

Geluid, trillingen en statische krachten bij motorkettingzagen

[302 : 362]

W. ROSSING
 Instituut voor Landbouwtechniek en Rationalisatie
 te Wageningen

SUMMARY

The present paper deals with a study comparing noise production, vibration and forces of heavy and light petrol driven chainsaws of 13-14 kg and 6.5-7.5 kg respectively.

Noise production of the three saws investigated, varying between 100 and 110 dB, was far above the damage risk criterion of 85 dB. The lighter saws produced slightly less noise than the heavier one.

The appearing accelerations measured at the grip of the saw were very high, up to 34 g as a maximum. The main frequency corresponded with the speed of the engine. There seemed to be no significant differences between the several types of saws.

As could be expected the frequency of the variation of the forces on the hand of the saw operator, corresponded with the vibration and the speed of the engine. The amplitude of the forces was between 2.5 and 20 kg. The differences between the several saws were not significant.

Zoals bekend is, is de geluidsproductie van motorkettingzagen hoog; waar- bij deze geluidsproductie niet alleen hinderlijk is, maar ook schadelijke ge- volgen kan hebben voor personen die er mee omgaan, of in de directe omge- ving werkzaam zijn. Naast deze geluidsproductie treden er door de motor en de andere bewegende delen versnellingskrachten op die onaangenaam zijn, daar deze versnellingskrachten, via het handvat, waarmee de motorkettingzaag wordt vastgehouden, worden overgebracht op de hand van de bedieningsman. Hierdoor worden tijdens het zagen op de hand, naast de drukkracht die men utoefent, nog krachten uitgeoefend, die ontstaan door het trillen van de motorkettingzaag.

Om na te gaan of er een aantoonbaar verschil is tussen de geluidsproductie, trillingen en krachten bij zware en lichte motorkettingzagen werden door het Instituut voor Landbouwtechniek en Rationalisatie te Wageningen op verzoek van het Bosbouwproefstation en met medewerking van het Staatsbosbeheer enkele metingen verricht om de hierboven genoemde grootheden bij één zware en twee lichte motorkettingzagen te bepalen. De zagen hadden de volgende totaalgewichten (incl. blad, ketting en brandstof):

A. 13,6 kg, B. 6,5 kg en C. 7,6 kg.

Geluidsmetingen

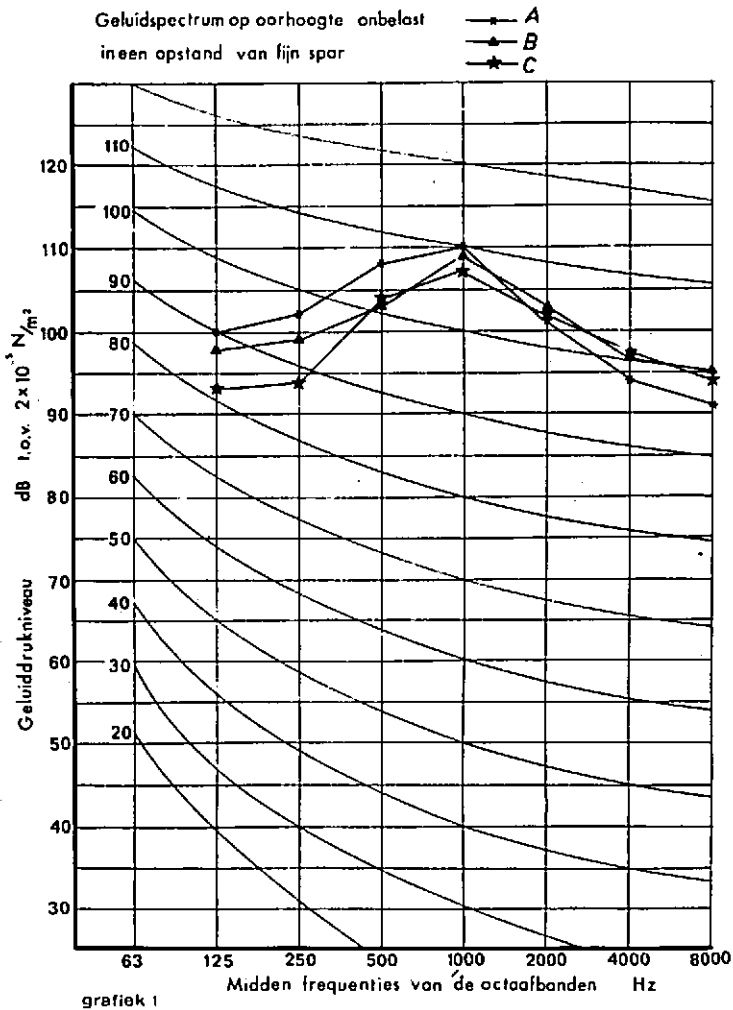
Om de hinderlijkheid voor de bedieningsman te meten werd de microfoon van de geluidsmeter aan een speciaal daarvoor vervaardigd hoofddekseel be-

vestigd, zodat de microfoon zich direct naast het oor van de bedieningsman bevond. Bij de geluidsmetingen werd het geluidsdrukkniveau in de verschillende frequentiebanden gemeten.

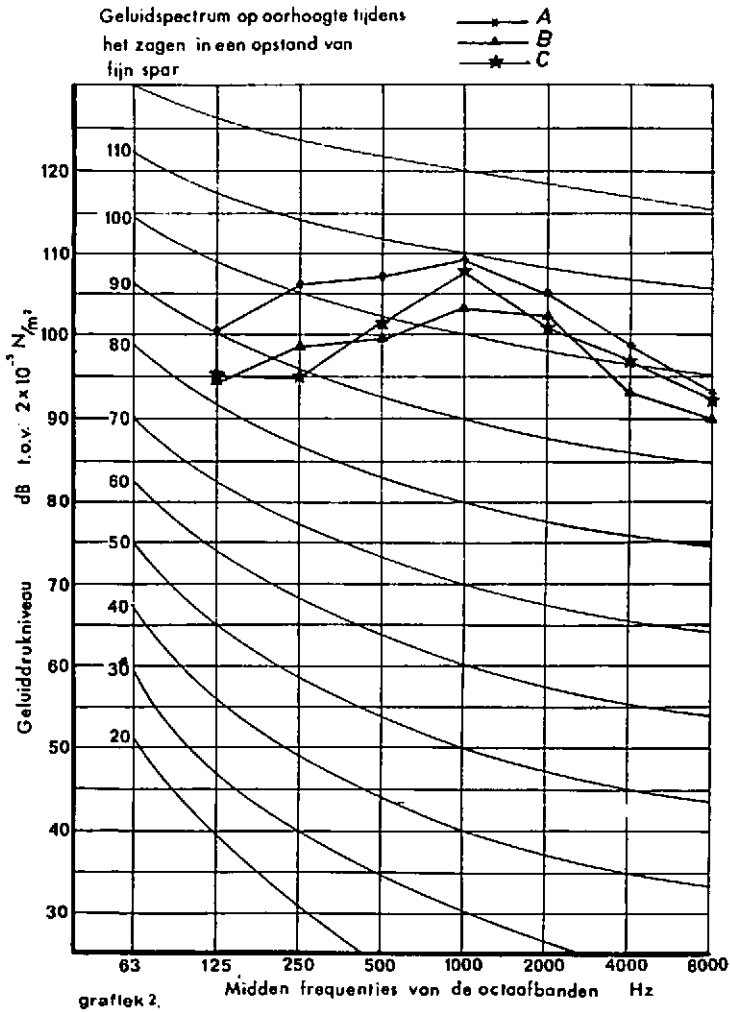
- De metingen werden uitgevoerd onder de verschillende omstandigheden:
- in een opstand van fijnspar, onbelast;
 - in een opstand van fijnspar, onbelast, zaagblad horizontaal (vellen);
 - in een opstand van fijnspar, tijdens het zagen;
 - onder vrijeveldcondities, onbelast;
 - onder vrijeveldcondities, tijdens het zagen.

Het vlak van het zaagblad was bij alle metingen verticaal (positie als bij korten), met uitzondering van b. Bij de metingen draaiden de motoren volgas.

Enkele resultaten van deze metingen zijn uitgezet in de grafieken 1 en 2.



Grafiek 1. Geluidsspectrum op oorhoogte van een drietal motorkettingzagen als deze onbelast volgas draaien.



Grafiek 2. Geluidsspectrum op oorhoogte van een drietal motorkettingzagen tijdens het zagen.

In deze grafieken is het geluidsdruk-niveau, dat in de verschillende frequentiebanden is bepaald, uitgezet in dB (decibel) t.o.v. $2 \times 10^{-5} \text{ N/m}^2$. Het blijkt dat de maximum geluidsdruk-niveaus juist optreden in de meest hinderlijke frequentiegebieden (500-4000 Herz).

Tevens zijn in de grafieken de grenscurven getekend zoals die zijn voorgesteld door het I.S.O. (International Organization for Standardization). Deze grenscurven kunnen een maat zijn voor de hinderlijkheid voor de omgeving en tevens kunnen deze grenscurven dienen om te bepalen of het lawaai schadelijk voor de gehoororganen kan zijn.

Tabel 1.

Motorkettingzaag	Max. „Noise Rating Number”			
	onbelast in vrije veld	onbelast in fijnspar	tijdens het zagen in het vrije veld	tijdens het zagen in fijnspar
A (13,6) kg	111,5	110,0	111,0	109,0
B (6,5) kg	107,5	108,5	109,0	104,0
C (7,6) kg	106,0	107,0	107,5	107,5

In tabel 1 zijn de max. „Noise Rating Numbers” vermeld, die uit de verschillende grafieken zijn verkregen. Uit de tabel blijkt dat de geluiddruk-niveaus van alle drie motorkettingzagen erg hoog en ver boven het gehoorsbeschadigingscriterium (NR 85) liggen.

Er wordt aangenomen dat de gehoororganen van personen, die lange tijd (meer dan 5 uur per dag) worden blootgesteld aan een geluidsproductie, die boven de grenscurve NR 85 ligt, blijvend zullen worden beschadigd, met andere woorden men wordt langzamerhand doof. Als men korte tijd aan deze geluidsproducties wordt blootgesteld, wordt de grens van 85 naar boven verschoven.

Uit de resultaten van de vorengenoemde metingen kan zonder meer worden gesteld, dat personen, die regelmatig met deze motorkettingzagen werken en die hun gehoororganen onvoldoende beschermen, nadelige gevolgen van deze geluidsproductie kunnen ondervinden.

Uit tabel 1 blijkt dat de geluidsproductie van de zwaarste motorkettingzaag bij alle metingen iets hoger lag, dan die van de beide lichte motorkettingzagen. De geluidsproductie van deze beide kleine liep niet veel uiteen.

Hinderlijkheid voor de omgeving

Bij deze metingen werd de geluidshinder op vier plaatsen rond de motorkettingzaag gemeten. Hierbij was een filter ingeschakeld met een doorlaatkromme A (volgens I.S.O.-norm). Deze metingen werden uitgevoerd op een afstand van 7 m van de zaag op een hoogte van 1,2 m boven het maaiveld.

In tabel 2 zijn de gemiddelde waarden van de metingen gegeven.

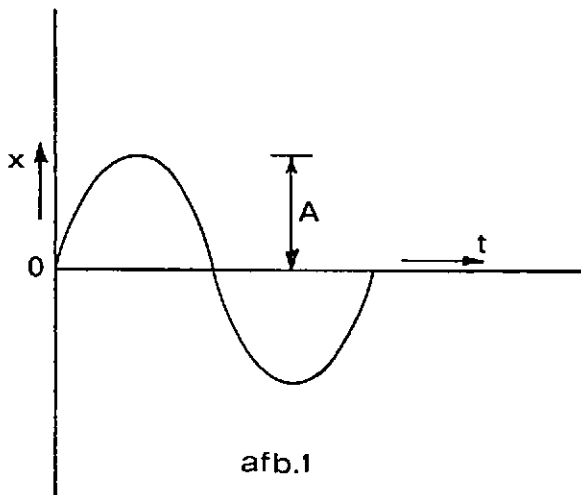
Tabel 2

Motorkettingzaag	Geluidsproductie in dBA			
	onbelast in het vrije veld	onbelast in fijnspar	tijdens het zagen in het vrije veld	tijdens het zagen in fijnspar
A (13,6) kg	96,0	95,0	94,5	92,0
B (6,5) kg	92,5	89,5	90,0	88,5
C (7,6) kg	92,0	92,0	89,0	91,0

Uit de tabel blijkt, dat de geluidsproductie gemeten in dBA op een afstand van 7 m erg hoog is, waarbij de productie van de zwaarste motorkettingzaag het hoogst is en die van de beide lichte motorkettingzagen weinig uiteenloopt.

Trillingen

Trillingen kunnen we voorstellen door de verplaatsing, de snelheid van de verplaatsing en de daarbij optredende versnellingen. De eenvoudigste vorm



Afbeelding 1. Enkelvoudige trilling.

van een trilling is een harmonische beweging die een sinusfunctie heeft (afbeelding 1) in de vorm van $X = A \sin \omega t$ (1).

Hierin is X de verplaatsing, A de max. uitwijking, ω de hoeksnelheid en t de tijd; $\omega = 2 \pi f$ waarbij f de frequentie van het optredende signaal is. De snelheid V is de afgelegde weg: $V = \frac{dx}{dt} = \omega A \cos \omega t$ (2)

De snelheid is dus niet alleen afhankelijk van de verplaatsing, maar ook van de frequentie. De versnelling a is de afgeleide van de snelheid:

$$a = \frac{dv}{dt} = \frac{a^2}{dt^2} = -\omega^2 A \sin \omega t. \quad (3)$$

De versnelling is dus rechtevenredig met het kwadraat van de frequentie. Is bij een sinusvormig verloop één van de drie grootheden, de verplaatsing, de snelheid of de versnelling en de frequentie bekend, dan kunnen de andere worden berekend.

Het ontstaan van trillingen bij motorkettingzagen

De trillingen bij deze machines ontstaan in hoofdzaak door de bewegende delen. Zo is het bekend dat een eencilinder verbrandingsmotor zonder dure hulpmiddelen niet volledig kan worden uitgebalanceerd. Door de heen- en weergaande zuiger, de drijfstang en de ronddraaiende delen van de krukas zullen trillingen in verschillende richtingen optreden.

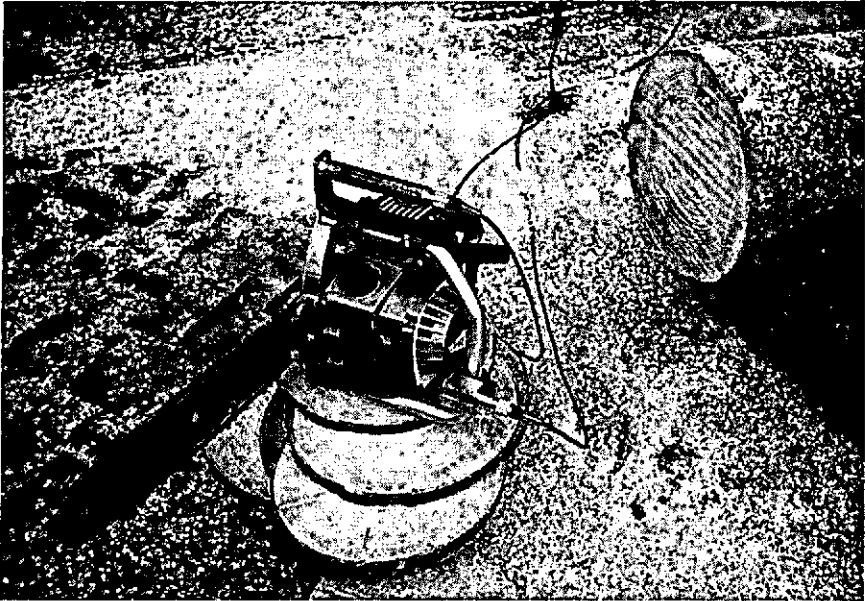
Hiernaast zullen door de massa van de centrifugaalkoppeling en de massa

van de drijfstang en krukwagen torsietrillingen in de as ontstaan, terwijl ook het zogenaamde polygooneffect¹⁾ van de zaagketting, vooral door het hoge toerental en kleine diameter van het aandrijf wiel, nogal een oorzaak voor het ontstaan van trillingen zijn.

Trillingsmetingen

Om de trillingen te kunnen meten werd een versnellingsopnemer aan de onderzijde van de beugel, waarmee men de motorzaag vasthoudt, bevestigd (zie afbeelding 2 en 3). Door de versnellingsopnemer te draaien, werden de versnellingskrachten in drie verschillende richtingen gemeten en wel:

- in het horizontale vlak in de langsrichting van het zaagblad,
- in het horizontale vlak haaks op het zaagblad en
- in verticale richting.



Afbeelding 2. Motorkettingzaag waarbij rechtsonder een versnellingsopnemer is bevestigd en aan de bovenzijde een opnemer voor het bepalen van de horizontale krachten.

De metingen werden uitgevoerd als de motorzaag onbelast volgas draaide en tijdens het zagen. De metingen werden geregistreerd door middel van een recorder met een frequentiebereik van 1000 Hz.

In de afbeelding 4 en 5 zijn enkele van deze meetresultaten weergegeven.

¹⁾ De ketting loopt over het kettingwiel als een draad over een veelhoek. Hierdoor ontstaan bij een gelijkblijvend toerental periodieke vertragingen en versnellingen van de ketting. Dit verschijnsel wordt als polygooneffect aangeduid.

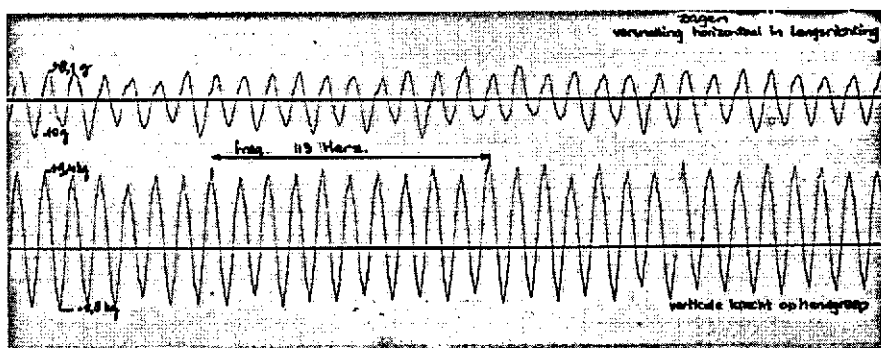
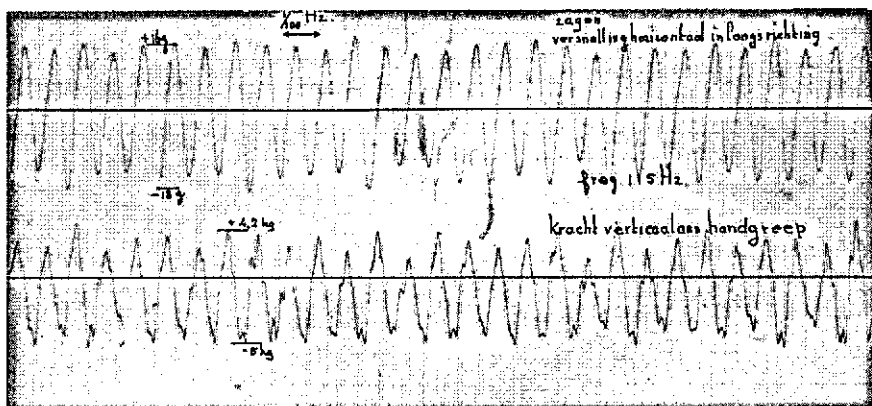


Afbeelding 3. Metingen tijdens het zagen.

Tabel 3 geeft een overzicht van alle resultaten.

Tabel 3. Versnellingen aan het handvat.

Richting waarin versnelling is gemeten	belasting	Meting 1		Meting 2		Motorzaag
		frequen- tie in Hz	versnel- ling in g	frequen- tie in Hz	versnel- ling in g	
horiz. langsr.	onbelast	151	± 15 g	142	± 11 g	A 13,6 kg
horiz. dwarsr.	onbelast	156	± 23 g	148	± 17,5 g	A
verticaal	onbelast	155	± 17,5 g	153	± 15 g	A
horiz. langsr.	zagen	116	± 10 g	104	± 11 g	A
horiz. dwarsr.	zagen	108	± 12 g	115	± 12,5 g	A
verticaal	zagen	123	± 8,5 g	110	± 8,5 g	A
horiz. langsr.	onbelast	183	± 19 g	160	± 7 g	B 6,5 kg
horiz. dwarsr.	onbelast	2 × 180	± 20 g	156	± 29 g	B
verticaal	onbelast	185	± 30 g	164	± 22 g	B
horiz. langsr.	zagen	115	± 17 g	110	± 13,5 g	B
horiz. dwarsr.	zagen	124	± 18,5 g	104	± 12,5 g	B
verticaal	zagen	127	± 15,5 g	120	± 12,5 g	B
horiz. langsr.	onbelast	154	± 9,5 g	162	± 8,5 g	C 7,6 kg
horiz. dwarsr.	onbelast	158	± 16,5 g	160	± 20,5 g	C
verticaal	onbelast	150	± 14,5 g	167	± 27,5 g	C
horiz. langsr.	zagen	113	± 9 g	136	± 16 g	C
horiz. dwarsr.	zagen	113	± 7 g	123	± 9,5 g	C
verticaal	zagen	110	± 13 g	122	± 8,5 g	C



Afbeelding 4 en 5. Verloop versnelling en horizontale kracht aan handgreep.

Uit de afbeeldingen 4 en 5 en de tabel 3 kunnen we concluderen dat de optredende hoofdfrequentie overeenkomt met het toerental van de motor. (100 Hz komt overeen met 6000 omw/min, 150 Hz met 9000 omw/min.)

De optredende versnellingen zijn zeer hoog, tot max. 34 g. Het blijkt, dat als de motor onbelast (volgas) draait, de versnellingen hoger liggen dan tijdens het zagen.

Bij een onbelaste motor is het toerental van de motor echter ook steeds hoger en aangezien de versnelling evenredig is met het kwadraat van frequentie, is dit wel juist.

Vergelijken we meting nr 1 met meting nr 2, welke metingen enkele weken na elkaar aan dezelfde typen machines geschieden, dan lijken deze op het eerste gezicht nogal te verschillen. Nemen we de frequentie in aanmerking, dan liggen de bij de metingen gevonden waarden in het algemeen dicht bij elkaar. Enkele metingen komen daarentegen niet met elkaar overeen.

Als we aannemen dat de trillingen sinusvormig verlopen, kunnen we de verplaatsing uitrekenen:

$$a = \omega^2 A \sin \omega t \quad a \text{ max.} = \omega^2 A$$

bij $a = 20 \text{ g}$ en $f = 185 \text{ Hz}$ vinden we voor:

$$A = \frac{20 \times 9,81}{(2\pi \cdot 185)^2} = 1,45 \times 10^{-4} \text{ m} = 0,145 \text{ mm}$$

voor $a = 10 \text{ g}$ en een frequentie van 110 Hz vinden we voor A $0,2 \text{ mm}$.

Uit de tabel nr. 3 moeten we concluderen dat er weinig verschil is tussen de optredende versnellingen bij de drie onderzochte motorzagen.

Krachten door motorkettingzaag uitgeoefend op de hand van de bedieningsman.

De motorzaag wordt met beide handen vastgehouden. De linkerhand omvat het handvat aan de bovenzijde waarmee de zaagmachine wordt gedragen. De rechterhand houdt men aan de handgreep, waarmee de motorzaag wordt gestuurd en de gashandel wordt bediend. De krachten op de hand, waarmee men de zaagmachine stuurt, zullen vrij klein zijn. De linkerhand moet in de eerste plaats het gewicht van de gehele motorzaag dragen, waarbij, als de motor draait, nog de krachten komen, die ontstaan doordat de massa door de optredende vrije krachten in beweging wordt gebracht.

Zou de verbinding tussen hand en massa van de motorzaag volkomen star zijn, dan zou de kracht k uitgeoefend door de vrije krachten, op de hand zijn:

$$k = m \times a \text{ bij een massa van } 8 \text{ kg} \text{ en een versnelling}$$

$$a \text{ van } 20 \text{ g: } k = 8 \times 20 \times 9,81 = 1560 \text{ Newton (of } \frac{1560}{9,81} = 160 \text{ kg).}$$

De verbinding tussen de massa van de motorzaag en het lichaam is echter niet star; hiertussen bevindt zich een demping, die bestaat uit de hand en een gedeelte van de arm. Hierdoor zullen de krachten die worden gevoeld door de bedieningsarm, als deze zijn arm en hand strak houdt, groter zijn dan in het geval hij het geheel losjes vasthoudt.

Metingen

Voor het meten van de kracht, uitgeoefend op de hand van de bedieningsman, werd een speciaal handvat gemaakt, dat op de beugel werd gemonteerd waarmee men de motorzaag normaal vasthield (zie afbeelding 2).

Hierdoor was het mogelijk het verloop van de krachten die in verticale richting op de hand werden uitgeoefend door middel van een recorder vast te leggen. De metingen werden gelijktijdig met de trillingsmetingen uitgevoerd en op dezelfde papierstrook geregistreerd (zie afbeelding 4 en 5).

In tabel 4 zijn de resultaten van deze metingen vastgelegd.

Zoals uit de afbeeldingen 4 en 5 en de tabel 4 is te zien, komt de frequentie van de variaties in de kracht, zoals was te verwachten, overeen met de optredende trillingen en dus ook met het toerental van de motor.

Deze krachtenvariatiën ontstaan door de versnelling van de massa van de

Tabel 4. Krachten uitgeoefend op de hand van de bedieningsman.

Belasting	Frequen- tie Hz	Gem. kracht kg	Ampli- tude v/d kracht kg	Frequen- tie Hz	Gem. kracht kg	Ampli- tude v/d kracht kg	Merk motorzaag
onbelast	151	+ 11	3,8	142	+ 12,5	6,5	A (13,6 kg)
onbelast	156	+ 11	4,8	148	+ 14,0	5,5	A
onbelast	155	+ 10	4,0	153	+ 12,5	6,0	A
bel. zagen	116	— 14	5,0	104	— 4,2	2,3	A
bel. zagen	108	+ 2	3,2	115	+ 3,0	3,0	A
bel. zagen	123	+ 1	2,5	110	+ 1,5	2,5	A
onbelast	183	+ 7	2,8	160	+ 6,0	20,0	B (6,5 kg)
onbelast	180	+ 9	5,2	156	+ 6,5	20,0	B
onbelast	185	+ 8,1	4,3	164	+ 7,0	19,0	B
bel. zagen	115	0	4,5	110	+ 1,4	6,5	B
bel. zagen	124	— 3,5	5,6	104	+ 1,0	7,5	B
bel. zagen	127	— 1,9	5,5	120	+ 1,0	11,0	B
onbelast	154	+ 7,8	4,0	162	+ 8,3	4,0	C (7,6 kg)
onbelast	158	+ 7,6	5,2	160	+ 6,5	7,7	C
onbelast	150	+ 7,1	5,3	167	+ 7,0	7,0	C
bel. zagen	113	+ 1,9	7,6	136	—	—	C
bel. zagen	113	— 0,6	5,7	123	— 3,2	4,5	C
bel. zagen	110	— 1,5	6,9	122	+ 1,0	7,5	C

motorzaag. De amplitude van de krachten is bij een onbelaste zaag groter dan tijdens het zagen; de versnellingen waren echter bij een onbelaste zaag ook groter. Tijdens het zagen is de motorzaag in enkele gevallen naar beneden geduwd, is dit het geval, dan wordt de gemiddelde kracht negatief.

De amplitude van de krachten was tijdens de tweede meting over het algemeen groter dan tijdens de eerste meting. Waarschijnlijk heeft de wijze van vasthouden van de motorzaag hierbij een rol gespeeld. De amplitude van de krachten die tijdens de metingen werden gevonden lagen tussen 2,5 en 20 kg.

Uit deze laatste metingen blijkt, dat het verschil tussen de krachten uitgeoefend op de hand bij de verschillende typen motorzagen klein is.

Wel moet worden opgemerkt dat de opgetreden krachtenvariëaties tijdens het zagen, hoewel de frequenties hoog zijn, hinderlijk zullen zijn en nadelige invloed op de prestaties van de bedieningsman zullen hebben.