

Onderzoek Arboconvenant Agrarische Sector

Analyse van de blootstelling aan trillingen bij gebruik van motorkettingzagen

Analysis of the exposure to hand-arm vibrations using petrol-engine chainsaws

Huub H.E. Oude Vrielink

Rapport 2007-01



Onderzoek Arboconvenant Agrarische Sector

**Analyse van de blootstelling aan
trillingen bij gebruik van
motorkettingzagen**

*Analysis of the exposure to hand-arm
vibrations using petrol-engine chainsaws*

Huub H.E. Oude Vrielink¹

Rapport 2007-01

¹ ErgoLab Research B.V.

Colofon

Over ErgoLab Research B.V.

‘Knowledge works better’

ErgoLab Research is een klein en onafhankelijk bureau, opgericht in 2006. Het is gespecialiseerd in o.a. trillingsmetingen in voertuigen en aan handgereedschappen, vooral in complexe werksituaties. ErgoLab Research meet trillingsblootstellingen en werkbelastingen, maakt een scherpe analyse van de arbeid in iedere werksituatie, en reikt oplossingen aan. ErgoLab Research onderscheidt zich door de goed doordachte meting en de uitstekende rapportage. Wetenschap wordt uitgelegd in “gewone mensen taal”. Kwaliteit wordt geborgd door ruim 20 jaar ervaring in ergonomisch onderzoek.

U kunt bij ErgoLab Research terecht voor een kort consult of eenvoudige meting, maar ook voor meer ingewikkelde testen en onderzoek. Verder voor een "second opinion" beoordeling.

We zijn u graag van dienst. Want met onze kennis werkt u beter!

Op het gebied van trillingen heeft ErgoLab Research vele metingen uitgevoerd. Deze kunnen worden gedownload vanaf de website www.ergolabresearch.eu. Bijvoorbeeld:

- Oude Vrieling, H.H.E., 2007. Analyse van de blootstelling aan trillingen tijdens werk in de groenvoorzieningen.
- Oude Vrieling, H.H.E., 2008. Antivibratiehandschoenen: zijn deze effectief of is er sprake van schijnveiligheid?
- Oude Vrieling, H.H.E., 2009. Blootstelling aan trillingen en effectiviteit van stoeldemping bij hoog-vermogen agrarische tractoren met verschillende dempingssystemen.

Titel	Analyse van de blootstelling aan trillingen bij gebruik van motorkettingzagen
Auteur(s)	Huub H.E. Oude Vrieling
Rapport nummer	Rapport nr. 2007-01
ISBN nummer	978-90-8585-146-2
Datum van publicatie	april 2007
Vertrouwelijkheid	-
Project code	6211001400
Prijs	Dit rapport is vrij beschikbaar via internet adres www.ergolabresearch.eu

ErgoLab Research B.V.
Alexanderweg 56
NL-6721 HH Bennekom
Tel: +31 (0) 6 140 242 14
E-mail: huub.oudevrieling@ergolabresearch.eu
Internet: www.ergolabresearch.eu

© 2007 ErgoLab Research B.V.

Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden vervoelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand of openbaar gemaakt in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, hetzij mechanisch, door fotokopieën, opnamen of enige andere manier, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de uitgever. De uitgever aanvaardt geen aansprakelijkheid voor eventuele fouten of onvolkomenheden.

All right reserved. No part of this publication may be reproduced, stored in a retrieval system of any nature, or transmitted, in any form or by any means, electronic, mechanical, photocopying, recording or otherwise, without the prior permission of the publisher. The publisher does not accept any liability for the inaccuracies in this report.

Voorwoord

Op 2 juli 2002 is door het tripartiete kader van overheid, werkgevers en werknemers een Arboconvenant voor de agrarische sector getekend. Één van de afspraken hierbinnen is dat via onderzoek actief gewerkt wordt aan kennisvergroting over goede arbo-praktijk op de werkvloer. Het huidige rapport is het resultaat van een dergelijk onderzoek: het vergelijken van de trillingsblootstelling bij gebruik van verschillende motorkettingzagen in een praktijksituatie. Hierbij is tevens aandacht geschonken aan door de werker beïnvloedbare factoren met het oog op een vermindering van de blootstelling.

Het onderzoek is alleen mogelijk geworden door de medewerking van vele betrokkenen. Allereerst worden de vertegenwoordigingen van de fabrikanten Dolmar, Stihl en Husqvarna in Nederland bedankt voor hun bereidwillige medewerking aan het onderzoek en het zonder voorwaarden beschikbaar stellen van de kettingzagen! De beide ervaren boswerkers Philip en Mark worden bedankt voor hun vrijwillige medewerking als proefpersonen. De Stuurgroep Economisch Beleid van de Vereniging voor Hoveniers en Groenvoorzieners en de zes boswerkers en directeurs van de bosbouwbedrijven Zweverink en Boombouw Van Kampen worden bedankt voor hun medewerking. De heer A.A.J. Looije (A&E Wageningen) wordt bedankt voor zijn assistentie tijdens de metingen en de opmerkingen bij dit verslag. Dr. Jochen Hemming (Wageningen UR – Plant Research International) wordt bedankt voor het vervaardigen van de LabView-computerapplicatie voor de meting en verwerking van trillingsignalen.

Dit onderzoek is uitgevoerd in het kader van het Arboconvenant voor de Agrarische Sector en is mogelijk gemaakt door een financiële subsidie van het Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit, via de onderzoeksprogramma's BO-07-001 "Koepel Verduurzaming Productie en Transitie" en BO-07-414-I "Naar een Maatschappelijk Geaccepteerde Veehouderij". Met name wordt drs. G.G. van Leeuwen van het Ministerie van LNV bedankt voor zijn inzet en sturing in het onderzoek ten behoeve van het Arboconvenant voor de agrarische sector.

De auteur.

Summary

European and Dutch legislation define maximum values, i.e. action value and limit value, for hand-arm vibration exposure to which employees may be exposed on a working day. A transition period is defined until July 2014 for agriculture and forestry, but this holds only for machinery and equipment available for the workers before July 2007. The legislation is meant to protect the workers from health damage due to exposure to vibrations. If the action value of 2.5 m/s^2 is exceeded, organisational and/or technical measures are to be taken and health surveillance is to be organised, to limit or reduce the exposure. In the case of exceeding the limit value (5 m/s^2), exposure should be brought back immediately to below this limit value. The use of hand-held, petrol-engine chainsaws in professional forestry and maintenance of the green area is generally considered to be one of the working activities that need advice how exposure to hand-arm vibrations can be reduced. The present research aims to evaluate the consequences for exposure to hand-arm vibration when using different types and brands of modern petrol-engine chainsaws. In addition, the influence of working technique, chain and wood was investigated.

Measurements have been performed with two experienced workers on two categories of professional chainsaws: low power (around 50 cc, $n=4$) and medium power (approximately 75 cc, $n=3$). Hand-arm vibrations have been measured according to ISO-5349-1 (2001) at both handles, during idling mode, racing (unloaded, maximum speed) and during cutting of slices of trunks of oak and birch. During cutting, three different working techniques have been measured: (A) cutting in up-to-down direction while keeping the comb of the chainsaw in close contact with the trunk, (B) cutting downwards while having contact with the trunk only via the chain and saw blade, and (C) cutting upwards, again without contact between trunk and engine block. All measurements have been performed with new, unused chains; in the trunk of birch, the three working techniques were also measured with a chain made blunt. Measured data were processed online on a portable computer, displayed and stored. Stable data segments were selected off-line and processed to yield frequency-weighted acceleration data. In addition, data on exposure times for the activities of forestry and green area workers during a normal working day were derived from time study of a group of six workers, and from interviews.

Time study and interviews showed that during a normal working day 3.5 – 4.7 h is spent on cutting. Operating the chainsaw in idling mode varied between 1.2 and 2.3 h/day. Racing could hardly be distinguished as a separate activity: < 0.1 h/day. Between 2 and 3 hours per day were spent on activities without exposure: consultation, fuel replenishment, sharpening the chain, and walking with a chainsaw switched-off.

A large difference in exposure was observed between the chainsaws investigated. Exposure values for the rear handle for the low power saws category were $3.4 - 5.1 \text{ m/s}^2$, $1.6 - 2.8 \text{ m/s}^2$ and $2.9 - 5.6 \text{ m/s}^2$ for idling, racing, and full load cutting of oak, respectively (values indicate minimum and maximum value for the saws investigated). For the front handle, these values were (in the same order): $3.8 - 5.3 \text{ m/s}^2$, $2.8 - 7.4 \text{ m/s}^2$ and $3.3 - 4.7 \text{ m/s}^2$. The medium power category of chainsaws showed higher exposure values: $5.5 - 7.0 \text{ m/s}^2$, $3.2 - 4.0 \text{ m/s}^2$ and $3.8 - 9.3 \text{ m/s}^2$ (rear handle; same order as indicated above) and $5.3 - 8.3 \text{ m/s}^2$, $3.5 - 6.3 \text{ m/s}^2$ and $4.4 - 6.4 \text{ m/s}^2$

(front handle). Generally, the emission values indicated by the manufacturers appeared to be lower than the exposure values measured. However, deviations in the opposite direction were also observed.

Exposure values and normal workday time data were combined to indicate maximal working times per day for each chainsaw. When using the low power category of chainsaws, the action value is exceeded after 2.7 – 5.1 hours, depending on the type and brand of the chainsaw. This value is inclusive all activities without exposure. The limit value is exceeded after 10.9 – 20.4 hours. When using the medium power category chainsaws, action value and limit value are exceeded after 1.1 – 3.2 h, and 4.4 – 12.4 h, respectively.

Exposure values differed largely between both workers. This difference was statistically significant and was observed for most of the chainsaws and for both handles. Working technique A (sawing downwards, keeping contact between comb and trunk) resulted in a lower exposure for the rear handle, compared to both other working techniques. Working technique C (upwards) demonstrated a higher median exposure compared to sawing in opposite direction. A sharp chain and soft wood tended to result in a lower exposure.

It is concluded that exposure and, hence, maximal daily working times, heavily depend on the choice of the chainsaw. In general, lower exposure can be achieved by using a lower power chainsaw. However, none of the saws tested may be used for a full working day without additional measures. Effective measures to restrict exposure in practice are a working technique during which the engine block is kept in contact with the trunk, working with a sharp chain, and restricting the time that the equipment is held while running in idling mode. According to the present results, a worker in practice aiming to select a chainsaw that results in the lowest possible vibration exposure, cannot rely on the manufacturer's emission data, although determination of the latter is described in detail in ISO-regulations. Therefore, exposure measurements on a larger scale are advised. In addition, it is advised to further investigate the relatively large spread of the exposure data between the workers, as seen in this investigation. To which extent a subject can moderate exposure by increasing or reducing the activity of the muscles of hands and arms is yet unclear.

Keywords: chainsaws, hand-arm vibration, exposure reduction, forestry, green area, working technique, ISO-5349

Inhoud

Voorwoord	5	
Summary	7	
1	Introductie	11
2	Methode	15
2.1	Werkdag inhoud	15
2.2	Personen	15
2.3	Machines	15
2.4	Meetprocedure	16
2.5	Meetapparatuur	17
2.6	Dataverwerking en statistiek	18
3	Resultaten	19
3.1	Werkdag inhoud	19
3.2	Blootstellingsmetingen	19
3.2.1	Invloed acties en consequenties voor maximale werktijd	19
3.2.2	Invloed persoon	22
3.2.3	Invloed werktechniek	22
3.2.4	Invloed kettingscherpte	23
3.2.5	Invloed houtsoort	25
4	Discussie	27
5	Conclusies	33
	Referenties	35
	Samenvatting	37

1 Introductie

In 2002 is de Europese trillingsrichtlijn 2002/44/EG (EU, 2002) aangenomen welke stelt dat vanaf 5 juli 2005 de lidstaten, waaronder Nederland, deze richtlijn in nationale wetgeving moeten hebben verankerd. In Nederland heeft dit per die datum geresulteerd in een wijziging van het Arbeidsomstandighedenbesluit, beschreven in het Staatsblad (Staatsblad, 2005). De wijziging definieert actie- en grenswaarden voor dagelijkse blootstelling aan lichaamstrillingen (whole body vibration, of WBV) en hand-arm trillingen (HAV) van respectievelijk 0.5 en 1.15 m/s² en 2.5 en 5 m/s². Indien een werknemer op enige werkdag de actiewaarde overschrijdt moeten maatregelen genomen worden om de blootstelling aan trillingen te verminderen. Voorbeelden zijn alternatieve werkmethoden, andere arbeidsmiddelen, onderhoud van de arbeidsmiddelen, het geven van voorlichting en opleiding, het beperken van de blootstellingstijd, of persoonlijke bescherming en hulpmiddelen. Bovendien krijgt de werknemer het recht op gezondheidskundig toezicht. De grenswaarden mogen in geen geval worden overschreden. Indien dat het geval is moeten direct maatregelen worden genomen om de blootstelling tot onder de grenswaarde te brengen. Het besluit geldt voor iedere werkdag, daarbij aannemend dat werknemers vele verschillende blootstellingsmomenten zullen hebben op jaarbasis. Alleen indien de dagblootstelling bij uitzondering de grenswaarde overstijgt, dat wil zeggen indien de blootstelling gewoonlijk onder de actiewaarde en de gemiddelde blootstelling over een werkweek (40 uren) onder de grenswaarde blijft, mag de grenswaarde overschreden worden. Echter, er mag geen gezondheidsrisico zijn en er moet verscherpt gezondheidstoezicht komen, en tevens moet de werknemer vooraf geraadpleegd worden. Het besluit is vanaf juli 2005 van kracht. Echter, voor overschrijdingen van de grenswaarden is een overgangsregeling van kracht, waarbij voor alle industriële sectoren geldt dat een overschrijding van de grenswaarde tot 6 juli 2010 getolereerd wordt voor arbeidsmiddelen die vóór 6 juli 2007 zijn aangeschaft en beschikbaar gesteld. Voor de agrarische sector en de bosbouw geldt deze zelfde regeling, maar dan verlengd tot 6 juli 2014. Het betekent dat arbeidsmiddelen die na 6 juli 2007 beschikbaar worden gesteld moeten voldoen aan de blootstellingsbeperking via een lage trillingsemisatie. Indien dat niet het geval is dient de blootstelling via andere, bijvoorbeeld organisatorische, maatregelen te worden beperkt.

De richtlijn is bedoeld om gezondheidsschade door langdurige blootstelling aan trillingen tijdens het werk te voorkomen. Sinds meerdere decennia wordt onderzoek uitgevoerd naar de effecten van trillingen op het lichaam. Recente inzichten in deze relatie voor hand-arm trillingen zijn samengevat door Bovenzi (Bovenzi, 1998), Chetter (Chetter *et al.*, 1997) en ISO (ISO-5349-1, 2001). Een korte samenvatting hiervan: blootstelling aan trillingen kan resulteren in meerdere gezondheidsklachten van armen en handen, samen aangeduid als hand-arm trillingssyndroom. Meest gerapporteerd en onderzocht is het witte vinger syndroom, een verstoorde bloeddoorstroming van de vingers, veroorzaakt door samentrekking van de bloedvaten en/of arteriële trombose (Noël, 2000). Voor deze aandoening zijn er wetenschappelijke bewijzen voor een dosis-effect relatie (Bovenzi *et al.*, 1995, Bovenzi, 1998, ISO-5349-1, 2001). Het gezondheidsrisico is aangegeven evenredig te zijn met de trillingsenergie, daarmee met de duur en grootte van de blootstelling. Ook is aangegeven dat het risico afhankelijk is van de frequentie van de trillingen: hand-arm trillingen worden als schadelijk beschouwd indien deze in het gebied 8 tot 1000 Hz vallen. Om deze reden wordt bij de beoordeling van trillingen volgens ISO 5349-1

(2001) een weging voor dit frequentiegebied toegepast. Meer recent onderzoek, echter, geeft aan dat een betere voorspelling van het risico op het witte vinger syndroom kan worden verkregen indien alle trillingsfrequenties (dus: ongewogen) worden meegenomen (Bovenzi, 1998, Griffin *et al.*, 2003). Daarnaast lijkt het risico te zijn vergroot indien in een koude omgeving wordt gewerkt. Een recent onderzoek onder mijnwerkers in Afrika laat een relatief laag voorkomen van het witte vinger syndroom zien, welke door de onderzoekers wordt verklaard door de relatief hoge omgevingstemperatuur (Nyantumbu *et al.*, 2007). Naast lage temperatuur worden ook andere risicoverhogende factoren genoemd, o.a. verhoogd krachtgebruik van de handen, extreme houdingen van de handen en armen en roken (ISO-5349-1, 2001, Sluiter *et al.*, 2001). Herstel van het witte vinger syndroom lijkt mogelijk (Chetter *et al.*, 1997). Een daling van het witte vinger syndroom bij eenzelfde groep bosarbeiders in Finland in de periode 1976-1995 wordt toegeschreven aan het toegenomen gebruik van trillingsarme motorkettingzagen (Sutinen *et al.*, 2006).

Een andere groep aandoeningen die ook worden toegeschreven aan de blootstelling aan hand-arm trillingen zijn verstoringen van de perifere zenuwgeleiding. Gevoelloosheid en/of tintelingen in de vingers, pijn in vingers en handen en problemen met fijne bewegingen zijn de meest gerapporteerde verschijnselen (Bovenzi, 1998, Chetter *et al.*, 1997). In verschillende onderzoeken is het verhoogde voorkomen van carpaal tunnelsyndroom bij blootstelling aan hand-arm trillingen gerapporteerd (Palmer *et al.*, 2007). Onduidelijk is of de trillingsblootstelling hierbij gezien moet worden als een zelfstandige risicofactor. Bovenzi (1998) rapporteert dat er tot nog toe onvoldoende hard bewijs is geleverd voor een directe relatie tussen zenuwaandoeningen in de handen of armen en de trillingsblootstelling. In meer recent onderzoek zou dit worden ondersteund: Sutinen en medewerkers (2006) vonden geen afname in de gevoelloosheid van de vingers bij bosarbeiders in de bijna 20 jaar dat de trillingsblootstelling aanzienlijk afnam. Een mogelijk bezwaar tegen deze redenering is dat het herstel van eenmaal ontstane schade aan de zenuwgeleiding minder volledig en minder gemakkelijk gaat (Bovenzi, 1998).

Voor een directe verstoring van de spierfunctie van de handen of armen en voor aandoeningen van de botten en gewrichten door hand-arm trillingen zijn geen harde bewijzen (Chetter *et al.*, 1997; ISO 5349-1, 2001). Evenals bij de voorgaande groep aandoeningen geldt ook hier dat het schadelijk effect van fysiek belastende factoren als krachtgebruik en houding versterkt kan worden door de trillingsblootstelling. Een uitzondering vormen zware schokken welke directe schade aan pezen en gewrichten kunnen veroorzaken (ISO 5349-1, 2001).

De EU (2002), het Arbobesluit (Staatsblad 372, 2005) en ISO 5349-1 (2001) schrijven door middel van de twee bovengenoemde grenzen (actiewaarde en grenswaarde) een waarschuwingzone voor. Vanuit het gezondheidkundig perspectief mag de waarschuwingzone niet worden geïnterpreteerd als “enigszins of tijdelijk acceptabel”, omdat gezondheidsbescherming hierbinnen niet kan worden gegarandeerd (Bovenzi *et al.*, 2004, Griffin, 2004). Blootstelling boven de grenswaarde moet altijd voorkomen worden, blootstelling boven de actiewaarde moet leiden tot actie: gebruik van machines of apparatuur met een lagere emissie van trillingen, beperking van de blootstellingstijd, gebruik van persoonlijke bescherming, of andere maatregelen die leiden tot blootstelling onder de actiewaarde.

Voor het gebruik van motorkettingzagen in de bosbouw en groenvoorzieningen is het zonder specifieke metingen bijzonder lastig in te schatten hoe hoog de blootstelling aan hand-arm trillingen is op een willekeurige werkdag, en dus of actie nodig is. Dit heeft ten dele te maken met de grote variatie aan machines, de trillingsmissie-reducerende technische maatregelen die hierin geïmplementeerd zijn en de door de fabrikanten opgegeven emissiegegevens die kunnen afwijken van de blootstellingswaarden. Ten dele heeft dit ook te maken met onderhoud en slijtage van de machine, inclusief ketting, en met het werkelijke effect van maatregelen die beogen de blootstelling te verminderen, zoals beschermende kleding. Tot slot heeft het te maken met de aard en duur van de werkzaamheden, de wijze en omstandigheden waaronder, en de omgeving waar ze uitgevoerd worden.

In een eerdere inventarisatie (Vink and Oude Vrielink, 2005), gedaan om een indruk te verkrijgen van de blootstelling aan hand-arm trillingen tijdens het werken met een motorkettingzaag, zijn hoge waarden gevonden. Het werken met een motorkettingzaag werd als een belangrijk mogelijk probleem geïdentificeerd. Echter, de meeste metingen bleken slecht gedocumenteerd, op enkele uitzonderingen na: emissiewaarden over de drie trillingsassen voor Italiaanse bosarbeiders bedroegen 23 m/s^2 voor niet-trillingsarme zagen en 9.7 m/s^2 voor modernere trillingsarme zagen (Bovenzi *et al.*, 1995). Vellen van licht hout leverde een emissie op variërend tussen 3.6 en 7.1 m/s^2 (Oortman Gerlings *et al.*, 1985). Meerdere auteurs (Koskimies *et al.*, 1992, Bovenzi *et al.*, 1995) geven aan dat verouderde machines verantwoordelijk zijn voor de voorheen vaak zeer hoge blootstellingswaarden. Gebruik van moderne emissie-arme zagen zou een aanzienlijke bijdrage aan het verminderen van de trillingsblootstelling leveren (Koskimies *et al.*, 1992). In hoeverre moderne motorkettingzagen voldoende lage emissies hebben om zonder verdere maatregelen gedurende een normale werkdag te kunnen gebruiken zonder overschrijding van de actiewaarde is niet bekend. Nog altijd is de spreiding in gerapporteerde emissiewaarden voor trillingsarme motorkettingzagen aanzienlijk: 3-17 m/s^2 (Christ *et al.*, 2006). Wel zijn er aanwijzingen dat de trillingsmissie van een motorkettingzaag varieert met de kettingscherpte en de gebruikte werktechniek (Axelsson, 1968, Oortman Gerlings *et al.*, 1985). En ook mag worden gesteld dat de trillingsblootstelling varieert met de hardheid van het hout en met de wijze waarop zaag wordt gehanteerd (Axelsson, 1968).

Het doel van het onderzoek was door middel van metingen te evalueren wat de consequenties zijn van het werken met moderne motorkettingzagen voor de blootstelling aan hand-arm trillingen bij werknemers in de bosbouw en groenvoorzieningen. Daarnaast had het onderzoek tot doel aan te geven tot welk niveau de blootstelling kan worden teruggebracht, indien een momenteel technisch geavanceerde machine wordt gebruikt. Tot slot werd gemeten in hoeverre het eigen gedrag van de werknemer, meer concreet de werktechniek en het scherp houden van de ketting, kan bijdragen aan het verminderen van de blootstelling.

2 Methode

2.1 Werkdag inhoud

Op meerdere wijzen is geïnventariseerd hoe een normale werkdag van een groen-/boswerker eruit ziet indien hij/zij een motorkettingzaag hanteert, dit in termen van activiteiten en tijdsduur van die activiteiten:

1. via de Stuurgroep Economisch Beleid van de VHG (Vereniging voor Hoveniers en Groenvoorzieners).
2. via interviews onder zes boswerkers (alle mannen) van een bosbouwbedrijf werkzaam op de Veluwe
3. via een tijdstudie van de activiteiten van de onder 2 genoemde zes boswerkers gedurende één werkdag op de Veluwe.

Bij 1 en 2 is gevraagd naar de totaal tijd van een werkdag, de totaal tijd op een werkdag dat een motorkettingzaag gehanteerd wordt, de totaal tijd op een werkdag dat daadwerkelijk gezaagd wordt, de totaal tijd op een werkdag dat de zaag stationair draaiend in de hand wordt gehouden, de totaal tijd op een werkdag van de overige handelingen en de aard van deze handelingen. Bij 3 is deze zelfde onderverdeling gehanteerd tijdens de tijdstudie.

2.2 Personen

Metingen zijn uitgevoerd aan twee professionele werkers, beide mannen van 40 en 43 jaar en actief als zelfstandig ondernemer / opleider in de bosbouw en groenvoorzieningen. Beide hadden 15-24 jaar ervaring met het werken met de motorkettingzaag. De twee proefpersonen rapporteerden klachten aan de handen of armen (n=2) en aan de lage rug (n=1), waarbij de klachten nog speelden ten tijde van het onderzoek, maar de personen niet hinderde in het uitvoeren van de taak. Beide personen namen vrijwillig deel aan het onderzoek en tekenden een vrijwilligheidsverklaring, nadat ze over de aard en inhoud van het onderzoek geïnformeerd waren.

2.3 Machines

Het onderzoek is uitgevoerd met 7 motorkettingzagen, nieuw, afgesteld en in de meest gebruikte configuratie geleverd door 3 fabrikanten, samen de professionele markt voor motorkettingzagen in Nederland dominerend: Dolmar PS-5000 en PS-7900, Stihl MS-260, MS-270 en MS 460, Husqvarna 353 en 575 XP. Deze fabrikanten zijn van tevoren benaderd en is gevraagd mee te werken aan het onderzoek, door het beschikbaar stellen van de zagen. Hierbij is gevraagd naar (1) de meest gangbare en (2) de (qua reductie in trillingsemissie) beste machine in de lichte (rond 50 cm³ motorinhoud) en middelzware (rond 75 cm³) klasse voor professioneel gebruik. In tabel 1 zijn de kenmerken van de onderzochte zagen samengevat. Bij de selectie moet worden

aangetekend dat vrijwel steeds de meest gangbare machine van een fabrikant overeen kwam met het meest trillingsarme type in die klasse.

Tabel 1: Kenmerken van de motorkettingzagen betrokken in het onderzoek. De lichte nummers in de donkere vakken zijn de middelzware zaagtypen. N.b.: de typen zagen zijn bij de auteur bekend.

Zaag	Gewicht (kg)	Motorinhoud (cm ³)	Zaagblad lengte (cm)	Snijmes ketting	Schakelafstand ketting (inch)
1	4.5-5.5	50-55	38-40	half-haaks	0.325
2	4.5-5.5	50-55	38-40	half-haaks	0.325
3	6-7	70-80	45	haaks	3/8
4	4.5-5.5	50-55	38-40	half-haaks	0.325
5	6-7	70-80	45	haaks	3/8
6	4.5-5.5	50-55	38-40	haaks	3/8
7	6-7	70-80	45	haaks	3/8

2.4 Meetprocedure

Procedures voor het doen van metingen van de trillingsblootstelling zijn in hoge mate gestandaardiseerd en beschreven in de ISO-richtlijnen. Voor de huidige metingen zijn de richtlijnen van ISO-5349-1 (2001) en -2 (ISO-5349-2, 2001) gevolgd. Voor de verwerking van de gegevens is tevens ISO-8041 (ISO-8041, 2005) gebruikt, voor zover deze additionele informatie verstrekte boven de richtlijnen uit 2001.

Iedere zaag is bij beide personen gemeten tijdens drie acties: afwisselend werd (1) stationair en (2) vol gas onbelast gemeten, beide twee keer gedurende ongeveer 15 s, voorafgaand aan (3) het zagen. De stationaire meting is tevens na afloop van het zagen herhaald. Vooraf werden de zagen warm gedraaid. De beide eerstgenoemde metingen werden rechttop staand verricht, de zaag ongeveer horizontaal voor zich houdend. Het zagen gebeurde in vers gevelde stammen, aan de grond, waarbij de ruimte tussen stam en bodem voldoende (0.1 – 0.2 m) was om contact tussen zaagketting en bodem te voorkomen. Steeds werd verticaal een schijf van 1-4 cm dik van het uiteinde van de stam gezaagd. Iedere meting werd 1-3 keer herhaald, omvat dus 2-4 gezaagde schijven. De beide personen droegen hun normale beschermende kleding, met uitzondering van dikke handschoenen. Dit laatste om een goede controle te kunnen houden op het voortdurende contact tussen meetinstrument en zaaghandvat. De personen is gevraagd het zagen in een rustig tempo uit te voeren. De volgorde van de kettingzagen is door loting bepaald en komt niet overeen met de in de tabellen en figuren weergegeven volgorde.

Bij het vol gas zagen zijn de experimentele situaties houtsoort, werktechniek en kettingscherpte bemeten.

1. Houtsoort: alle zagen zijn getest in een Amerikaanse eik (Ø 0.25 – 0.35 m); de zagen 1, 5 en 6 tevens in een berk (Ø 0.20 – 0.25 m).

2. Werktechniek: steeds zijn drie werktechnieken toegepast: (WT1) zagen van boven naar onder waarbij via de kam goed contact werd gehouden met de stam; (WT2) zagen van boven naar onder, waarbij uitsluitend het zaagblad contact had met de stam; (WT3) zagen van onder naar boven, met ook uitsluitend contact via het zaagblad.
3. Kettingscherpte: alle metingen zijn verricht met nieuwe, scherpe kettingen. Met zaag 1 in de berkenstam is tevens gemeten bij gebruik van een ketting die bot gemaakt was door enkele malen in de ondergrond te hebben doorgezaagd.



Figuur 1: illustratie van de uitvoering van de meting van de blootstelling aan trillingen bij gebruik van een motorkettingzaag in de praktijk.

2.5 Meetapparatuur

Één Bruel & Kjaer (B&K) aluminium handadapter (UA 0891; gewicht ongeveer 20 g), waarin drie versnellingsopnemers (B&K, 4374 L; gewicht per stuk ongeveer 0.7 g) waren gefixeerd, is gebruikt. De handadapter werd tussen wijsvinger en middelvinger stevig op het handvat geklemd, de beide handen op een normale, zelfgekozen positie. Via een 4 m lange afgeschermd kabel werden de signalen geleid naar een versterker, waarin tevens basale signaalfiltering plaats vond (B&K, Nexus 2692; high-pass 1 Hz, low-pass 1 kHz). Via een 16-bit A/D kaart (National Instruments, DAQ 6036E met BNC 2090) werden de signalen opgeslagen op een draagbare personal computer (PC; Dell Latitude D610, 2.0 GHz) met een frequentie van 4096 Hz. Ook

werden de meetsignalen on-line frequentie-gewogen volgens ISO 5349-1 (2001) en konden zowel de ruwe als gewogen signalen worden gevolgd op het beeldscherm met behulp van programmatuur ontworpen in LabView (8.0, National Instruments) en Matlab (6.5.1, The Mathworks Inc.). Versnellingsopnemers en versterkers zijn voorafgaand aan de metingen geijkt bij de fabrikant. De gehele meetketen (van opnemers tot PC) is geijkt met behulp van een vooraf door de fabrikant geijkte calibrator (B&K 4291).

De handadapter werd op het handvat geklemd, zódanig dat de trillingsrichtingen X, Y en Z overeenkwamen met de in ISO 5349-1 (2001) voorgeschreven richting. De twee handvatten van iedere zaag zijn steeds volgtijdig gemeten. Omdat alleen verticaal zagen is gemeten, is het handvat vóór alleen bovenop gemeten. Tijdens de metingen werd door middel van functietoetsen op de PC (F5-F12) aangegeven welke actie begon (iedere vooraf gedefinieerde activiteit werd gekoppeld aan een unieke functietoets), dit om de analyse achteraf te sturen. De waarde van de ingedrukte functietoets werd gelijktijdig met de meetdata opgeslagen.

2.6 Dataverwerking en statistiek

De opgeslagen data zijn off-line softwarematig frequentie-gewogen volgens ISO 5349-1 (2001). Stabiele datasegmenten werden geselecteerd tijdens de acties “stationair”, “vol gas onbelast” en “vol gas zagen”. Rms trillingswaarden in de X-, Y- en Z-richting van deze segmenten, resp. a_{hwx} , a_{hwy} en a_{hwz} , zijn berekend volgens (hier als voorbeeld de X-as)

$$a_{hwx} = \sqrt{\frac{1}{T} \cdot \int_0^T a_{hwx}^2(t) \cdot dt} \quad (1)$$

waarin $a_{hwx}(t)$ de instantane versnellingswaarde in de X-as richting van het frequentie-gewogen trillingssignaal op tijdstip t en T de duur van het geselecteerde segment.

Vervolgens is de gecombineerde blootstelling over de 3 assen voor het i -de segment, a_{hvi} , berekend volgens

$$a_{hvi} = \sqrt{a_{hwx}^2 + a_{hwy}^2 + a_{hwz}^2} \quad (2)$$

De a_{hv} waarden van verschillende segmenten van dezelfde persoon tijdens dezelfde actie zijn gecombineerd volgens

$$a_{hv} = \sqrt{\frac{1}{T_0} \sum_{i=1}^n a_{hvi}^2 T_i} \quad (3)$$

waarbij T_i de duur is van het i -de segment en T_0 de duur van alle segmenten samen.

Voor het vergelijken van personen en experimentele situaties zijn medianen berekend en de resultaten weergegeven als boxplots. Een boxplot geeft mediane waarden en interkwartielen als box en uiterste waarden als lijnen (en eventueel cirkels) boven en onder de box. Verschillen tussen personen en experimentele situaties zijn getoetst per handvat middels Wilcoxon's matched-pairs signed-ranks test (SPSS, 12.0.1). Significante verschillen zijn die met p -waarde kleiner dan 0.05.

3 Resultaten

3.1 Werkdag inhoud

Tabel 2 geeft het resultaat van de inventarisatie van de werkdag inhoud onder groen-/boswerkers in geval van een typische werkdag met een motorkettingzaag. Voor een normale werkdag wordt algemeen 8 uren aangehouden. Tijdens 44%-59% (3.5 – 4.7 uren) hiervan wordt daadwerkelijk gezaagd, waarbij de Stuurgroepleden duidelijk hoger uitkomen dan de boswerkers en de tijdstudie. Het hanteren van de stationair draaiende zaag wordt door de boswerkers hoger ingeschat dan door de Stuurgroepleden of tijdens de tijdstudie geconstateerd: 15%-29%, ofwel 1.2 – 2.3 uren. De tijdstudie constateert een duidelijk langer bezig zijn met activiteiten die geen blootstelling opleveren, zoals bijvullen van de tank, lopen met stilstaande zaag, vijlen van de ketting en werkoverleg: 37% (3 uren) ten opzichte van de door personen ingeschatte 25% of 2 uren. De tijd dat de zaag vol onbelast werd gebruikt is tijdens de interviews niet apart genoemd en ingeschat op 1% van de werktijd, op grond van de tijdstudie. De werkdag inhoud van de Stuurgroepleden en die gedaan tijdens de tijdstudie vormen over het grote geheel de uitersten; om deze reden is met beide in het navolgende verder gerekend, om een indruk te krijgen van de gevoeligheid van de uitkomsten voor deze werkdag patronen.

Tabel 2: Inventarisatie van de tijdsduur (in uren en in percentage van een volledige werkdag) van de verschillende werkonderdelen tijdens een normale werkdag van een boswerker met motorkettingzaag. De inventarisatie is gedaan schriftelijk bij de vakgroepen van de VHG (A), middels interviews van zes boswerkers (B) en via tijdstudie van de werkzaamheden van zes boswerkers tijdens bosonderhoud op de Veluwe (C).

Activiteit	A		B		C	
	Uren	%	Uren	%	Uren	%
Gemiddelde duur van een normale werkdag	8	100	8	100	8	100
- werktijd dat werkelijk gezaagd wordt in hout	4.7	59	3.6	45	3.5	44
- werktijd dat zaag stationair gehanteerd wordt	1.2	15	2.3	29	1.4	18
- werktijd dat zaag vol gas onbelast gebruikt wordt	0.1	1	0.1	1	0.1	1
- werktijd ander werk (geen trillingsbelasting)	2.0	25	2.0	25	3.0	37

3.2 Blootstellingsmetingen

3.2.1 Invloed acties en consequenties voor maximale werktijd

Tabel 3 geeft de gemeten frequentie-gewogen blootstelling a_{hv} van de rechter en linker hand (respectievelijk handvat achter en voor) tijdens de drie acties stationair, vol gas onbelast en vol gas zagen in hout voor elke geteste zaag. De weergegeven getallen zijn medianen over de proefpersonen. De waarden voor het zagen in hout zijn tevens mediane waarden over de drie onderscheiden werktechnieken. Daarbij is uitsluitend gerekend met het zagen met een nieuwe

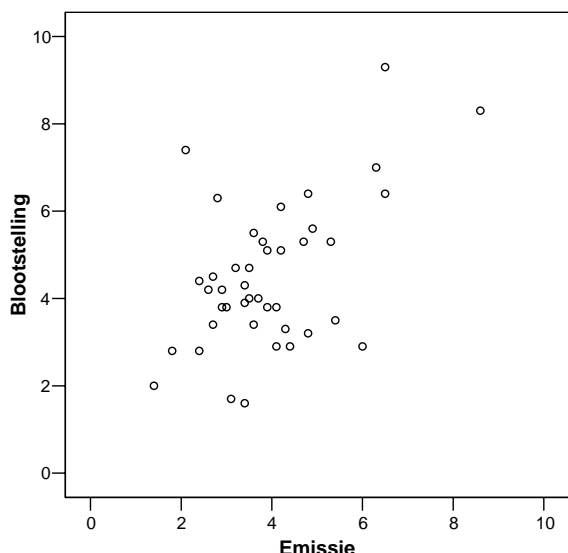
ketting en in de stam van de Amerikaanse eik. In de tabel zijn tevens de door de fabrikanten opgegeven emissiewaarden vermeldt.

De volgende zaken vallen op:

- Voor iedere fabrikant geldt dat de frequentie-gewogen blootstelling lager is voor de lichte zagen in vergelijking met de middelzware typen. De spreiding van de frequentie-gewogen blootstelling, gemeten over beide handen, bedraagt $3.4 - 5.3 \text{ m/s}^2$ en $2.9 - 5.6 \text{ m/s}^2$, respectievelijk voor stationair en vol gas zagen in hout, voor de lichte zagen en $5.3 - 8.3 \text{ m/s}^2$ resp. $3.9 - 9.3 \text{ m/s}^2$ voor de middelzware zagen.
- Bij geen van de zagen komt de frequentie-gewogen blootstelling bij stationair draaien of vol gas zagen in hout onder de door de EU gestelde actiewaarde, zodat geen enkele zaag zonder verdere maatregelen 8 uren kan worden gehanteerd.
- De verschillen per fabrikant zijn aanzienlijk. Bij de zagen 1-3 vindt de hoogste blootstelling via het achterhandvat plaats; bij de overige zagen via het handvat vóór.
- De door de fabrikanten opgegeven emissiewaarden zijn in veel gevallen lager dan de gemeten blootstelling. Echter, forse afwijkingen in omgekeerde richting komen ook voor! Er is zeker geen sprake van een systematische afwijking. Over het geheel genomen kan de trend worden waargenomen dat een lagere opgegeven emissie ook samengaat met een lagere blootstelling: zie figuur 2.

Tabel 3: Blootstelling van de rechterhand (handvat achter) en linkerhand (handvat voor), uitgedrukt als frequentie-gewogen rms-versnelling (a_{hv} , in m/s^2), mediaan over twee proefpersonen, voor de zeven onderzochte typen motorkettingzagen en voor drie onderscheiden belastingsvormen: stationair, vol gas onbelast en vol gas zagen in hout. Voor de berekening van de laatste categorie is zijn uitsluitend de variabelen amerikaans-eikenhout, nieuwe ketting en de drie onderscheiden werktechnieken meegenomen. Het getal tussen haakjes is de door de fabrikant opgegeven emissiewaarde (volgens ISO 7505 of 22867). De donkere vakken zijn de middelzware zaagtypen.

Zaag	a_{hv} handvat achter (m/s^2)			a_{hv} handvat voor (m/s^2)		
	stationair	vol gas onbel.	vol gas zagen	stationair	vol gas onbel.	vol gas zagen
1	5.1 (3.9)	1.6 (3.4)	5.6 (4.9)	3.8 (3.9)	2.9 (4.1)	4.5 (2.6)
2	4.0 (3.5)	2.0 (1.4)	4.3 (3.4)	4.2 (2.9)	2.8 (1.8)	3.4 (3.6)
3	6.4 (6.5)	3.2 (4.8)	9.3 (6.5)	5.3 (4.7)	4.2 (2.6)	6.4 (4.8)
4	3.4 (2.7)	2.8 (2.4)	3.8 (4.1)	5.3 (3.8)	7.4 (2.1)	4.7 (3.2)
5	5.5 (3.6)	4.0 (3.7)	3.8 (2.9)	6.1 (4.2)	6.3 (2.8)	4.4 (2.4)
6	4.7 (3.5)	1.7 (3.1)	2.9 (4.4)	5.3 (5.3)	2.9 (6.0)	3.3 (4.3)
7	7.0 (6.3)	3.8 (3.0)	3.9 (3.4)	8.3 (8.6)	3.5 (5.4)	5.1 (4.2)



Figuur 2: Relatie tussen de door de fabrikanten opgegeven trillingsemissie (X-as, in m/s^2) en de gemeten blootstelling (Y-as, in m/s^2) voor de handvatten vóór en achter en voor de drie onderscheiden acties stationair, vol gas onbelast en vol gas zagen.

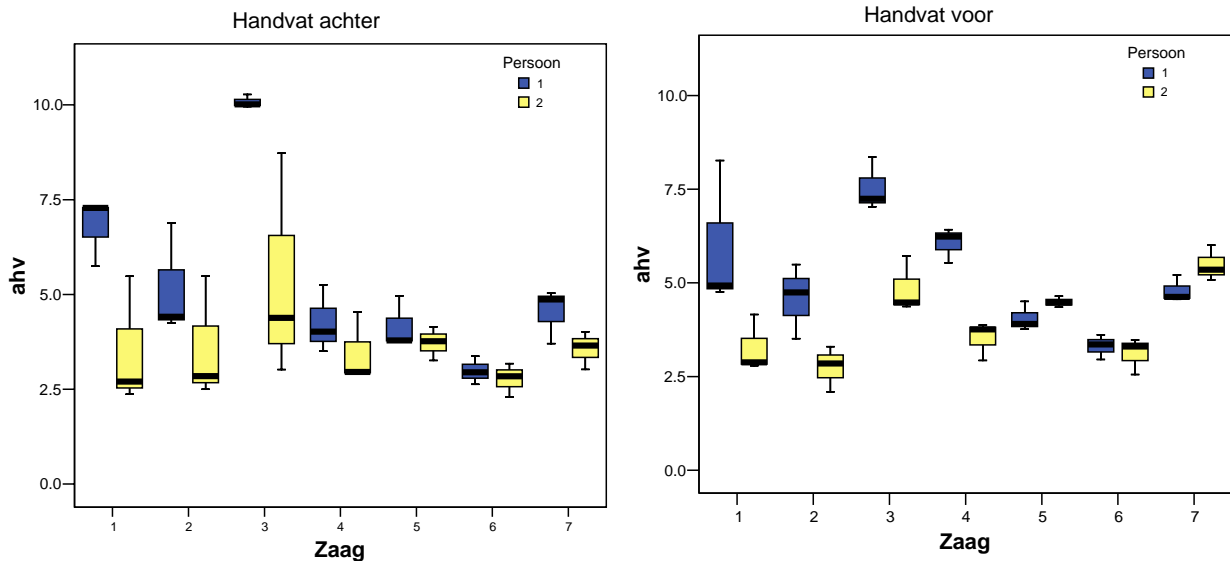
De in bovenstaande tabel 3 gegeven blootstellingswaarden zijn gebruikt om de maximale dagelijkse werktijd te berekenen voor een groen- of boswerker met motorkettingzaag, gegeven de werkdaginhoud van tabel 2. Bij de berekening zijn de twee uiterste patronen gebruikt, te weten A en C. Het resultaat van deze berekening is weergegeven in tabel 4, wederom per geteste zaag. De tabel drukt uit hoeveel uren volgens het normale werkdagpatroon, dus inclusief alle handelingen als bijvullen, overleg etc., mag worden gewerkt met de motorkettingzaag indien de actiewaarde van $2.5 m/s^2$ en de grenswaarde van $5 m/s^2$ gehanteerd worden. In de tabel is tevens aangegeven welk van beide handvatten bepalend is voor de maximale werktijd. Het zal niet verbazen dat werkdagpatroon C, gezien het grotere aandeel van de werkzaamheden zonder trillingsbelasting, resulteert in een langere toegestane werktijd. De maximale werktijd met een lichte zaag varieert tussen 2.2 en 5.1 uur bij $2.5 m/s^2$ als grens en bedraagt ruim meer dan 8 uur bij de grenswaarde $5 m/s^2$. Voor de middelzware zagen geldt een maximale werktijd van 0.9 tot 3.2 uur (bij $2.5 m/s^2$) en 3.5 tot 12.9 uur bij de grenswaarde $5 m/s^2$.

Tabel 4: Indicatie van de maximale dagelijkse werktijd (in uren) gegeven de actiewaarde (rms-versnelling: $2.5 m/s^2$) en grenswaarde (rms-versnelling: $5.0 m/s^2$) volgens de EU-richtlijn 2002/44/EC, voor de beide uiterste tijdbestedingspatronen (A en C, in tabel 2) op basis van de meetuitkomsten van tabel 3. De werktijd geldt voor alle handelingen, dus inclusief die zonder trillingsbelasting. De maximale werktijd is gebaseerd op de hoogste van beide handvatten gemeten trillingsblootstelling. Tussen haakjes is aangegeven welk handvat het betreft (A: achter; V: voor); de donkere vakken zijn de middelzware zaagtypen.

Zaag	Werkdagpatroon A		Werkdagpatroon C	
	Maximale dagelijkse werkduur (in uren) bij		Maximale dagelijkse werkduur (in uren) bij	
	Actiewaarde $2.5 m/s^2$	Grenswaarde $5 m/s^2$	Actiewaarde $2.5 m/s^2$	Grenswaarde $5 m/s^2$
1	2.2 (A)	8.9 (A)	2.7 (A)	10.9 (A)
2	3.7 (A)	14.8(A)	4.5 (A)	17.9 (A)
3	0.9 (A)	3.5 (A)	1.1(A)	4.4 (A)
4	2.8 (V)	11.2 (V)	3.3 (V)	13.1 (V)
5	2.9 (V)	11.4 (V)	3.2 (V)	12.9 (V)
6	4.6 (V)	18.5 (V)	5.1 (V)	20.4 (V)
7	1.9 (V)	7.6 (V)	2.1 (V)	8.4 (V)

3.2.2 Invloed persoon

De genoemde spreiding in de maximale werktijden hangt samen met fabrikant / zaagtype. Dit is af te leiden uit bovenstaande tabel 4. Uit de metingen is gebleken dat de blootstelling daarnaast sterk spreidt met de persoon die de zaag hanteert. Onderstaande figuur 3 illustreert dit voor alle zagen en voor beide handvatten bij zagen met drie technieken in de stam Amerikaanse eik met nieuwe ketting. De gemeten blootstelling blijkt zeer significant lager voor persoon 2 voor het achterhandvat ($p < 0.0005$) en het handvat vóór ($p = 0.006$).



Figuur 3: gemeten frequentie-gewogen trillingsblootstelling a_{hv} (in m/s^2) per motorkettingzaag en per proefpersoon voor de handvatten achter (links) en voor (rechts) bij vol gas zagen in hout. Weergegeven zijn boxplots met mediane waarden en interkwartielen over de drie toegepaste werktechnieken bij zagen in Amerikaanse eik en met nieuwe ketting.

Voor het hanteren van de stationair draaiende zagen geeft tabel 3 eveneens een aanzienlijke spreiding over zagen aan. De verschillen die optraden tussen de personen bleken daar niet systematisch en niet significant, voor beide handvatten. Ook bleek de stationair-meting na afloop van het zagen in het hout niet te verschillen van die voorafgaand aan het zagen, zodat het onaannemelijk lijkt dat de uitkomsten van de stationaire metingen zijn beïnvloed door het eventueel verder opwarmen van de motoren tijdens de zaagactie.

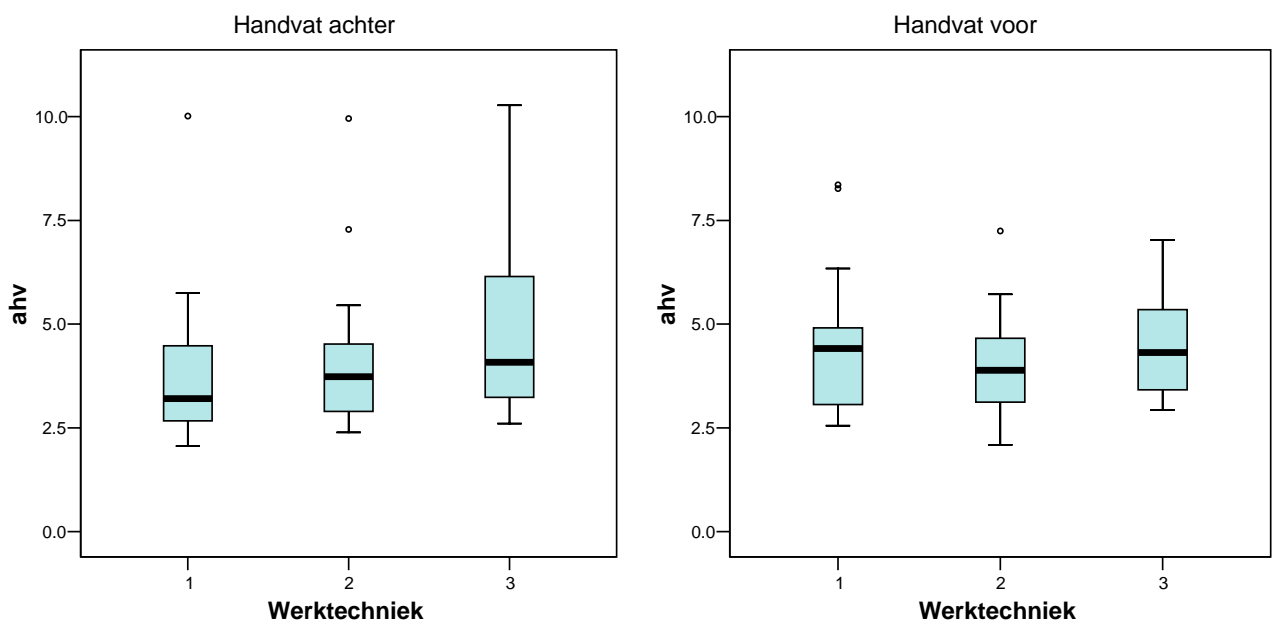
Het verschil tussen beide personen bij de actie “vol gas onbelast” bleek eveneens niet significant, voor beide handvatten.

3.2.3 Invloed werktechniek

Ook de verschillende werktechnieken dragen bij aan de variatie in gemeten blootstelling. Figuur 4 laat zien dat voor het handvat achter de laagste blootstelling is gemeten indien met de kam goed contact gehouden wordt met de stam (WT1; mediane waarde: $3.2 m/s^2$). De verschillen met beide

andere werktechnieken bleken significant: $p=0.023$ en 0.002 met WT2 (mediaan: 3.7 m/s^2), respectievelijk WT3 (mediaan: 4.1 m/s^2). Ook bleek bij de werktechnieken waarbij alleen het zaagblad (met ketting) contact maakt, het zagen van boven naar onder, dus met trekkende ketting (WT2), significant ($p=0.019$) lagere blootstelling te genereren dan het zagen van onder naar boven (met duwende ketting; WT3).

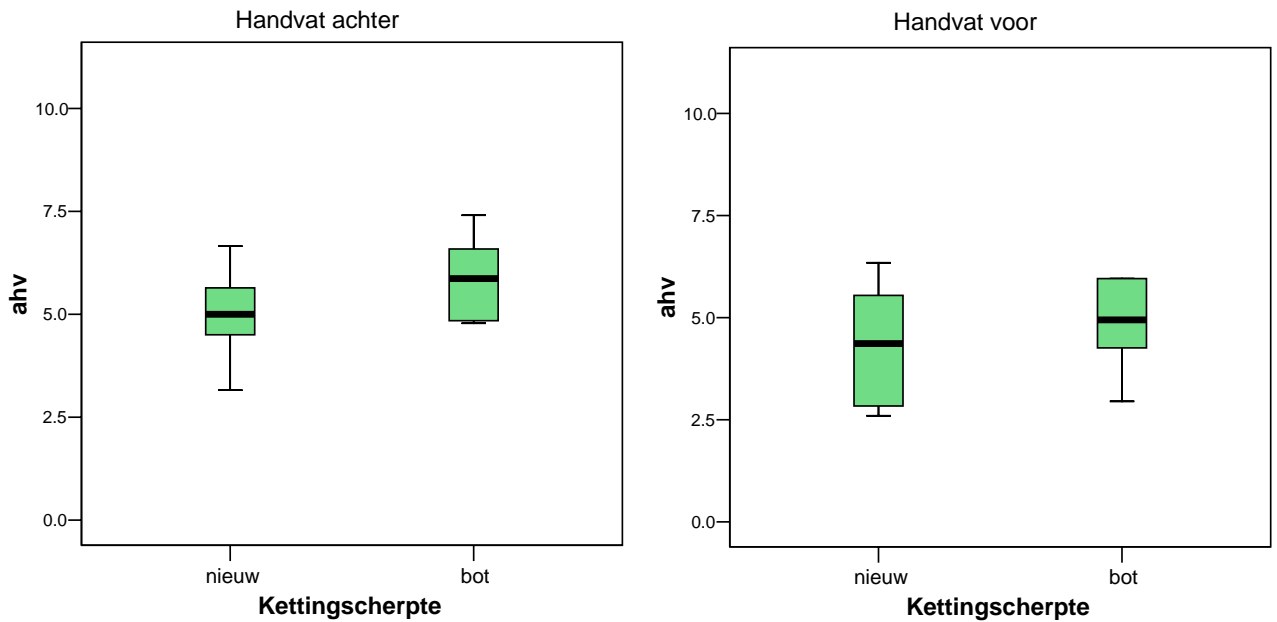
Voor het handvat vóór waren de verschillen minder groot en andersluidend: hier bleek geen verschil te zijn tussen WT1 en WT3 (mediane waarden respectievelijk 4.4 en 4.3 m/s^2), maar was WT2 significant lager dan WT3 ($p=0.030$; mediaan: 3.9 m/s^2) en tendeerde deze naar een lagere blootstelling ten opzichte van WT1 ($p=0.086$).



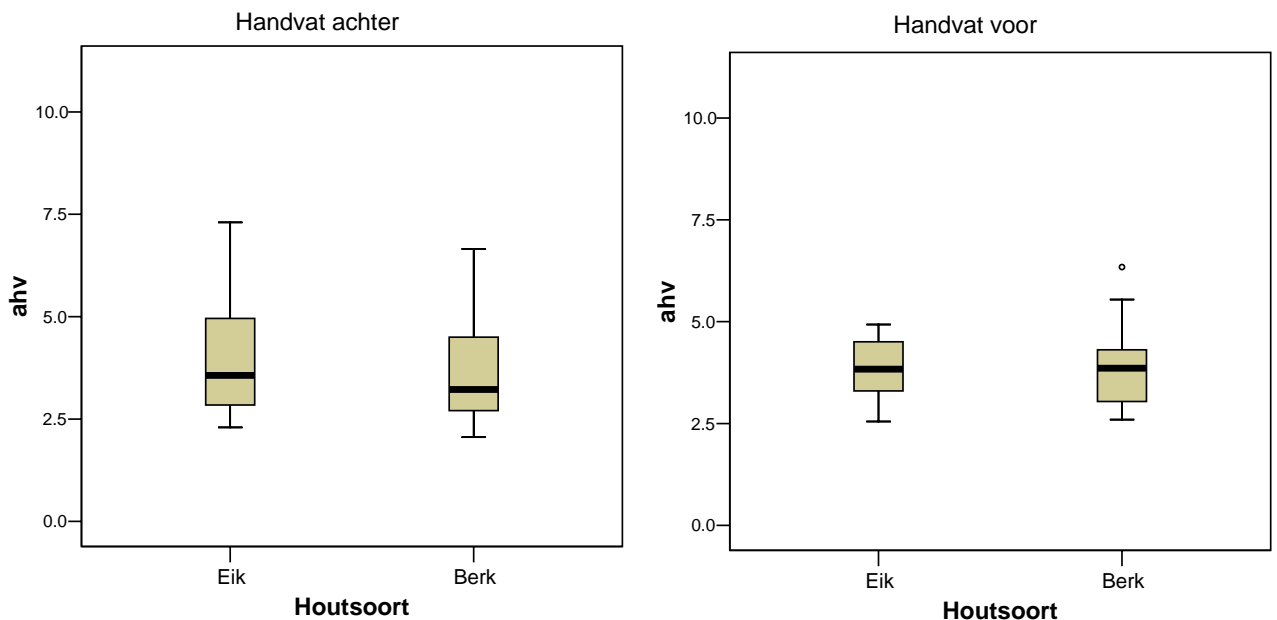
Figuur 4: gemeten frequentie-gewogen trillingsblootstelling a_{hv} (in m/s^2) per werktechniek (1= zagen van boven naar onder, contact via kam met de stam; 2= zagen van boven naar onder, contact uitsluitend via zaagblad; 3= zagen van onder naar boven, contact alleen via zaagblad) voor de handvatten achter (links) en voor (rechts) bij vol gas zagen in hout met nieuwe ketting. Weergegeven zijn boxplots, d.w.z. mediane waarden en interkwartielen als box en uiterste waarden als lijnen (en circels) boven en onder de box, over de variabelen persoon, zaag en houtsoort.

3.2.4 Invloed kettingscherpte

De metingen zijn alleen uitgevoerd met zaag 1 en in de berkenstam. Figuur 5 toont de meetresultaten. Mediane waarden over personen en werktechnieken voor het achterhandvat waren 5.0 en 5.9 m/s^2 , respectievelijk. Een nieuwe ketting tendeerde naar een lagere blootstelling ($p=0.075$). Mediane waarden voor het handvat vóór waren 4.4 en 4.9 m/s^2 , respectievelijk. Het verschil bleek niet significant.



Figuur 5: gemeten frequentie-gewogen trillingsblootstelling a_{hv} (in m/s^2) bij gebruik van een nieuwe en botte ketting voor de handvatten achter (links) en voor (rechts) bij vol gas zagen in berkenhout met nieuwe en botte ketting op motorkettingzraag nr. 1. Weergegeven zijn boxplots, d.w.z. mediane waarden en interkwartielen als box en uiterste waarden als lijnen boven en onder de box, over personen en werktechnieken.



Figuur 6: gemeten frequentie-gewogen trillingsblootstelling a_{hv} (in m/s^2) bij vol gas zagen in vers amerikaans-eikenhout en berkenhout voor de handvatten achter (links) en voor (rechts) bij gebruik van een nieuwe ketting op motorkettingzagen nrs. 1, 5 en 6. Weergegeven zijn boxplots, d.w.z. mediane waarden en interkwartielen als box en uiterste waarden als lijnen (en circels) boven en onder de box, over beide personen.

3.2.5 *Invloed houtsoort*

Drie verschillende zagen zijn in zowel de eiken- als berkenstam gemeten. De resultaten zijn weergegeven in figuur 6. Voor het handvat achter tenderde ($p=0.094$) de blootstelling bij zagen in eikenhout naar een hogere waarde (mediaan: 3.6 m/s^2) ten opzichte van het berkenhout (mediaan: 3.2 m/s^2). Bij het handvat vóór is geen significant verschil geconstateerd; mediane waarden voor de eiken- respectievelijk berkenstam waren 3.8 en 3.9 m/s^2 .

4 Discussie

Het huidige onderzoek had als doel de consequenties in te schatten van het gebruik van moderne motorkettingzagen in relatie tot de blootstelling aan hand-arm trillingen. Gegeven de beperking dat de zaagactie tijdens het huidige onderzoek beperkt is tot het zagen van stammen, laten de resultaten zien dat het gebruik van lichte zagen in alle gevallen onder de grenswaarde blijft. De actiewaarde, echter, wordt na enkele tot meerdere uren overschreden, zodat geen enkele lichte zaag zonder verdere maatregelen een volledige werkdag lijkt te kunnen worden benut. Voor de middelzware zagen wordt de actiewaarde al na één tot enkele uren bereikt en wordt bij enkele typen de grenswaarde binnen 8 uur overschreden. Het onderzoek laat zien dat een stationair draaiende machine een vergelijkbare blootstelling oplevert als die tijdens vol gas zagen in hout. Om de blootstelling te verminderen blijkt een werktechniek waarbij de machine afsteunt op de stam effectief. Een scherpe ketting tendert ook naar een lagere blootstelling, hoewel dit statistisch niet hard is aangetoond.

Opvallend is de grote spreiding in blootstelling tussen de proefpersonen, mede gelet op de pogingen het onderzoek zo gestandaardiseerd mogelijk uit te voeren: de proefpersonen voerden de activiteit uit in rustig tempo, met dezelfde zagen en aan dezelfde stammen. Betrouwbaar vergelijkingsmateriaal met ander uitgevoerd onderzoek is niet gevonden. Een mogelijke oorzaak van de spreiding zou de kracht kunnen zijn waarmee de zaag gehanteerd wordt door een persoon. Een werker zal doorgaans met meer (hand- en arm-) kracht de zaag hanteren indien hij/zij een betere controle over de machine wenst. Meer kracht zetten, zowel knijpkracht als trek- of duwkracht, heeft tot gevolg dat de mechanische impedantie (ofwel: de weerstand tegen bewegen) van de hand-arm combinatie groter wordt, met name in het gebied tot 80 Hz (Burström, 1997). De stijfheid van de hand-arm neemt toe en om deze reden zal de gemeten trillingsblootstelling aan de handvatten beïnvloed worden door de kracht waarmee de motorkettingzaag wordt vastgehouden (ISO-22867, 2004) en de mate waarin de spieren van de armen geactiveerd worden. Een ander gevolg van een grotere hand- en armkracht is dat de effecten van de trilling op het lichaam sterker en verder doorwerken (transmissie; zie bijv. (Hartung et al., 1993, Riedel, 1995). Dit mechanisme zou een verklaring kunnen bieden voor het relatief hoge voorkomen van het carpaal tunnelsyndroom bij personen die aan hand-arm trillingen zijn blootgesteld (Palmer *et al.*, 2007).

Of de trend van een lagere blootstelling bij zachter hout en een nieuwe ketting zelfstandige effecten zijn dan wel samen hangen met voorgaande punt is niet duidelijk. Het kan zijn dat de persoon bij een minder scherpe ketting of bij harder hout meer druk op de handvatten uitoefent om het zagen te bespoedigen. Op die wijze zal de blootstelling volgens de hiervoor gegeven redenering en het veranderde contact tussen ketting en stam veranderen. Of op deze wijze ook de enigszins hogere meetwaarde van het voorste handvat bij werktechniek 1 te verklaren zou zijn (figuur 4, rechter paneel) is onbekend. Wel is het zo dat het contact houden van kam met de stam bij deze werktechniek meer druk op het handvat vóór vraagt, waarmee de blootstelling verandert.

Vergelijking van de huidige meetresultaten met metingen eerder en elders wordt bemoeilijkt door de andere omgeving, omstandigheden, personen, de vele zaagtypen en fabrikanten en de

voortdurende technische ontwikkeling, en eventuele aanpassingen aan de zagen. Zo is zaag 1 in het huidige onderzoek tevens in 2003 in het Verenigd Koninkrijk getest tijdens bosonderhoud (Pitts, 2004). Metingen wezen een a_{nv} tijdens zagen in hout tussen 5.9 en 6.3 m/s² voor het handvat achter. De huidige metingen leverden voor hetzelfde handvat een blootstelling tussen 4.7 en 6.3 m/s², afhankelijk van de werktechniek. Hoewel de beide metingen veel overeenkomst vertonen kan, gezien de relatief sterke invloed van de in het huidige onderzoek gedemonstreerde factoren als persoon en werktechniek, niet geheel worden uitgesloten dat dit op toeval berust.

Tijdens het huidige onderzoek is op gestandaardiseerde wijze de blootstelling gemeten tijdens het verticaal zagen van stammen. Dit is gedaan om te kunnen meten in welke mate door de werker actief beïnvloedbare factoren de blootstelling veranderen. Terecht kan de vraag gesteld worden in hoeverre de huidige gemeten trillingsresultaten representatief zijn voor het normale werk in bos en plantsoenen. In de praktijk zal namelijk ook in andere posities worden gezaagd (bijvoorbeeld horizontaal) en zal met de zaag tevens snoeiwerk worden verricht, dit is het weghalen van zijtakken van een staande of gevelde boom. Waarschijnlijk zal ook het tempo in de praktijk hoger zijn dan het hier voorgeschreven rustige tempo. Eerder onderzoek met vier vergelijkbaar lichte (rond 50 cm³) motorkettingzagen (Pitts, 2004) heeft blootstellingen en tijdbestedingen gemeten tijdens verschillende vormen van de normale bosarbeid in praktijk. Dagblootstellingen varieerden tussen 3.5 en 6.1 m/s², over de werkzaamheden vellen, uitdunnen, snoeien en bosonderhoud, en over de vier zagen. In het huidige onderzoek varieert de geschatte dagblootstelling, op grond van de metingen en de dagbestedingspatronen, voor de (vergelijkbaar) lichte zagen tussen 3.1 en 4.7 m/s². Deze dagblootstellingen vormen de basis voor de berekening van de maximale dagelijkse werkduur in tabel 4. De vergelijking van beide onderzoeken laat zien dat de schatting van de dagblootstelling in hoge mate overlap vertoont. Indien er al sprake is van een afwijking, dan zal het huidige onderzoek eerder een lichte onderschatting van de werkelijke blootstelling in de praktijk weergeven.

Tabel 2 laat een groot verschil zien in de schatting van de dagpatronen. Het eerder genoemde onderzoek in het Verenigd Koninkrijk (Pitts, 2004) rapporteerde na tijdstudie van bosarbeiders voor dunnen, vellen, snoeien en bosonderhoud een totale arbeidsduur per dag met draaiende motorkettingzaag in de handen tussen 3½ en 5½ uur (vergelijk: in het huidige onderzoek tussen 5 en 6 uur). De totale duur bleek sterk afhankelijk van het type werk. Bij de genoemde werkzaamheden was de totale zaagduur in hout 2.9 – 4.0 uur en werd de zaag tussen 0.3 en 2.2 uur stationair draaiend in de hand gedragen. Vol gas onbelast werd gemeten tussen minder dan 0.1 uur en 0.3 uur. Dit gerefereerde onderzoek laat dus ook wat tijdbesteding betreft een aanzienlijke overlap met het huidige onderzoek zien, in aanvulling op de in de vorige paragraaf genoemde vergelijkbare blootstellingsmetingen. Hoewel het verschil tussen de geïnventariseerde dagpatronen aanzienlijk is, blijkt de invloed hiervan op de maximale dagelijkse werkduur beperkt: voor de lichte zagen een half uur bij de actiewaarde 2.5 m/s². Dit is bij verre onvoldoende om met welke zaag dan ook gedurende een gehele werkdag te werken zonder dat actiewaarde overschreden wordt. Belangrijk hierbij is de constatering dat het hanteren van een stationair draaiende zaag aanzienlijk bijdraagt aan de totale blootstelling. Gezien de spreiding in blootstellingen lijkt het effectief aandacht te besteden aan de keuze van materiaal en aan de verdere ontwikkeling van trillingsarme machines door de fabrikanten. Bij dit laatste zouden de

middelzware machines prioriteit moeten krijgen, omdat daar de maximale werktijd op een werkdag sterk achterblijft bij die van de lichte zagen. Ook verschilt de aandacht die een fabrikant zou moeten geven aan verdere verbetering van zijn producten: opvallend voor de zagen 6 en 7 zijn de relatief hoge blootstellingswaarden gemeten tijdens stationair draaien; daarentegen geven de zagen 1, 2 en 3 een relatief hoge blootstelling tijdens het zagen zelf. En ook geldt dat voor de laatstgenoemde zagen de hoogste trillingsblootstellingen aan het handvat achter gemeten worden, terwijl bij de overige zagen de aandacht meer gericht zal moeten zijn op het handvat vóór.

Tabel 3 en figuur 2 laten zien dat de gemeten blootstelling sterk kan afwijken van de door de fabrikanten opgegeven emissiewaarden. In veel gevallen is de opgegeven emissiewaarde lager dan de hier gemeten blootstellingswaarde. Echter, ook het omgekeerde komt voor en er lijkt bij de emissiewaarden niet sprake te zijn van een systematische onderschatting van de blootstelling. Emissiewaarden worden door de fabrikanten volgens voorschrift (ISO 22867, 2004, als opvolger van ISO 7505, 1986) gemeten. Bij deze meting treden meerdere afwijkingen op ten opzichte van de huidige metingen: de plaatsing van de trillingsopnemers, de vorm van het te zagen hout, de hoogte van het te zagen hout en het ontbreken van contact tussen machine en stam behalve via de ketting en zaagblad. Bovendien wordt in het voorschrift aangegeven dat de handkracht waarmee de zaag wordt vastgehouden de meetresultaten beïnvloedt, maar worden op dit punt geen verdere aanbevelingen gedaan. Vanuit literatuur wordt bevestigd dat er geen duidelijke relatie is tussen opgegeven emissiewaarden en blootstellingen in de praktijk (Pitts, 2004). Daarbij komt dat de emissiewaarde voor een zaag onder 80 cm³ volgens ISO voorschrift wordt berekend als rekenkundig gemiddelde van de meetwaarden tijdens stationair en vol gas onbelast draaien, en vol gas zagen in hout. De praktijk is dat vol gas onbelast draaien veel minder voorkomt dan de beide andere acties, terwijl deze in de opgegeven emissiewaarde even sterk meeweegt. Het zonder meer gebruiken van de emissiewaarde als indicatie van de blootstelling in de praktijk, en daarmee voor het schatten van de maximale dagelijkse werkduur, moet om bovenstaande redenen worden afgeraden.

Wat betekenen de huidige resultaten voor de werkers in praktijk?

1. De maximale werktijd op een werkdag hangt vooral af van de keuze van de zaag. Het bewust kiezen van de meest trillingsarme zaag binnen een grootteklasse levert een toename van de maximale dagelijkse werktijd van meerdere uren op, tot ongeveer maximaal 5 uur (inclusief alle bijkomende handelingen!) bij de kettingzagen die in dit onderzoek zijn getest. Indien per dag langer gewerkt wordt zijn maatregelen van technische, organisatorische en / of educatieve aard noodzakelijk en moet bovendien gezondheidskundig toezicht worden georganiseerd.
2. Zwaardere kettingzagen leveren een aanmerkelijk hogere blootstelling op dan de lichtere, daarmee de maximale dagelijkse werkduur sterk inkortend (tot maximaal ongeveer 3 uur per dag, wederom inclusief alle bijkomende handelingen). Aanbevolen kan worden bij het gebruik in de praktijk voortdurend de keuze te maken voor de lichtst mogelijke zaag in relatie tot de taak.

3. Het stationair draaien van de zaag in de hand levert een frequentie-gewogen blootstelling aan trillingen die voor de meeste machines vergelijkbaar is met die tijdens het zagen zelf. Het voorkómen van het in de hand houden van een stationair draaiende machine, indien dit niet persé nodig is, kan fors bijdragen aan een vermindering van de dagelijkse blootstelling.
4. De door de fabrikanten opgegeven emissiewaarden, hoewel gemeten volgens ISO-voorschrift, vormen niet altijd een betrouwbare afspiegeling van de blootstelling in de praktijk en moeten niet gebruikt worden om de maximale dagelijkse werkduur in te schatten. Hoewel over de gehele groep opgaat dat een lagere opgegeven emissiewaarde doorgaans ook een lagere blootstelling oplevert (zie figuur 2), is de spreiding zodanig dat het vergelijken van emissiewaarden niet nauwkeurig kan helpen in de keuze van de juiste kettingzaag.
5. Het hanteren van de werktechniek waarbij de machine tijdens het zagen via de kam in contact blijft met de stam heeft een blootstellingverminderend effect (grootte-orde: 10-25%). Voor het snoeien van stammen is dit geen optie. Zagen met een duwende ketting, dus van onder naar boven, leidt tot een hogere blootstelling.
6. Het goed scherp houden van de ketting leidt mogelijk tot een lagere blootstelling (grootte-orde: 10-20%), hoewel het effect in dit onderzoek niet hard is aangetoond.
7. Het is aannemelijk dat de spierkracht waarmee een motorkettingzaag gehanteerd wordt (gegeven natuurlijk dat de machine voortdurend onder controle blijft met het oog op de veiligheid) de blootstelling beïnvloedt. Wat dit voor de praktijk betekent voor de blootstelling, is zonder nader onderzoek niet duidelijk. In ieder geval zal minder hand- en armkracht betekenen dat de aangeboden trilling zich minder gemakkelijk en minder ver in het lichaam voorplant, zodat eventuele effecten tot de vingers en handen beperkt blijven. Dit kan worden geïnterpreteerd als zoveel mogelijk de machine zelf het werk laten doen, zonder de snelheid van zagen actief op te voeren door druk op de handvatten uit te oefenen. In dit kader betekent het een voordeel indien gekozen wordt voor de lichtst mogelijke machine (qua gewicht en vermogen).

Het eventuele effect van beschermende kleding (vooral de zogenaamde anti-vibratie handschoenen) is in het huidige onderzoek niet meegenomen. Vanuit de literatuur wordt aangedragen dat het effect van de handschoenen afhankelijk is van vele factoren, o.a. de persoon, de spierkracht en het toegepaste dempende materiaal. Met name in het lage trillingsfrequentiegebied, daar waar ISO 5349-1 (2001) de nadruk legt wat betreft negatieve gezondheidseffecten, treedt nauwelijks demping op. In geval van verhoogde handspierkracht, bijvoorbeeld om de machine met dikkere handschoenen nog onder controle te kunnen houden, kan de trilling in dit gebied zelfs versterkt worden doorgegeven (Rakheja *et al.*, 2002, Dong *et al.*, 2005). Vanuit het Engelse Health & Safety Executive (www.hse.gov.uk) wordt dan ook aanbevolen anti-vibratie handschoenen niet toe te passen met het oog op het verminderen van de blootstelling, maar uitsluitend om de handen warm en droog te houden. Dit zelfde instituut

beveelt aan om, in geval van vervanging, nog uitsluitend motorkettingzagen met verwarmde handvatten aan te schaffen, dit vanwege het gunstig effect van een warme omgeving van de handen op het voorkómen van gezondheidsproblemen (zie de Introductie-sectie, bij Nyantumbu *et al.*, 2007).

Tot slot: het verdient aanbeveling de oorzaak van de grote spreiding tussen personen aan nader onderzoek te onderwerpen. Indien de grootte van de verschillen tussen beide proefpersonen in het huidige onderzoek, zoals gezien bij veel van de zagen (zie figuur 3), maatgevend is, zou hierin een belangrijke sleutel voor verdere blootstellingsvermindering in de praktijk gelegen zijn.

5 Conclusies

De stand der techniek van motorkettingzagen is zodanig dat met de meest trillingsarme machine nog geen volledige werkdag kan worden gewerkt, zonder speciale maatregelen te nemen om de blootstelling aan hand-arm trillingen te verminderen. Voor de meest trillingsarme lichte professionele zaag kan een maximale werkduur per dag van iets meer dan 5 uur worden afgeleid, dit is de tijd inclusief alle bijkomende handelingen en werkzaamheden. Voor de zwaardere machines geldt dat er een aanzienlijk beperkter deel van de werkdag gewerkt kan worden: tot ruim 3 uur.

Omdat technische maatregelen aan de machines afhankelijk zijn van verdere ontwikkelingen door de fabrikanten, moet bij maatregelen door de werkgever en werknemer vooral gedacht worden aan organisatorische maatregelen en/of beschermende kleding (naast de verplichting tot educatie en gezondheidkundig toezicht):

- De blootstelling wordt verminderd door een bewuste trillingsarme keuze bij aanschaf van een nieuwe machine.
- De blootstelling wordt beperkt door daar waar kan de kleinst mogelijke machine in te zetten. Het verdient aanbeveling de werknemers een keuze aan te bieden uit meerdere machines (gewichten en vermogensklassen), zodat tijdens de taak gemakkelijk gewisseld kan worden.
- De blootstelling wordt verminderd door de machine sneller uit te schakelen indien even niet gezaagd hoeft te worden. De periode dat gelopen wordt met een stationair draaiende machine wordt zo beperkt. Voorwaarde is natuurlijk een goed onderhouden en vlot startende machine; voor de zwaardere machines is dit wellicht in praktijk geen aantrekkelijke optie vanwege de zware belasting bij het aantrekken. Ook kan de blootstelling mogelijk worden beperkt door de stationair draaiende machine afwisselend links en rechts te dragen, daarmee de trillingsbelasting spreidend over beide handen (overigens zijn tegen dit punt ook wetenschappelijke bezwaren aan te voeren!).
- Het onderzoek ondersteunt het nut van het toepassen van een goede werktechniek en het gebruik van een scherpe ketting. De blootstelling van het achterhandvat wordt verminderd indien de kam van de machine tijdens het zagen goed contact houdt met de stam. Regelmatig kettingonderhoud betekent niet alleen een lagere blootstelling, maar tevens een verkorting van de totale blootstellingsduur.
- Het eventueel blootstellingsverminderend effect van het dragen van beschermende handschoenen is niet getest in het huidige onderzoek. Op basis van literatuurgegevens moeten anti-vibratie handschoenen niet worden gebruikt met als doel een verlaging van de blootstelling en daarmee een langere maximale werkdag te bereiken. Dit omdat de effectiviteit van de handschoenen niet is aangetoond.

- Het is aannemelijk dat de handspierkracht belangrijk is in het bepalen van de blootstelling. Het is zeker dat deze kracht bepalend is voor de mate waarin de trilling zich in het lichaam voortplant. Op welke wijze deze factor de blootstelling beïnvloedt en welke rol een verbeterde design van de handvatten speelt op de kracht benodigd om de machine te gebruiken en te beheersen, is nu niet goed in te schatten. Nader onderzoek is gewenst, mede gezien (1) de mogelijke rol hiervan op de variatie in blootstelling tussen personen, (2) de mogelijk grote invloed op die blootstelling, en (3) de mogelijkheid dat werkers deze factor zelf actief kunnen beïnvloeden. Bij een eventueel ander design dient rekening gehouden te worden met het in de praktijk in verschillende posities hanteren van de zaag.
- Gezien de beperkte voorspellende waarde van de door de fabrikanten opgegeven emissiewaarden voor de blootstelling in de praktijk wordt aanbevolen voor meerdere moderne en veel gebruikte machines een praktijktest van de blootstelling uit te voeren.

Referenties

- Axelsson, S. A., 1968. Analysis of vibrations in power saws. *Studia Forestalia Suecica*. 59, 1-47.
- Bovenzi, M., 1998. Exposure-response relationship in the hand-arm vibration syndrome: An overview of current epidemiological research. *International Archives of Occupational and Environmental Health*. 71, 509-519.
- Bovenzi, M., Franzinelli, A., Mancini, R., Cannavà, M. G., Maiorano, M. and Ceccarelli, F., 1995. Dose-response relation for vascular disorders induced by vibration in the fingers of forestry workers. *Occupational and Environmental Medicine*. 52, 722-730.
- Bovenzi, M., Welsh, A. L. and Griffin, M., 2004. Acute effects of continuous and intermittent vibration on finger circulation. *International archives of occupational and environmental health*. 75, 259-266.
- Burström, L., 1997. The influence of biodynamic factors on the mechanical impedance of the hand and arm. *International Archives of Occupational and Environmental Health*. 69, 437-446.
- Chetter, I. C., Kent, P. J. and Kester, R. C., 1997. The hand arm vibration syndrome: a review. *Cardiovascular Surgery*. 6, 1-9.
- Christ, E., Fischer, S., Kaulbars, U. and Sayn, D., 2006. Effects of vibrations at workplaces. Characteristic values of hand-arm and whole body vibration. Hauptverband der gewerblichen Berufsgenossenschaft (HVBG), Sankt Augustin (D) BGIA-report. 6/2006, 1-72.
- Dong, R. G., McDowell, T. W., Welcome, D. E. and Smutz, W. P., 2005. Correlations between biodynamic characteristics of human hand-arm system and the isolation effectiveness of anti-vibration gloves. *International Journal of Industrial Ergonomics*. 35, 205-216.
- EU, 2002. Richtlijn 2002/44/EG van het Europees Parlement en de Raad van 25 juni 2002 betreffende de minimumvoorschriften inzake gezondheid en veiligheid met betrekking tot de blootstelling van werknemers aan de risico's van fysische agentia (trillingen) (zestiende bijzondere richtlijn in de zin van artikel 16, lid 1, van Richtlijn 89/391/EEG) - Gezamenlijke verklaring van het Europees Parlement en de Raad. Publicatieblad van de Europese Gemeenschappen. L 177 (6.7.2002), 13-19.
- Griffin, M. J., 2004. Minimum health and safety requirements for workers exposed to hand-transmitted vibration and whole-body vibration in the European Union; a review. *Occupational and Environmental Medicine*. 61, 387-397.
- Griffin, M. J., Bovenzi, M. and Nelson, C. M., 2003. Dose-response patterns for vibration-induced white finger. *Occup Environ Med*. 60, 16-26.
- Hartung, E., Dupuis, H. and Scheffer, M., 1993. Effects of grip and push forces on the acute response of the hand-arm system under vibrating conditions. *International Archives of Occupational and Environmental Health*. 64, 463-467.
- ISO-5349-1, 2001. Mechanical vibration - Measurement and evaluation of human exposure to hand-transmitted vibration - Part 1: General requirements. ISO, Geneva, pp. 24.

- ISO-5349-2, 2001. Mechanical vibration - Measurement and evaluation of human exposure to hand-transmitted vibration - Part 2: Practical guidance for measurement at the workplace. ISO, Geneva, pp. 39.
- ISO-8041, 2005. Human response to vibration - measuring instrumentation. ISO, Geneva, pp. 90.
- ISO-22867, 2004. Forestry machinery - vibration test code for portable hand-held machines with internal combustion engine - vibration at handles. ISO, Geneva, pp. 18.
- Koskimies, K., Pyykkö, I., Starck, J. and Inaba, R., 1992. Vibration syndrome among Finnish forest workers between 1972 and 1990. *International Archives of Occupational and Environmental Health*. 64, 251-256.
- Noël, B., 2000. Pathophysiology and classification of the vibration white finger. *International Archives of Occupational and Environmental Health*. 73, 150-155.
- Nyantumbu, B., Barber, C. M., Ross, M., Curran, A. D., Fishwick, D., Dias, B., Kgalamono, S. and Phillips, J. I., 2007. Hand-arm vibration syndrome in South African gold miners. *Occupational Medicine*. 57, 25-29.
- Oortman Gerlings, P., Drimmelen, D. v. and Musson, Y., 1985. Trillingen en schokken op het werk. Resultaten van de inventarisatiemetingen), pp. 148 pp. Interdepartemate Commissie Geluidshinder, Den Haag.
- Palmer, K. T., Harris, E. C. and Coggon, D., 2007. Carpal tunnel syndrome and its relation to occupation: a systematic literature review. *Occupational Medicine*. 57, 57-66.
- Pitts, P., 2004. Hand-arm vibration emission of chainsaws. Comparison with vibration exposure. Health & Safety Laboratory, Buxton (UK), report. HSL/2004/13, 1-53.
- Rakheja, S., Dong, R., Welcome, D. and Schopper, A. W., 2002. Estimation of tool-specific isolation performance of antivibration gloves. *International Journal of Industrial Ergonomics*. 30, 71-87.
- Riedel, S., 1995. Consideration of grip and push forces for the assessment of vibration exposure. *Central European journal of Public Health*. 3, 139-141.
- Sluiter, J. K., Rest, K. M. and Frings-Dresen, M. H. W., 2001. Criteria document for evaluation of the work-relatedness of upper extremity musculoskeletal disorders. *Scandinavian Journal of Work, Environment & Health*. 27, 1-102.
- Staatsblad, 2005. Besluit van 5 juli 2005 tot wijziging van het Arbeidsomstandighedenbesluit (voorschriften inzake veiligheid en gezondheid met betrekking tot blootstelling van werknemers aan risico's van fysische agentia (mechanische trillingen)). *Staatsblad van het Koninkrijk der Nederlanden*. 372, 1-18.
- Sutinen, P., Toppila, E., Starck, J., Brammer, A., Zou, J. and Pyykkö, I., 2006. Hand-arm vibration syndrome with use of anti-vibration chain saws: 19-year follow-up study of forestry workers. *International Archives of Occupational and Environmental Health*. 79, 665-671.
- Vink, A. and Oude Vrielink, H. H. E., 2005. Maatregelen ter vermindering van de blootstelling aan trillingen. Deel 1: inventarisatie van de problematiek per tak. *Agrrotechnology & Food Innovations*, Wageningen UR, rapport 466, 58 pp.

Samenvatting

Europese en Nederlandse wetgeving definiëren maxima, dat wil zeggen actiewaarde en grenswaarde, voor hand-arm trillingen waaraan werknemers op een werkdag mogen worden blootgesteld. Weliswaar is er een overgangperiode tot juli 2014 voor de land- en bosbouw, maar die geldt alleen voor arbeidsmiddelen die vóór juli 2007 beschikbaar zijn gesteld. De wetgeving is bedoeld om gezondheidsschade door langdurige blootstelling aan trillingen te voorkomen. Indien de actiewaarde (2.5 m/s^2) wordt overschreden dienen organisatorische, technische en gezondheidkundige maatregelen te worden genomen om verdere blootstelling te beperken. Bij overschrijding van de grenswaarde (5 m/s^2) moet de blootstelling meteen teruggebracht worden tot onder deze waarde. Het gebruik van motorkettingzagen in de bosbouw en groenvoorzieningen wordt als één van de werkzaamheden gezien waarbij mogelijk maatregelen nodig zijn om de blootstelling aan hand-arm trillingen te verminderen. Het huidige onderzoek heeft als doel de consequenties aan te geven van het gebruik van verschillende moderne motorkettingzagen op de blootstelling. Tevens is nagegaan in hoeverre werktechniek, kettingscherpte en houtsoort invloed hebben op de blootstelling.

De blootstellingsmetingen zijn uitgevoerd met twee ervaren proefpersonen aan twee categorieën motorkettingzagen voor professioneel gebruik: lichte (rond 50 cm^3 ; $n=4$) en middelzware zagen (rond 75 cm^3 ; $n=3$). De trillingen zijn volgens voorschrift (ISO-5349-1, 2001) gemeten aan beide handvatten tijdens stationair en vol gas onbelast draaien en tijdens het zagen van plakken van een stam van een Amerikaanse eik en van een berk. Bij dit zagen in hout zijn drie verschillende werktechnieken gehanteerd: (A) zagen van boven naar onder waarbij de kam van de zaag goed in contact met de stam werd gehouden, (B) zagen van boven naar onder met uitsluitend contact via ketting en zaagblad, en (C) zagen van onder naar boven met uitsluitend contact via ketting en zaagblad. Alle metingen zijn verricht met een nieuwe ketting; in de berkenstam zijn de drie werktechnieken ook toegepast met een bot gemaakte ketting. Data zijn tijdens de metingen op een computer weergegeven en opgeslagen, en achteraf verwerkt. Via een inventarisatie bij de Vereniging voor Hoveniers en Groenvoorzieners en via interviews en tijdstudie van een werkdag van zes boswerkers van een bosbouwbedrijf is inzicht verkregen in de tijdsduur van de verschillende groepen handelingen die op een werkdag met een motorkettingzaag plaatsvinden.

Op een normale werkdag wordt 3.5 – 4.7 uren daadwerkelijk gezaagd in hout. Het hanteren van een stationair draaiende zaag bedroeg 1.2 – 2.3 uren. Vol gas onbelast hanteren van de zaag duurde in praktijk zeer kort (0.1 uur). Tijdens de overige werktijd (2-3 uren) vond geen blootstelling plaats en omvatte o.a. overleg, bijvullen, vijlen en lopen met een stilstaande zaag.

Het verschil in de gemeten blootstelling tussen de zagen bleek aanzienlijk. Meetwaarden voor het handvat achter voor de lichte zagen waren $3.4 - 5.1 \text{ m/s}^2$, $1.6 - 2.8 \text{ m/s}^2$ en $2.9 - 5.6 \text{ m/s}^2$ voor respectievelijk stationair, vol gas onbelast en vol gas zagen in eikenhout (de waarden vertegenwoordigen de minimum en maximum waarde over de onderzochte zagen). In dezelfde volgorde waren de waarden voor het handvat vóór: $3.8 - 5.3 \text{ m/s}^2$, $2.8 - 7.4 \text{ m/s}^2$ en $3.3 - 4.7 \text{ m/s}^2$. Bij de middelzware zagen werd een aanzienlijk hogere blootstelling gemeten: $5.5 - 7.0 \text{ m/s}^2$, $3.2 - 4.0 \text{ m/s}^2$ en $3.8 - 9.3 \text{ m/s}^2$ (handvat achter; zelfde volgorde als boven) en $5.3 - 8.3$

m/s^2 , $3.5 - 6.3 m/s^2$ en $4.4 - 6.4 m/s^2$ (handvat voor; idem). De door de fabrikanten opgegeven emissiewaarden, bepaald volgens ISO-voorschrift, blijken in veel gevallen lager te zijn dan de gemeten blootstellingswaarden. Echter, afwijkingen in omgekeerde richting komen ook voor.

Op grond van de gemeten blootstellingen en de inventarisatie van de normale dagelijkse tijdbesteding blijkt bij gebruik van de lichte zagen en bij het meest gunstige werkdagpatroon de actiewaarde overschreden te worden na $2.7 - 5.1$ uren, afhankelijk van zaagtype. Deze tijdsduur is inclusief alle bijkomende handelingen die geen blootstelling opleveren. De grenswaarde wordt overschreden na $10.9 - 20.4$ uren. Bij de middelzware zagen wordt de actiewaarde overschreden na $1.1 - 3.2$ uren en de grenswaarde na $4.4 - 12.4$ uren, de duur wederom afhankelijk van het zaagtype.

De blootstellingen bleken aanzienlijk te verschillen tussen beide proefpersonen. Dit verschil was aanwezig voor vrijwel alle zagen en voor beide handvatten. De werktechniek A waarbij goed contact gehouden wordt met de stam via de kam van de zaag blijkt de laagste blootstelling op te leveren voor het handvat achter. Zagen van onder naar boven (werktechniek C) levert voor beide handvatten een hogere blootstelling dan in omgekeerde richting. Een scherpe ketting evenals zachter hout tenderen naar een lagere blootstelling.

Geconcludeerd kan worden dat de keuze van de motorkettingzaag een grote invloed heeft op de blootstelling en daarmee op de maximale dagelijkse werktijd. De keuze van een zo licht mogelijke zaag zal de blootstelling beperken, maar geen van de geteste zagen kan zonder maatregelen een gehele werkdag worden gebruikt. Effectieve maatregelen die uit het onderzoek naar voren komen zijn het afsteunen van de machine op de stam, het scherp houden van de ketting en het beperken van de tijd dat de zaag stationair draaiend in de hand wordt gehouden. Helaas kan bij de keuze van een machine niet altijd betrouwbaar worden uitgegaan van de door de fabrikant aangeleverde emissiewaarden voor trillingen, en worden blootstellingsmetingen van meer veel gebruikte kettingzagen geadviseerd. Ook verdient het aanbeveling de grote spreiding in gemeten blootstelling tussen de werkers nader te onderzoeken. In welke mate een persoon de blootstelling zelf beïnvloedt door met meer of minder hand- en armkracht de kettingzaag te hanteren is op dit moment niet duidelijk.

Pagina ter verwijdering: Endnote-referenties:

- Axelsson, S. A., 1968. Analysis of vibrations in power saws. *Studia Forestalia Suecica*. 59, 1-47.
- Bovenzi, M., 1998. Exposure-response relationship in the hand-arm vibration syndrome: An overview of current epidemiological research. *International Archives of Occupational and Environmental Health*. 71, 509-519.
- Bovenzi, M., Franzinelli, A., Mancini, R., Cannavà, M. G., Maiorano, M. and Ceccarelli, F., 1995. Dose-response relation for vascular disorders induced by vibration in the fingers of forestry workers. *Occupational and Environmental Medicine*. 52, 722-730.
- Bovenzi, M., Welsh, A. L. and Griffin, M., 2004. Acute effects of continuous and intermittent vibration on finger circulation. *International archives of occupational and environmental health*. 75, 259-266.
- Burström, L., 1997. The influence of biodynamic factors on the mechanical impedance of the hand and arm. *International Archives of Occupational and Environmental Health*. 69, 437-446.
- Chetter, I. C., Kent, P. J. and Kester, R. C., 1997. The hand arm vibration syndrome: a review. *Cardiovascular Surgery*. 6, 1-9.
- Christ, E., Fischer, S., Kaulbars, U. and Sayn, D., 2006. Effects of vibrations at workplaces. Characteristic values of hand-arm and whole body vibration. Hauptverband der gewerblichen Berufsgenossenschaft (HVBG), Sankt Augustin (D) BGIA-report. 6/2006, 1-72.
- Dong, R. G., McDowell, T. W., Welcome, D. E. and Smutz, W. P., 2005. Correlations between biodynamic characteristics of human hand-arm system and the isolation effectiveness of anti-vibration gloves. *International Journal of Industrial Ergonomics*. 35, 205-216.
- EU, 2002. Richtlijn 2002/44/EG van het Europees Parlement en de Raad van 25 juni 2002 betreffende de minimumvoorschriften inzake gezondheid en veiligheid met betrekking tot de blootstelling van werknemers aan de risico's van fysische agentia (trillingen) (zestiende bijzondere richtlijn in de zin van artikel 16, lid 1, van Richtlijn 89/391/EEG) - Gezamenlijke verklaring van het Europees Parlement en de Raad. Publicatieblad van de Europese Gemeenschappen. L 177 (6.7.2002), 13-19.
- Griffin, M. J., 2004. Minimum health and safety requirements for workers exposed to hand-transmitted vibration and whole-body vibration in the European Union; a review. *Occupational and Environmental Medicine*. 61, 387-397.
- Griffin, M. J., Bovenzi, M. and Nelson, C. M., 2003. Dose-response patterns for vibration-induced white finger. *Occup Environ Med*. 60, 16-26.
- Hartung, E., Dupuis, H. and Scheffer, M., 1993. Effects of grip and push forces on the acute response of the hand-arm system under vibrating conditions. *International Archives of Occupational and Environmental Health*. 64, 463-467.
- ISO-5349-1, 2001. Mechanical vibration - Measurement and evaluation of human exposure to hand-transmitted vibration - Part 1: General requirements. ISO, Geneva, pp. 24.
- ISO-5349-2, 2001. Mechanical vibration - Measurement and evaluation of human exposure to hand-transmitted vibration - Part 2: Practical guidance for measurement at the workplace. ISO, Geneva, pp. 39.
- ISO-8041, 2005. Human response to vibration - measuring instrumentation. ISO, Geneva, pp. 90.

- ISO-22867, 2004. Forestry machinery - vibration test code for portable hand-held machines with internal combustion engine - vibration at handles. ISO, Geneva, pp. 18.
- Koskimies, K., Pyykkö, I., Starck, J. and Inaba, R., 1992. Vibration syndrome among Finnish forest workers between 1972 and 1990. *International Archives of Occupational and Environmental Health*. 64, 251-256.
- Noël, B., 2000. Pathophysiology and classification of the vibration white finger. *International Archives of Occupational and Environmental Health*. 73, 150-155.
- Nyantumbu, B., Barber, C. M., Ross, M., Curran, A. D., Fishwick, D., Dias, B., Kgalamono, S. and Phillips, J. I., 2007. Hand-arm vibration syndrome in South African gold miners. *Occupational Medicine*. 57, 25-29.
- Oortman Gerlings, P., Drimmelen, D. v. and Musson, Y., 1985. Trillingen en schokken op het werk. Resultaten van de inventarisatiemetingen), pp. 148 pp. Interdepartemate Commissie Geluidshinder, Den Haag.
- Palmer, K. T., Harris, E. C. and Coggon, D., 2007. Carpal tunnel syndrome and its relation to occupation: a systematic literature review. *Occupational Medicine*. 57, 57-66.
- Pitts, P., 2004. Hand-arm vibration emission of chainsaws. Comparison with vibration exposure. Health & Safety Laboratory, Buxton (UK), report. HSL/2004/13, 1-53.
- Rakheja, S., Dong, R., Welcome, D. and Schopper, A. W., 2002. Estimation of tool-specific isolation performance of antivibration gloves. *International Journal of Industrial Ergonomics*. 30, 71-87.
- Riedel, S., 1995. Consideration of grip and push forces for the assessment of vibration exposure. *Central European journal of Public Health*. 3, 139-141.
- Sluiter, J. K., Rest, K. M. and Frings-Dresen, M. H. W., 2001. Criteria document for evaluation of the work-relatedness of upper extremity musculoskeletal disorders. *Scandinavian Journal of Work, Environment & Health*. 27, 1-102.
- Staatsblad, 2005. Besluit van 5 juli 2005 tot wijziging van het Arbeidsomstandighedenbesluit (voorschriften inzake veiligheid en gezondheid met betrekking tot blootstelling van werknemers aan risico's van fysische agentia (mechanische trillingen)). *Staatsblad van het Koninkrijk der Nederlanden*. 372, 1-18.
- Sutinen, P., Toppila, E., Starck, J., Brammer, A., Zou, J. and Pyykkö, I., 2006. Hand-arm vibration syndrome with use of anti-vibration chain saws: 19-year follow-up study of forestry workers. *International Archives of Occupational and Environmental Health*. 79, 665-671.
- Vink, A. and Oude Vrielink, H. H. E., 2005. Maatregelen ter vermindering van de blootstelling aan trillingen. Deel 1: inventarisatie van de problematiek per tak. *Agriculture & Food Innovations, Wageningen UR*, rapport 466, 58 pp.