vaimentimella varustetut sahat eivät ole ammattimaiseen käyttöön tärinän puolesta sopivia.

Summary

In the experiment we have measured the vibration of three chain saws, which were equiped with vibration dampers, in the working steps of practice; felling, limbing, and bucking. The vibration was measured separately from the front and rear handles, simultaneously in three directions, perpendicular to each other. The results were registered by an instrumentation tape recorder. A frequency analysis was made both in third octave and whole octave bands. From the

changing amplitude a sample was taken ten times per second. The samples were divided into ten categories, on the basis of which the RMS-value of the actual acceleration amplitude was calculated. Also from the same samples, a relative duration of the vibration, which appear in different frequencies during felling and limbing, and as well bucking, was achieved.

The acceleration in front and rear handles, in the most harmful directions, are shown in the figures, where the borderlines correspond to the Czechoslovakian regulations on the vibrating tools.

On the basis of the experiment and the borderlines mentioned before, we can conclude that one of the saws studied could be used in working periods of about 45 minutes, the second in working periods of about 30 minutes, and the third is hardly suitable for professional work because of a strong vibration in the front handle.

The results varied from 0 to $\pm 14\%$ when the test was repeated a couple of times.

According to this experiment and the borderlines mentioned before, saws where the vibration has been damped to the lowest amount, can be used with the present system of breaks, while just every saw equipped with vibration dampers does not fit into professional work simply due to its vibration.

MENETELMÄ MOOTTORISAHAN TÄRINÄN MITTAAMISEKSI JA TULOSTEN ARVOSTELEMISEKSI

Johdanto

Moottorisahan tärinä on todettu viime vuosina erääksi vaikeimmin ratkaistavista puutavaran nykyisiin tekomenetelmiin liittyvistä pulmista. Aikaisemmin sahojen tärinä oli jonkin verran nykyistä voimakkaampaa, mutta sahan päivittäinen käyntiaika oli vain murto-osa nykyisestä. Onkin kyseenalaista voidaanko vasta valmistuneita metsätyöntekijäin terveyden tilaa koskevia selvityksiä pitää pätevänä moottorisahan nykyisen käyttötavan aiheuttamia vaivoja ennustettaessa.

Moottorisahan tärinävaikutusten selvittely on kaksipuolinen ongelma. Toisaalta on saatava selville minkälaista se tärinä on laadultaan, joka vaikuttaa tekemiehen käsiin, ja mikä on tärinän päivittäinen vaikutusaika ja jakautuma työpäivän osalle. Toisaalta on selvitettävä, minkä verran ihminen kestää sairastumatta tuota moottorisahan aiheuttamaa tärinää. Tässä tulee kyseeseen yhtämittäinen, päivittäinen ja pitkäaikainen altistusaika sekä tarpeellisten lepotaukojen pituudet.

Tärinää on mitattu erilaisilla menetelmillä ja saatu ainakin joitakin sahalle ominaisia arvoja. Sahojen vertailu onkin ollut mahdollista näiden mittausten avulla. Koska tärkeimpänä mittausten tavoitteena on pidetty tulosten vertailukelpoisuutta, joka sinänsä onkin tärkeä tavoite, mittaukset on tehty yleensä järjestetyissä laboratorio-oloissa. Tavallisin mittaustilanne on kuormittamattoman sahan tärinän mittaus moottorin käydessä esim. suurinta tehoa vastaavalla nopeudella. On keskusteltu paljon mittaasanturin kiinnitystavasta kädensijoihin, samoin sahaajan otteen tiukkuuden merkityksestä mittaustulokseen. Mm. Statens Maskinprovningar Ruotsissa (1970) ja Vysoká Skola, (maatalouskorkeakoulu, jonka yhteydessä on maa- ja metsätalouskoneiden koetuslaitos) Brnossa Tšhekkoslovakiassa (1969) ovat rakentaneet eräänlaiset mekaaniset kädet mittaustarkkuuden parantamiseksi.

Tämän tutkimuksen tarkoituksena on ollut sahaajaan kohdistuvan tärinän laadun selvittäminen nykyisiä tärinänvaimentimilla varustettuja sahoja käytettäessä kaatosahauksen, katkonnän ja karsinnan aikana. Yhtämittäinen ja päivittäinen altistusaika riippuu työjärjestyksestä ja työtavoista, samoin lepoaikojen pituudet ja jakautumat työväivän aikana.

Mittausmenetelmä

Aikaisemmin käytetyn hetkellisen värähtelytilanteen toteamisen sijasta tässä tutkimuksessa rekisteröitiin kuusikuitupuun valmistuksen eri vaiheissa ilmenevä värähtely eri suuntaisine komponentteineen koko puun käsittelyn aikana. Värähtelytilanne tosin vaihtelee tällöin jatkuvasti, mutta laskemalla neliöllinen keskiarvo eri taajuuksaistoilla ilmenevästä muuttuvasta kiihtyvyyssamplitudista sekä suhteellinen aika, jonka em. amplitudi on suurempi tai yhtäsuuri kuin keskiarvo, saadaan luotettava käsitys todellisessa työtilanteessa ilmenevästä värähtelystä.

Mittauksien aikana tekemies normaalina pitämänsä työtahtia käyttäen kaatoi ja karsi yhden puun kerrallaan. Katkontasahaukset, vuorotellen alta ja päältä sahaten tehtiin erillisenä kokeena. Täten saatiin erikseen kaadon, karsinnan ja katkonnan aikana ilmenevä tärinä. Mittaus toistettiin 2—3 kertaa.

Näytteiden pituudet vaihtelivat 2,3 . . . 3.4 min. Puiden käyttöosan koko vaihteli 0,3 . . . 0,45 k-m³. Oksaisuusluokka oli kolme. Mittaukset tehtiin kesällä. Tutkimuksessa oli mukana kolme tärinänvaimentimilla varustettua sahaa.

Kiihtyvyyssanturi, joka oli yhdistetty kolmesta toisiaan vastaan kohtisuoraan olevasta anturista, kiinnitettiin pitimellä tiukasti vuorotellen kumpaankin kädensijaan. Kyseessä oli siten kädensijojen kiihtyvyyksien mittaus eikä kädensijojen päällyste vaikuttanut mittaus-tuloksiin. Päällysteet ovat yleensä niin kovia, ettei niillä muutenkaan ole merkitystä käsiin johtuvan värähtelyn eristäjänä.

Mittauksessa käytettiin seuraavia laitteita:

Kiihtyvyyssanturi, Brüel & Kjaer 4 320

Esivahvistin, „ 2 623

Varsinainen vahvistin, Bell & Howel, Datatran 1—808

Mittausnauhuri, nelikanavainen Telefunken, MAS 54

Kalibrointilaitte, Brüel & Kjaer 4 291

Mittaustulokset käsiteltiin siten, että nauhurista mittaussignaali johdettiin taajuusanalysointilaitteen kautta tilastoivaan luokittelulaitteeseen, jolla värähtelyn kiihtyvyyssamplitudista otettiin näyte 10 kertaa sekunnissa ja muuttuvat amplitudit ryhmiteltiin 10 tasaväliseen ryhmään. Värähtely analysoitiin 1/3-oktaaveittain. Luokittelulaitteen antamasta tuloksesta oli mahdollista laskea eri työvaiheiden aikaisen värähtelyn tehollisen kiihtyvyyssamplitudin neliöllinen keskiarvo. Luokittelulaitteen antamista tuloksista laskettiin myös kullakin 1/3-oktaavikaistalla ilmenevän neliöllisen keskiarvon suuruisen tai sitä voimakkaamman värähtelyn prosentuaalinen kesto. Kyseinen prosentti laskettiin koko

näytteen pituudesta. Näytteisiin sisältyvät siten myös lyhyet välivaiheet, jolloin saha käy lähes joutokäyntiä.

Mittaustulosten analysointiin käytettiin seuraavia laitteita:

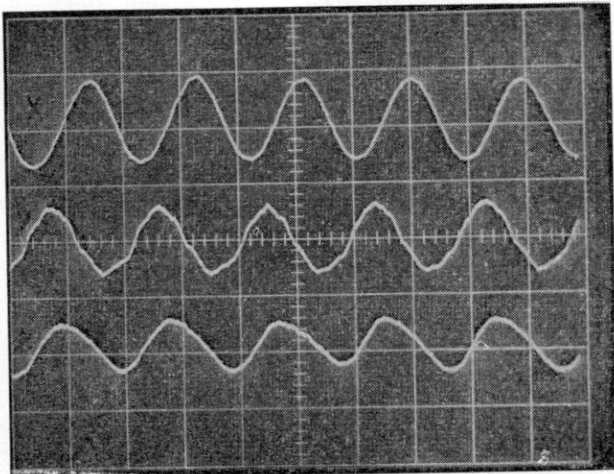
Taajuusanalysointilaitte, Brüel & Kjaer 2 112

Luokittelulaite, Hottinger-Messtechnik KS 10—KS 10 V

Samojen sahojen tärinää tutkittiin myös käyttämällä niitä käsissä kuormittamattomana eri nopeuksilla. Mittaus- ja rekisteröintimenetelmä oli sama kuin edellä käytännön työssä mitattaessa. Analysointi tapahtui valokuvaamalla kaikkien kolmen anturin samanaikaiset kiihtyvyyden kanssa analogiset signaalit oskilloskoopin kuvaputkelta (kuva 1). Kuvista on mahdollista mitata eri suuntaiset kiihtyvyydet ja laskea niiden vektorisumma.

Oskilloskoopina käytettiin nelikanavaista Tektronix 564 B:tä.

Tutkimuksen ensimmäisessä vaiheessa tehtiin kokeita työvaiheiden jakautumien selvittämiseksi kuusikuitupuun ja kuusitukkien teossa.



Kuva 1. Tärinänvaimentimella varustetun moottorisahan takakädensijassa ilmenevää tärinää sahan käydessä kuormittamattomana nopeudella 6 200 r/min. Ranteen suunnassa, ylin viiva, kiihtyvyys on 7,8 g, terän suunnassa, keskimääräinen viiva, 5,8 g ja poikittain, alin viiva 4,4 g. Kiihtyvyyksien vektorisumma on 8,6 g eli $84,5 \text{ m/s}^2$, tehollinen arvo 60 m/s^2 .

Fig. 1. Vibration in the rear handle of a chain saw equipped with vibration dampers. The saw is running unloaded at the speed of 6 200 rpm. In the direction of wrist, the upper trace, the acceleration value is 7.8 g; in direction of guidebar, the second trace, 5.8 g, and crosswise, the undermost trace, 4.4 g. The vector sum of the accelerations in all three directions is 8.6 g or 84.5 m/s^2 , and its RMS-value 60 m/s^2 .

Työn eri vaiheiden mahdollisimman täsmälliseksi erottamiseksi rekisteröitiin sahan aiheuttama melu nauhurilla. Mikrofoni oli tällöin 5... 30 m etäisyydellä tekomiehestä. Samalla selostettiin mikrofonin jatkuvasti eri työvaiheiden alkamis- ja päättymisajankohdat. Tulosten selvittelyvaiheessa eroteltiin kaikki vähintään 3 sekunnin pituiset jakot. Myös puolikarsittujen kuusirunkojen teosta otettiin joitakin näytteitä. Tämä osa tutkimuksesta tehtiin kevättalvella, jolloin lunta oli vielä n. 40—50 cm, AHO ja HARSTELA (1970).

Mittaustulokset ja päätelmät

Kaadon ja karsinnan sekä katkonnan aikana sahan n:o 2 etu- ja takakädensijoista mitattujen eri suuntaisten tehollisten kiihtyvyydsamplitudien neliölliset keskiarvot analysoituina $\frac{1}{3}$ -oktaaveittain esitetään kuvissa 2 ja 3. Samoissa kuvissa nähdään myös vastaavien värähdyskomponenttien suhteelliset ilmenemisaikojen osuudet kyseistä työtä tehtäessä.

Kuvassa 4 nähdään vastaavat tulokset kolmesta eri sahasta analysoituina koko-oktaavittain. Kuvaan on merkitty vain epäedullisin mitausta kolmesta komponentista. Kuvassa 4 nähdään lisäksi tulokset samoista sahoista niiden käydessä kuormittamattomina.

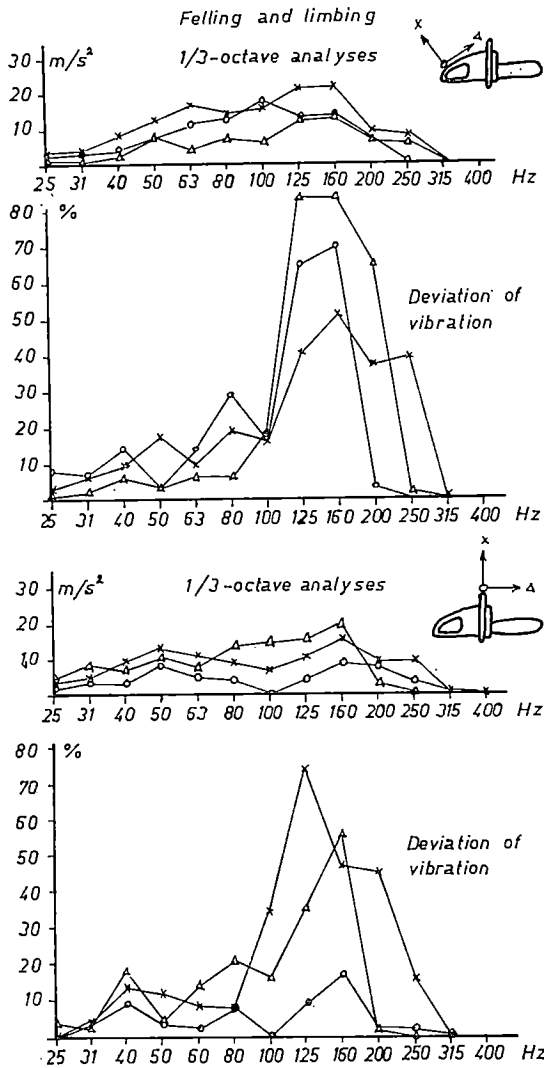
Aikaisemmin suoritetun tutkimuksen perusteella tehollinen työaika, johon ei luettu varsinaisia taukoja eikä sahan ym. kunnostus- ja huoltokojoja, jakautui kuusikuitupuun teossa seuraavasti:

Kaato	8—12 %
— Karsinta, myös tyven karsinta ennen kaatoa	50—55 %
— Välivaiheita, jolloin saha käy tyhjäkäyntiä tekomiehen kädessä (lumen poljentaa puun tyveltä, puun kääntelyä karsinnan aikana sekä siirtymiset puulta toiselle)	9—15 %
— Pölkkyjen kasaus, saha maassa	20—25 %

Eri työvaiheiden keskimääräiset, yhtäjaksoiset pituudet ja pituuksien keskihajonta käyvät ilmi taulukosta 1.

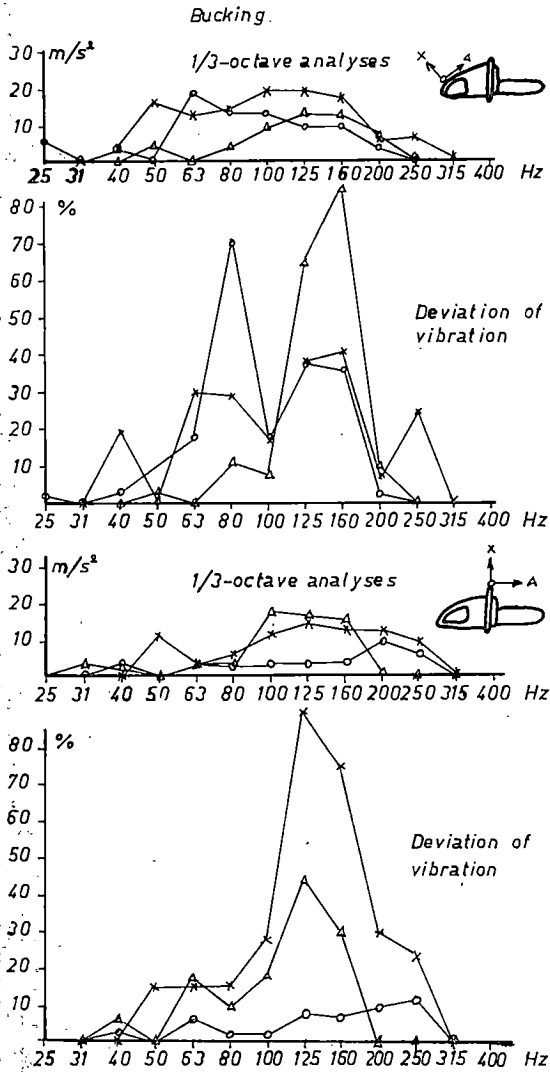
Kuusitukkien ja latvakuitupuun tekoon kului keskimäärin 3,4 min/puu, josta sahan tehokäyntiä oli 63 %, tyhjäkäyntiä kädessä 21 % ja maassa 16 %. Puolikarsittujen kuusirunkojen tekoon kului keskimäärin 2,2 min/puu. Tästä ajasta oli tehokäyntiä 88 % ja tyhjäkäyntiä kädessä 12 %.

Kuormittamattomasta sahasta mitattu tärinä oli voimakkaampaa kuin työn aikana mitatun tärinän neliöllinen keskiarvo. Eroa oli erityisesti hitaan joutokäynnin ja sahan maksiminopeutta vastaavan käynnin aikana todetussa tärinässä. Sen sijaan sen oktaavin alueella, jonka keskikohta on 125 Hz ja joka vastaa sahojen pääasiallista käyntialuetta



Kuva 2. Kuusen kaadon ja karsinnan aikana sahassa 2 todettu tärinä. Kiihtyvyyksiarvot ovat tehollisen kiihtyvyyssamplitudin neliöllisiä keskiarvoja koko työjakson aikana. Värähtelyn jakautuma (deviation of vibration) tarkoittaa em. keskiarvon suuruisen tai sitä suuremman värähtelyn ilmenemisaajan prosentuaalista osaa koko työjaksosta.

Fig. 2. Vibration in saw # 2 during felling and limbing spruce trunks. Acceleration values are RMS-values from the whole cutting stage. Deviation of vibration means the percentage of time, when amplitude of acceleration is larger or equal to the RMS-value mentioned before.



Kuva 3. Kuusen katkonnin aikana sahassa 2 todettu tärinä.

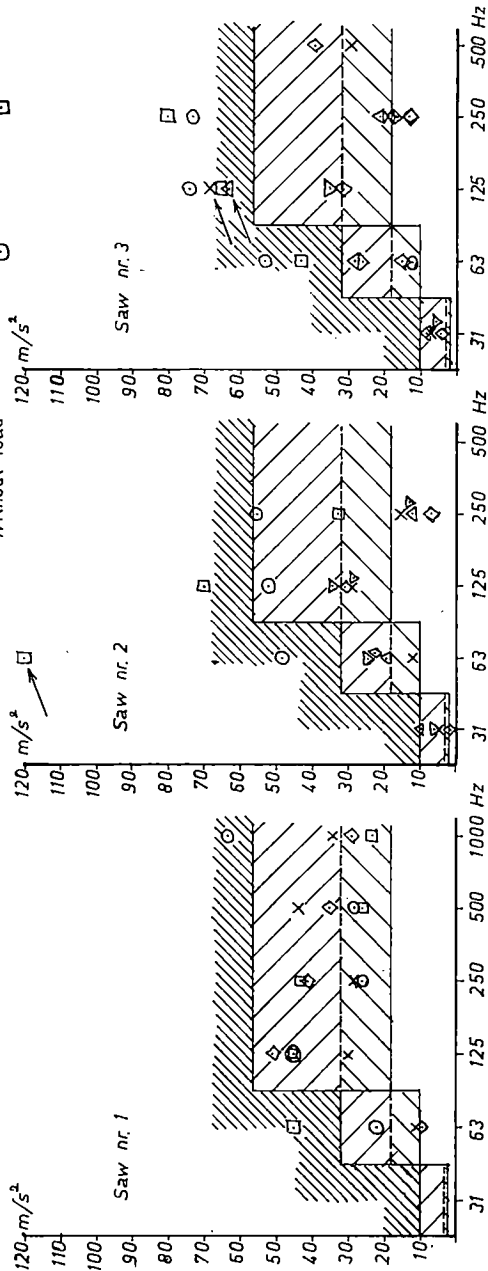
Fig. 3. Vibration in saw # 2 when bucking spruce trunks.



Felling and limbing

Bucking

Without load



Kuva 4. Sahoissa 1, 2 ja 3 kaadon ja karsinnan (felling and limbing), katkannon (bucking) sekä kuormittamattoman sahan käytössä (without load) todettu tärinä analysoituna koko-oktaaveittain. Kuormittamattomista sahoista todetut tärinät ylittävät sallitut rajat. Sahan 3 etukädensijasta mitattu tärinä ylittää myös työssä selvästi sallitun ylimmän rajan.

Fig. 4. Vibration in saws # 1, 2, and 3 when felling and limbing, bucking and as well running unloaded. Vibration in all unloaded saws exceeds the borderline permitted by the Czechoslovakian hygiene regulations. Vibration in front handle of saw # 3 also in work exceeds clearly the borderline mentioned before.

Taulukko 1. Eri työvaiheiden yhtäjaksoiset pituudet kuusikuitupuun teossa

Työvaihe	Työvaiheen yhtäjaksoinen pituus s	
	Keskiarvo	Keskihajonta
Kaato	15	8
Karsinta, pölkkyä kohden	18	11
Kasaus, yksi pölkky kerrallaan	11	6
Kasaus, yhdestä rungosta tehdyt pölkyt kerrallaan	40	19
Kasaus, useasta rungosta tehdyt pölkyt kerrallaan	140	17
Saha toisessa kädessä karsinnan väliaikoina	4	2
Siirtyminen puulta toiselle sahaa kantaen	10	6

työskentelyn aikana (alue vastaa moottorin pyörimisnopeutta n. 5 300—10 600 r/min), eroa oli huomattavasti vähemmän. Aika-ajoin tällä alueella ilmeni työn aikana voimakkaampaakin tärinää kuin vastaava kuormittamattoman sahan tärinä. Tämä seikka ei käy ilmi kuvasta.

Sahan nopeus ei yleensä laske hitaaksi joutokäynniksi varsinaisen sahausken aikana, ei myöskään karsinnan aikana siirryttäessä oksasta toiseen. Sen sijaan siirryttäessä puulta toiselle ja esim. karsinnan aikana puuta käännettäessä saha käy usein joutokäyntiä. Tällöin saat-
taa tärinänvaimentimilla varustettujen sahojen etummaisessa kädensijassa ilmetä voimakas tärinä, joka voi olla hyvinkin haitallista.

Maksimaalinen käyntinopeus on käytännön työskentelyn aikana verrattain harvinainen, joten sen aikana todetulla tärinällä on vähän merkitystä.

Tämän perusteella mittausmenetelmään tulisi sisältyä edellä kuvatu-
n kaltainen mittaus käytännön työssä sekä etummaisen kädensijan tärinän toteaminen joutokäynnin aikana kannettaessa sahaa toisella kädellä.

Uusittaessa käytännön oloissa tehtyjä kokeita vaihtelivat kunkin mittauksen epäedullisimmat tulokset $0 \dots \pm 14 \%$. Verrattaessa kahta saman mallista sahaa kuormittamattomana vaihtelivat tulokset vastaa-
vasti $\pm 6 \dots \pm 16 \%$.

Kuvaan 4 on piirretty rajaviivat, jotka perustuvat tshekkoslovakialaiseen ehdotukseen ohjeeksi tärisevien käsityökalujen käytöstä vuodelta 1967, KRYZE (1970). Rajojen merkitys on seuraava:

1) Ylin, ristiviivoituksella kuvattu alue on sellainen, jolle varsinaisten työvaiheiden aikana todetut mittaustulokset eivät saisi joutua. Sellaista sahaa ei tulisi käyttää ainakaan ammattimaisessa käytössä.

2) Toinen alue edellyttää rajoitettua käyttöä. Taukoja, jolloin tärisevä saha ei ole käsissä ja joiden pituus on yli 10 min, tulisi pää-

vän mittaan olla yli 10 kpl. Tämä tarkoittaa käytännössä työskentelyä, jossa aina puolen tunnin sahan käyttöä seuraa n. 15 min tauko tai jokin muu työ.

3) Kolmannella alueella rajoitukset ovat vähäisempiä. Taukoja tulisi päivän mittaan olla 5—10 kpl, pituudeltaan edelleen yli 10 min. Työskentely voisi olla järjestetty siten, että n. 45 min sahan käyttöä seuraisi n. 15 min tauko tai jokin muu työ.

4) Jos tärinä jäisi kolmannen rajaviivan alapuolelle, ei moottorisahan käyttö vaatisi enää tärinän takia ylimääräisiä taukoja.

Lisäksi tshekkoslovakialaiset ohjeet edellyttävät, että kädet pysyvät kuivina ja lämpiminä. Samoin tärinää vaimentavien käsineiden käyttö on suositeltavaa. Työpäivän jälkeen on pidettävä huolta koko kehon kunnollisesta lämmittelystä, joka tapahtuu parhaiten lämpimässä siuhkussa tai saunassa.

Noin 15 min sahaustaukoja edellyttää myös BJERKER'in, KYLIN'in ja LIDSTRÖM'in tutkimus (1970), jonka mukaan tärinästä johtuva tuntoaistimuksen aleneminen alkoi kyllä palautua heti tärinäaltistuksen päättymisestä lähtien likimain suoraviivaisesti ajan logaritmin funktiona, mutta vasta n. 15 min kuluttua tuntoaistimus oli palautunut alkuperäiseen arvoonsa.

Tutkitut sahat olivat kaikki tärinää vaimentavilla kumijousilla varustettuja ja kuuluivat aikaisempien maatalouskoneiden tutkimuslaitoksella (1969) suoritettujen mittausten perusteella parhaiden moottorisahojen joukkoon. Saha 1 alittaa katkontasahauksessa ylimmän rajan ja sitä voidaan sen perusteella käyttää n. 30 min jaksoja vaihtamalla työtä välillä n. 15 minuutiksi. Saha 2 alittaa tärkeimmällä käyttöalueella toisen rajan tai on likimain rajalla. Matalilla taajuuksilla, joita käytännössä ilmenee vain harvoin varsinaisen sahaustyön aikana, tärinä takakahvassa ylittää hieman em. toisen rajan. Tätä sahaa voitaneen käyttää n. 45 min jaksoja eli likimain nykyistä käytäntöä vastaavalla tavalla. Sahan 3 etukahvassa sen sijaan on niin voimakas tärinä sekä katkonnan että karsinnan aikana, ettei sitä pitäisi tshekkiläisen ohjeen perusteella käyttää ammattimaiseen sahaukseen.

Käytännössä tämä merkitsee sitä, että nykyisin on mahdollista tehdä sellainen moottorisaha, jonka käyttö kohtuullisin työpäivän aikaisin tauoin on vaaratonta. Toisaalta kaikki tärinänvaimentimilla varustetut sahat eivät ole riittävän hyviä.

Tshekkiläisiä ohjeita tarkastettaessa on vielä muistettava, että olot maassamme kylmemmän ilmastomme johdosta ilmeisesti ovat vaikeammat kuin Tshekkoslovakiassa. Asetettuja rajoja on siten pidettävä mieluummin lievinä kuin liian ankarina. Erityisesti sellaisissa töissä kuten kokonaisina runkoina juonnettavien puiden teossa, jossa sahan käyttö on lähes jatkuvaa, on riittävistä keskeytyksistä pidettävä huolta.

Kirjallisuusluettelo — References

- AHO, K. J. & HARSTELA P.: Moottorisahan melu ja tärinä, Metsä ja Puu n:o 8, 1970 p. 18—22.
- BJERKER, N., KYLIN, B. & LIDSTRÖM, I.-M.: Changes in the vibratory sensation threshold after exposure to powerful vibration, *Work-Environment-Health*, Vol. 7, no. 1, 1970, p. 3—7.
- A Czechoslovakian proposal for a guide to the evaluation of human exposure of the hand-arm-system to vibration, *Work-Environment-Health*, Vol. 7, no. 1, 1970, p. 88—90.
- KRYZE, B.: The Czechoslovakian hygiene regulation on protection against vibration. *Work-Environment-Health*, Vol. 7, no. 1, 1970, p. 51—56.
- Statens maskinprovningar: Meddelande 2043, 1970.
- Valtion maatalouskoneiden tutkimuslaitos: Koetuslous 742, Tietoja markkinoilla olevista moottorisahoista, 1969.
- Vysoká Skola Zemedelská V Brne: Bericht Nr. 004/69. Mimeograph, 43 p. (Saatavana maatalouskoneiden tutkimuslaitokselta — Available at Finnish Research Institute of Engineering in Agriculture and Forestry, Rukkila, Finland)

METHOD OF MEASURING THE VIBRATION OF CHAIN SAWS AND EVALUATING THE RESULTS

Introduction

In recent years the vibration of a chain saw has been found to be one of the most difficult problems of up-to-date methods of cutting timber. Earlier the vibration of a chain saw was somewhat stronger than nowadays, but then the daily time it was in use, was only a small fraction of the present cutting time. So it is questionable whether the report on the health of a forest worker, which has come out just recently in Finland, can be considered accurate when predicting the present way of using chain saws.

Studying the influence of the vibration of a chain saw is a two-sided problem. First of all we have to find out what the vibration that affects the hands of the sawer is like, what the daily exposure time of the vibration is, and how the daily working time is divided between actual cutting and breaks. We also have to find out how long man can stand the vibration caused by a chain saw without getting ill. Here the continuous, daily, and cumulative exposure time, and the length of necessary breaks are under question.

The vibration has been measured using different methods and at least some results typical of chain saw have been achieved. With the help of these measurements the comparison of chain saws has been possible. Because the most important aim has been to get the results simplified to be compared, the measurements have generally been made under laboratory conditions. The most common situation is to measure the vibration of an unloaded chain saw, whose engine is running at the speed which corresponds to the largest capacity. The way of attaching the measurement gauge onto the handles, has often been discussed. The effect of strength of the sawer's grip on the results, has also been discussed. Among others, Statens Maskinprovningar in Sweden (1970), and Vysoká Skola (a College of Agriculture, with an Agricultural and Forestry Machinery Research Institute) in Brno, Czechoslovakia (1969), have built a certain kind of "mechanical hands" to improve the accuracy of the measurements.

The purpose of the experiment has been to throw light upon the type of the vibration which affects the sawer when using the modern saws equipped with vibration dampers, in felling, bucking, and limbing.

The continuous, and daily exposure time depends on the order and ways of working, also on the length and distribution of the breaks during the workday.

Method of Measurement

Instead of discovering the momentary vibration as before, the vibration with its components in the different directions, which appear in each stage of cutting spruce pulp wood, was registered in this experiment. In fact the vibration situation varies continuously, but by calculating the RMS-value from the changing acceleration amplitude in different frequency bands, and the percentage of time, when amplitude is larger or equal to its RMS-value mentioned before in the corresponding stage, of cutting, a reliable idea about the vibration which appears in real working conditions, is achieved.

During the measurements, the sawer working at normal speed, felled and limbed one tree at a time. Bucking, alternating down and upwards, was done as a separate test. This way the vibration in felling, limbing, and bucking, were measured separately. The measurements were repeated two or three times.

The length of the samples varied from 2.3 to 3.4 minutes. The amount of wood per tree varied from .3 to .45 s-m³. The branch class was three. The measurements were done during the summer. In the experiment three saws equipped with vibration dampers, were used.

The acceleration gauge, which was connected from three gauges perpendicular to each other, was attached tightly by a holder alternating on the both handles. Measuring the acceleration in the handles was the concern, and the cover of the handles didn't have any influence on the results. The covers usually are so hard that they don't have any special use in protecting the hands against the vibration.

In the measurements following equipments were used:

Acceleration gauge,	Brüel & Kjaer 4 320
Preamplifier,	Brüel & Kjaer 2 623
Amplifier,	Bell & Howel, Datatran 1—808
Instrumentation tape recorder,	a four channel Telefunken, MAS 54
Calibration device,	Brüel & Kjaer 4 291

The procedure of the analysis was as follows: From the tape recorder the measurement signal was fed through a frequency analyser to a statistical distribution analyser, with which a sample of the acceleration amplitude of the vibration was taken ten times per second, and so the changing amplitude was divided into ten categories. The

vibration was analysed in third octave bands. The result from the distribution analyser made it possible to calculate the RMS-value of the acceleration amplitude during different working stages. From these results also the duration percentage of the vibration, which was larger or equal to the size of the RMS-value, in each third octave band, was calculated. The percentage concerned was calculated from the length of the whole sample. These samples also included the short intervals when the saw was almost idling.

The following equipment was used to analyse the results:

Frequency analyser,	Brüel & Kjaer 2 112
Statistical distribution analyser,	Hottinger-Messtechnik K S 10— KS 10 V

The vibration of the same saws was also examined by using them in hand, unloaded, and at different running speeds. The apparatuses of measurement and register were the same as when previously measuring in practical work. Analysis was done by taking pictures of the signals analogical to the simultaneous acceleration of all the three gauges on the cathode-ray-tube of the oscilloscope, (fig. 1). From these pictures, it is possible to measure the acceleration in different directions, and to calculate their vector sum. The four channel storage oscilloscope, Tektronix 5 6 4 B was used.

In the first stage of the experiment some tests were made in order to find the deviation of the cutting stages concerning the work with spruce pulp wood and spruce logs. In order to distinguish the different stages of the work as perfectly as possible, the noise caused by the saw was registered by the tape recorder. The microphone was then 5—30 meters from the sawer. At the same time the starting and stopping points of the working stages were reported on the microphone. When clearing up the results all the working periods lasting at least three seconds were distinguished. Some samples were also taken from the cutting of half limbed spruce trunks. This part of the experiment was done in the early spring, when some snow was still left — from about 40 to 50 centimeters, AHO & HARSTELA (1970).

Measurement Results & Conclusions

The RMS-values of the third octave analysed acceleration amplitude in different directions, which were measured during felling, limbing, and bucking, from the front — and rear handles of saw # 2, are shown in figures 2 and 3. In the same figures you can also find the

relative proportions of the appearing times of the corresponding vibration components, during different stages of cutting.

In figure 4, the corresponding results of the three different saws can be seen analysed by using the whole octave filters. Only the most intensive of the three components measured has been marked in the figure. In figure 4, you can also see the results of the same saws when running unloaded.

According to the experiments done, the actual working time, which did not include any true break or any time for trimming, or repairing the saw, was divided in processing the spruce pulp wood as follows:

- Felling 8—12 %
- Limbing; also limbing of the base before felling 50—55 %
- Intervals, when the saw is idling in the hands of sawer, (tramping down the snow around the base of the tree; turning the bolt during limbing; and moving from one tree to another) 9—15 %
- Bunching the bolts; the saw lying on the ground .. 20—25 %

The average lengths and the standard deviations of them in different working stages, can be observed in the table 1.

Table 1. The continuous lengths of different working stages in cutting spruce pulp wood

Working stage	Continuous length of working stage second	
	average	standard deviation
Felling	15	8
Limbing per bolt	18	11
Bunching one bolt at a time	11	6
Bunching, the bolts of one trunk at a time	40	19
Bunching of the bolts of several trunkts at one time	140	17
Saw in one hand during intervals of limbing	4	2
Moving from one tree to another, carring the saw	10	6

The average time for cutting spruce log and top pulp wood was 3.4 minutes per tree, 63 % of which was actual cutting time, 21 % the saw was idling in hand, and 16 % idling on the ground. Getting half limbed spruce trunks took 2.2 minutes per tree on the average.

In this time there was 88 % actual cutting time, and 12 % idling in hand.

Vibration in an unloaded chain saw was stronger than its RMS-value measured when working. The difference was found to be significant especially in idling and running at the maximum speed of the saw. While in the octave, whose center frequency was 125 Hz and which corresponds to the main working speeds during cutting, (the area corresponds to the engine speed of 5 300—10 600 rpm) the difference was remarkably smaller. Frequently there appeared during work even stronger vibrations than in the unloaded saw in this speed area. This fact cannot be seen in the figures.

The saw does not idle during the actual work, neither during limbing when moving from one branch to another. But when moving from one tree to another and during limbing, when one turns the log around, the saw is often idling. Then in the front handle of a chain saw equipped with vibration dampers, there may appear a strong vibration, which can be very harmful.

In practical use, the maximum engine speed is comparatively rare, so that the vibration observed is then less important.

On the basis of this, measuring procedures should include the measurement in practical work as described before, and the ascertaining of the vibration in the front handle, during idling when the saw is carried in one hand.

When repeating the tests done under practical conditions, the most harmful results varied from 0 to ± 14 %. While comparing two unloaded saws of the same type, the results varied from ± 6 to ± 16 %.

In figure 4, the borderlines, which are based on the Czechoslovakian proposal for a guide to the evaluation the use of vibrating tools, from the year of 1967, KRYZE (1970), have been drawn. The meaning of the borderlines is as follows:

(1) The upper, crossed area is where the measurement results should not fall. Such a saw should not be used, at least not in professional work.

(2) The second area demands a limited use, and more than ten breaks per day when the running saw is not in hand, and the length of these should be more than ten minutes. In practice, this means a fifteen minutes' break after every half an hour of work, or substituting some other kind of work in place of the break.

(3) In the third area the limitations have already lessened. You should still have about five to ten breaks per day, the length of these should be somewhere over ten minutes. Working could be arranged

so that after every 45 minutes' work, there would follow a 15 minutes' break, or another type of work.

(4) If the vibration would stay under the third borderline, the use of the chain saw would no longer demand extra breaks.

In addition to this, the Czechoslovakian instructions state that the hands are to keep warm and dry. Also then use of gloves, which moderate the vibration, is recommended. After the workday one must take care to warm the body thoroughly; the best way is to take a warm shower or a sauna.

The experiment by BJERKER, KYLIN and LIDSTRÖM (1970), also recommends some 15 minutes' breaks in sawing. According to this experiment the impaired senses recovered from the vibration exposure approximately as a linear function of the log. of the time, but not until after about 15 minutes did the senses fully recover.

The saws examined were all equipped with rubber springs, which reduce the vibration, and belonged to the best chain saws, according to the measurements done before at the Finnish Research Institute of Engineering in Agriculture and Forestry (1969). Saw # 1 does not exceed in bucking the very top border; and it can therefore be used for about 30 minutes' periods by changing the type of work between cutting periods for a 15 minutes' time. Saw # 2 stays, in its most important area of speed, under the second borderline, or around it. At low frequencies, which seldom appear in actual work, the vibration in the rear handle exceeds this borderline. So this saw can be used for 45 minutes' periods, in other words in a way about equal to the present use. According to the Czechoslovakian hygiene regulation, in saw # 3 instead, there appears in its front handle, such a strong vibration, both when bucking and limbing, that it should not be used in professional sawing, at all.

In practice this means that it is now possible to make a chain saw, whose use with reasonable breaks, is safe. On the other hand all saws equipped with vibration dampers are not good enough.

While checking through the Czechoslovakian regulations, we should also keep in mind that the circumstances in Finland due to our cold climate, are obviously more difficult than in Czechoslovakia. We should thus consider these limitations rather light than too restricted. Especially in such work as cutting whole trunks, where the use of a saw is almost continuous, one must take care to have sufficient breaks.

Helsinki 1971. Valtion painatuskeskus